

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

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

**Е.В. Сенчуров**, начальник отдела внедрения НТР

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

## **МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ПУАНСОНОВ С КРИВОЛИНЕЙНЫМ КОНТУРОМ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ**

**Аннотация.** В работе рассмотрена возможность магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей при использовании полюсных наконечников цилиндрической формы. Предложен способ решения задачи по определению силовой характеристики в рабочем зазоре магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей. Рассмотрен процесс магнитно-абразивной обработки пуансона, имеющего криволинейный контур рабочей части.

Растущие требования к повышению производительности, точности и качеству обработки сложнопрофильных поверхностей приводят к созданию новых высокоэффективных способов механической, в том числе и финишной обработки. В условиях высокой конкуренции необходима своевременная и быстрая подготовка производства к выпуску нового изделия. Применение систем с изменяющимися элементами режущего инструмента для сложнопрофильных деталей позволяет сократить сроки настройки оборудования на выпуск новой номенклатуры сложнопрофильных деталей. Также процесс обработки сложнопрофильных деталей характеризуется повышенным динамическим воздействием со стороны сил инерции, представляющих собой противодействие материальной точки изменению ее скорости из-за необходимости варьирования скоростями подач по координатным осям ввиду изменения припуска вдоль обрабатываемого контура детали [1].

Одним из путей решения данной проблемы является применение подвижно скоординированного инструмента, характерного для магнитно-абразивной обработки (МАО) [2–4]. Особенностью этого метода служит использование электромагнитного поля (ЭМП) для образования ферроабразивной «щетки», отличающейся способностью ориентированного резания различных материалов.

Однако проблемой для реализации процесса МАО сложнопрофильных поверхностей является необходимость создания равных величин давления рабочей технологической среды (РТС) на различных участках обрабатываемой поверхности, отличающихся формой и геометрическими

размерами. Силовой характеристикой для МАО в условиях ЭМП служит напряженность  $H$ , поэтому возникает необходимость установления ее величин в каждой точке топологического пространства зоны обработки, что обеспечивает управление обрабатываемостью различными видами сложнопрофильных поверхностей.

Предложен ряд методов определения напряженности ЭМП для различного рода деталей, например, сплошных цилиндрических, полых и т. д., в результате использования которых выявляется величина напряженности на поверхности детали, но всякий раз эта величина зависит от напряженности внешнего по отношению к зоне обработки поля [5, 6].

Возникает необходимость в установлении значений напряженности внешнего поля, знание величины которой обеспечивает ее определение в зоне обработки в каждой точке поля. Известно, что в пределах областей с распределением тока магнитное поле описывается через векторный потенциал при учете его равномерной плотности по поперечному сечению магнитопровода уравнением Пуассона [5]:

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = -\mu\mu_0 J,$$

где  $A$  – векторный потенциал;

$x, y$  – координаты;

$\mu$  – относительная магнитная индукция;

$\mu_0$  – относительная магнитная проницаемость;

$J$  – плотность тока.

Рассмотрим полюсный наконечник прямоугольного сечения с размерами  $2a$  и  $2b$  (рис. 1). Ток, проходящий через данный наконечник, равен  $I$ , его плотность  $J = I / 4ab$ , а ток, протекающий по волокну с сечением  $dx'dy'$  ( $x'$  и  $y'$  – координаты произвольного волокна полюсного

наконечника), равен  $i = \frac{I}{4ab} dx'dy'$ . Принимая во внимание, что начало отсчета  $A$  выбирается произвольно, то его зависимость можно представить следующим образом:

$$A = \frac{\mu_0}{2\pi} i \ln r.$$

Составляющие напряженности поля  $H_x$  и  $H_y$  определяются следующим образом:

$$H_x = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\partial A}{\partial y}, \quad H_y = -\frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\partial A}{\partial x}.$$

Согласно рисунку 1, путем введения расстояния  $r_1, r_2, r_3$  и  $r_4$  от рассматриваемой точки поля до вершин углов прямоугольного полюсного наконечника  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$  и  $\Theta_4$ , которые получены при пересечении линий, проведенных в вершины углов, составляющие напряженности поля равны

$$H_x = \frac{I}{8\pi ab} [(y+b)(\Theta_1 - \Theta_2) - (y-b)(\Theta_3 - \Theta_4) + (x+a) \ln \frac{r_2}{r_3} - (x-a) \ln \frac{r_1}{r_4}]$$

$$H_y = \frac{I}{8\pi ab} [(x+a)(\Theta_2 - \Theta_3) - (x-a)(\Theta_1 - \Theta_4) + (y+b) \ln \frac{r_2}{r_1} - (y-b) \ln \frac{r_3}{r_4}]$$

При рассмотрении процесса МАО пуансона, имеющего криволинейный контур рабочей части, можно определить величины напряженности магнитного поля в зависимости от диаметральных и линейных размеров. В случае резкого отличия величины  $H$  в верхней и нижней точках криволинейного контура по всей длине или диаметру пуансона следует производить профилирование полюсного наконечника. В данном случае при имеющихся размерах этого пуансона профилирование полюсного наконечника не требуется, так как разница величин напряженности, следовательно, и отклонение давления в вышеуказанных

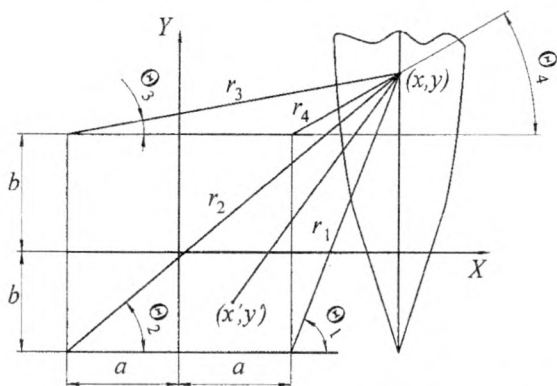


Рисунок 1 – Схема для определения напряженности внешнего магнитного поля

точках составляет не более 15 % и оно является вполне допустимым для использования данной схемы обработки.

Параметры и режимы МАО: величина магнитной индукции  $B = 0,8-1,2$  Т; скорость резания,  $V_{рез} = 0,5-2,5$  м/с; скорость перемещения,  $V_{пер} = 2,0-4,5 \times 10^{-3}$  м/с; скорость осцилляции,  $V_{осц} = 0,1-0,3$  м/с; амплитуда осцилляции  $A = 1,5-2,5$  мм, величина рабочего зазора  $\delta = 2,5$  мм; коэффициент заполнения рабочего зазора,  $K_3 = 1$ , время обработки,  $t = 30-90$  с; ФАП – Fe-TiC ТУ 88-147.002-75; СОТС – СинМА – 1 ТУ 38.5901176-91, 5 %-й водный раствор; шероховатость поверхности пуансонов до обработки –  $Ra = 1,2-1,6$  мкм; материал – Х12 ГОСТ 5950-2000 (55-58 HRC). Массовый съём материала определяется взвешиванием пуансонов на весах аналитических ВЛА-1 с точностью до 0,001 г. Изменение шероховатости поверхности пуансонов до и после обработки производилось на профилографе-профилометре мод. 252 Калибр.

На рисунке 2 представлены исследования величины съема материала пуансонов от величины магнитной индукции, амплитуды и времени обработки, а на рисунке 3 величины шероховатости поверхности от величины магнитной индукции, амплитуды, времени обработки и скоростей обработки.

Анализ графиков, изображенных на рисунке 3, показывает, что применение следующего параметра и режима МАО:  $B = 0,9$  Т; скорость резания,

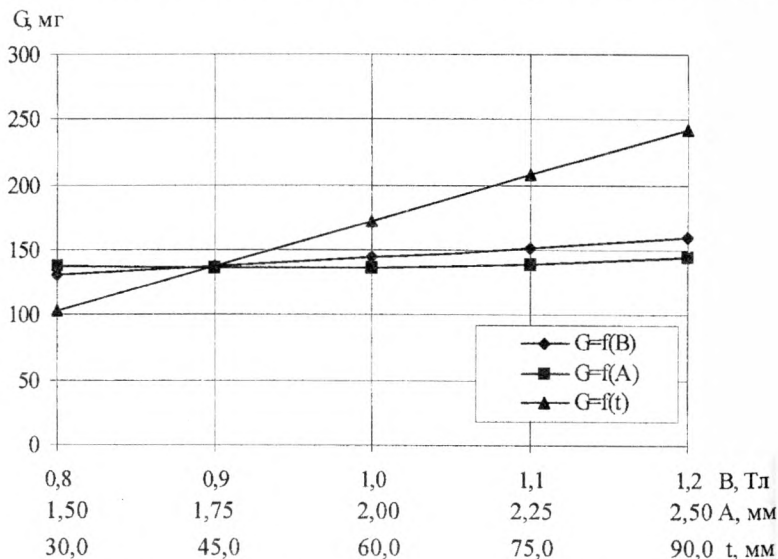


Рисунок 2 – Зависимость величины съема материала пуансонов ( $G$ ) от магнитной индукции ( $B$ ), амплитуды ( $A$ ) и времени обработки ( $t$ )

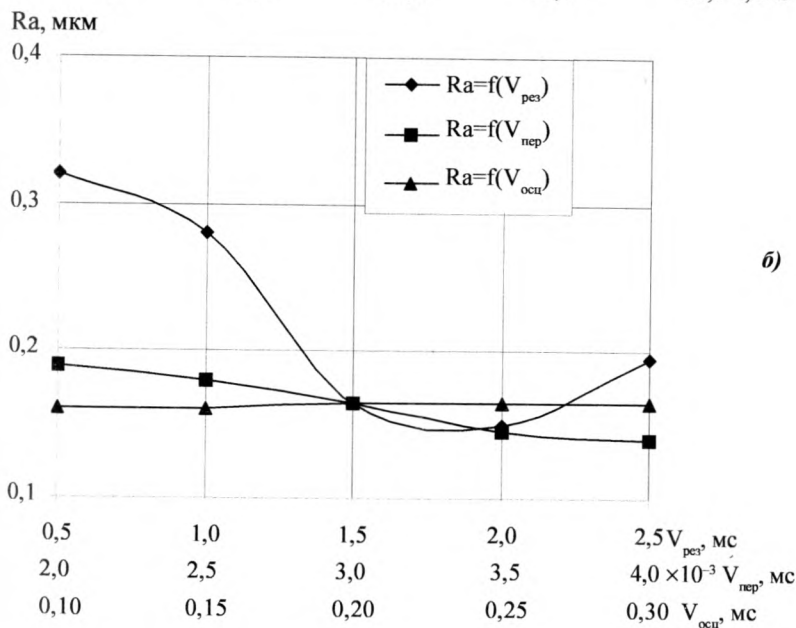
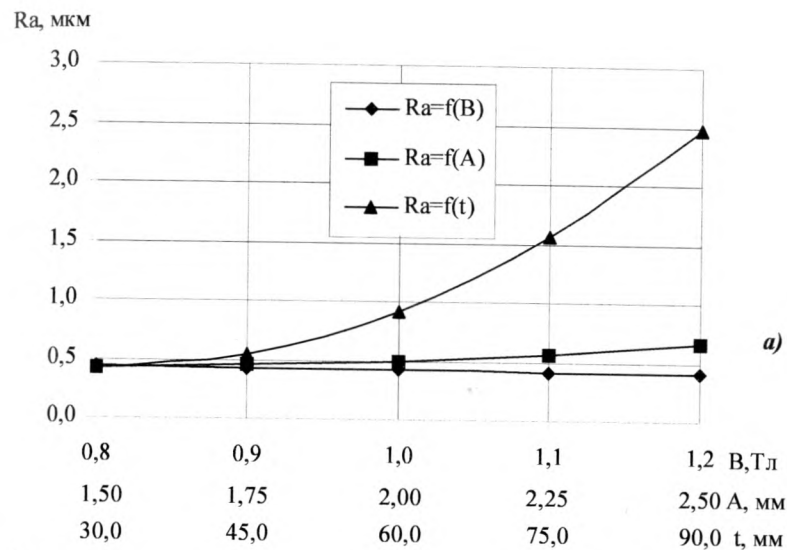


Рисунок 3 – Зависимость параметра шероховатости обработанной поверхности ( $Ra$ ) от:  
 а) магнитной индукции ( $B$ ), амплитуды ( $A$ ) и времени обработки ( $t$ );  
 б) скорости резания ( $V_{\text{рез}}$ ), переносной ( $V_{\text{пер}}$ ) и осциллирующей ( $V_{\text{осц}}$ ) скоростей

$V_{рез} = 2,0$  м/с; скорость перемещения,  $V_{пер} = 3,0 \times 10^{-3}$  м/с; скорость осцилляции,  $V_{осц} = 0,25$  м/с; амплитуда осцилляции  $A = 1,75$  мм; время обработки,  $t = 45$  с обеспечивает получение наилучших показателей шероховатости и съема материала пуансона.

Полученное в работе аналитическое решение задачи по нахождению силовой характеристики магнитно-абразивной обработки через напряженность магнитного поля позволяет прогнозировать возможность обработки сложнопрофильных поверхностей с использованием непрофилированных полюсных наконечников без потери выходных показателей процесса.

#### *Список использованных источников*

1. Радзевич, С.П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории / С.П. Радзевич. – Киев: Растан, 2001. – 592 с.

2. Акулович, Л.М. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки деталей различного профиля / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2013. – 346 с.

3. Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.

4. Baron, Yu. New Tendencies in Finishing Technologies / Yu. Baron, A. Babichev, A. Baboshkin, Z. Kremen, E. Repnikova // Proceedings of 2nd Asia-Pacific Forum on Precision Surfaces and Deburring Technology, Seoul, Korea, 22-24 July 2002. – Vol. 2. – P. 54–64.

5. Куликовский, А.Г. Магнитная гидродинамика / А.Г. Куликовский, Г.А. Любимов. – М.: Логос, 2005. – 326 с.

6. Евдокимов, Ф.Е. Теоретические основы электротехники / Ф.Е. Евдокимов. – М.: АCADEMIA, 2004. – 560 с.

*Поступила 25.03.2014*