

УДК 621.762.2

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ
ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ
МЕТОДОМ МЕХАНОСИНТЕЗА**

студент гр.103152 Бабина С.С.

Научный руководитель – проф. Жорник В.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

При магнитно-абразивной обработке (МАО) используются частицы, которые должны обладать ферромагнетизмом и абразивной способностью. Обычно в качестве магнитно-абразивной рабочей среды используют смеси или композиты на основе порошков железа и материала высокой твердости, таких как оксид алюминия, карбид титана, карбид кремния, диоксид кремния, алмаз и т.п. Композиты такого состава преимущественно получают металлургическим методом: спеканием и синтезом с последующим размолом [1, 2]. К недостаткам этих методов можно отнести частичный распад реактивных компонентов, например, карбида кремния, невозможность диспергирования абразивных частиц ниже уровня 5 мкм, низкую абразивную способность спеченных композиционных частиц [2].

Одним из эффективных способов получения наноструктурированных композитов является интенсивная механическая обработка, проводимая в высокоэнергетических планетарных шаровых мельницах [3, 4]. Основными преимуществами этого способа является возможность формирования порошков с большой контактной поверхностью и интенсификация различных физико-химических процессов в материалах, что способствует изменению их структурно-фазового состояния. Регулирование степени взаимного перемешивания, размера частиц (вплоть до наноуровня) и реакционной способности композиций достигается путем изменения режима и длительности обработки.

Целью данной работы являлось изучение влияния интенсивной механической обработки на формирование структуры композита Fe/SiC и его абразивные свойства.

Для получения композиционных магнитно-абразивных порошков в работе использовались порошки карбонильного железа ПЖК с размером частиц $d_n = 140\text{--}180$ мкм и карбида кремния монокристаллического α -SiC с кристаллической структурой типа вюрцита фрак-

ции $d_i = 40\text{--}180$ мкм. Механическую активацию (МА) порошковой смеси 80мас.%Fe+20мас.%SiC проводили в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице Активатор-2S (пр-во ЗАО «Активатор», г. Новосибирск) с энергонапряженностью $I = 3$ Вт/г в воздушной атмосфере при водяном охлаждении в течение 5, 10, 20 и 60 мин, что соответствует дозам механической энергии 0,9; 1,8; 3,6 и 10,8 кДж/г. Изучение фазового состава порошковых композитов проводили на дифрактометре D8 Advance в характеристическом излучении $\text{CuK}_{\alpha 1}$ ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) с использованием базы данных рентгенографических стандартов ICDD PDF-2. Изучение абразивных свойств получаемых механокомпозитов проводили на установке магнитно-абразивного полирования модели T10, предназначенной для финишной обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей.

Результаты исследования показали, что увеличение дозы введенной механической энергии с $D = 0,9$ кДж/г до $D = 10,8$ кДж/г приводит к существенному снижению интенсивности дифракционных отражений железа и значительному их уширению, что обусловлено уменьшением размеров кристаллитов L и ростом внутренних микронапряжений ε ($\varepsilon = \Delta d/d$) (табл. 1).

Таблица 1. Микроструктурные параметры фаз порошковой смеси Fe-SiC при механической активации

Доза введенной энергии D , кДж/г	a , нм	L , нм	ε , %			
	Fe	SiC	Fe	SiC	Fe	SiC
0	2,866(4)	-	161	-	0,0027	-
0,9	2,866(9)	-	47	-	0,31618	-
1,8	2,865(0)	-	41	121	0,3227	0,2212
3,6	2,866(8)	-	35	40	0,8777	0,8280
10,8	2,868(5)	-	12	16	1,4091	0,0001

Интенсивности дифракционных отражения карбида кремния также существенно снижаются и при значениях $D = 10,8$ кДж/г едва превышают фон. Следует отметить, что при механообработке с дозой механической энергии $D = 1,8$ кДж/г фрагментация частиц карбида кремния происходит менее существенно, чем железа, что обусловлено его более высокими прочностными свойствами, и достигают уровня $\langle L \rangle_{\text{Fe}} \approx 40$ нм и $\langle L \rangle_{\text{SiC}} \approx 120$ нм. При $D = 3,6$ кДж/г средний размер кристаллитов Fe и SiC выравнивается ($\langle L \rangle = 35\text{--}$

40 нм), и измельчение кристаллитов ниже уровня $\langle L \rangle = 40$ нм для обоих компонентов происходит значительно медленнее (рис. 1). В фазе карбида кремния с увеличением дозы механической энергии до $D = 10,8$ кДж/г и уменьшением размера кристаллита до $\langle L \rangle_{\text{SiC}} = 16$ нм происходит резкое снижение уровня микронапряжений, что может свидетельствовать о снижении количества дефектов в кристаллитах. Изменения параметров решетки (a) фазы железа происходит незначительно (табл. 1). Можно предположить, что тонкодисперсные частицы карбида кремния при МА распределяются по границам железа без существенного взаимодействия.

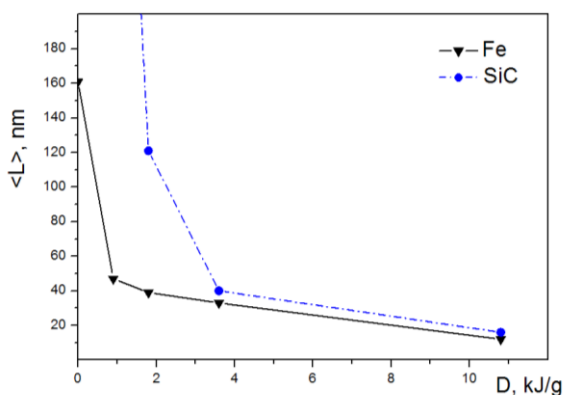


Рисунок 1 – Зависимость размера кристаллитов Fe и SiC от затраченной дозы механической энергии при МА

Измельчение частиц карбида кремния происходит значительно быстрее, чем частиц железа (табл. 2), что обусловлено их более высокой хрупкостью. Формируемые композиционные частицы Fe/SiC, в которых измельченные разноразмерные ($d_i = 1-8$ мкм) твердые частицы SiC расположены в матрице менее твердого компонента железа, имеют широкий размерный диапазон $d_i = 8-250$ мкм. Увеличение длительности МА до достижения значений $D = 3,6$ кДж/г приводит к полному расходованию железа на образование композиционных частиц размером $d_i = 8-110$ мкм, содержащих включения SiC размером $d_i = 0,6-5$ мкм, однако отдельные несвязанные

частицы SiC размером до $d_q \approx 5$ мкм все еще присутствуют в смеси. Дальнейшее увеличение длительности МА до достижения значений $D = 10,8$ кДж/г приводит к равномерному распределению твердых частиц SiC в матрице железа и их дальнейшему измельчению до уровня $d_q = 0,3-2$ мкм. Размерный диапазон частиц композитов сужается до $d_q = 1-43$ мкм.

Таблица 2. Размеры частиц при МА

Доза введенной энергии D , кДж/г	Размерный диапазон частиц d_q , мкм	
	Fe/SiC	SiC
0,9	14–250	5–20
1,8	8–90	1–15
3,6	8–110	0,6–5
10,8	1,5–43	0,3–2

Таким образом, формирование композита Fe/SiC проходит следующие стадии: измельчение исходных компонентов с частичным образованием композиционных частиц в широком размерном диапазоне, увеличение количества композиционных частиц с уменьшением их размерных характеристик и измельчением субструктурных элементов, формирование композиционных частиц в узком размерном диапазоне с гомогенным распределением компонентов по фазовому и размерному составу. При этом основными механизмами формирования композитов является измельчение компонентов с их деформационным перемешиванием.

Результаты исследований абразивной способности получаемых механокомпозитов SiC на образцах из циркониевого сплава при длительности магнитно-абразивной обработки 5 мин приведены в таблице 3. Параметр исходной шероховатости обрабатываемой поверхности $Ra=0,15-0,25$ мкм.

Согласно полученным данным после МАО в течение 5 мин наилучшими абразивными свойствами (наибольший размерный съем материала, более низкий уровень и узкий диапазон значений параметра шероховатости Ra) обладает композиционный порошок Fe/SiC, полученный при механосинтезе с дозой механической энергии $D = 1,8$ кДж/г. Увеличение параметра МА до достижения значений $D = 3,6-10,8$ кДж/г приводит к значительному уменьшению (в 4–10 раз) размера абразивных частиц и их внедрению в объем ком-

позиционной частицы, что приводит к снижению общей абразивной способности композиционных порошков.

Таблица 3. Результаты МАО циркониевого сплава при использовании магнитно-абразивных порошков Fe/SiC

Номер образца	Доза введенной энергии D , кДж/г	Размерный съем на сторону, мкм	Шероховатость, Ra , мкм (диапазон/ср.)
1	0,9	4,9	0,11–0,23 / 0,182
2		4,4	0,12–0,22 / 0,155
3		3,6	0,12–0,18 / 0,152
1	1,8	5,5	0,08–0,12 / 0,101
2		6	0,09–0,13 / 0,114
3		6,3	0,08–0,12 / 0,096
1	3,6	4,3	0,09–0,12 / 0,107
2		5,8	0,06–0,2 / 0,139
3		3	0,07–0,19 / 0,112
1	10,8	3,5	0,10–0,14 / 0,123
2		3,8	0,10–0,24 / 0,164
3		2,9	0,07–0,10 / 0,088

Однако можно предположить, что увеличение длительности магнитно-абразивной обработки более 5 мин позволит достичь более низких показателей шероховатости обрабатываемой поверхности и для вариантов механосинтеза композиционных порошков Fe/SiC с дозой подведенной энергии $D > 1,8$ кДж.

Литература

1. Nepomnyashchii, V.V. Metal Surface Finishing with magnetic abrasive powder based on Iron with Ceramic Refractory Compounds (Mechanical Mixtures) / V.V. Nepomnyashchii, S. M. Voloshchenko, T.V. Mosina, K.A. Gogacv, M.G. Askerov, A.V. Miropol'skii // Refractories and Industrial Ceramics. – 2014. – Vol. 54. — № 6. – pp. 471–474.

2. Yodkaew, Th. Sintered Fe- Al_2O_3 and Fe-SiC Composites / Th. Yodkaew, M. Morakotjinda, N. Tosangthum, Or. Coovattanachai, R. Krataitong, P. Siriphol, Bh. Vetayanugul, S. Chakthin, N. Poolthong, R.

Tongsri // Journal of Metals, Materials and Minerals. – 2008. – Vol.18. – No.1. – pp. 57–61.

3. Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами: монография / Отв. ред. О.И. Ломовский. – Новосибирск: Изд-во СО РАН (Интеграционные проекты СО РАН, вып. 26), 2010. – 432 с.

4. Khodaei, M. Mechanochemically Synthesized Metallic-Ceramic Nanocomposite; Mechanisms and Properties / M. Khodaei, M.H. Enayati, F. Karimzadeh // in book Advances in Nanocomposites – Synthesis, Characterization and Industrial Applications, Dr. Boreddy Reddy (Ed.): InTech., 2011. – pp. 157–180.