

ми, содержащими наряду с магнетитом добавки олеиновой кислоты и полимера (примеры 3, 4), примесей незакрепленного магнетита и округления острых граней не наблюдается (рис. 3).



Рис. 3. Фотография частицы порошка после модифицирования индивидуальным магнетитом, олеиновой кислотой и полимером

Проведенные исследования показали, что при использовании ФАП (примеры 1, 2) модифицированных индивидуальным магнетитом, изменений показателей шероховатости после обработки не происходит, а на поверхности деталей образуется темно-коричневая пленка, удаляемая керосином или органическими растворителями. Результаты рентгенографического анализа ФАП, обработанного индивидуальным магнетитом, свидетельствует о том, что при обработке ФАП деталей происходит частичное окисление магнетита ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Это отрицательно сказывается на магнитных характеристиках МАМ и, следовательно, на его удержании в рабочей зоне. Наибольший массовый съем материала наблюдается при исследовании ФАП, в состав которого помимо магнетита входят олеиновая кислота и полимер.

УДК 621.923

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ФЕРРОАБРАЗИВНОГО ПОРОШКА НА ОСНОВЕ БОРИДОВ

*С.И. Кравченко – студент 3 курса БГАТУ*

*Научные руководители – к.т.н., доцент Л.Е. Сергеев,  
ст. преподаватель Е.В. Сенчуров*

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 (МАО) в виде ферроабразивных порошков (ФАП), гранул, суспензий, обладающих одновременно магнитными и абразивными свойствами. Эффективность 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. Выбор материала, обеспечивающего требования по магнитным свойствам, не представляет особых трудностей. Наиболее высокую индукцию насыщения имеет сплав Fe-Co (40% Co), но в связи с его высокой стоимостью предпочтение отдается железу.

Известен, ФАП и способ его получения, 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.

Способ получения данного, материала включает получение слитка, железокремнистого сплава и его измельчение, карбоборирование в контейнере с порошкообразной борсодержащей смесью при нагреве, охлаждение смеси в жидкой среде, рассев на фракции. 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 ферромагнитный абразивный материал содержит 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 и остальное, а в способе получения ферромагнитного абразивного материала, включающем смешивание распыленного порошка железоуглеродистого сплава и механически измельченного порошка ферробора, спекание смеси порошков, измельчение спека и его рассев, 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, а размер частиц порошковой смеси выбирают мкм: порошок железоуглеродистого сплава 160...400, порошок ферробора менее 100, причем нагрев смеси порошков, выдержку при температуре 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 показывает, что заявляемый сплав отличается от известного содержанием кремния, углерода, боридов железа и не содержит титана, алюминия и фосфора.

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.

В качестве примера осуществлено изготовление ферромагнитного абразивного материала, химический состав которого представлен в таблице 1. В таблице 2 приведены результаты испытаний эксплуатационных свойств предлагаемого материала при обработке поверхности образцов на алюминиевой и медной основе. Наряду с опытными материалами проводили изготовление и испытания материала, выбранного за образец.

Таблица 1

Химический состав опытных сплавов

№ пп	Вид сплава	Уровень содержания компонентов	Содержание компонентов, мас. %							
			C	Si	всх	FeBx	P	Ti	Al	Fe и примеси
1	Предлагаемый	средний	1,60	8,75	0,30	0,65	0,30	2,3	1,7	остальное
2		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				

Таблица 2

Показатели МАО известного и предлагаемого ФАП

№ пп	Латунь Л63		Бронза Бр АЖ9		Сплав Д 16	
	Ra <sub>2</sub> , мкм	q, г/мин	Ra <sub>2</sub> , мкм	q, г/мин	Ra <sub>2</sub> , мкм	q, г/мин
1	0,069	0,0169	0,058	0,0280	0,055	0,0150
2	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

Сплавы, используемые для последующего насыщения бором, выплавляли в индукционной печи с кислой футеровкой, расплав расплющивали водоразделом либо получали в виде слитка, после чего осуществляли дробление и рассев на фракции. Частицы порошка железоуглеродистого сплава размером 160...400 мкм смешивали с механически измельченным порошком ферробора с размером частиц не более 100 мкм в соотношении (40...80%) (20...60%) и осуществляли жидкофазное спекание в графитовом тигле под слоем измельченного графита при температуре 1030...1200 °С в течение 30...60 мин, затем полученный спек охлаждали, размалывали и рассевали на фракции. Критерием качества порошка служили следующие показатели: шероховатость обработанной поверхности, мкм, удельный съем металла, мг/мин см<sup>2</sup>:

Ra<sub>1</sub> – исходная шероховатость поверхности, 1,6...2,5 мкм

Ra<sub>2</sub> – шероховатость поверхности после МАО, мкм

q – удельный съем материала при обработке, г/мин

Размер частиц ФАП 200...315 мкм.

Испытания материала проводили при следующих режимах: магнитная индукция в рабочем зазоре В – 1,0 Тл, скорость вращения детали 1,0 м/с, скорость осцилляции полюсных наконечников 0,2 м/с, время обработки – 60 с. СОТС – 1,5 %-ный водный раствор СинМА-1 (ТУ 38.590117691).

Из таблицы 2 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.

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 происходит ускоренная диффузия бора из жидкой фазы в твердую и диффузия углерода из объема твердой фазы на поверхность порошковой частицы с образованием устойчивого химического соединения В<sub>4</sub>С. 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.

Таблица 3

## Определение технологических параметров способа изготовления ФАП

№ опыта	Состав порошковой смеси		Температура нагрева при спекании °С	Продолжительность нагрева, мин	Содержание составляющих абразивных, мас. %		
	Железоуглеродистый сплав	Ферробор			BCx	FeVx	Примечание
1	30	7,0	1120	45			Охрупчивание материала
2	40	60			6,0	5,0	
3	60	40			3,2	3,5	
4	80	20			0,6	2,0	
5	90	10			0,5	0,9	
6	60	40	1130		3,2	3,5	Оплавление материала
7			1200		8,0	6,0	
8			1000		3,0	3,0	
9			1250		3,0	3,0	
10					30	2,8	
11			1120	60	6,5	4,0	Оплавление материала
12				20	0,4	2,0	
13				50	6,5	4,0	

Примечание: Содержание бора в ферроборе 5.5 мас. %, %.

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.

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 способ получения ФАП позволяет упростить его компонентный состав и обеспечивает высокие эксплуатационные свойства при обработке металлических изделий.