

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ АБРАЗИВНОГО ПОРОШКА В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Р.В. Гребеньков, Е.Ю. Татаркин, А.М. Иконников

Авторами представлена методика для определения периода стойкости режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки. В модели рассмотрена геометрия режущих зерен порошка и кинематика их движения по обрабатываемой заготовке. С течением времени режущие свойства абразивных зерен снижаются в связи с их износом и разрушением. Количественную оценку момента времени, когда режущие свойства порошка достигнут нижнего допустимого предела, целесообразно осуществить по изменению величины съема обрабатываемого материала.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, съем материала, период стойкости, математическое моделирование, износ порошка.

Состояние поверхностного слоя деталей и инструментов, образующееся, как правило, на финишных операциях обработки, значительно определяет их эксплуатационные свойства. Постоянно возрастающие требования к поверхностям вызывает потребность более глубокого изучения и совершенствования существующих методов финишной обработки. Магнитно-абразивная обработка (МАО) – один из нетрадиционных методов финишной обработки. Технология МАО объединяет в себе совокупность абразивного резания и использование магнитного поля непосредственно в зоне обработки. Магнитное поле удерживает порошок на индукторе и обеспечивает гибкую связь между зернами. В процессе обработки материал заготовки подвергается не только механическому абразивному воздействию, но также воздействию переменного магнитного поля, которое благоприятно отражается на эксплуатационных свойствах изделия [1, 2].

Изучению технологии магнитно-абразивной обработки посвящено множество научных работ [3], в частности по определению размеров порции абразивного порошка, участвующего в процессе формирования качества поверхности детали, или же по поиску наиболее выгодных режимов, траекторий обработки деталей и технического нормирования на уровне проектирования операций МАО [4]. Все это обеспечивает требуемое качество обработанной поверхности детали, однако малоизученным направлением технологии магнитно-абразивной обработки является снижение с течением времени режущих свойств абразивных зерен, в связи с их износом и разрушением, что негативно влияет на качество и производительность обработки.

Количественную оценку момента времени, когда режущие свойства магнитного порошка достигнут нижнего допустимого предела, целесообразно осуществлять с помощью величин, характеризующих цель магнитно-абразивной обработки. Например, если целью магнитно-абразивной обработки является обеспечение необходимого качества обработанной поверхности, то критерием стойкости должны служить максимальный допустимый параметр шероховатости или минимальный съем по истечении заданного времени обработки. Определение стойкости магнитного порошка является элементом разработки технологической операции магнитно-абразивной обработки. Одним из ключевых этапов определения периода стойкости режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки является определение изменения величины съема обрабатываемого материала с поверхности заготовки с течением времени [5]. Для его реализации применим метод математического моделирования. Важнейшей задачей математического моделирования является нахождение зависимостей между входными и выходными параметрами исследуемой технической системы. Входными параметрами полученной математической модели для определения периода стойкости режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки являются: зернистость порошка, размеры заготовки, размеры магнитного индуктора, физико-механические свойства обрабатываемого материала, время обработки; выходными – изменение величины съема материала за единицу времени, что позволяет определить период стойкости ферромагнитного порошка. В ходе моделирования приняты

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ АБРАЗИВНОГО ПОРОШКА В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

следующие допущения: режущее зерно имеет форму шара (рисунок 2), обработка происходит расположенными в ряд по ширине заготовки магнитно-абразивными частицами, ряд абразивных частиц в процессе обработки не распадается на отдельные элементы.

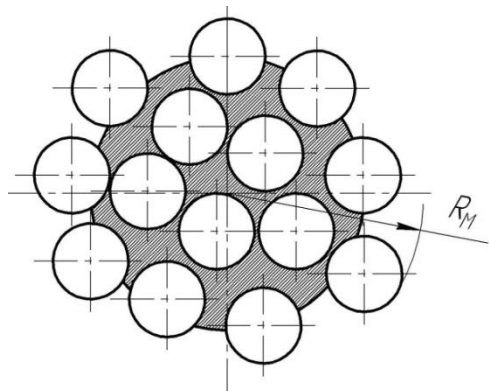


Рисунок 1 – Магнитно-абразивная частица порошка TiC+Fe

Магнитно-абразивная частица ферро-магнитного порошка TiC+Fe радиусом R_M состоит из железного ядра, покрытого режущими зернами из карбида титана (рисунок 1).

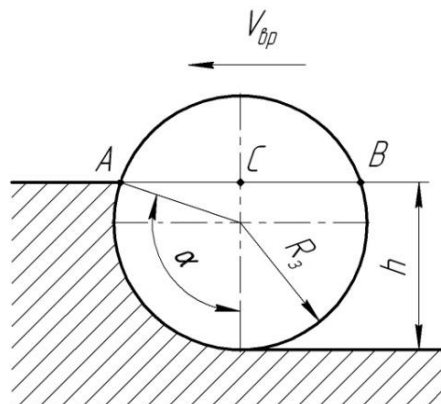


Рисунок 2 – Зерно магнитно-абразивного порошка TiC+Fe

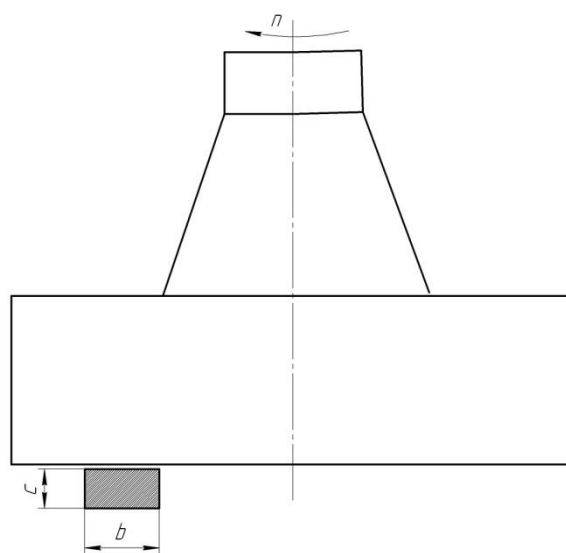
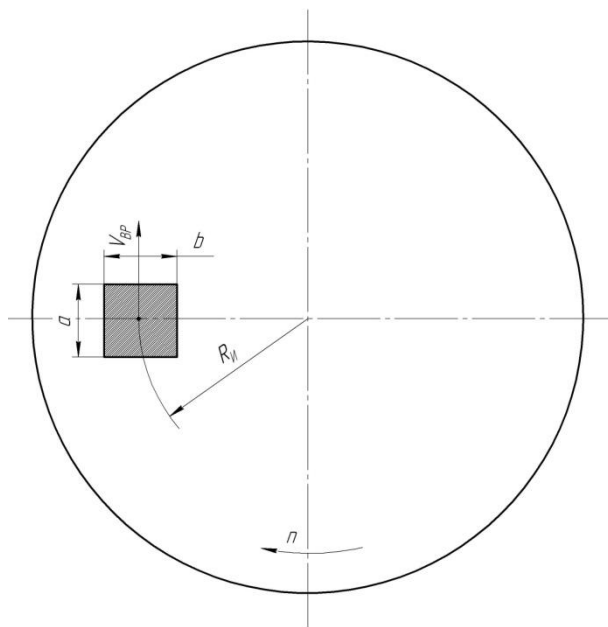


Рисунок 3 – Схема процесса обработки

В процессе резания под действием сил зерно внедряется в материал обрабатываемой детали на глубину h и снимает стружку

длиной a (рисунок 3).

Площадь сегмента режущего зерна в осевом сечении равна:

$$S_3 = \frac{R_3^2}{2} \left[2 \arccos\left(\frac{R_3 - h}{R_3}\right) - 2 \frac{\sqrt{h(2R_3 - h)}}{R_3} \cdot \frac{R_3 - h}{R_3} \right] = R_3^2 \arccos\left(\frac{R_3 - h}{R_3}\right) - (R_3 - h) \sqrt{h(2R_3 - h)}. \quad (1)$$

Введем коэффициент стружкообразования k_c , равный отношению фактической площади снимаемого металла с учетом упруго-пластических деформаций обрабатываемого материала к площади сегмента режущего зерна. Численное значение коэффициента

k_c определяется по справочникам и технологическим рекомендациям операций абразивной обработки.

Тогда объем удаляемого материала с поверхности заготовки одним режущим зерном будет равен:

$$V_3 = S_3 a k_c = [R_3^2 \arccos(\frac{R_3 - h}{R_3}) - (R_3 - h) \sqrt{h(2R_3 - h)}] a k_c. \quad (2)$$

В одной магнитно-абразивной частице порошка в процессе резания участвуют N_3 режущих зерен, поэтому формула для нахо-

ждения объема удаляемого материала с поверхности заготовки расположенными в ряд режущими зернами будет иметь вид:

$$V_p = V_3 N = [R_3^2 \arccos(\frac{R_3 - h}{R_3}) - (R_3 - h) \sqrt{h(2R_3 - h)}] \frac{a k_c b N_3}{2R_M}. \quad (3)$$

Следовательно, объемная скорость съема материала ΔV с поверхности заго-

товки расположенными в ряд режущими зернами можно найти по формуле:

$$\Delta V = \frac{V_p}{t_p} = [R_3^2 \arccos(\frac{R_3 - h}{R_3}) - (R_3 - h) \sqrt{h(2R_3 - h)}] \frac{k b N_3 \pi R_H n}{R_M}. \quad (4)$$

Зная плотность обрабатываемого материала ρ , можно вычислить скорость съема ΔQ , выраженную через массу, с поверхно-

сти заготовки расположенными в ряд режущими зернами:

$$\Delta Q = \Delta V \rho = [R_3^2 \arccos(\frac{R_3 - h}{R_3}) - (R_3 - h) \sqrt{h(2R_3 - h)}] \frac{k b N_3 \pi R_H n \rho}{R_M}. \quad (5)$$

С течением времени режущие свойства зерен снижаются в связи с их затуплением и разрушением. Поэтому введем эмпирическую зависимость для учета времени работы магнитного порошка:

$$k_H = e^{-C_H t}. \quad (6)$$

Коэффициент C_H учитывает изменение режущих свойств порошка с течением времени. Время t – суммарное время работы магнитного порошка.

Тогда величина съема Q с поверхности заготовки за время t с учетом износа порошка можно найти по формуле:

$$Q = [R_3^2 \arccos(\frac{R_3 - h}{R_3}) - (R_3 - h) \sqrt{h(2R_3 - h)}] \frac{k_c b N_3 \pi R_H n \rho}{C_H R_M} (1 - e^{-C_H t}). \quad (7)$$

В полученной выше формуле глубину вдавливания зерна в металл можно найти по зависимости:

$$h = R_3 (2 - \frac{1.07 \sigma_{0.2}}{HB}). \quad (8)$$

Полученные математические зависимости реализованы с помощью средств Microsoft Office Excel [6]. Интерфейс программы

для ввода исходных данных для расчета и вывода результатов моделирования (период стойкости ферромагнитного порошка T , мин; суммарная величина съема за период стойкости порошка Q , г; количество обработанных деталей одной порцией порошка N , шт.) для магнитно-абразивной обработки представлен на рисунке 4.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ АБРАЗИВНОГО ПОРОШКА В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

	C	D	E
3			
4		Введите исходные данные:	
5		Радиус зерна R_z , мм	0,04
6		Длина заготовки a , мм	20
7		Ширина заготовки b , мм	20
8		Число зерен на одной магнитно-абразивной частице N_z , шт	15
9		Расстояние от оси вращения индуктора до заготовки R_u , мм	60
10		Частота вращения индуктора n , об/с	3
11		Радиус магнитно-абразивной частицы R_m , мм	0,63
12		Плотность обрабатываемого материала ρ , г/мм ³	0,008
13		Педел текучести обрабатываемого материала σ , Мпа	800
14		Твердость по Бринеллю обрабатываемого материала HB , Мпа	1000
15		Время обработки одной детали t , с	30
16		Глубина внедрения зерна h , мм (рассчитывается автоматически)	0,046
17		Коэффициент стойкости порошка C_u	0,0019
18		Минимальный удельный съем металла $q_{min} \cdot 10^{-5}$, г/мм ²	0,25
19		Коэффициент стружкообразования металла k_c	0,75
20		Расчет	
21		Результаты расчета:	
22		Период стойкости ферромагнитного порошка T , мин	30
23		Величина съема за период стойкости порошка Q , г	0,1176
24		Количество обработанных деталей N , шт	60

Рисунок 4 – Интерфейс программы для определения периода стойкости

При помощи разработанной математической модели получены графики: зависимость съема металла с поверхности заготовки с течением времени (рисунок 5) и зависи-

мость изменения съема с каждой последующей детали с учетом стойкости ферромагнитного порошка (рисунок 6).

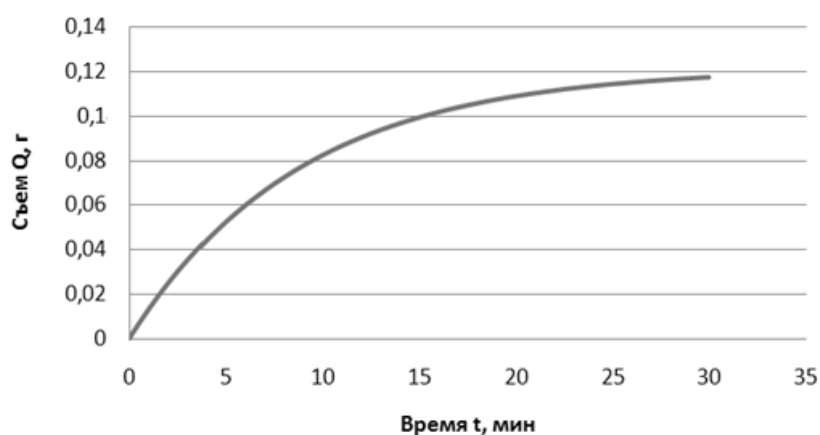


Рисунок 5 – Зависимость съема металла с поверхности заготовки с течением времени

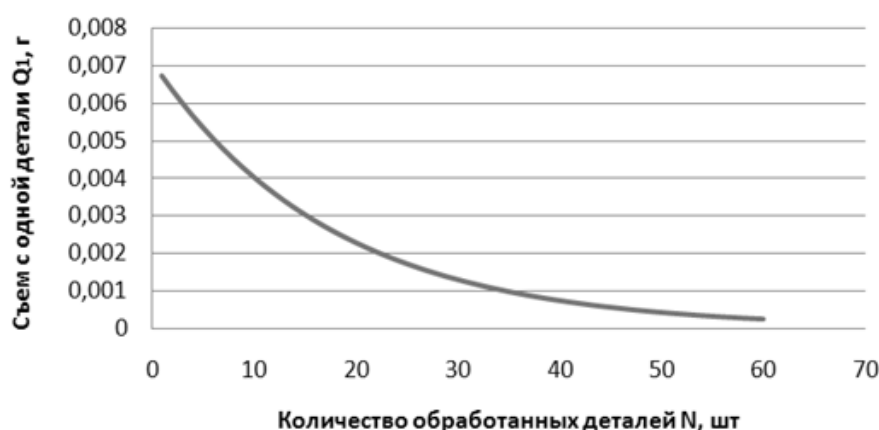


Рисунок 6 – Зависимость изменения съема с каждой последующей детали с учетом стойкости ферромагнитного порошка

Итогом проделанной работы является разработанная математическая модель для определения периода стойкости рабочей поверхности режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки. Показателем износа магнитного порошка при этом является изменение величины съема обрабатываемого материала с поверхности заготовки с течением времени для конкретных условий обработки. Разработанная методика реализована с помощью средств Microsoft Office Excel.

Полученные зависимости изменения съема металла с поверхности заготовки с течением времени обработки и изменения съема металла с каждой последующей обработанной детали для конкретных условий работы позволяют определить период стойкости магнитного порошка, необходимый для его своевременной правки или замены, чтобы обеспечить стабильность параметров качества обработанной поверхности детали при магнитно-абразивной обработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 176 с.
2. Baron, Y. Characterization of the Magnetic Abrasive Finishing Method and Its Application to Deburring / Y. Baron, S. Ko, J. Park // Key Engineering Materials. – 2005. – P. 291–296.

3. Матюха, П. Г. Современные тенденции развития магнитно-абразивной обработки / П. Г. Матюха, А. В. Бурдин // Наукові праці ДонНТУ. – 2009. – Вып. 6. – С. 166–174.

4. Tatarkin, E. Modeling of the Magnetic Abrasive Machining Process of Flat Surface Workpieces on Numerically Controlled Machine Tools / E. Tatarkin, A. Ikonnikov, T. Schrayner, R. Grebenkov // Applied Mechanics and Materials, Pfaffikon, Switzerland. – 2015. – Vol. 788. – P. 69–74.

5. Иконников, А. М. Геометрическая модель расчета съема металла при магнитно-абразивной обработке / А. М. Иконников, С. Л. Леонов, В. С. Силивакин, Е. Ю. Татаркин // Ползуновский вестник. – 2014. – № 4-2. – С. 168–170.

6. Приходько, С. П. Моделирование процесса магнитно-абразивной обработки деталей машин на ЭВМ / С. П. Приходько // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения. – Барнаул, 1987. – С. 115–119.

Гребеньков Р.В., магистрант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: sigaset@yandex.ru.

Татаркин Е.Ю., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: etatarkin@mail.ru.

Иконников А.М., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: iamagtu@mail.ru.