

И. А. КАЛАШНИКОВА, инж., А. В. КАЛАШНИКОВ, канд. техн. наук
Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка

Технология получения порошка на основе базальта

Из современных методов повышения стойкости против изнашивания наиболее применяемым является нанесение упрочненного слоя на поверхность детали. Исследования в этой области выполнены И. И. Тылкиным, В. С. Поповым, Е. В. Антошиным, Ю. С. Борисовым, А. А. Борисовой, В. И. Юшковым, С. Л. Фисиманом и другими учеными.

Значительная часть технологических задач по повышению стойкости против изнашивания решается путем использования газотермических методов нанесения покрытий. Благодаря этому методу можно напылять различные материалы в несколько слоев, получая при этом покрытие со специальными свойствами [1—4]. Газотермическое напыление применяют для нанесения тугоплавких и высокотвердых покрытий из оксидов, металлов, интерметаллидов, силицидов, карбидов, боридов и др.

В зависимости от эксплуатационных свойств и практического назначения покрытия делят на следующие основные группы [5—8]: износостойкие, термостойкие, стойкие против атмосферной коррозии и воздействия редких сред, со специальными электрофизическими и оптическими свойствами, служащие для образования саморегулирующих зазоров, а также для восстановления размеров изношенных деталей.

В некоторых случаях покрытие одновременно может удовлетворять ряду требований.

В данной работе разработано покрытие для защиты от абразивного изнашивания.

При работе пары трения в условиях интенсивного абразивного изнашивания рекомендуется использовать для нанесения покрытий вольфрамкобальтовые твердые сплавы [4]. При абразивном изнашивании в условиях невысоких температур (до 500 °С), когда абразивные частицы проникают в зазор между парами трения, наибольшее применение получили покрытия на основе никелевых самофлюсующихся сплавов как в чистом виде, так и с примесями порошков упрочняющих материалов (карбидов, боридов) [5].

Особое место в технологии газотермического нанесения покрытий занимают композитные материалы для упрочнения поверхности. Они состоят из пластичной — железной или никелевой матрицы, упрочненной боридами железа, титана, никеля или карбидами этих элементов.

Стоимость материалов довольно высока, поэтому в данной работе рассматривается применение естественных износостойких минералов в качестве основы для газотермических покрытий, в частности базальта.

Базальты относятся к наиболее распространенным горным породам магматического происхождения. Минеральный состав базальтов аналогичен материалу габбро. Они отличаются высокой вязкостью и достаточно большой механической прочностью и состоят преимущественно из пироксена и плагиоклаза [7].

Для получения порошков использовали базальтовые отливки следующего минерального состава: до 90 % моноклинного пироксена, до 15 % магнетита, 2 % хромита, до 15 % стекла и оливин в незначительном количестве.

Магнетит в процессе кристаллизации выделяется первым. Он присутствует в виде мелких кубических кристаллов, тонкой магнетитовой пыли или дендритных форм, которые иногда образуют сплошную сетку. При медленном охлаждении расплава они выделяются в интервале ликвидуса — до 620—650 °С [8].

Оливины являются нежелательной фазой. Они обычно кристаллизуются из расплавов, в состав которых входят железо и при повышенном содержании оксиды магния, особенно в зонах отливок, которые охлаждаются медленно. Плагиоклазы, состоящие из лабрадора или андезина, могут выделяться при медленном охлаждении базальтового расплава в виде бесцветных призматических кристаллов или сферолитовых агрегатов.

Главной минеральной фазой базальтового литья является моноклинный пироксен диопсид-геденбергитового ряда. Он выделяется при медленном охлаждении расплавов в интервале температур от 1200—1150 до 800 °С (наибольшее количество выделяется при 1150 °С). Преобладающие формы выделений — сферолиты. Различают радиально-лучистые, звездчатые, радиально-волоконистые и перистые сферолиты. Преобладают звездчатые сферолиты, которые имеют округлую или неправильную полигональную форму. В центре их располагаются кристаллы буровато-красного хромита или непрозрачного магнетита. Сферолиты соединяются между со-

бой тонкими оболочками стекла, тонкозернистыми агрегатами магнетита, хромита. Оптимальный размер сферолитов 60—90 мкм. Структура базальтового каменного литья практически полнокристаллическая, по форме кристаллических агрегатов преобладает сферолитовая, но при определенных условиях может образоваться дендритная, пальцеобразная, иногда иглообразная, а также венечно-сферолитовая или дендритно-сферолитовая. Текстура чаще всего однородная, массивная.

Различия в каменном литье из базальта для трех типов минералообразования иллюстрирует табл. 1 [8, 9].

Для получения порошка использовали базальтовые плиты объемной плотностью 2,9—3,1 г/см³, прочностью на сжатие 200 МПа, твердостью по Моосу 7—8, потери при трении на круге ЛКИ не выше 0,027 г/см² (Донецкий ОАО "Литейный завод "Магма").

Базальтовые плиты измельчали до порошкообразного состояния. При этом порошок с крупностью фракции 150—250 мкм использовали как чистый материал для напыления, а фракции крупностью 5—10 мкм перемешивали с порошком никеля и пластификатором.

Никель добавляли для образования вязущей матрицы (так как свойства газотермических покрытий на основе базальтов только изучаются).

Концентрацию никеля принимали в процентах от массы порошка в соответствии с планом эксперимента и требованиями технологии газотермического напыления.

Грануляцию (фракции 150—250 мкм) смеси никеля с базальтом проводили на основе рекомендации Института материаловедения НАН Украины, в каче-

стве пластификатора использовали 20 %-ный раствор картофельного крахмала [10].

Технология получения порошка отличается относительной простотой. Полученную смесь замешивали в бегунах и просушивали на воздухе до влажности 30—40 %. Просушенную на воздухе смесь протирали на виброситах с размерами ячеек 1,6, 1,0, 0,63 и 0,4 мм керамическими цилиндрами, которые свободно катались в смеси. После протирания порошок высушивали в сушильном шкафу в течение 8 ч при 70—80 °С, а затем отсеивали на контрольных ситах.

Важным фактором при получении порошка является процент выхода качественного порошка заданной фракции.

С целью достижения максимального эффекта получения качественного порошка проводили оптимизацию эксперимента методом планирования [11]. Для планирования эксперимента использовали двухфакторный центральный ортогональный план вида

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2. \quad (1)$$

Число экспериментов при планировании составляет $N = 2^2 + 2 \cdot 2 + 1 = 9$, а с учетом повторяемости ($\gamma = 3$) возрастает до 27. Значения факторов и уровни их варьирования приведены в табл. 2.

Результаты исследований соответственно плану экспериментов приведены в табл. 3.

После обработки результатов эксперимента на ПЭВМ получили модель процесса:

$$y = 50,36 + 4,7x_1 + 11,08x_2 - 1,43x_1^2. \quad (2)$$

Таблица 1

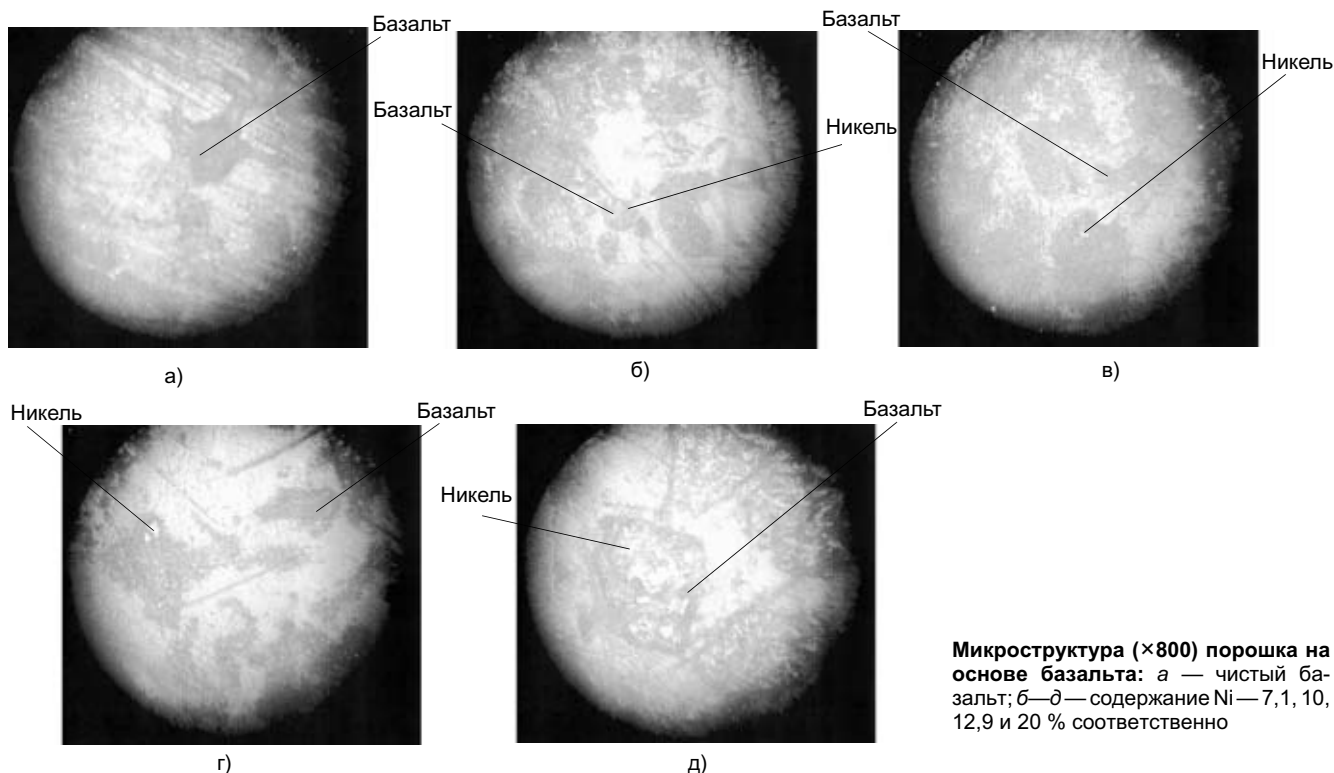
Тип минералообразования	Содержание пироксена, %	Состав пироксена (Ca, Mg, Fe, Si ₂ O ₆)	CaAl ₂ Si ₆	CaFe ₃ + 2Si ₆	CaTiAlSi ₆	NaAlSi ₆
1	49,3	76,1	—	18,9	6,0	—
2	81,4	48,4	30,2	—	3,6	17,8
3	90,7	43,3	27,1	10,3	3,3	16,0

Таблица 2

Уровень варьирования	Код	Фактор	
		Содержание никеля x ₁ , %	Содержание крахмала x ₂ , %
Основной	0	10,0	20,0
Верхний	+1	20,0	30,0
Нижний	-1	0	10,0

Таблица 3

Номер эксперимента	x ₀	Матрица x-плана		Содержание выхода качественного порошка, %			Среднее значение выхода, %
		x ₁	x ₂	У ₁	У ₂	У ₃	
1	+1	-1	-1	33,89	32,91	28,99	31,93
2	+1	+1	-1	43,20	43,35	42,33	42,96
3	+1	-1	+1	56,70	53,60	55,90	55,40
4	+1	+1	+1	43,65	44,82	43,82	44,10
5	+1	-1	0	61,50	65,50	64,40	63,80
6	+1	+1	0	52,12	53,63	52,95	52,90
7	+1	0	-1	39,62	40,25	37,82	39,23
8	+1	0	+1	62,98	59,26	61,96	61,40
9	+1	0	0	49,05	49,24	52,91	50,40



После перехода от кодированных значений факторов к реальным получили уравнение вида

$$F = -2,08 + 9,67C_2 - 0,36C_2^2. \quad (3)$$

Эта зависимость проанализирована на максимальную величину выхода качественного порошка.

Микроструктура порошка с различным содержанием никеля приведена на рисунке.

Выход качественного порошка (фракции 150—250 мкм) после пересева на стандартных ситах составляет 63,97 % массы полученного порошка при содержании крахмала 23 %.

Порошок имеет довольно длительный срок хранения. При контрольном пересеве после семилетнего срока хранения порошка карбида бора, полученного по подобной технологии, отходы составили меньше 1 % [12].

ВЫВОДЫ

1. Для грануляции порошков, используемых при газотермическом напылении, целесообразно использовать в качестве пластификатора картофельный крахмал, так как в этом случае можно применять относительно простое оборудование.

2. Оптимальное содержание крахмала составляет 20—26 %.

3. Срок хранения такого порошка довольно продолжительный — более 8 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Износостойкость* различных наплавочных сплавов, эксплуатируемых в условиях абразивного изнашивания в воде / Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумели, Л. Н. Калинин и др. // Сварочное производство. 1990. № 4. С. 19—21.
2. *Долговечность шарошечных долот* / Н. А. Жидовцев, В. Я. Кершенбаум, Э. С. Гинзбург и др. М.: Машиностроение, 1992. 22 с.
3. *Икрамов У. А.* Расчетные методы оценки абразивного износа. М.: Машиностроение, 1987. 287 с.
4. *Кудинов В. В., Иванов В. М.* Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение, 1981. 192 с.
5. *Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник* / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов и др. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
6. *Газотермическое напыление покрытий.* Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. 175 с.
7. *Миловский А. В.* Минералогия и петрография: Учебник. 5 изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 432 с.
8. *Рашин Г. А.* Возможности управляемого минералообразования в петрургии // Проблемы каменного литья. Киев: Изд-во АН УССР, 1968. Вып. 2. С. 12—16.
9. *Затвердевание и кристаллизация каменного литья* / Б. Х. Хан, И. И. Быков, В. П. Кораблин, С. В. Ладохин. Киев: Наукова думка, 1969.
10. *Получение и свойства сфероидизированных порошков тугоплавких соединений для плазменного напыления* / В. С. Слепцов, И. М. Финкельштейн, Е. А. Король, В. Г. Миконенко и др. // Порошковая металлургия. 1975. № 3. С. 1—5.
11. *Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов* / Под ред. Э. К. Лецкого. М.: Мир, 1977. 167 с.
12. *Калашников А. В.* Карбид бора — износостойкое покрытие в растворонасосах // Новые технологии и системы обработки в машиностроении. Донецк: Донеччина, 1994. С. 54—55.