

СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ФЕРРОАБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ

Ю.Г. Орлов, Л.Р. Дудецкая, А.И. Сурус, Ю.В. Соколова

*Физико-технический институт НАН Б,
220141, г. Минск, ул. Купревича, 10
E-mail: phti@ns.igs.ac.by*

В работе обсуждаются способы повышения технологических свойств ферроабразивных порошков путем термической, химико-термической обработки и обработки в азотсодержащей плазме. Приведены результаты магнитно-абразивной обработки образцов из цветных сплавов упрочненными порошками.

В процессе снижения шероховатости и упрочнения поверхностного слоя деталей и заготовок при магнитно-абразивной обработке (МАО) ферроабразивные порошки (ФАП) являются единственным инструментом процесса. Для осуществления своих функциональных задач ФАП должны обладать магнитными и абразивными свойствами. Наличие столь сильно различающихся свойств достигается использованием металлических порошков на железной основе с гетерогенной структурой, причем сверхтвердые фазы в порошковых сплавах должны быть химически инертны к обрабатываемому материалу, иметь остроугольную форму и располагаться в поверхностном слое порошковых частиц.

В полном объеме перечисленными свойствами обладает малое количество порошковых материалов, используемых в МАО. Те же порошки, которые используются в качестве ФАП, по-разному проявляют свои свойства при обработке различных материалов.

В настоящее время в МАО наиболее часто применяют композиционные и литые порошки. Технологии изготовления композиционных порошков позволяют придавать порошкам необходимые свойства, но большое количество технологических операций и высокие требования к исходным материалам делают конечный продукт наиболее дорогим.

Технология изготовления литых (т.е. полученных диспергированием расплава) порошков характеризуется высокой производительностью, возможностью получить сложные, но в то же время однородные по химическому составу порошки. Однако округлая форма частиц литых порошков снижает их абразивные свойства.

В данной работе представлены способы и результаты улучшения технологических свойств ФАП путём изменения формы порошковых частиц или их упрочнения.

Порошки, полученные диспергированием струи расплава, охлаждаются со скоростью $10^3 \dots 10^5$ град/с. Образование сверхтвердых фаз протекает очень быстро и размеры их невелики. Например, при диспергировании быстрорежущей стали образуются карбиды, размер которых не превышает $1,5 \dots 2,0$ мкм, тогда как в аналогичной стали при обычном слитковом переделе размер карбидов составляет $60 \dots 70$ мкм. Поэтому для литых ФАП с целью увеличения размеров карбидов и, следовательно, твердости порошковых частиц использовали отжиг в безокислительной атмосфере при температурах $850 \dots 1250^\circ\text{C}$ в зависимости от химического состава ФАП.

ФАП с высоким содержанием нитридообразующих элементов (титана, ванадия, алюминия) подвергали карбонитрации в расплаве цианата натрия (NaCNO) при температуре $\sim 570^\circ\text{C}$ в течение $15 \dots 30$ мин. При такой химико-термической обработке на

поверхности и в объеме порошковых частиц образуются карбиды и нитриды, придающие высокую твердость и режущие свойства порошковым частицам. Наиболее эффективна такая обработка для порошков, полученных дроблением ферротитана, феррованадия или специально выплавленных сплавов с повышенным содержанием нитридо- и карбидообразующих элементов.

Для магнитно-абразивного полирования с незначительным удалением припуска обрабатываемой детали целесообразно использовать ФАП с округлой формой частиц и высокой твердостью. Для придания таких свойств порошкам, особенно полученным механическим измельчением, их подвергали плазменно-дуговой обработке. Порошки ферротитана различных фракций (менее 100 мкм; 100...200 мкм; 200...400 мкм) раздельно пропускали через плазму, используя плазменную установку УПУ-3Д. Режим плазменной обработки принимали таким, который обеспечивает полное расплавление частиц сплава ПГ-СР4 ($t_{пл}=1080^{\circ}\text{C}$) грануляцией 100...160 мкм.

Показатели режима следующие:

- сила тока - 200 А;
- напряжение - 90 В;
- расход плазмообразующего газа - 3,0 м³/ч;
- производительность по порошку - 4,5 кг/ч.

В качестве плазмообразующего газа использовали технический азот, что должно было обеспечивать интенсивное химическое взаимодействие титана с атомарным азотом.

Порошки с размером частиц более 100 мкм плазменной струей направлялись на металлическую поверхность, на которой они закристаллизовывались и осыпались в приемное устройство. Порошки с размером частиц менее 100 мкм плазменной струей сразу направлялись в приемное устройство с водой.

Изучение формы и топографии поверхности частиц показало, что различные варианты плазменной обработки позволяют влиять на эти характеристики порошка. Порошки, полученные распылением плазмой в воду, близки по форме к порошкам, полученным обычным распылением, однако имеют более развитую поверхность.

Величины микротвердости матрицы порошков приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Микротвердость матрицы ферроабразивных порошков

Способ плазменной обработки порошка	Микротвердость матрицы, МПа
с охлаждением на воздухе	4580
с охлаждением в воде	9100

Таким образом скорость охлаждения капель при плазменной обработке порошка является важным параметром, влияющим на структуру и свойства порошка. Меняя параметры обработки, можно изменить форму частиц и условия формирования структуры.

МАО порошком ферротитана без и после плазмохимического упрочнения проводилась при следующих режимах:

- магнитная индукция в рабочем зазоре, Тл - 0,9;
- скорость вращения детали, м/с - 1,0;
- скорость осцилляции полюсных наконечников, м/с - 0,2;
- амплитуда осцилляции, мм - 2,0;
- коэффициент заполнения рабочего зазора - 1,0;
- продолжительность обработки, с - 60.

Использовались образцы в виде втулок диаметром 36 мм, шириной 32 мм, с толщиной стенки 1 мм. Испытания проводились на латуни Л63, бронзе БрАЖ 9-4 и алюминиевом сплаве Д16. Исходная шероховатость поверхности составляла $Ra = 1,3 \dots 2,5$ мкм.

Результаты обработки различными видами порошков представлены в табл.2.

Т а б л и ц а 2. Результаты МАО цветных сплавов ферроабразивными порошками, упрочненными в дуговой плазме

Марка порошка	Размер частиц порошка, мкм	Параметры МАО	Марка обрабатываемого материала		
			Л63	БрАЖ9-4	Д16
Ферротитан, без упрочнения	315...400	Ra , мкм G , мг	1,0...1,2 140...160	1,0...1,3 115...130	0,9...1,2 100...110
Ферротитан, плазменное распыление в воду	63...100	Ra , мкм G , мг	0,09...0,2 180...240	0,08...0,1 200...240	0,1...0,2 210...230
Ферротитан, плазменное распыление на подложку	2000...315	Ra , мкм G , мг	0,1...0,4 200...260	0,2...0,4 210...240	0,4...0,5 250...300

Одним из недостатков обработки ФАП в дуговой плазме является то, что при сверхбыстром охлаждении металла ($10^4 \dots 10^5$ град/с) в структуре фиксируется достаточно много аустенита, который не обладает необходимыми магнитными свойствами. То есть при обработке порошка в дуговой плазме магнитные свойства ухудшаются.

Как видно из таблицы, порошок ферротитана после плазмохимической обработки приобретает значительно более высокие рабочие характеристики по сравнению с исходным порошком.

Указанных недостатков можно избежать, используя для образования на поверхности частиц порошка нитридов титана обработку порошка в ионно-плазменной установке.

Принцип вакуумного электродугового нанесения покрытий состоит в следующем: в вакуумной камере при остаточном давлении $1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$ Па между анодом, которым служат металлические стенки вакуумной камеры, и катодом зажигается вакуумная дуга, являющаяся источником ионов материала катода. В данном случае материалом катода является титан. Для того, чтобы создать направленный поток ионов к подложке, к ней прикладывается отрицательный потенциал ϕ . Варьируя величину ϕ , можно изменять энергию движущихся ионов.

После возникновения вакуумной дуги пространство камеры заполняется плазмой, которая содержит ионы титана (из катода) и ионы азота.

Направленный поток ионов плазмы приводит к образованию на поверхности электропроводных материалов на подложке покрытий из нитрида титана.

Для создания благоприятных условий при нанесении покрытий на порошковые частицы дополнительно было использовано устройство для перемешивания порошка.

Эксперименты по нанесению покрытий из TiN на порошки ферротитана проводили на установке ВУ-16, изготовленной на одном из предприятий Белоруссии (ТУ 3-203-83). Технология включает выполнение двух следующих операций:

1. Ионная очистка.

При выполнении этой операции устанавливается и поддерживается потенциал $U = 600$ В между камерой и подложкой. Температура порошка на подложке $\cong 400$ °С. Продолжительность операции составляет ~ 5 мин.

2. Напыление.

Потенциал между камерой и катодом $U = 100 \dots 150$ В. Потенциал между камерой и подложкой сохраняется на уровне выполнения первой операции. Температура порошка $\cong 300 \dots 350$ °С. Продолжительность операции 40...60 мин.

Во время выполнения этих операций работает перемешивающее устройство.

Испытания абразивных свойств порошков, подвергнутых обработке в ионно-плазменной установке, выполняли в условиях, аналогичных изложенным ранее.

Результаты испытаний порошков приведены в табл.3.

Т а б л и ц а 3. Результаты МАО порошками с ионно-плазменными покрытиями TiN.

Марка порошка	Размеры частиц ФАП, мкм	Параметр МАО	Марка обрабатываемого материала	
			ШХ15	Д16
Ж15КТ	200...300	Ra_1/Ra_2 , G	0,91/0,83 0,1262	2,57/1,59 0,2518
Ферротитан, необработанный	200...300	Ra_1/Ra_2 G	3,04/0,20 1,3872	2,42/1,58 0,2518
Ферротитан после ионно-плазменной обработки	200...400	Ra_1/Ra_2 G	1,81/0,82 0,7537	1,46/1,01 0,0712

Примечание: Ra_1 , мкм – шероховатость образца до МАО;

Ra_2 , мкм – шероховатость образца после МАО

G, мг – массовый съём металла при обработке.