

4. Сакулевич, Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. – Минск : Наука и техника, 1981. – 327 с.

5. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын. – Минск : Наука и техника, 1991. – 215 с.

6. Оликер, В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В. Е. Оликер. – М. : Металлургия, 1990. – 176 с.

7. Жорняк, А.Ф. Металлические порошки / А.Ф. Жорняк – М. : Металлургия, 1981. – 88 с.

8. Ничипоренко, О.С. Распыленные металлические порошки / О. С. Ничипоренко, Ю.И. Найда, А.Б. Медведовский. – Киев : Наук. думка, 1980. – 240 с.

Abstract. The composition and manufacturing technology of ferroabrasive powder for magnetic-abrasive machining of parts from copper alloys is proposed. It is established that according to the characteristics of the proposed ferroabrasive powder is not inferior to the existing ones.

УДК 621.923

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

Ворошухо О.Н., старший преподаватель

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

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ АБРАЗИВНОЙ ЩЕТКИ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация. Теоретически обосновано предпочтительное расположение абразивной щетки в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке и определены граничные условия угла наклона абразивного зерна.

Важную роль в обеспечении эксплуатационных характеристик поверхностей деталей играют процессы формирования ее

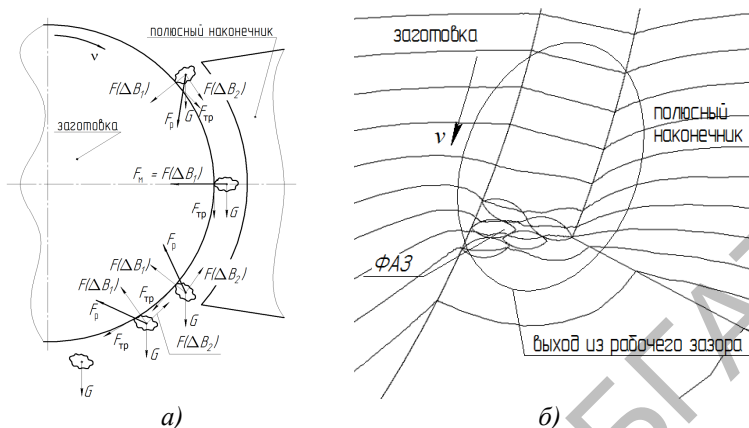
топографии на операциях финишной обработки [1]. Так, величина и форма микронеровностей на рабочих поверхностях деталей оказывает существенное влияние на износостойкость трущихся поверхностей. Уменьшение микронеровностей обеспечивает более благоприятный микропрофиль, облегчающий трение и снижающий износ сопрягаемых поверхностей. Среди существующих методов финишной обработки в производстве доминирует 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). МАО обеспечивает шероховатость поверхности по параметру $Ra = 0,01 \dots 0,4$ мкм, снижение температуры резания по сравнению с традиционными методами абразивной обработки, что способствует улучшению показателей качества поверхности.

Особенностью МАО является ориентированное абразивное резание. Под действием пандеромоторной силы ферроабразивные зерна (ФАЗ) уже на входе в рабочий зазор ориентируются наибольшей осью вдоль силовых линий магнитного поля и выстраиваются в цепочки, сохраняя начальную ориентацию.

При включении вращения заготовки, результирующая всех сил действующих на ФАЗ (рисунок 1, *а*) смещает их к выходу из рабочего зазора и удерживает там. По мере уплотнения ФАЗ на выходе из рабочего зазора, наблюдается изменение топографии магнитного поля. ФАЗ принимают положение, при котором их передние углы увеличиваются в сторону отрицательных значений (рисунок 1, *б*). При отрицательных передних углах, по мере потери режущей способности ФАЗ, процесс микрорезания переходит в процесс выхаживания, что снижает производительность обработки.

Для устранения указанного недостатка по изменению направления магнитных силовых линий предложено техническое решение, заключающееся в расположении между полюсными наконечниками основного магнитного поля источника дополнительного магнитного поля (рисунок 2, *а*) и позволяющее управлять ориентацией ФАЗ [2].

Секция 1 – Технический сервис машин и оборудования

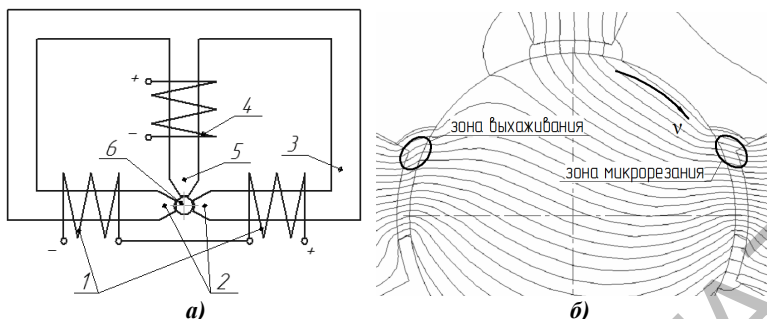


F_p – результирующая сила, действующая на зерно ФАП; $F_{тр}$ – сила трения; F_M – сила магнитного поля; $F_M(\Delta B_1)$, $F_M(\Delta B_2)$ – нормальная и тангенциальная составляющие силы магнитного поля; G – сила тяжести;
 v – скорость главного движения

Рисунок 1 – Схема сил, действующих на ферроабразивные зерна (а); топография магнитного поля в рабочем зазоре (б)

Схема МАО с источником дополнительного магнитного поля изменяет топографию магнитного поля в рабочем зазоре, при которой происходит концентрация магнитных силовых линий в зоне входа в рабочий зазор, создавая условия изменения в ней градиента магнитной индукции и формирует зону резания у входа в рабочий зазор у одного полюсного наконечника и зону выхаживания у выхода из рабочего зазора другого полюсного наконечника основной магнитной системы (рисунок 2, б).

Расположение дополнительного полюсного наконечника, под углом 90° к основному магнитопроводу, позволяет изменять величину и градиент магнитной индукции в рабочем зазоре, т. е. изменяет направление силовых линий магнитного поля основной магнитной системы. Исследование топографии магнитного поля в рабочем зазоре с использованием компьютерного моделирования позволило установить, что дополнительная магнитная система позволяет изменять угол наклона силовых линий магнитного поля ω в рабочем зазоре в диапазоне $43^\circ \dots 85^\circ$ и соответственно передний угол режущих кромок ФАП и угол резания [2].



1, 4 – катушки электромагнитов; 2, 5 – полные наконечники;
3 – магнитопровод; 6 – заготовка

Рисунок 2 – Схема МАО с дополнительной магнитной системой (а);
топография магнитного поля в рабочем зазоре (б)

Уменьшение угла резания облегчает процесс снятия стружки и уменьшает силу резания P_z . Однако при этом необходимо учитывать радиус скругления режущей кромки.

Примем форму ферроабразивного зерна в виде трехосного эллипсоида. Трехосный эллипсоид имеет различную кривизну по контуру. Наименьшее значение радиус скругления имеет в точке пересечения эллипса с наибольшей полуосью b . Возможные зоны контакта зерна ФАП с обрабатываемой поверхностью находятся в пределах половины периметра зоны контакта, что соответствует изменению граничных значений угла ω от 90° до 0° . Поэтому необходимо ввести техническое ограничение на угол наклона зерна ω . Поставленную задачу можно решить теоретически или графически, используя метод построения эллипса.

При первом варианте необходимо определить координаты $(y_0 z_0)$ точки M_0 пересечения большой и малой окружностей, аппроксимирующих кривую эллипса, путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} (z + z_1)^2 + y^2 = R_1^2; \\ z^2 + (y - y_2)^2 = R_2^2, \end{cases} \quad (1)$$

где R_1 и R_2 – радиусы большой и малой окружностей, мкм.

Затем определить уравнение касательной к малой окружности в точке M_0 (2) и угол ее наклона к оси ou

$$yy_0 + zz_0 = R_1. \quad (2)$$

Анализ приведенных зависимостей (1 и 2) показывает, что граничное значение величины угла поворота зависит от соотношения полуосей эллипсоида a , b и c . Принятая форма трехосного эллипсоида является обобщенной. При равенстве всех полуосей ферроабразивное зерно будет иметь сферическую форму, а при равенстве 2-х полуосей – эллипсоида вращения. Поэтому усредненную форму ферроабразивного зерна целесообразно принять в виде трехосного эллипсоида с соотношением полуосей $b=1 : c = (b+a)/2 : a = 0,25$. При таком допущении с использованием графического метода определено граничное значение величины угла наклона ферроабразивного зерна равно 58° .

Компьютерным моделированием установлено, что величина индукции дополнительного магнитного поля ограничена предельной величиной индукции основного магнитного поля, поскольку при ее преодолении у одноименных полюсов происходит отсечение ветви магнитопровода и суммарный магнитный поток замыкается по ветви с разноименными полюсами.

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

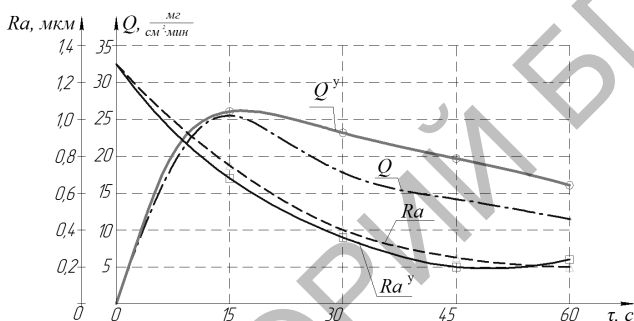
Условия проведения эксперимента: магнитная индукция основной магнитной системы $B_0 = 0,9$ Тл; магнитная индукция дополнительной магнитной системы $B_d = 0,8$ Тл; рабочий зазор основной магнитной системы $\delta_0 = 1$ мм; рабочий зазор дополнительной магнитной системы $\delta_d = 1,5$ мм; зернистость ферроабразивного порошка FeTiC $\Delta = 100-160$ мкм; скорость главного движения $v = 0,9$ м/с. Образцами служили поршневые пальцы $\varnothing 25$ мм, материал сталь 12ХНЗА, твердость поверхностного слоя 58–62 HRC. Выходные показатели: достигаемая шероховатость поверхности деталей Ra , мкм; производительность Q , мг/(см²·мин). Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре *Mitutoyo SJ-201P*. Масса деталей взвешивалась на весах *Massa-K BK-600* с точностью до 0,01 г.

Были обработаны две партии образцов. Исходная шероховатость образцов Ra 1,14–0,97 мкм. Первую партию обрабатывали по клас-

сической схеме MAO без дополнительной магнитной системы, а вторую – с воздействием дополнительного магнитного поля. Все образцы обрабатывались новой порцией порошка.

Графическое представление зависимостей производительности MAO и шероховатости поверхности представлено на рисунке 3.

Анализ экспериментальных данных (рисунок 3) показывает, что после 15 секунд обработки производительность MAO по классической схеме резко падает, а после 30 секунд производительность снижается на 30...40% по сравнению с производительностью в первые 15 секунд обработки.



Q и Ra – производительность MAO и шероховатость поверхности соответственно при классической схеме; Q^y и Ra^y – производительность MAO и шероховатость поверхности соответственно при управлении углом ориентации ФАЗ

Рисунок 3 – График зависимости шероховатости Ra и производительности Q от времени обработки τ

При MAO с управляемым углом наклона ФАЗ в рабочем зазоре, падение производительности более плавное и составляет 8...14% от производительности в первые 15 секунд обработки. Наименьшая шероховатость, при управлении углом наклона ферроабразивных зерен, достигается после 45 секунд обработки, а по классической схеме обработки – после 60 секунд.

Список использованных источников

1. Финишная обработка поверхностей / С.А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С.А. Чижика и М.Л. Хейфеца. – Минск : Беларус. навука, 2017. – 377 с.
2. Ворошуха О.Н. Технология магнитно-абразивной обработки наружных цилиндрических поверхностей с управляемой ориента-

цией ферроабразивных зерен и регенерацией абразивной щетки импульсным магнитным полем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / О.Н. Ворошухо ; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2019. – 24 с.

Abstract. The preferred arrangement of the abrasive brush in the working gap during magnetic-abrasive machining is theoretically justified, and the boundary conditions for the angle of inclination of the abrasive grain are determined.

УДК 621.923

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

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

Сенчуров Е.В., начальник отдела внедрения научно-технических разработок

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОМАГНИТНОГО АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ БОРИДОВ ЖЕЛЕЗА

Аннотация. Предложен состав и способ изготовления ферроабразивного порошка (ФАП) на основе боридов железа для магнитно-абразивной обработки деталей из алюминиевых и медных сплавов. Установлено, что по совокупности характеристик предлагаемый ФАП не уступает или превосходит существующие.

В современном машиностроении установилась тенденция использования малоотходных процессов формообразования деталей машин (точное литье, зубонакатывание, точная штамповка и т.п.). Одновременно растет доля отделочных операций (шлифование, полирование, доводка). К числу эффективных отделочных процессов относится магнитно-абразивная обработка (МАО), базирующаяся на применении магнитно-абразивных материалов в виде ферроабразивных порошков (ФАП), гранул, суспензий, обладающих одновременно магнитными и абразивными свойствами [1, 2]. Эффектив-