

## ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

А.М. Иконников, С.Л. Леонов, В.С. Силивакин, Е.Ю. Татаркин

*Предложена геометрическая модель взаимодействия абразивной частицы с обрабатываемой поверхностью при магнитно-абразивной обработке. Произведено теоретическое исследование съема металла. Получены зависимости для определения съема металла и максимальной глубины внедрения частицы.*

*Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, единичное взаимодействие, съем металла.*

Возрастающие требования к качеству выпускаемых изделий вызывают потребность в совершенствовании существующих и создании новых технологий отделочной обработки абразивом на гибкой связке (обработка свободным абразивом уплотненным инерционными силами, струйно-ударная, виброабразивная обработка и целый ряд других видов). Наиболее производительным способом обработки абразивом на гибкой связке является магнитно-абразивная обработка (МАО). Съем металла при этом производится режущим инструментом, сформированным магнитным полем из магнитно-абразивного порошка. Режущий инструмент отличается повышенной эластичностью [1].

С помощью МАО можно не только обеспечивать низкую шероховатость и полировать разные по форме поверхности деталей, но и механизировать такие операции, как округление острых кромок и снятие заусенцев, удаление окалины и тонких оксидных пленок. На деталях при этом происходит упрочнение и увеличение твердости обрабатываемых поверхностей.

При исследовании основных закономерностей формирования обрабатываемых поверхностей абразивами одним из важнейших является вопрос теоретического моделирования процесса взаимодействия частиц абразива с поверхностью заготовки. В рассмат-

риваемой модели процесс МАО описывается следующей схемой: абразивная частица, имеющая характерный размер  $r$  (радиус описанной окружности) и движущаяся по поверхности, внедряется на глубину  $h$  в материал и снимает стружку длиной  $L_a$  (рис. 1). При расчете сделаны следующие допущения: зерна порошка имеют форму шара одного размера; рабочей зазор заполнен однородной по плотности и магнитным свойствам порошковой средой.

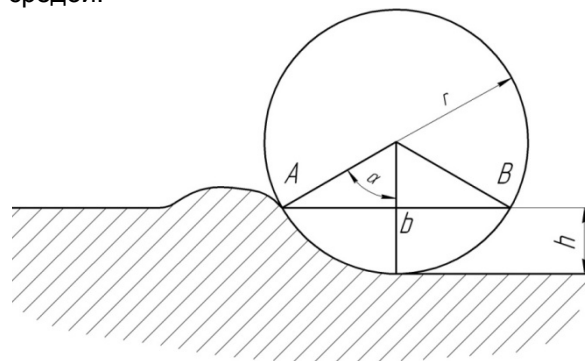


Рисунок 1 - Схема съема материала единичным зерном при МАО

На основании принятой расчетной схемы и приведенных выше допущений объем удаляемого материала

$$V_a = k_c S^* L_a = k_c \left[ r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{h(2r-h)} \right] L_a \quad (1)$$

где  $k_c$  — коэффициент стружкообразования, равный отношению фактической площади снимаемого металла с учетом упруго-

пластических деформаций обрабатываемого материала к геометрической площади.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Глубина вдавливания зерна в металл [1]

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{F_n}{\pi H_v}}, \quad (2)$$

где  $F_n$  – нормальная сила,  $H_v$  – твердость по Бринеллю.

Нормальная сила равна магнитному давлению  $P$ , умноженному на площадь поперечного сечения зерна:

$$F_n = \pi P r^2. \quad (3)$$

Длина стружки  $L_a$  в мм определяется частотой вращения индуктора  $n$  (об/мин), временем полирования  $t_{II}$  (с) и шириной зоны контакта индуктора с заготовкой. Считая, что магниты расположены по образующей индуктора, а ширина зоны контакта равна ширине полюса магнитопровода  $B$  (рис. 3), суммарная длина стружки для одного зерна определяется выражением:

$$L_a = \frac{nB}{60} t_{II}, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр индуктора (мм),  $n$  – частота его вращения (об/мин).

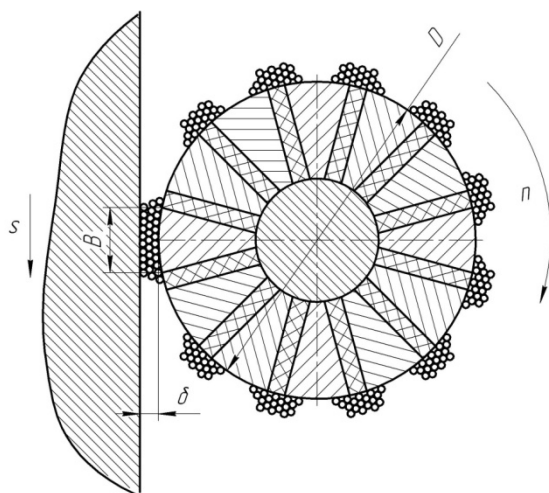


Рисунок 3 - Схема обработки заготовки

Для определения количества зерен участвующих в резании обозначим диаметр магнитно-абразивных частиц  $z_a$ , а площадь полюсов магнитопроводов –  $F_{II} = B \cdot H \cdot n_M$ , где  $n_M$  – количество магнитопроводов. Тогда коли-

чество работающих магнитно-абразивных частиц определяется по формуле:

$$N_M = \frac{4BHn_M}{\pi \cdot 3a^2}, \quad (5)$$

Считая, что к одной магнитной частице прикреплено  $n_a$  режущих абразивных частиц, получим общее количество режущих зерен:

$$N_M = \frac{4BH}{\pi \cdot 3a^2} n_a n_M, \quad (6)$$

Общий объем снимаемого материала

$$V_M = N_M \cdot V_a, \quad (7)$$

Для учета динамических явлений при обработке введем дополнительный коэффициент  $k_d$ . Он позволяет учесть деформацию в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Связано это с тем, что при обработке протяженных плоских поверхностей силы резания вызывают значительную деформацию как самого инструмента, так и магнитно-абразивного порошка. При этом съем металла снижается. Коэффициент  $k_d$  всегда меньше 1, приближаясь к ней при обработке поверхностей, существенно меньших ширины полюса магнитопровода  $B$ . Этот коэффициент зависит от значительного количества факторов. Поэтому для него предлагается эмпирическая зависимость.

С течением времени режущие свойства зерен снижаются в связи с их затуплением и разрушением. В связи с этим предлагается ввести в формулу еще один эмпирический коэффициент  $k_{II}(\tau)$ . Для учета процесса затупления используется эмпирическая зависимость

$$k_{II} = e^{-C_{II}\tau} \quad (8)$$

где  $C_{II}$  учитывает изменение режущих свойств порошка во времени;  $\tau$  – суммарное время работы порошка (с). Если, например, за время  $\tau = 120$  с режущие свойства порошка снижаются на 20%, то

$$k_{II} = 0,8 = e^{-120C_{II}}.$$

Отсюда  $C_{II} = 0,00186$ .

Тогда

$$V_M = \frac{B^2 H n k_c k_D k_I t \Pi^n a^n M}{15\pi \cdot 3a^2} \left[ r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h)\sqrt{h(2r-h)} \right] \quad (9)$$

Полученные зависимости могут использоваться при разработке имитационной модели процесса магнитно-абразивной обработки для расчета съема металла. При моделировании процесса магнитно-абразивной обработки оценивалось влияние зернистости магнитно-абразивного порошка на съем материала. зернистость порошка варьировалась от 100мкм до 350мкм. Постоянные ис-

ходные данные для моделирования: частота вращения индуктора  $n=200$  об/мин, твердость обрабатываемого материала  $Hv=250$ , диаметр индуктора  $D=200$ мм, количество полюсов 10 шт, ширина магнитопроводов  $B=10$  мм, высота магнитопроводов  $H=40$  мм, время полирования  $t_n=30$ с.

$V_M \times 10^{-5}, \text{ мм}^3$

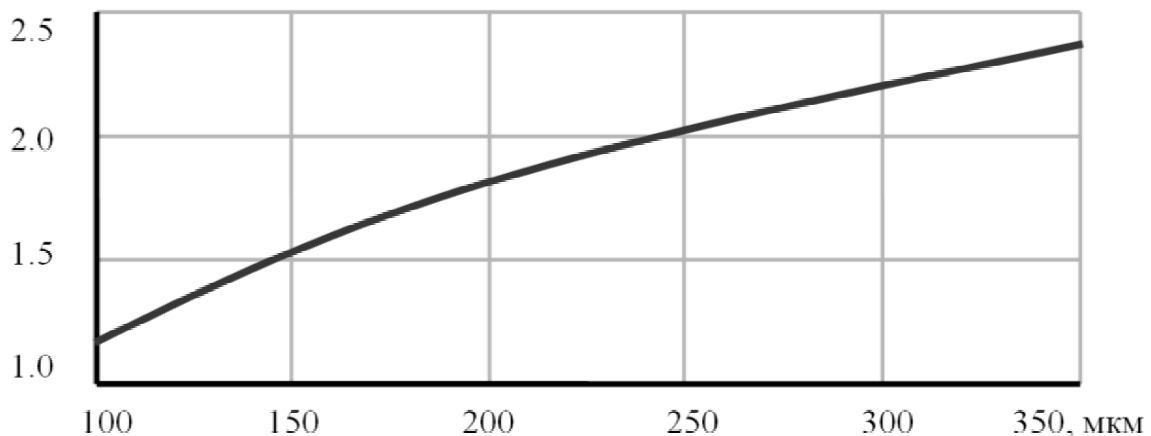


Рисунок 4 - Влияние зернистости порошка на съема металла

Полученная в ходе моделирования процесса магнитно-абразивной обработки зависимость приведена на рисунке 4 показывает, что увеличение размера зерна приводит к увеличению съема материала следовательно и производительности процесса. Однако, максимальное значение зернистости порошка ограничивается требуемой шероховатостью обрабатываемой поверхности, и целесообразно для увеличения производительности процесса магнитно-абразивной обработки применять порошок нескольких фракций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отделение, 1986.-176с.

2. Иконников А.М., Федоров В.А. Расчет параметров процесса магнитно-абразивной обработки поверхностей сложного профиля. "Обработка металлов", 2003 г. №4. Новосибирск, ОАО НТП и ЭИ "ОРГСТАНКИНПРОМ". С. 10-11.

**Иконников А. М.** – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» АлтГТУ им. И.И.Ползунова, 8-906-942-80-30, iamagtu@mail.ru

**Леонов С. Л.** – д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» АлтГТУ им. И.И.Ползунова, iamagtu@mail.ru

**Силивакин В. С.** – аспирант кафедры «Технология машиностроения» АлтГТУ им. И.И.Ползунова, iamagtu@mail.ru

**Татаркин Е. Ю.** - д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» АлтГТУ им. И.И.Ползунова, iamagtu@mail.ru