

МЕХАНИКА

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

академик, д-р техн. наук, проф. П.И. ЯЩЕРИЦЫН
(Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск),
канд. техн. наук, доц. Л.Е. СЕРГЕЕВ

(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск),
канд. техн. наук, доц. А.П. РАКОМСИН, канд. техн. наук, доц. М.И. СИДОРЕНКО, А.В. БАЗЕЛЕВ
(РУП «Минский автомобильный завод»)

Разработан универсальный тип одинарного внутреннего полюсного наконечника для магнитно-абразивной обработки отверстий деталей машин независимо от их диаметров при обеспечении требуемых характеристик обрабатываемых поверхностей.

Введение. Обработка внутренних поверхностей в машиностроении является более сложной технологической задачей, чем наружных. Это связано с рядом причин, и примером может служить тот факт, что согласно ISO в большом количестве посадок качество точности отверстия имеет более низкий показатель (H7/k6, H8/h7 и т.д.). Известно, что необходимость получения требуемых критериев надежности и долговечности деталей машин достигается также и использованием новых высокоэффективных методов механической обработки этих деталей. Существующий ряд финишных операций как часть общего ряда операций механической обработки предполагает применение режущего инструмента в виде упруго-пластической среды (шлифовальный круг, суспензии, пасты). Разница между этими видами инструмента состоит в степени закрепления абразивных зерен в его связке. Магнитно-абразивная обработка (МАО) по данному критерию занимает промежуточное место между твердой связкой зерен (шлифование) и подвижной (полирование). Наличие отличных по значению показателей закрепления этих зерен приводят, соответственно, согласно принципу обратной связи к разнице физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей, образующих контактную пару. Рост надежности и долговечности функционирования этой пары является одной из самых главных задач, которые стоят перед технологией машиностроения.

Постановка задачи исследования. Исходя из условий работы пары и механизма в целом, следует разрабатывать маршрут механической обработки, предусматривая также и комплекс новых технологических решений. Одним из таких примеров ответственной контактной пары является опора качения в виде подшипникового узла. Вместе с тем уровень ответственности как узла, так и самой машины достаточно отличен в зависимости от ее назначения. Опора качения отдельных машин, используемых в определенных видах промышленности, должна иметь не только более высокий уровень показателей качества, но и увеличенный набор этих показателей, подлежащих контролю и регистрации путем их измерения на необходимом оборудовании. Например, одним из таких показателей является наличие остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое деталей, получение которых связано с определенной технической проблемой. В первую очередь это вызвано комплексом температурно-деформационных процессов, происходящих в зоне отделения стружки от основного объема материала. Примером решения этой задачи служит использование МАО как финишной операции [1]. Среди ее положительных сторон следует отметить, во-первых, развитие в зоне обработки температурного градиента, не превышающего 50...70 °С, во-вторых, давление инструмента в этой же зоне находится в пределах 0,1 ...2 МПа [2], что исключает, в отличие от воздействия шлифовального круга, образование растягивающих напряжений как будущего очага питтинга. Кроме того, выглаженный микрорельеф шероховатости поверхностного слоя обеспечивает большую контактную прочность соединения контактной пары.

Решение данной проблемы заключается в создании универсального типа этого наконечника, базирующегося на принципах общих законов электромагнетизма. При магнитно-абразивной обработке отверстий используется ряд схем, однако наиболее эффективной является та, при которой применяются одинарные внутренние полюсные наконечники. Однако всякий раз ввиду различия диаметров отверстия возникает необходимость в разработке новой конструкции этого наконечника, что резко увеличивает расходную часть себестоимости выпуска продукции [3]. Поэтому при некоторых допущениях, существенно не влияющих на разработку этого типа наконечника, отметим следующее:

- магнитная индукция остается приблизительно постоянной от поверхности детали до определенной глубины и спадает к нулю по превышению этой глубины;

- плотность тока уменьшается на том же участке линейно и становится равной нулю на глубине, где исчезает магнитная индукция;
- предлагается методика расчета конструкции универсального типа внутреннего полюсного наконечника для магнитно-абразивной обработки отверстий независимо от их диаметральных размеров.

Методика проведения эксперимента и используемое оборудование. Поскольку при магнитно-абразивной обработке величиной, определяющей давление инструмента, является магнитная индукция, то главной задачей при конструировании внутреннего полюсного наконечника электромагнитной системы (ЭМС) служит максимализация учета и эффективности ее действия. Поэтому методика определения оптимальных размеров внутреннего полюсного наконечника построена на конформном отображении профиля данного наконечника на окружность, электростатическое поле которой известно. Если будет установлено электростатическое распределение зарядов вдоль контура, то тем самым будет получено распределение плотности тока. Выявлено, что поле вне проводника потенциально и является одним и тем же как в случае покоя, так и в случае движения зарядов в осевом направлении. Кроме того, известно, что плотность тока тем больше, чем меньше радиус кривизны в рассматриваемом месте.

На основании данного расчета были изготовлены внутренние полюсные наконечники для магнитно-абразивной обработки отверстий внутренних обойм роликовых радиальных сферических двухрядных подшипников № 3612 и 3622, диаметры посадочного отверстия которых составляют 60 и 80 мм соответственно. В качестве оборудования применяется станок ЭУ-6 производства ФТИ НАН Беларуси. Ферроабразивный порошок - Ж15КТ ТУ 6-09-03-483-81, размер зерна 100/160 мкм. Смазочно-охлаждающие технологические средства - СинМА-1 ТУ38.5901176-91, 3 % водный раствор, капельная подача, удельный расход 150...200 мл/мин.

Параметры и режимы магнитно-абразивной обработки: величина магнитной индукции ($B = 1,1$ Тл); скорость резания ($V_p = 2...4$ м/с); скорость осцилляции ($V_0 = 0,2...0,25$ м/с); амплитуда осцилляции ($A = 1...3$ мм); коэффициент заполнения рабочего зазора ($K_z = 1$ мм); величина рабочего зазора ($S = 1$ мм); исходная шероховатость поверхности ($Ra_1 = 1,6...2,2$ мкм); время обработки ($t = 60...120$ с).

Выходными показателями служили достигаемая шероховатость поверхности, Ra_2 , мкм; величина размерного съема мкм; величина остаточных сжимающих напряжений, МПа. Для их определения использовалось следующее оборудование: профилограф-профиломер «252-Калибр»; микроскоп «БМИ-1»; прибор «УРС-50И» при учете смещения рентгеновской линии (211); магнитная индукция в рабочем зазоре измерялась тесламетром Т-3.

Результаты эксперимента и его обсуждение. Решение главной задачи при магнитно-абразивной обработке отверстий заключается в концентрации магнитного потока, поскольку он представляет собой величину постоянную $\Phi = \int Bds$ [4]. Реализация этого решения производится путем уменьшения геометрических размеров проводника магнитного потока, т.е. внутреннего полюсного наконечника, но теперь проблемой становится то, какой должна быть его конфигурация. Ответом на данный вопрос и является распределение плотности тока вдоль контура сечения этого наконечника, на основании чего и следует производить его конструирование и изготовление.

Методика расчета выглядит следующим образом: допустим, что находим поле в плоскости для кривой контура сечения, заданного соотношением $z = x + jy$ для кривой контура сечения, заданного соотношением $F(x:y) = 0$. Если известна функция $w = f(z)$, конформно отображающая указанный контур (в нашем случае эллипс) на кривую $F(x:y) = 0$ в плоскости z , то, продифференцировав по z , получаем поле индукции этого контура в комплексной форме:

$$V = \frac{I\sqrt{2}}{2\pi a} \ln f(z) + C, \tag{1}$$

где I – сила тока, A ; a – глубина проникновения тока и магнитной индукции, мм.

Выберем эллипс на плоскости согласно рис. 1.

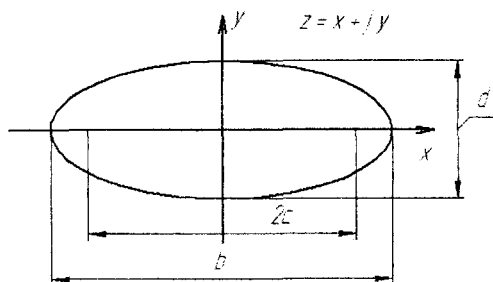


Рис. 1. Схема для определения геометрических размеров внутреннего полюсного наконечника

Линия контура задана уравнением

$$\left(\frac{2y}{d}\right)^2 + \left(\frac{2x}{b}\right)^2 = 1. \quad (2)$$

Расстояние между фокусами

$$2c = \sqrt{b^2 - d^2}.$$

Функция

$$w = f(z) = \frac{z}{c} + \sqrt{\left(\frac{z}{c}\right)^2 - 1}$$

отображает пространство вне окружности на пространство вне эллипса в плоскости z . Подставим $f(z)$ в формулу (1) и продифференцируем.

Получим

$$-\frac{dv}{dz} = \frac{I\sqrt{2}}{2\pi a} \frac{1}{\sqrt{z^2 - c^2}}.$$

Подставим вместо z выражение $x + jy$, причем y возьмем согласно формуле (2). Тогда после расчета получим

$$\sigma_0 = \left| \frac{dv}{dz} \right| = \frac{I\sqrt{2}}{\pi ab} \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{2x}{b}\right)^2\right] \left[1 - \left(\frac{d}{b}\right)^2\right]}},$$

где l – распределение плотности тока вдоль контура.

Максимальная плотность тока на концах большой оси $x = \pm \frac{d}{b}$:

$$\sigma_{0_{max}} = \frac{I\sqrt{2}}{\pi ad}.$$

Минимальная плотность тока на концах малой оси $x = 0$:

$$\sigma_{0_{min}} = \frac{I\sqrt{2}}{\pi ab}.$$

Отсюда

$$\frac{\sigma_{0_{max}}}{\sigma_{0_{min}}} = \frac{b}{d}.$$

Следовательно, если $\frac{b}{d} = 1$, т.е. для окружности, то $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} = 1$, магнитная индукция равномерно рас-

пределена вдоль ее контура и представляет величину относительно небольшую (0,1...0,4 Тл), особенно для диаметров более 60 мм, как это было установлено при помощи измерений тесламетром Т-3 при силе тока, подаваемого на катушки соленоидов ЭМС, равного 5А.

Ввиду того, что для производительного протекания МАО требуется величина магнитной индукции, составляющая диапазон 0,8...1,2 Тл, то на основе прямой связи $\sigma \rightarrow I \rightarrow B$ можно установить ее распределение вдоль контура одинарного внутреннего полюсного наконечника. Были проведены сравнительные исследования для данной схемы магнитно-абразивной обработки путем измерений магнитной индукции в зонах I и III обойм подшипников обоих типов, рис. 2.

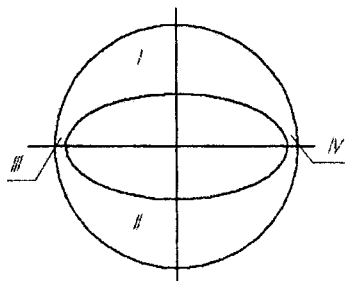


Рис. 2. Схема для проведения измерений магнитной индукции в рабочем зазоре

Результаты этих исследований представлены в таблице

Показатели качества подшипников после магнитно-абразивной обработки при различных типах внутреннего полюсного наконечника

Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	b/d	Достижимая шероховатость поверхности, Ra ₂ , мкм	Величина размерного съема, мкм	Величина остаточных сжимающих напряжений, МПа	Показатели магнитной индукции, В, Тл	
					Зона I	Зона II
60	2,32	0,1...0,28	45...60	970	0,1	1,0
	1,45	0,77...0,92	10...15	610	0,25	0,7
110	2,16	0,16...0,3	35...55	890	0,15	0,95
	1,35	0,8...0,97	5...10	560	0,2	0,6

Анализ результатов показывает, что, как и предполагалось в соответствии с теоретическими положениями, большее значение величины магнитной индукции находится именно в тех зонах, где радиус кривизны меньше.

На базе этих положений и проведенных измерений была осуществлена обработка методом магнитно-абразивной обработки отверстий обойм данных подшипников при использовании универсального типа внутреннего наконечника. С целью выявления технологических возможностей этого типа наконечника были изготовлены его различные виды с отличными друг от друга показателями b/d:

$$\text{- для диаметра 60 мм} \text{---} \frac{58 \text{ мм}}{25 \text{ мм}} = 2,32 \text{ и } \frac{58 \text{ мм}}{40 \text{ мм}} = 1,45 ;$$

$$\text{- диаметра 110 мм} \text{---} \frac{108 \text{ мм}}{50 \text{ мм}} = 2,16 \text{ и } \frac{108 \text{ мм}}{80 \text{ мм}} = 1,35.$$

Результаты этих испытаний представлены в таблице показателей качества подшипников после магнитно-абразивной обработки при различных типах внутреннего полюсного наконечника.

Заключение

В результате выполненных исследований разработан и создан универсальный тип одинарного внутреннего полюсного наконечника для магнитно-абразивной обработки отверстий деталей машин независимо от их диаметров при обеспечении требуемых характеристик обрабатываемых поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворчевский Н.Я., Федорович Э.Н., Ящерицын П.И. Эффективность магнитно-абразивной обработки. - Мн: Навука і тэхніка, 1991. - 216 с.
2. Демиденко Е.Н. Исследование влияния давления магнитно-абразивного порошка на обрабатываемую поверхность при МАО // Современные проблемы машиноведения: Тез. докл. МНТК. - Гомель, 2004. - С. 33-34
3. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента. - Л.: Машиностроение, 1986. - 326 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. - М.: Гардарики, 2003. - 317 с.