

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-

ность МАО зависит от формы частиц ФАП, их гранулометрического состава, химической активности к обрабатываемому материалу, микротвердости абразивной составляющей, а также от технологичности изготовления и стоимости ФАП [3]. Однако необходимо учитывать соотношение компонентов, входящих в состав ФАП. Поскольку композиционные ФАП имеют сложную структуру (ферромагнитная матрица и твердый абразивонесущий поверхностный слой), то от его химического состава зависят технологические, эксплуатационные свойства порошка. Поэтому постоянно ведется поиск материала ФАП, оптимально сочетающего в себе магнитные и абразивные свойства.

Так, например, известен ФАП, который имеет следующий компонентный состав, мас. %: кремний – 7,5–2,0; углерод – 1,0–2,2; титан – 1,2–3,4; алюминий – 1,0–2,5; фосфор – 0,1–0,5; карбиды бора – 0,1–0,5; бориды железа – 0,3–0,9; железо – остальное [4].

Недостатком данного материала и способа его получения является повышенная пористость синтезированных порошковых частиц, что снижает их магнитные свойства, а также низкое содержание карбидов бора вследствие замедленной диффузии бора при контакте твердых фаз. Кроме того, охлаждение материала в жидких средах связано с технологическими затруднениями.

Задачей настоящего исследования является повышение магнитных и абразивных характеристик ферромагнитного абразивного материала. Поставленная задача решается за счет того, что в состав ферромагнитного абразивного материала вводится углерод, кремний, карбиды бора, бориды железа, железо и примеси при следующем соотношении ингредиентов, мас. %: углерод – 0,7–3; кремний – 0,3–3,6; карбиды бора – 0,6–8,0; бориды железа – 1–6; железо и примеси – остальное. Получение ФАП осуществляется смешиванием распыленного порошка железоуглеродистого сплава и механически измельченного порошка ферробора с последующим их спеканием, измельчением спека и его рассева. Спекание смеси порошков осуществляют при температуре 1030–1200°C в течение 30–60 мин, компоненты исходной смеси принимают при следующем соотношении, мас. %: порошок железоуглеродистого сплава – 40–80, порошок ферробора – 20–60. Размер частиц порошковой смеси следующие: порошок железоуглеродистого сплава – 160–400 мкм, порошок ферробора – менее 100 мкм, причем нагрев смеси порошков, выдержку при тем-

пературе жидкофазного спекания и охлаждение осуществляют в графитовом тигле под слоем графита с размером частиц 1–10 мм.

Приведенное соотношение компонентов обеспечивает совокупность заданных магнитных и абразивных свойств порошкового материала.

Сопоставительный анализ с оригиналом [4] показывает, что предлагаемый сплав отличается от известного содержанием кремния, углерода, боридов железа и не содержит титана, алюминия и фосфора, таблица 1 [5].

Выбранные пределы концентрации кремния и углерода обеспечивают высокие прочность, плотность и магнитные свойства сплава. Содержание в выбранных пределах карбидов бора и боридов железа придает сплаву высокие абразивные свойства. При содержании углерода менее 0,7 % затрудняется измельчение сплава и снижаются его абразивные свойства. При содержании углерода более 3% уменьшаются магнитные свойства из-за повышения количества ледебуритной составляющей. При содержании кремния менее 0,3 % падает жидкотекучесть сплава и ухудшаются его литейные свойства, при концентрации данного элемента более 3,6 % сплав становится хрупким. При концентрации карбидов бора менее 0,6 % снижаются абразивные свойства порошка, при содержании их более 8 % падают магнитные свойства. Аналогичная ситуация наблюдается с боридами железа. При их содержании менее 1 и более 6 % падают, соответственно, абразивные и магнитные свойства материала.

Таблица 1 – Химический состав опытных сплавов

№ пп	Вид сплава	Уровень содержания компонентов	Содержание компонентов, мас. %							Fe и примеси
			C	Si	BC _x	FeB _x	P	Ti	Al	
1	Прототип	средний	1,60	8,75	0,30	0,65	0,30	2,3	1,7	остальное
2	Предлагаемый	нижний	0,70	0,30	0,60	1,00	-	-	-	
3		верхний	3,00	3,60	8,00	6,00	-	-	-	
4		средний	2,35	2,95	4,30	3,50	-	-	-	
5		выше верхнего	3,30	3,95	8,80	6,60	-	-	-	
6		ниже нижнего	2,06	0,27	0,54	0,90	-	-	-	

Испытания материала проводили при следующих режимах: исходная шероховатость обрабатываемой поверхности $Ra_1=1,6-2,5$ мкм; магнитная индукция в рабочем зазоре $B=1$ Тл; скорость резания $V_p=1,0$ м/с; скорость осцилляции полюсных наконечников $V_o=0,2$ м/с; время обработки $t=60$ с; СОТС – 1,5%-й водный раствор СинМА-1; размер частиц ФАП $\Delta=200/315$ мкм. Критерием качества

порошка служили следующие показатели: шероховатость обработанной поверхности Ra_2 , мкм, удельный съем металла Q , г/мин.

В таблице 2 приведены результаты испытаний эксплуатационных свойств предлагаемого ФАП при МАО образцов на алюминиевого сплава Д16, латуни Л63 и бронзы БрАЖ9. Из данных следует, что предлагаемый абразивный материал по удельному съему металла с обрабатываемой поверхности значительно превосходит прототип и не уступает известному порошковому материалу Ж15КТ, превосходя его по экономичности и экологической чистоте.

Таблица 2 – Показатели МАО известного и предлагаемого ФАП

№ пп	Вид сплава	Латунь Л63		Бронза БрАЖ9		Сплав Д16	
		Ra_2 , мкм	G , г/мин	Ra_2 , мкм	G , г/мин	Ra_2 , мкм	G , г/мин
1	Прототип	0,069	0,0169	0,058	0,0280	0,055	0,015
2	Предлагаемый	0,040	0,0470	0,050	0,0230	0,055	0,0460
3		0,060	0,0264	0,055	0,0095	0,055	0,0140
4		0,054	0,0350	0,050	0,0180	0,060	0,0345
5		0,060	0,0140	0,055	0,0340	0,065	0,0280
6		0,063	0,0160	0,060	0,0105	0,070	0,0160

Для определения пределов значений температур нагрева при жидкофазном спекании, его продолжительности, а также состава смеси осуществляли опыты по описанной выше технологии и определяли оптимальные параметры технологии изготовления ФАП заявляемого состава. Результаты опытов приведены в таблице 3.

Повышение температуры нагрева смеси при спекании приводит к образованию жидкой фазы преимущественно сплава железо-бор, в то время как частицы синтезированного железоуглеродистого сплава остаются в твердом состоянии. На границе жидкой и твердой фаз происходят ускоренная диффузия бора из жидкой фазы в твердую и диффузия углерода из объема твердой фазы на поверхность порошковой частицы с образованием устойчивого химического соединения B_4C . Продолжительность выдержки выбрана такой, при которой указанные процессы успевают произойти преимущественно на границе жидкой и твердой фаз, в результате чего частицы железоуглеродистого сплава оказываются обедненными углеродом. При этом увеличиваются их магнитные свойства при сохранении прочности и плотности. При измельчении спека разделение частиц происходит преимущественно по бывшим границам жидкой и твердой фаз. При этом частицы ФАП сохраняют первоначальную форму и размеры, их центральная часть оказывается обедненной углеродом и имеет

высокие магнитные свойства, а на поверхности частиц образуется прочный твердый слой из карбидов бора и боридов железа, обеспечивая материалу высокие абразивные свойства.

Таблица 3 – Определение технологических параметров способа изготовления ФАП

№ опыта	Состав порошковой смеси		Температура нагрева при спекании °С	Продолжительность нагрева, мин	Содержание абразивных составляющих, мас. %		
	железо-углеродистый сплав	ферробор			BC_x	FeB_x	примечание
1	30	70	1120	45	-	-	Охрупчивание материала
2	40	60	1120	45	6,0	5,0	
3	60	40	1120	45	3,2	3,5	
4	80	20	1120	45	0,6	2,0	
5	90	10	1120	45	0,5	0,9	
6	60	40	1030	45	3,2	3,5	
7	60	40	1200	45	8,0	6,0	
8	60	40	1000	45	3,0	3,0	
9	60	40	1250	45	3,0	3,0	Оплавление материала
10	60	40	1120	30	2,8	3,0	
11	60	40	1120	60	6,5	4,0	
12	60	40	1120	20	0,4	2,0	
13	60	40	1120	50	6,5	4,0	

Примечание: Содержание бора в ферроборе – 5,5 мас. %.

Из приведенных в таблице 3 результатов видно, что температура нагрева, продолжительность выдержки и соотношение порошковых составляющих в смеси оказывают существенное влияние на компонентный состав ферромагнитного абразивного материала. При соотношении компонентов порошковой смеси 40–80 % железоуглеродистого сплава и 60–20 % ферробора нагрев до температур 1030–1200°С и выдержка от 30 до 60 мин обеспечивают присутствие в материале карбидов бора и боридов железа на уровне, соответственно, 0,6–0,8 и 1–6 мас. %, при котором материал обладает максимальными режущими свойствами.

Таким образом, предлагаемый ФАП на основе боридов железа позволяет упростить его компонентный состав и обеспечивает высокие эксплуатационные свойства при обработке новых и восстановленных металлических изделий.

Список использованных источников

1. Барон, Ю.М. Физические основы работы магнитно-абразивных материалов./ Ю.М. Барон // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – Киев : ИПМ АН УССР, 1980. – С. 10–17.

2. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Л : Машиностроение, 1986. – 172 с.

3. Гнесин, Г.Г. Принципы создания магнитно-абразивных материалов / Г.Г. Гне-син, М.Д. Крыский, Л.Н.Тульчинский // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – 1980. – С. 17–25.

4. Способ получения магнитно-абразивного порошка : а с. 677813 СССР : МКП В22F9/16 / Н.А. Басуев, А.Б. Кочкарев. № 3541782/22-02 ; заявл. 21.01.1983 ; опубл. 07.02.1985 // Бюл. № 5, 1985. – 4 с.

5. Ферромагнитный абразивный материал и способ получения материала : пат. № 6028 С1, МКИ С22С23/02, 29/14, В24D23/34. В22F9/04 / Ю.Г. Орлов [и др.] ; ГНУ ФТИ НАН Беларуси. – № а20000194 ; заяв. 2000,02,29 ; опубл. 2004.03.30 : Бюл. № 12, 2004. – 4 с.

Abstract. A composition and method of manufacturing ferro-abrasive powder based on iron borides for magnetically abrasive machining of parts from aluminum and copper alloys is proposed. It has been established that in terms of the aggregate characteristics, the proposed ferro-abrasive powder is not inferior or superior to the existing ones.

УДК 621.762

Капцевич В.М.¹, доктор технических наук, профессор;
Кусин Р.А.¹, кандидат технических наук, доцент;
Корнеева В.К.¹, кандидат технических наук;
Ильющенко А.Ф.², доктор технических наук, профессор,
член-корр. НАН Беларуси;
Черняк И.Н.², **Кусин А.Р.²**, **Жегздринь Д.И.²**

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь,

²Государственное научное учреждение «Институт порошковой
металлургии имени академика О.В. Романа»,
г. Минск, Республика Беларусь

РАСЧЕТ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДВУХСЛОЙНЫХ ПОРОШКОВЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Приведена методика расчета проницаемости двухслойных порошковых фильтрующих материалов с учетом зоны