

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ ВЕРЕТЕНООБРАЗНЫМ ПОРОШКОМ

Д. Л. СТАСЕНКО

УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого», пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель, Беларусь.

Представлены результаты исследований магнитно-абразивной обработки поверхностей заготовок из немагнитных материалов, из которых следует, что использование веретенообразного порошка в качестве абразива повышает производительность процесса обработки с незначительным снижением качества обработанной поверхности. Определены оптимальные режимы работы установки для двухсторонней магнитно-абразивной обработки веретенообразным порошком.

Введение

В процессе магнитно-абразивной обработки (МАО) деталей частицы абразива заполняют пространство рабочего зазора и приобретают намагниченность. Силовое воздействие на обрабатываемую поверхность выполняет каждая единичная частица абразива, находящаяся с ней в контакте. Поэтому существенное влияние на производительность и качество МАО оказывают физико-механические, химические свойства и форма порошков, выполняющих функцию режущего инструмента, а так же режимы обработки и сила магнитного поля. Исходя из этого порошки, применяемые для МАО, должны обладать такими свойствами как: хорошая магнитная проводимость, т. е. способность удерживаться в рабочих зазорах между полюсами магнита или полюсом и изделием под действием магнитного поля; высокая износостойкость и твердость и рядом других свойств [1].

Постановка задачи

Цель данной работы – определение оптимальных режимов процесса магнитно-абразивной обработки при использовании в качестве абразива веретенообразного порошка, полученного из самофлюсующегося сплава на основе железа высокоскоростной закалкой расплава и оценка качества обработки и производительности процесса при этом.

Методика исследований

С учетом специфики МАО режущая способность абразива будет зависеть от ориентации его в магнитном поле и силы давления ферроабразив-

ного порошка на поверхность обрабатываемого изделия. Намагниченность единичной частицы может быть определена как $M = m/v$, где m – магнитный момент, v – объем частицы. Так как сила, действующая на частицу абразива, помещенную в магнитное поле, определяется [1] как $F = vMr$, где r – плотность ферромагнитной составляющей, то сила давления частицы ферроабразива на заготовку также может быть определена:

$$P = F/s \quad (1)$$

где s – площадь поперечного сечения частицы ферроабразива.

Из теории резания известно, что сила резания может быть определена по известной эмпирической зависимости:

$$P = C_p V^2 S^{\gamma} r^{\alpha} \quad (2)$$

где C_p – коэффициент, характеризующий материал обрабатываемой заготовки и другие условия обработки.

Приравняв, левые и правые части уравнений (1) и (2) получаем:

$$\frac{vMr}{s} = C_p V^2 S^{\gamma} r^{\alpha}$$

Отсюда плотность ферромагнитной составляющей для единичной частицы может быть определена:

$$p = \frac{C_p V^2 S^{\gamma} r^{\alpha} s}{vM}$$

или для процесса обработки:

$$p = \frac{C_p V^2 S^{\gamma} r^{\alpha} s}{vM} k,$$

где k – число частиц ферроабразива, контактирующих с поверхностью заготовки.

Таким образом t , определяющая массу срезаемого слоя, может быть определена:

$$t = (\rho v M C_f^{-1} S^{-\nu} k^{-1} V^{-z} s^{-1})^{\frac{1}{\epsilon}}$$

Из полученной зависимости видно, что основными параметрами, определяющими массу срезаемого слоя с заготовки, являются намагниченность частиц и плотность ферромагнитной составляющей при равных размерах частиц и условиях обработки. Вследствие чего можно предположить, что при прочих равных условиях производительность MAO будет зависеть от формы, химического и структурного состава применяемого ферроабразива при постоянных условиях обработки.

Поэтому для исследований был выбран порошок веретенообразной формы (рис. 1), изготовленный методом высокоскоростной закалки расплава из самофлюсующегося сплава на основе железа $Fe_{93,7}B_{3,3}Si_{2,1}C_{0,9}$ с метастабильной и аморфной структурой, т. к. он наиболее полно отвечает вышеуказанным требованиям [2, 3].



а

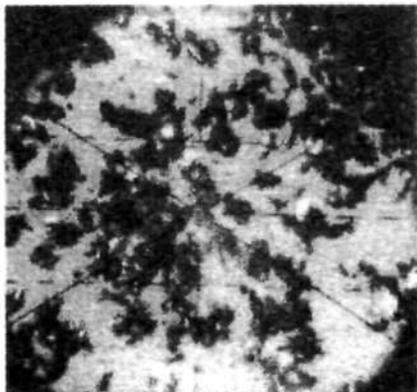


Рис. 1. Внешний вид порошка размером 315–630 мкм веретенообразной формы $\times 300$ (а) и молотого $\times 100$ (б)

Сравнительные исследования режущей способности веретенообразного порошка проводились с молотым порошком – $Fe_{94,5}B_{4,5}$. Размеры порошков были выбраны 315–630 мкм.

Режущая способность порошков абразива оценивалась по массовому съему материала Δm , так как производительность определяется массой удаляемой стружки в единицу времени, а качество обработанных поверхностей заготовок по шероховатости, измеряемой на профилометре. Исследования стойкости абразивных частиц веретенообразного порошка выполнялись для двух видов заготовок и проводились с периодической остановкой для измерений массы заготовки после каждого прохода.

Для обработки были выбраны плоские образцы, выполненные из немагнитных материалов, таких как алюминий АЛ5 и нержавеющей сталь Х18Н10, с исходной шероховатостью поверхностей R_a (1,0...1,25) мкм. Исследования проводились на горизонтальном консольно-фрезерном станке модели 6Н82, на шпинделе которого смонтирована установка для MAO (рис. 2).

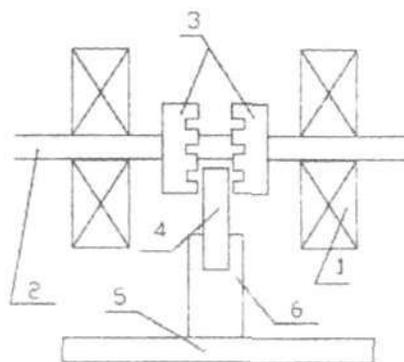


Рис. 2. Схема двухстороннего магнитно-абразивного полирования плоской заготовки 1 – электромагнит, 2 – шпиндель станка, 3 – концентраторы магнитного поля, 4 – обрабатываемая заготовка, 5 – стол станка, 6 – крепящее приспособление

С учетом специфики применяемого способа MAO определяющими факторами производительности обработки будут не только свойства ферроабразива, но и технологические параметры установки. Частота вращения концентраторов магнитного поля и скорость перемещения заготовки определяют время контакта частиц абразива с обрабатываемой поверхностью, а сила магнитного поля создаваемого электромагнитами определяет намагниченность частиц абразива. Поэтому эксперименты выполнялись при следующих технологических параметрах: частота вращения шпинделя станка ($n = 200-500$ об/мин), сила тока на обмотках электромагнита ($I = 5-8$ А), скорость перемещения заготовки ($S = 19-47,5$ мм/мин). Заготовка закреплялась в специальном приспособлении, изготовленном из немагнитного материала, которое в свою очередь устанавливалось на столе станка (рис. 2). Геометрические размеры обрабатываемой поверхности пластины составляют 150×20 мм, причем обработка проводилась с обеих сторон пластины одновременно. Зазор между концентраторами магнитного поля и обрабатываемыми поверхностями составлял 2 мм [4].

Для получения математических моделей использовался центральный композиционный ротатбельный униформ план второго порядка. Основными изменяемыми технологическим факторами MAO являются: частота вращения концентраторов n (об/мин), скорость перемещения заготовки S (мм/мин), сила тока I (А), создающая магнитное поле в обмотках. Условия экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Условия эксперимента

Фактор	n	S	I	
	об/мин	мм/мин	А	
Основной уровень	350	34	6	
Интервал варьирования	300	28	4	
Шаг изменения	75	7	1	
Верхний предел изменения фактора	500	20	8	
Нижний предел изменения фактора	200	48	4	
Уровни факторов	1	200	20	4
	2	275	27	5
	3	350	34	6
	4	425	41	7
	5	500	48	8

Производительность обработки определяется $T = m/t$, где m – масса стружки, t – время, поэтому в качестве отклика было выбрано изменение массы исследуемых образцов Δm (мг), т. к. оно определяет производительность обработки при постоянной величине S .

Результаты исследований

После математического анализа результатов экспериментов были получены следующие математические модели.

Для обработки заготовок АЛ5 молотым порошком:

$$\Delta m = 0,00006n^{2,12} - 0,183 \ln(S) + 0,1I + 6,3;$$

для обработки заготовок Х18Н10 молотым порошком:

$$\Delta m = 0,00004n^{2,12} - 0,015 \ln(S) + 0,13I + 1,77;$$

для обработки заготовок АЛ5 веретенообразным порошком:

$$\Delta m = 2e^{0,0064n} - 0,00131S^2 + 0,00373S + 0,15I + 23,34;$$

для обработки заготовок Х18Н10 веретенообразным порошком:

$$\Delta m = 1,1e^{0,0063n} - 0,00131S^2 + 0,00373S + 0,11I + 13,34.$$

Определение значимости исследуемых факторов и адекватности математических моделей выполнялось методом круглого восхождения с переходом на новый уровень. Статистическая проверка коэффициентов полученных математических моделей показала, что линейная часть полученных уравнений адекватна при 5%-ном уровне значимости.

Полученные результаты экспериментов и ма-

тематические модели процесса указывают на то, что масса снимаемого слоя металла зависит от всех исследованных технологических параметров, причем наибольшее влияние на массу съема оказывают вид абразивных частиц. В частности, с увеличением частоты вращения шпинделя масса съема плавно возрастает и составляет при обработке алюминиевой заготовки веретенообразным порошком 10 мг при $n = 200$ об/мин и 47 мг при $n = 500$ об/мин, а при обработке нержавеющей стали молотым порошком на тех же частотах масса объема возрастает от 3 до 20,5 мг (рис. 3). При увеличении скорости перемещения заготовки съем металла снижается с 32 до 16 мг ($S = 19,4$ мм/мин) при обработке алюминиевой заготовки веретенообразным порошком, и с 20,5 до 3 мг, при обработке нержавеющей стали молотым порошком. С увеличением силы тока масса снимаемого металла с алюминиевой заготовки веретенообразным порошком увеличивается от 47 до 70 мг при $I = 5$ и 8 А соответственно, а при обработке молотым порошком заготовки из нержавеющей стали от 10 до 32 мг, при тех же условиях.

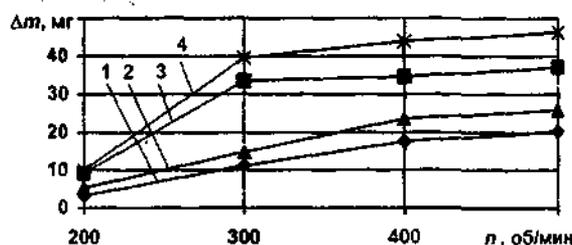


Рис. 3. Изменение массы съема металла в зависимости от частоты вращения шпинделя, обрабатываемого материала и вида абразива: 1 – обработка нержавеющей стали молотым порошком; 2 – обработка нержавеющей стали веретенообразным порошком; 3 – обработка алюминия молотым порошком; 4 – обработка алюминия веретенообразным порошком. Сила тока – 8 А; подача стола – 25 мм/мин

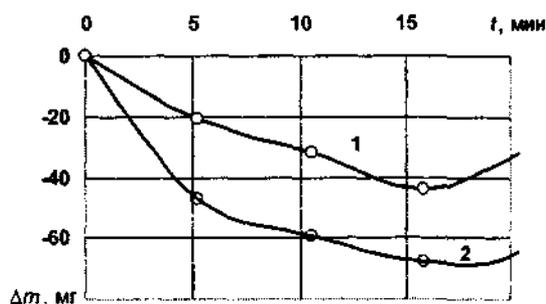


Рис. 4. Изменение массы заготовки в процессе MAO при обработке веретенообразным порошком: 1 – заготовка из стали Х18Н10; 2 – алюминиевая заготовка ($n = 500$ мин⁻¹, $S = 19$ мм/мин, $I = 8$ А)

Анализ полученных результатов (рис. 4) показывает, что увеличение времени обработки заготовки более 16 мин не приводит к увеличению съема металла из-за полного износа абразивных частиц, которые приобретают сферическую и округлую форму, т. е. не имеют режущих элементов (рис. 5). Данное обстоятельство свидетельствует,

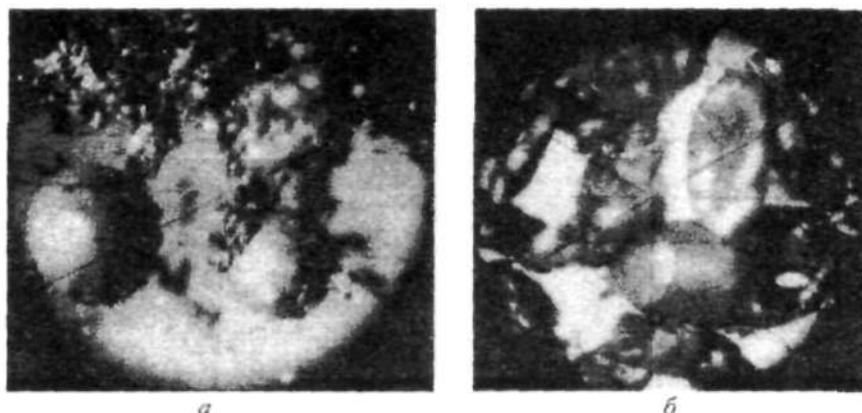


Рис. 5. Форма частиц молотого (а) и веретенообразного порошка (б) после износа. $\times 200$

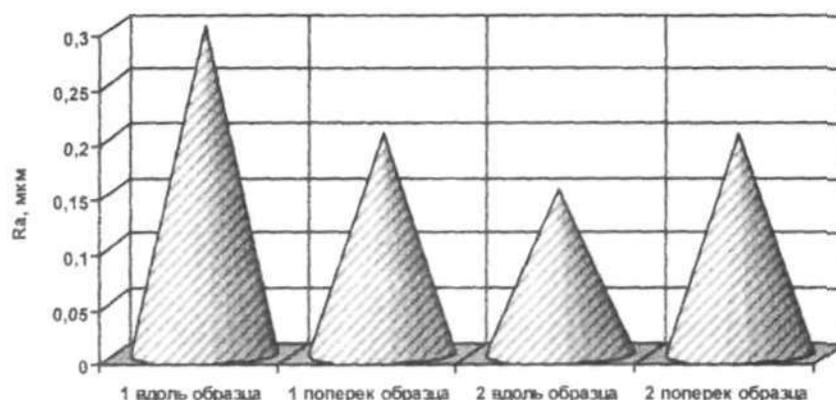


Рис. 6. Изменение шероховатости после МАО: 1 – после обработки веретенообразным порошком; 2 – после обработки молотым порошком

что процесс обработки выполняется только при наличии острых граней на поверхности частиц абразива. Поэтому через данный период времени необходимо производить замену ферроабразива.

При использовании в качестве абразива веретенообразного порошка максимальная производительность составила 4,75 мг/мин при обработке стали Х18Н10 и 5,5 мг/мин при обработке алюминиевой заготовки, а с использованием молотого порошка – 2,56 мг/мин и 3,125 мг/мин, соответственно (рис. 4).

Шероховатость обрабатываемой поверхности практически не изменяется в зависимости от режимов обработки и формы абразивных частиц и составляет, после обработки нержавеющей стали веретенообразным порошком – $R_a(0,18...0,28)$, а после обработки молотым порошком – $R_a(0,12...0,18)$ (рис. 6–8). Направление рисок на поверхностях заготовок свидетельствует о том, что при обработке происходит сглаживание уже имеющихся микронеровностей (рис. 7, 8).

Заключение

В результате исследований разработана математическая модель, характеризующая зависи-

мость массы удаляемой стружки с поверхности заготовки от основных технологических параметров процесса МАО – частоты вращения концентраторов n (об/мин), скорости перемещения заготовки S (мм/мин), силы тока I (А), создающего магнитное поле в обмотках.

Установлено, что при использовании в качестве абразива веретенообразного порошка производительность повышается в $\approx 1,8$ раза. Шероховатость обработанной поверхности мало зависит от времени контакта частиц абразива с обрабатываемой поверхностью; минимальная шероховатость составляет $R_a(0,16...0,18)$ (рис. 6–8).

Оптимальные производительность и шероховатость $R_a(0,16...0,2)$ обеспечиваются при обработке заготовок веретенообразным порошком при следующих режимах работы: частота вращения шпинделя – не менее 500 об/мин, скорость перемещения заготовки – 25 мм/мин, сила тока – не менее 8 А.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования при МАО порошка веретенообразной формы с аморфной и метастабильной структурой.

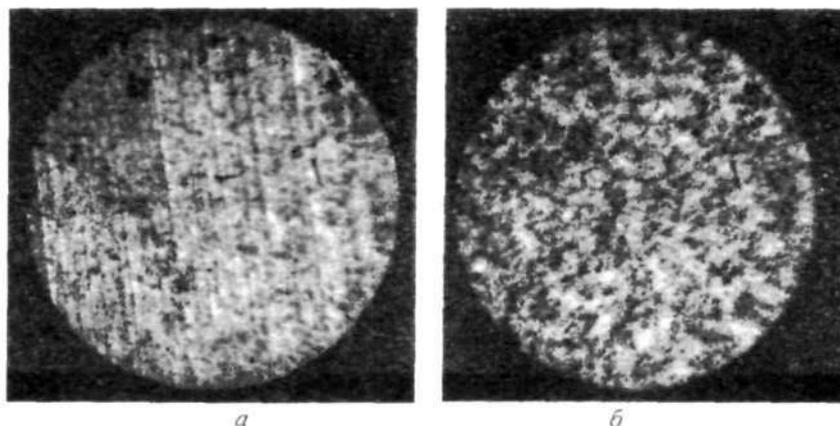


Рис 7. Поверхность заготовки алюминия $\times 100$: а – до обработки, б – обработанная поверхность

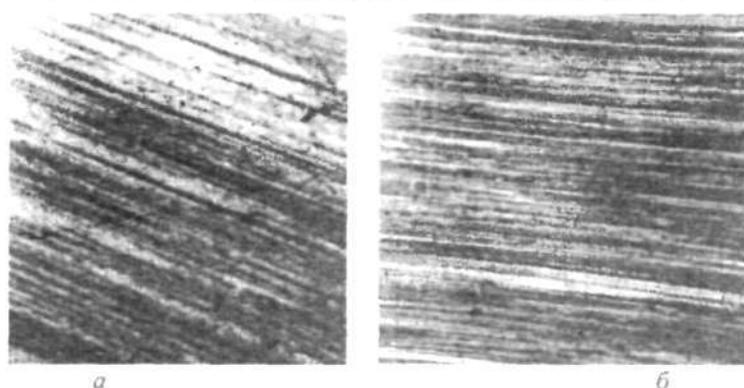


Рис 8. Поверхность заготовки из стали X18H10 $\times 200$: а – до обработки, б – после обработки

Обозначения

m – магнитный момент; v – объем частицы; p – плотность ферромагнитной составляющей; s – площадь поперечного сечения частицы ферроабразива; M – намагниченность частицы ферроабразива; F – сила, действующая на частицу ферроабразива помещенную в магнитное поле; P – сила давления частицы ферроабразива на заготовку; P_c – осевая составляющая силы резания частицы ферроабразива; Δm – изменение массы заготовки после обработки МАО; n – частота вращения концентраторов магнитного поля; S – скорость подачи заготовки; I – сила тока на обмотках электромагнитов; V – скорость резания; t – глубина резания; x, y, z – показатели степени; C_p – коэффициент, характеризующий материал обрабатываемой заготовки и другие условия обработки.

Литература

1. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986 – 176 с.
2. Стасенко, Д. Л. Исследования особенностей получения дискретных волокон при диспергировании струи расплава газовым потоком / Д. Л. Стасенко, М. Н. Верещагин // *Материалы, технологии, инструменты*, 2002 – Т. 7 – № 2. – С. 77–81.
3. Устройство для получения металлических порошков: патент РБ, № 4297 / Д. Л. Стасенко, М. Н. Верещагин, Р. И. Вечер: выдан 22.10.2001.
4. Исследования магнитно-абразивной обработки листового материала дискретным волокном / Д. Л. Стасенко, М. И. Михайлов, С. П. Садченко, А. В. Рыбаков // *Современные проблемы машиноведения. Материалы международной научно-технической конференции* – Гомель, ГГТУ им. П. О. Сухого, 2002 – Т. 1, – С. 29–30.
5. Ящерицын, П. И. Основы резания материалов и режущий инструмент / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Н. И. Жигалко. – Минск: «Вышэйш. школа», 1975 – 528 с.

Stasenko D. L.

Features of magnetic-abrasive machining of plane surfaces by spindle-like powder.

The paper presents study results of the magnetic-abrasive machining of surfaces of blanks made of non-magnetic materials showing that the use of the spindle-like powder as abrasive improves the machining efficiency while the surface quality impairs slightly. The optimal regimes of the installation for the two-side magnetic-abrasive machining by the spindle-like powder are determined.