

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

**Витязь П.А., академик НАНБ, Жорник В.И., Ковалева С.А.**

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. в работе рассматривался один из способов получения наноструктурированных композитов. Целью данной работы являлось изучение влияния интенсивной механической обработки на формирование структуры композита Fe/SiC и его абразивные свойства.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, композиты Fe/SiC, механосинтез, композиционные порошки.

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. 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 [1, 2].

Одним из эффективных способов получения наноструктурированных композитов является интенсивная механическая обработка, проводимая в высокоэнергетических планетарных шаровых мельницах [3]. 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  $d_c = 140\text{--}180$  мкм и карбида кремния монокристаллического  $\alpha$ -SiC с кристаллической структурой типа вюрцита фракции  $d_c = 40\text{--}180$  мкм. Механическую активацию (МА) порошковой смеси 80мас.%Fe+20мас.%SiC проводили в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице Активатор-2S 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. Изучение абразивных свойств получаемых механокомпозитов проводили на установке магнитно-абразивного полирования модели T10.

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

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  $\epsilon$  ( $\epsilon = \Delta d/d$ ) (табл. 1). Интенсивности дифракционных отражений 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 (а) фазы железа происходит незначительно (табл. 1). Можно предположить, что тонкодисперсные частицы карбида кремния при МА распределяются по границам железа без существенного взаимодействия.

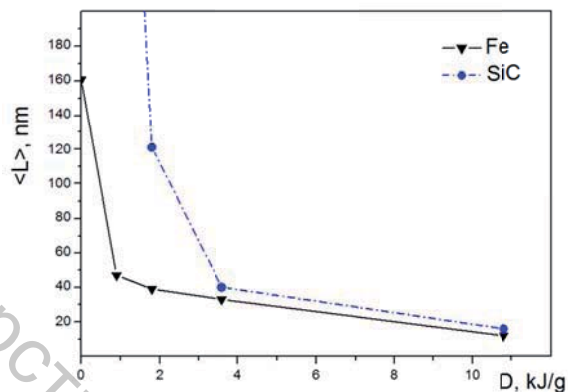


Рисунок 1 – Зависимость размера кристаллитов Fe и SiC от затраченной дозы механической энергии при МА

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 ( $d_c = 1\text{--}8$  мкм) твердые частицы SiC расположены в матрице менее твердого компонента железа, имеют широкий размерный диапазон  $d_c = 8\text{--}250$  мкм. Увеличение длительности МА до достижения значений  $D = 3,6$  кДж/г приводит к полному расходованию железа на образование композиционных частиц размером  $d_c = 8\text{--}110$  мкм, содержащих включения SiC размером  $d_c = 0,6\text{--}5$  мкм, однако отдельные несвязанные частицы SiC размером до  $d_c \approx 5$  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  $d_c = 0,3\text{--}2$  мкм. Размерный диапазон частиц композитов сужается до  $d_c = 1\text{--}43$  мкм.

Таблица 2 – Размеры частиц при МА

Доза введенной энергии D, кДж/г	Размерный диапазон частиц $d_c$ , 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  $Ra = 0,15\text{--}0,25$  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 уменьшению размера абразивных частиц и их внедрению в объем композиционной частицы, что приводит к снижению общей абразивной способности композиционных порошков.

Таблица 3 – Результаты MAO 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.

Работа выполнена в рамках договора БРФФИ № Т15СО-005.

#### Список использованных источников

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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe-SiC Composites / Th. Yodkaew, M. Morakotjinda, N. Tosangthum, Or. Coovattanachai, R. Krataitong, P. Siriphol, Bh. Vetayanugul, S. Chakthin, N. Poolthong, R. Tongstri // Journal of Metals, Materials and Minerals. – 2008. – Vol.18. – No.1. – pp. 57–61.
3. Механоконпозиты – 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.

УДК628.316.12:625.87

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ЗАГРУЗКИ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФОСФАТОВ

Сапон Е.Г., асп., Жук Е.С., студ.

Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. статья посвящена актуальному вопросу обеспечения качества природных вод, в частности очистке сточных вод от фосфора. Целью работы было исследовать возможность использования электросталеплавильного шлака (ЭШ) Белорусского металлургического завода (БМЗ) в качестве фильтрационной загрузки для очистки сточных вод от фосфатов.

Ключевые слова: очистка сточных вод, фильтры для очистки сточных вод, электросталеплавильный шлак.