

УДК 621.762.242

**МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ
ЖЕЛЕЗА И ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КАРБИДОВ ТИТАНА**

В. И. ЖОРНИК

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Беларусь;

Т. Ф. ГРИГОРЬЕВА

Институт химии твердого тела и механохимии СОРАН, Россия;

С. А. КОВАЛЕВА

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Беларусь;

С. В. ВОСМЕРИКОВ, Е. Т. ДЕВЯТКИНА

Институт химии твердого тела и механохимии СОРАН, Россия;

А. И. АНЧАРОВ

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СОРАН, Россия

Методом двухстадийного механохимического синтеза получены композиционные порошки Fe/TiC. На первом этапе получены высокодисперсные порошки карбида титана в процессе механической активации (МА) порошковой композиции высокоэнергетической системы «титан-углерод», на втором – осуществлено сплавление частиц TiC с порошком железа. Установлено, что формирование TiC завершается в течение 4 мин МА с образованием частиц размером 0,1–0,5 мкм, а сплавление композитов Fe/TiC происходит в течение 2 мин обработки.

Композиционные материалы с металлической матрицей в последнее время получили широкое распространение [1]. Введение частиц карбида титана TiC в матрицу из железа улучшает физико-механические и триботехнические свойства получаемых композитов [2]. Сфера применения таких композиционных порошков достаточно широка. Это – получение износостойких, коррозионностойких, жаростойких покрытий; создание безвольфрамовых твердых сплавов; получение магнитно-абразивных субмикронных порошков и абразивных паст и др. Эффективным методом получения композитов в разнородных системах является механохимический синтез [3].

В данной работе предложен метод двухстадийного механохимического синтеза наноструктурированных композиционных порошков Fe/TiC. На первом этапе получены высокодисперсные (размер частиц 0,1–0,5 мкм) порошки карбида титана в процессе механической активации порошковой композиции «титан-углерод» в количественном соотношении 50:50. На

втором этапе осуществлено сплавление частиц карбида титана с порошком железа в соотношении 60 масс.% Fe : 40 масс.%TiC. В работе использовались порошки титана марки ПТОМ и ламповой сажи ПМ-15, а также карбонильного железа Р-10.

Механохимический синтез осуществляли в высокоэнергетической шаровой планетарной мельнице АГО-2 с водяным охлаждением, в атмосфере аргона. Объем барабана 250 см³, диаметр шаров 5 мм, масса шаров 200 г, навеска обрабатываемого образца 10 г, скорость вращения барабанов вокруг общей оси ~1000 об/мин.

Дифракционные исследования проведены на рентгеновском дифрактометре D8 Advance в излучения CuK_α (λ_{Kα1} = 1,5406 Å), а также на станции 4-го канала СИ накопителя ВЭПП-3 Сибирского центра синхротронного и терагерцового излучения при длине волны λ=0,3685 Å. Исследования морфологических характеристик выполнены с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения OXFORD INSTRUMENT (Англия).

Анализ дифрактограмм полученных образцов порошковой смеси титан-углерод после механической активации с длительностью в диапазоне от 2 до 20 мин показал, что уже после обработки в течение 2 мин фиксируются слабые пики карбида титана, а после 4 мин МА их интенсивность резко возрастает (рис. 1, а).

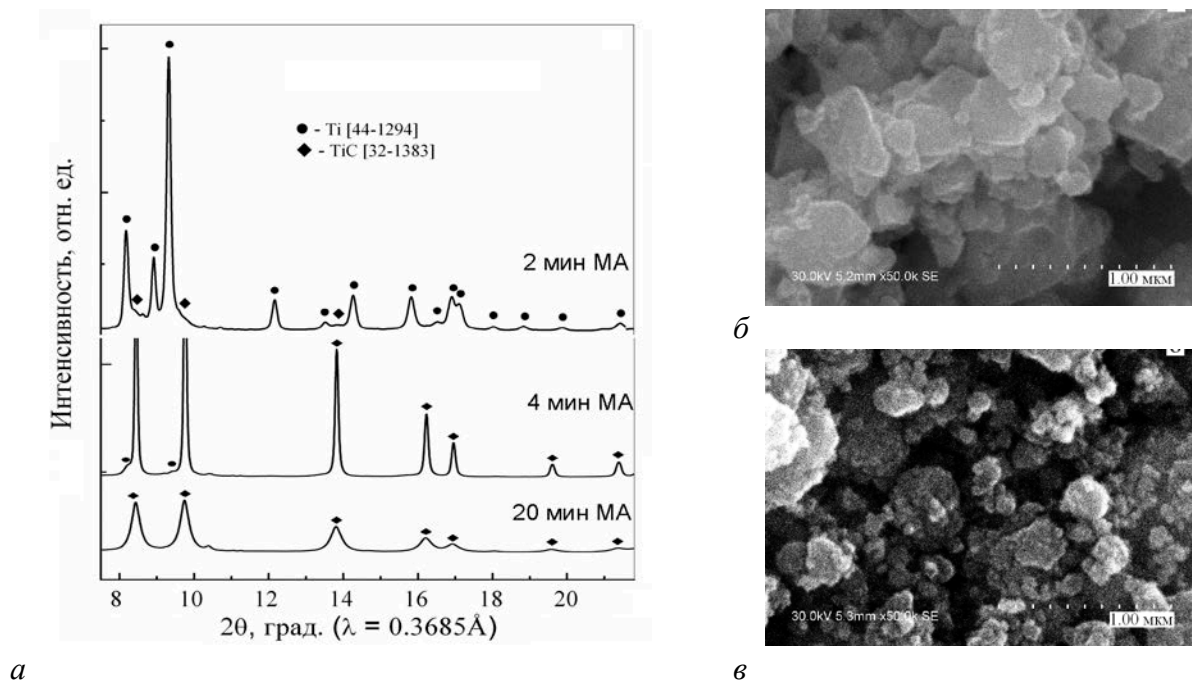


Рис. 1. Дифрактограммы смеси титан-углерод (50:50) после МА (а) и микроструктура порошков после МА течение 4 мин (б) и 20 мин (в)

Узкий профиль пиков новой фазы может свидетельствовать о быстрой кристаллизации продукта из расплава. С учетом того, что система Ti-C является высокоэнергетической ($\Delta H_{298K} \text{ TiC} = -209 \text{ кДж/моль}$), в которой карбиды титана TiC являются типичными нестехиометрическими соединениями внедрения, общая кинетика процесса будет контролироваться расплавленной фазой [4]. После 4 мин МА смеси Ti-C формируются агрегаты, состоящие из кристаллических частиц TiC с пластинчатой структурой и размером 0,1–0,5 мкм (рис. 1, б). Увеличение продолжительности активации до 20 мин приводит снижению интенсивности пиков TiC и их уширению, что обусловлено измельчением частиц карбида титана до уровня менее 0,1 мкм (рис. 1, в).

Добавление к композиту TiC/Ti порошка железа и дальнейшая механическая активации смеси с длительностью 2 мин по данным рентгенофазового анализа приводит к образованию композитов состава Fe/TiC/Fe₂Ti. Появление интерметаллида Fe₂Ti в количестве 6 масс.% может быть обусловлено взаимодействием непрореагировавшей части аморфного титана и железа. Наблюдается увеличение параметра решетки железа (до $a_{\text{Fe}}=2,874 \text{ \AA}$) и его уменьшение для карбида титана ($a_{\text{TiC}}= 4,296 \text{ \AA}$). Средний размер кристаллитов железа составляет $L_{\text{Fe}}\sim 29 \text{ нм}$. Повышение уровня микронапряжений до значения $e=1,768$ может свидетельствовать о значительной концентрации дефектов, в то время как уменьшение параметра решетки карбида титана a_{TiC} обусловлено малым размером кристаллитов $L_{\text{TiC}} = 4,6 \text{ нм}$.

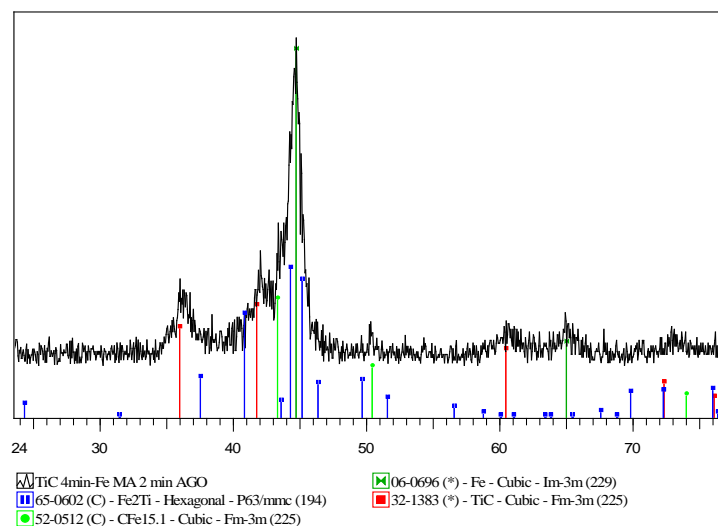


Рис. 2. Дифрактограмма порошка Fe/TiC после 2 мин МА

В данной работе показана возможность получения наноструктурированных композитов состава Fe/TiC в режиме двухстадийного механохими-

ческого синтеза с регулированием скорости экзотермической реакции в системе Ti-C без использования техники высоких давлений и температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кипарисов, С.С. Карбид титана: получение, свойства, применение / С.С. Кипарисов, Ю.В. Левинский, А.П. Петров. – М. : Metallurgy, 1987. – 216 с.
2. Persson, P. Self-propagating high-temperature synthesis and liquid-phase sintering of TiC/Fe composites / P. Persson, A. Jarfors, S. Savage // *Journal of Material Processing Technologies*. – 2002. – Vol. 127. – P. 131–139.
3. Григорьева, Т.Ф. Механохимический синтез в металлических системах / Т.Ф. Григорьева, А.П. Барина, Н.З. Ляхов ; отв. ред. Е.Г. Аввакумов. – Новосибирск : Параллель, 2008. – 311 с.
4. Highly dispersed titanium carbide obtained by mechanical activation / N.Z. Lyakhov [et al.] // *Proceedings of 15-th Israel-Russian Bi-National Workshop-2016, 26-20 Sept. 2016, Ekaterinburg*. – P. 84–91.