

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗМЕНЕНИЕМ УГЛА НАКЛОНА ЧАСТИЦ ФЕРРОАБРАЗИВНОГО ПОРОШКА ПРИ ОРИЕНТИРОВАННОМ РЕЗАНИИ

Л.М. Акулович,

профессор каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

А.А. Тиунчик,

зав. каф. высшей математики БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

О.Н. Ворошуха,

ассистент каф. технологии металлов БГАТУ

Показано, что для интенсификации съема металла при магнитно-абразивной обработке целесообразно в процессе резания осуществлять ориентацию оси частиц ферроабразивного порошка относительно обрабатываемой поверхности под углом менее 90°. Экспериментально установлено, что с образованием ферроабразивной щетки происходит перераспределение магнитного потока по сечению рабочего зазора. Предложен и исследован метод интенсификации магнитно-абразивной обработки, основанный на управлении градиентом магнитной индукции с помощью дополнительного магнитного поля и формировании ферроабразивной щетки в зоне входа в рабочий зазор, что позволяет управлять углом наклона частиц ферроабразивного порошка и повысить интенсивность съема металла.

Ключевые слова: финишная обработка, рабочий зазор, ферроабразивная щетка, топография магнитного поля, ориентированное резание.

It is shown that for intensification of metal removal during magnetic- abrasive machining, it is reasonable in the cutting process to orient the axis of the ferroabrasive powder particles relative to the surface to be treated at an angle of less than 90°. It has been experimentally established that the magnetic flux is redistributed along the cross-section of the working gap with the formation of a ferroabrasive brush. A method for intensifying magnetic- abrasive machining based on controlling the magnetic induction gradient by means of an additional magnetic field and forming a ferroabrasive brush in the zone of entry into the working gap is proposed and investigated, which makes it possible to control the angle of ferroabrasive powder particles' inclination and to increase the metal removal rate.

Key words: finishing, working clearance, a ferroabrasive brush, topography of the magnetic field, oriented cutting.

Введение

Эксплуатация многих машин и механизмов при реализации производственных процессов в агропромышленном комплексе сопряжена с сезонностью их проведения и неблагоприятными климатическими условиями, что интенсифицирует процессы изнашивания сопряженных поверхностей деталей и преждевременный выход из строя узлов и деталей автотракторной и сельскохозяйственной техники [1]. К ним относятся, прежде всего, оси и шарниры почвообрабатывающих, посевных, кормоуборочных машин, механизмов копирования жаток зерноуборочных комбайнов, навесных и прицепных механизмов. Изношенные поверхности значительной части деталей могут быть восстановлены с применением современных технологий в условиях ремонтных предприятий. Технологические процессы восстановления изношенных поверхностей базируются на использовании но-

вых технологий термического упрочнения, плазменного и лазерного легирования, обеспечивающих формирование наноструктурированных поверхностных слоев высокой твердости, и отделочных методов обработки на финишных операциях. Известно [2, 3], что основные свойства поверхностей деталей формируются в процессе их изготовления или ремонта на отделочных операциях, поэтому их совершенствование является одной из актуальных задач современного машиностроительного производства.

Особую роль в обеспечении эксплуатационных характеристик поверхностей играют процессы формирования ее топографии в процессе финишной обработки. Так, величина и форма микронеровностей на рабочих поверхностях деталей оказывает существенное влияние на износостойкость трущихся поверхностей. Уменьшение микронеровностей обеспечивает более благоприятный микропрофиль, облегчающий трение и снижающий износ сопрягаемых поверхно-

стей. Среди существующих методов финишной обработки деталей машин можно выделить обработку лезвийными инструментами, связанным и свободным абразивом, и методы, основанные на пластическом деформировании поверхностного слоя. Однако в производстве доминирующим отделочным методом является абразивная обработка, которая нередко является единственно возможным методом обеспечения требуемого качества поверхности. Наиболее технологичной является абразивная обработка, основанная на использовании эластичной связки. К одному из перспективных способов финишной обработки эластичным инструментом относится магнитно-абразивная обработка (МАО). Особенностью способа является ориентированное абразивное резание. При обработке в магнитном поле переориентация абразивных частиц порошка осуществляется перпендикулярно наиболее острой кромкой к обрабатываемой поверхности с помощью энергии магнитного поля, которая позволяет изменять давление частиц ферроабразивного порошка (ФАП) на обрабатываемую поверхность заготовки. Для реализации МАО не требуется изготавливать профилирующий абразивный инструмент, а также периодически его править, что в 2...3 раза снижает затраты на инструмент. МАО обеспечивает шероховатость поверхности по параметру $Ra = 0,01...0,4$ мкм, снижение температуры резания, по сравнению с тра-

диционными методами абразивной обработки, что способствует формированию новых показателей качества поверхности и структуры поверхностного слоя.

Цель настоящей работы – интенсификация процесса магнитно-абразивной обработки.

Основная часть

Теоретический расчет сил резания возможен при условии приведения формы частиц ФАП к правильной геометрической форме. На величину сил резания основное влияние оказывает форма частиц ФАП. В работах [4, 5] авторы принимают форму частиц ФАП в виде сферы. Анализ морфологии порошков (рис. 1), полученной с использованием растровой электронной микроскопии, показывает, что частицы ФАП имеют весьма разнообразную форму, приближающуюся к овальной, эллиптической, веретенообразной, пластинчатой. В качестве обобщенной модели частиц указанных форм целесообразно принять трехосный эллипсоид, на поверхности которого расположены микрочастицы абразивной составляющей (рис. 2). При классической схеме МАО передний угол γ режущих элементов ФАП имеет отрицательные значения.

При выборе обобщенной модели формы частицы ФАП были введены следующие допущения:

- 1) частица ФАП представляет собой трехосный

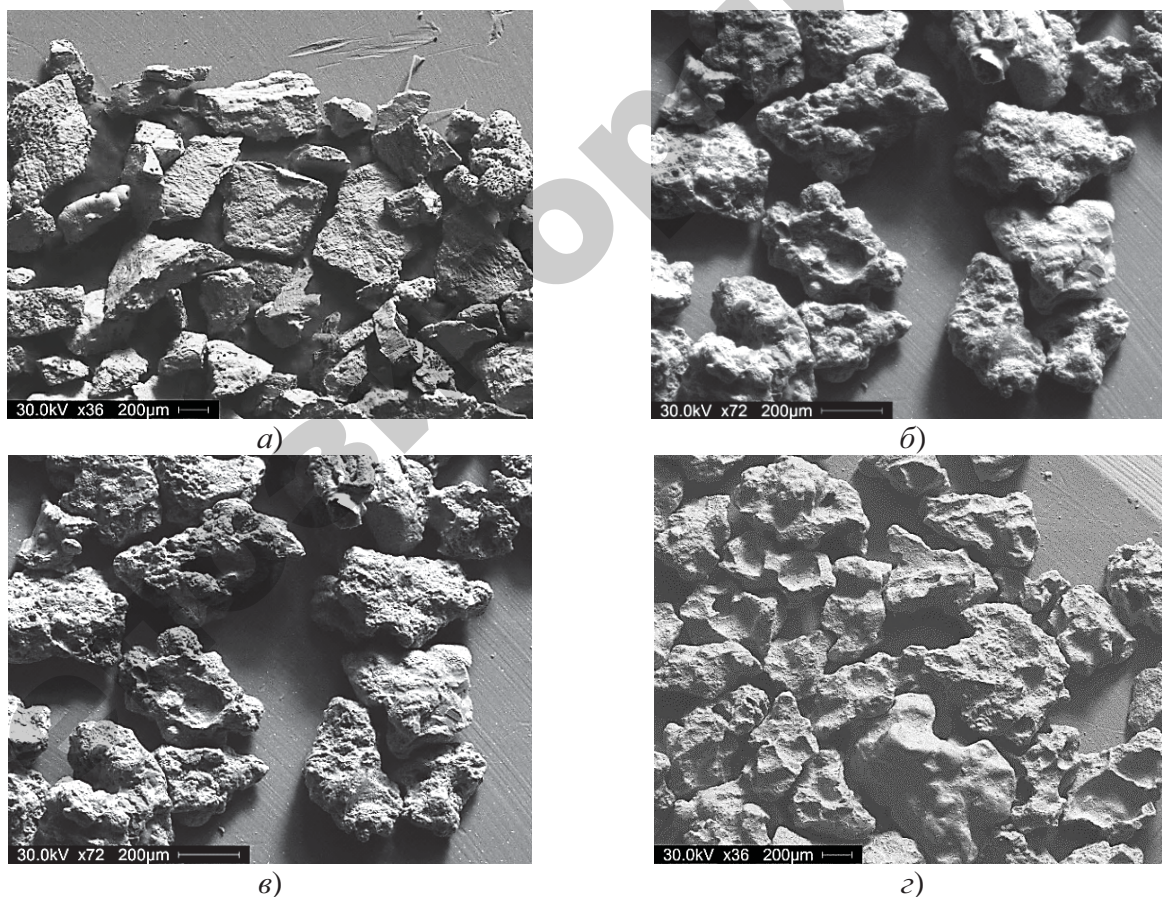


Рис. 1. Фотографии частиц ферроабразивных порошков (растровая электронная микроскопия):
а) Fe-W2B5 x36; б) FeTiC x72; в) Fe(Al₂O₃+TiC) x72; г) Ж15КТ x36

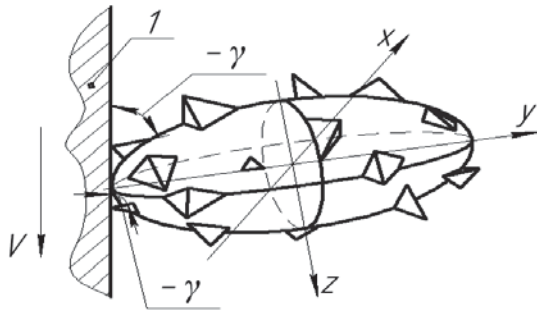


Рис. 2. Модель частицы ФАП в процессе МАО:
1 – обрабатываемая поверхность

эллипсоид и задана уравнением

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1, \quad (1)$$

где a – малая полуось эллипсоида, мм;
 b – большая полуось эллипсоида, мм;
 c – средняя полуось эллипсоида, мм;

2) зависимость величины полуосей трехосного эллипсоида от размера частиц ФАП задана выражением

$$c = (a + b) / 2. \quad (2)$$

Рассмотрим процесс формирования контура режущего инструмента при МАО из частиц ФАП.

При подаче ФАП в рабочий зазор, его частицы, смещаясь относительно друг друга, выстраиваются в цепочки, замыкая пространство между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником электромагнита. Каждая из частиц, попадая в магнитное поле рабочего зазора, испытывает действие вращающего момента

$$M = P_m H \sin \varphi, \quad (3)$$

где P_m – магнитный момент частицы;

H – напряженность магнитного поля;

φ – угол между направлением магнитных сило-

вых линий и наибольшей осью частицы.

Под действием этого момента частицы уже на входе в рабочий зазор ориентируются наибольшей осью вдоль силовых линий магнитного поля и выстраиваются в цепочки (рис. 3). При вращении заготовки со скоростью V (рис. 3а) цепочка движется вместе с ней, занимая последовательно положения 1; 2; 3, пока не достигнет границы выхода из рабочего зазора. Там цепочка, закрепившись на кромке полюса (рис. 3а, полож. 4), начинает совершать колебательные движения под действием ослабленных сил трения с заготовкой и тангенциальных сил, стремящихся вернуть цепочку в рабочий зазор. Если постепенно увеличивать число цепочек частиц ФАП, они проделывают тот же путь, уплотняясь у выхода из рабочего зазора и мешая друг другу совершать там колебательные движения [6]. Согласно «краевому эффекту», магнитный поток в рабочем зазоре концентрируется на ребрах полюсных наконечников, а в средней части формирующей рабочей поверхности магнитный поток ослабевает. Таким образом, из порции ФАП, поданной сверху в рабочий зазор, под действием сил трения, возникающих между частицами ФАП и обрабатываемой поверхностью, формируется рабочий инструмент в виде ферроабразивной щетки в зонах 2 и 4 (рис. 3б).

При этом частицы ФАП, контактирующие абразивной составляющей с обрабатываемой поверхностью, разворачиваются средней осью перпендикулярно к обрабатываемой поверхности детали (рис. 2).

В результате все большее уплотнения ферроабразивной щетки, в зонах 2 и 4 наблюдается изменение топографии магнитного поля (рис. 4), частицы ФАП устанавливаются в положение, при котором углы резания являются отрицательными (рис. 2). При отрицательных углах резания по мере затупления режущих кромок частиц ФАП процесс микрорезания ухудшается и переходит в процесс выглаживания, что снижает производительность обработки.

Для уменьшения угла резания частицами ФАП

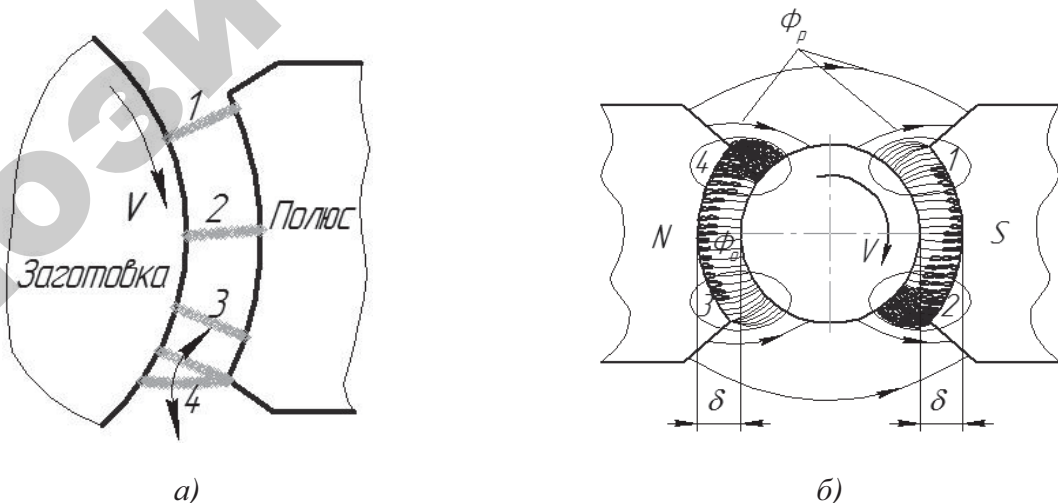


Рис. 3. Схемы движения единичной цепочки частиц ФАП в воздушном зазоре концентричной формы (а); формирования режущего инструмента при МАО (б): Φ_0 – основной магнитный поток, Φ_p – поток рассеивания, δ – рабочий зазор, 1-4 – зоны формирования режущего инструмента

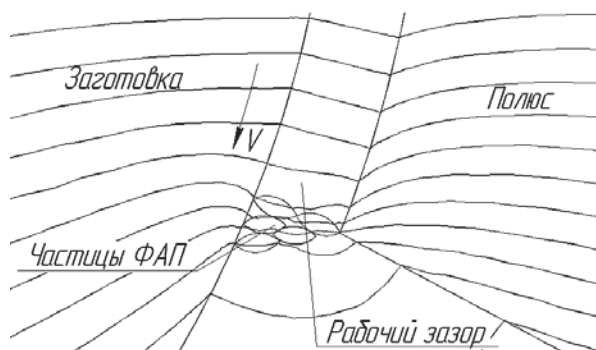


Рис. 4. Топография магнитного поля в рабочем зазоре

путем изменения направления магнитных силовых линий предложены технические решения по асимметричному расположению полюсных наконечников основного магнитного поля относительно обрабатываемой поверхности (рис. 5а), либо в промежутке между полюсными наконечниками основно-

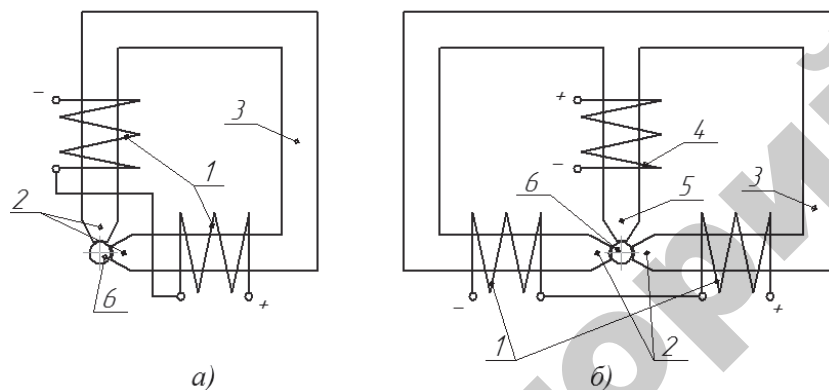


Рис. 5. Схема МАО с асимметрично расположенными полюсными наконечниками (а); схема МАО с дополнительной магнитной системой: 1, 4 – катушки электромагнитов; 2, 5 – полюсные наконечники; 3 – магнитопровод; 6 – заготовка

нитного поля необходимо устанавливать источник дополнительного магнитного поля (рис. 5 б).

Применение асимметрично расположенных полюсных наконечников позволяет при МАО получить две зоны, в одной из которых будет происходить процесс микрорезания, а в другой – выглаживания (рис. 6а).

Схема МАО с источником дополнительного магнитного поля аналогично изменяет топографию магнитного поля в рабочем зазоре (рис. 6б), при которой происходит концентрация магнитных силовых линий в зоне входа в рабочий зазор, создавая условия изменения в ней градиента магнитной индукции. Вместе с тем источник дополнительного магнитного поля можно использовать как источник импульсного магнитного поля для регенерации режущего контура ферроабразивной щетки.

Изменение топографии магнитного поля в рабочем зазоре позволило получить при МАО цилиндри-

ческой поверхности положительные значения (до 5°) переднего угла режущих кромок ФАП (рис. 7).

Экспериментальные исследования по установлению влияния на производительность МАО измененного переднего угла режущих кромок ФАП были проведены на модернизированной установке ЭУ-6, содержащей дополнительную магнитную систему.

Условия проведения эксперимента: магнитная индукция основной магнитной системы $B_{осн} = 0,9Тл$; магнитная индукция дополнительной магнитной системы $B_{доп} = 0,5Тл$; рабочий зазор основной магнитной системы $\delta_{осн} = 1мм$; рабочий зазор дополнительной магнитной системы $\delta_{доп} = 0,5мм$; зернистость ферроабразивного порошка $FeTiC \Delta = 200-315мкм$; скорость главного движения $V = 0,9 м/с$. Образцами служили поршневые пальцы $\varnothing = 25мм$; материал – сталь 12ХН3А; твердость поверхностного слоя – 58–62 HRC. Выходные показатели: достигаемая шероховатость поверхности деталей, Ra , мкм; массовый съем металла, Q , мг. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P. Масса деталей взвешивалась на весах Massa-K BK-600 с точностью до 0,01г.

В ходе эксперимента было обработано две партии образцов по 4 шт. в каждой. Первая партия обрабатывалась без дополнительной магнитной системы, а вторая с воздействием дополнительной магнитной системы. Все образцы обрабатывались новой порцией порошка. Результаты эксперимента приведены в таблице 1 и 2.

Схема МАО с дополнительной магнитной системой сохраняет начальную производительность порции ФАП на протяжении длительного времени за счет ориентированного резания (табл. 2).

Анализ экспериментальных данных (табл. 1, 2) показывает, что производительность МАО одной порцией порошка снижается на 30...40 % после 30 секунд обработки. Одновременно со снижением производительности наблюдается и ухудшение качества обработки поверхностей (табл. 1).

Таблица 1. Результаты эксперимента

№ образца	Время обработки, т, сек	Ra до МАО, мкм	Ra после МАО, мкм	Массовый съем Q , мг
1	15	1,14	0,51	80
2	30	1,25	0,54	152
3	45	1,03	0,79	163
4	60	1,27	0,96	189

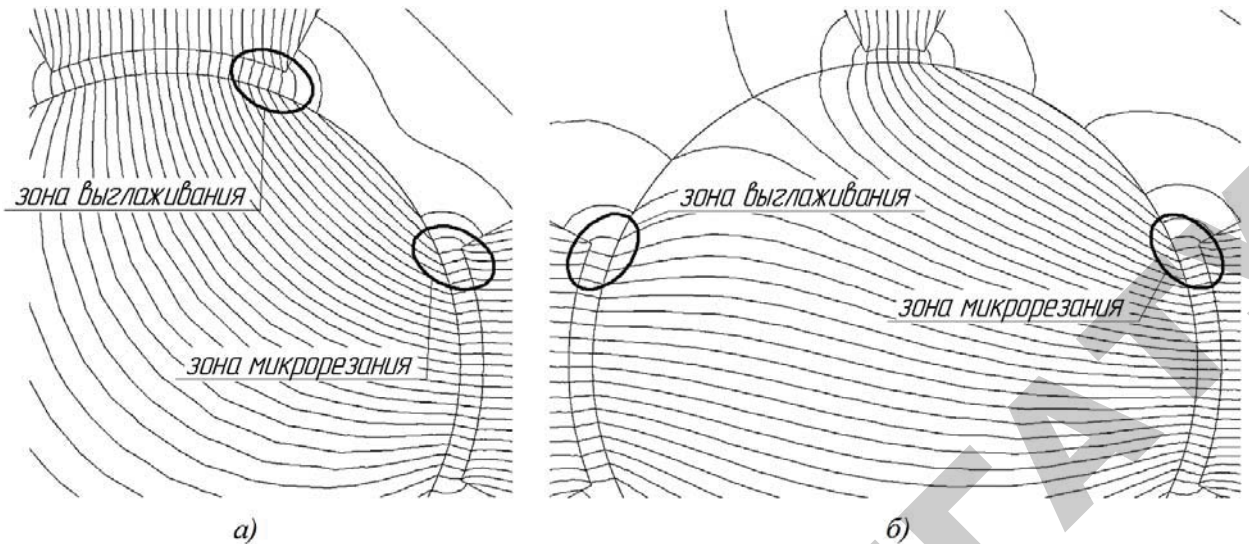


Рис. 6. Топография магнитного поля в рабочем зазоре с асимметричным расположением полюсных наконечников (а) и с дополнительной магнитной системой (б)

Таблица 2. Результаты эксперимента

№ образца	Время обработки τ , сек	Ra до MAO, мкм	Ra после MAO, мкм	Массовый съем Q , мг
1	15	1,18	0,49	91
2	30	1,30	0,32	176
3	45	1,22	0,30	348
4	60	1,25	0,31	389

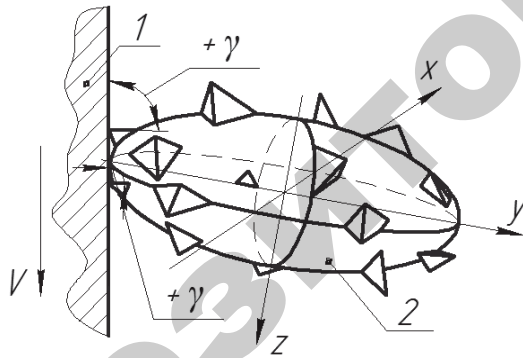


Рис. 7. Схема микрорезания единичной частицей ФАП: 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – частица ФАП

Рассмотрим силы, действующие на частицу ФАП в рабочем зазоре. На каждую из частиц порошка в неравномерном магнитном потоке действуют силы магнитного поля F_m , обусловленные градиентом магнитной индукции [6], и силы тяжести G_m .

$$F_m = \frac{1}{\mu_a} V B \text{grad} B, \quad (4)$$

где V – объем ФМП, м³;
 μ_a – магнитная проницаемость материала порошка, Гн/м;

B – магнитная индукция в точке зазора, где расположена частица, Тл;

$\text{grad} B$ – вектор градиента магнитной индукции в рассматриваемой точке рабочего зазора.

$$G_\tau = V \cdot \rho \cdot g, \quad (5)$$

где ρ – плотность материала порошка, МПа;
 g – ускорение свободного падения, м/с² (Н/кг).

Анализ действующих на частицу ФАП сил магнитного поля показывает, что на входе в рабочий зазор и выходе из него равнодействующая сил направлена в сторону «втягивания» ферроабразивных частиц в пространство рабочего зазора (рис. 8).

При эквидистантном профиле полюсного наконечника электромагнита относительно обрабатываемой поверхности расположение частиц ФАП на входе в рабочий зазор и выходе из него будет равновероятным. Сила тяжести способствует перемещению частиц в нижнюю зону рабочего зазора.

Сопоставим величины сил, действующих на ча-

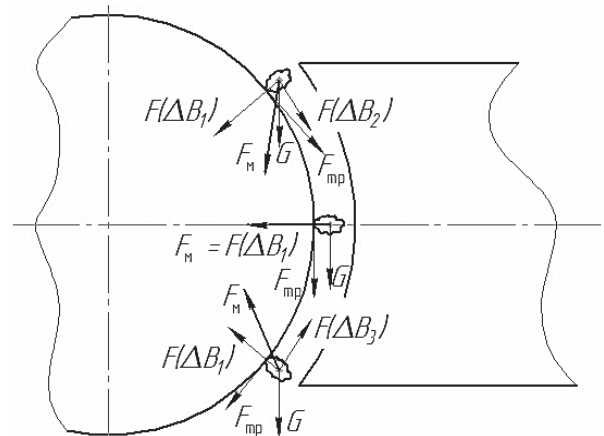


Рис. 8. Схема сил, действующих на частицы ФАП

стицу ФАП. Для частицы ФАП, имеющей форму трехосного эллипсоида с размерами осей 0,25 x 0,15 x x 0,10 (мм), сила тяжести $G_T = 1,06 \cdot 10^{-7}$ Н. При величине индукции магнитного поля $B = 1,2$ Тл на такую частицу будет действовать сила магнитного поля [6] $F_M = (2-10) \cdot 10^{-4}$ Н. Сравнение величин силы магнитного поля и силы тяжести показывает, что силой тяжести частицы в дальнейшем можно пренебречь.

Рассмотрим общую схему резания единичной частицей ФАП, расположение которой относительно обрабатываемой поверхности показано на рисунке 9.

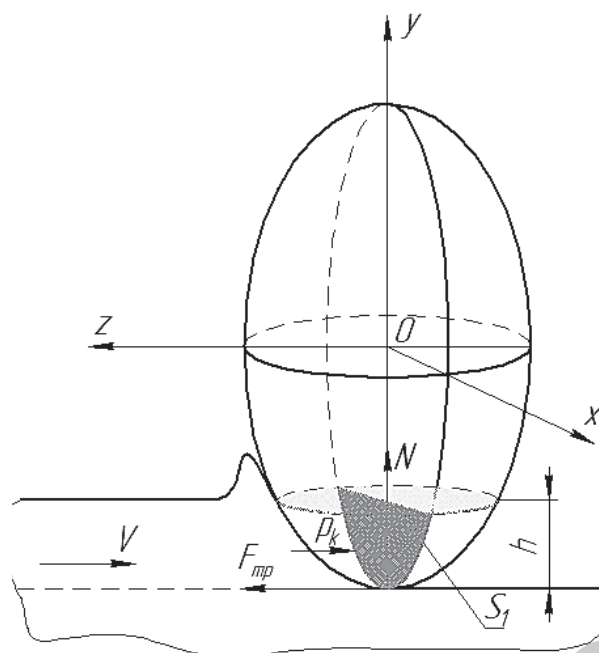


Рис. 9. Схема резания единичной частицей ФАП при МАО

На частицу действуют следующие силы:

- сила реакции обрабатываемой поверхности N , равная величине силе F_M ;
- сила трения $F_{тр}$ между частицей и обрабатываемой поверхностью, которая задается соотношением:

$$F_{тр} = \mu N, \quad (6)$$

где μ – коэффициент трения на поверхности контакта;

– суммарное нормальное давление по контактной поверхности p_k , действующее на площадь, находящуюся в нормальном сечении частицы и заключенную между пятном контакта частицы с обрабатываемой поверхностью и плоскостью, определяющей величину снимаемого слоя h единичной частицей ФАП в данный момент времени.

В отношении параметров, действующих на единичную частицу, сделаны следующие допущения:

1. Распределение напряжений по поверхности частицы в зоне резания постоянно.
2. Напряжения по поверхности зоны резания пропорционально твердости обрабатываемого материала.
3. Коэффициент трения μ постоянен по всей по-

верхности контакта между частицей ФАП и заготовкой.

Таким образом, проекционные составляющие силы резания, действующие на частицу ФАП при МАО, могут быть выражены зависимостями:

$$F_{pz} = p_k S_1 + F_{тр}, \quad (7)$$

$$F_{py} = N = F_M, \quad (8)$$

где S_1 – величина площади сечения, на которое действует суммарное напряжение по контактной поверхности, мкм².

Величина площади сечения может быть рассчитана по формуле

$$S_1 = \int_{-b}^{-b+h} dy \int_{-a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}}^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} dx. \quad (9)$$

Для упрощения вычислений воспользуемся симметричностью эллипса относительно обеих осей:

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_{-b}^{-b+h} dy \int_{-a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}}^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} dx = 2 \int_{b-h}^b dy \int_0^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} dx = \\ &= 2 \int_{b-h}^b dy (x) \Big|_0^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}}} = 2 \int_{b-h}^b a \sqrt{1-\frac{y^2}{b^2}} dy = \\ &= 2 \int_{b-h}^b \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} dy = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\left. \begin{aligned} y &= b \sin t \\ dy &= b \cos t dt \\ y = b &\Rightarrow t = \frac{\pi}{2} \\ y = b-h &\Rightarrow t = \arcsin \frac{b-h}{b} \end{aligned} \right| = \\ &= 2 \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - b^2 \sin^2 t} b \cos t dt = \\ &= 2 \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{a}{b} b^2 \cos^2 t dt = \\ &= 2ab \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 t dt = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2ab \int_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 + \cos 2t}{2} dt = \\
 &= ab \left(t + \frac{1}{2} \sin 2t \right) \Big|_{\arcsin \frac{b-h}{b}}^{\frac{\pi}{2}} = \\
 &= ab \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b-h}{b} - \frac{1}{2} \sin \left(2 \arcsin \frac{b-h}{b} \right) \right) = \\
 &= ab \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b-h}{b} - \frac{b-h}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{b-h}{b} \right)^2} \right) = \\
 &= ab \left(\arccos \frac{b-h}{b} - \frac{b-h}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{b-h}{b} \right)^2} \right) \quad (10)
 \end{aligned}$$

Если частицу ФАП уподобить индентору, то величину h можно определить из закона Кика [7]:

$$h = \sqrt{\frac{P}{c}}, \quad (11)$$

где P – усилие внедрения, оно будет равно силе магнитного поля F_m, H ;

c – коэффициент, зависящий от угла индентора α и упругопластических свойств материала, в который вдавливаются индентор.

Размещение источника дополнительного магнитного поля (рис. 6б) изменяет направление магнитных силовых линий в зоне входа в рабочий зазор, в результате чего частицы ФАП поворачиваются на угол наклона ω , что создает условия осуществления резания микрочастицами абразивной составляющей, расположенными на боковой поверхности ФАП. Рассмотрим схему действия сил в зоне резания с изменением угла наклона (рис. 10).

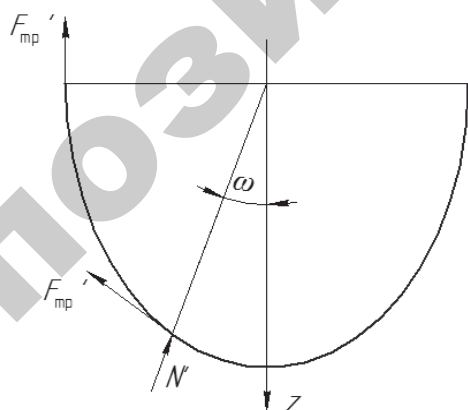


Рис. 10. Схема сил, действующих на боковую поверхность частицы ФАП:
 N' – нормальная сила реакции, действующая на частицу со стороны обрабатываемого материала; $F_{тр}'$ – сила трения

Возможные зоны контакта частицы ФАП с обрабатываемой поверхностью находятся в пределах половины периметра зоны контакта, что соответствует изменению угла ω от 90° до 0° .

Проекции сил на ось Z

$$N'_B = N' \cos \omega, \quad (12)$$

$$F_{тр}'_B = F_{тр}' \sin \omega, \quad (13)$$

Суммируя векторы N' и $F_{тр}'$ на полупериметре, с учетом изменения угла ω , получаем сумму их интегральных абсолютных значений [8]:

$$\left| \int_{90^\circ}^{0^\circ} N' \cos \omega d\omega \right| + \left| \int_{90^\circ}^{0^\circ} F_{тр}' \sin \omega d\omega \right| = N' + F_{тр}'. \quad (14)$$

Нормальные силы определены через нормальное давление, а силы трения – через касательное напряжение. В свою очередь, нормальное давление пропорционально твердости обрабатываемого материала, как показано в выражении:

$$\sigma_n \approx \beta \cdot HV, \quad (15)$$

где HV – твердость обрабатываемой поверхности по шкале Виккерса, МПа; β – константа, выражающая отношение величин σ_n и HV . Например, по литературному источнику [9] величина $\beta = 1...1,23$. Принимаем меньшее значение предела, тогда $\beta = 1$, т.е. нормальное давление на поверхности зерна равно твердости обрабатываемого материала.

Касательное напряжение выражается через нормальное напряжение и коэффициент трения по формуле:

$$P_{F_{тр}} = \mu \sigma_n. \quad (16)$$

Таким образом, с учетом выражений (8), (14), (15), составляющие силы резания, действующие на единичную частицу, могут быть описаны зависимостями:

$$F_{pz} = HV \cdot (1 + \mu) S_1 + \mu F_m, \quad (17)$$

$$F_{py} = F_m \quad (18)$$

Таким образом, составляющие силы зависят от коэффициента трения между пятном контакта частицы и обрабатываемой поверхностью, а также от твердости обрабатываемого материала и величины снимаемого слоя единичной частицей ФАП.

Заключение

Существующие методы интенсификации магнитно-абразивной обработки основаны на фокусировании магнитного поля в рабочем зазоре, динамическом воздействии на частицы ферроабразивного порошка в процессе обработки, использовании смазочно-охлаждающих технологических жидкостей с активными компонентами и не осуществляют целенаправленное изменение угла резания. Экспериментальными исследованиями топографии магнитного поля установлено, что с образованием ферроабразивной щетки происходит перераспределение магнитного потока по сечению рабочего зазора.

Анализ сил, действующих на частицы ферро-

абразивного порошка при классической схеме магнитно-абразивной обработки, позволил научно обосновать формирование ферроабразивной щетки в зоне выхода из рабочего зазора. Силы трения увлекают частицы ферроабразивного порошка в направлении вектора скорости главного движения и изменяют угол их наклона, что увеличивает угол резания и снижает интенсивность процесса обработки.

На основании моделирования топографии магнитного поля предложено формирование ферроабразивной щетки осуществлять в зоне входа в рабочий зазор путем расположения источника дополнительного магнитного поля для управления градиентом магнитной индукции, что позволяет резко изменить передний угол в сторону положительных значений (до $+5^\circ$) и повысить интенсивность съема металла на 30...40 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миклуш, В.П. Организация технического сервиса в агропромышленном комплексе: учеб. пос. / В.П. Миклуш, А.С. Сайганов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 607 с.
2. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении / В.Ф. Безъязычный [и др.]; под общ. ред. В.Ф.

Безъязычного. – М.: Машиностроение, 2007. – 538 с.

3. Финишная обработка поверхностей / С.А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С.А. Чижика и М.Л. Хейфеца. – Минск: Беларус. навука, 2017. – 377 с.

4. Сакулевич, Ф.Ю. Магнитно-абразивная обработка точных деталей / Ф.Ю. Сакулевич, Л.К. Минин, Л.А. Олендер. – Мн.: вышэйшая школа, 1977. – 287 с.

5. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын. – Мн.: Навука і тэхніка, 1991. – 215 с.

6. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущего инструментов / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 176 с.

7. Федосов, С.А. Определение механических свойств материалов микроиндентированием: Современные зарубежные методики / С.А. Федосов, Л. Пешек. – М.: МГУ, 2004. – 100 с.

8. Шавва, М. А. Анализ взаимосвязи износа круга и сил резания при алмазном шлифовании / М.А. Шавва, С.В. Грубый // Наука и Образование: электрон. журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 11. – С. 137-156.

9. Рыжов, Э.В. Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке / Э.В. Рыжов; под ред. А.А. Сагарды. – Киев: Наукова думка, 1979. – 244 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.05.2018

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход – 4-20 мА, а также интерфейс – RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25 %
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5 %
Температура контролируемого материала	от $+5$ до $+65$ °С
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1 %
Напряжение питания	220 В 50 Гц
Потребляемая мощность	30 ВА