

УДК669.24/29.018:[539/25+539/26]

Н.А. Свидунович, проф., д-р техн. наук;  
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук; Г.П. Окатова, ст. науч. сотр.  
(БГТУ, г. Минск);

В.С. Урбанович, зав. отделом, канд. ф.-м. наук  
(ГО НПЦ по материаловедению НАН Беларуси, г. Минск);

В.М. Ойченко, вед. науч. сотр.  
(ФТИ им. Иоффе, г. Санкт-Петербург);

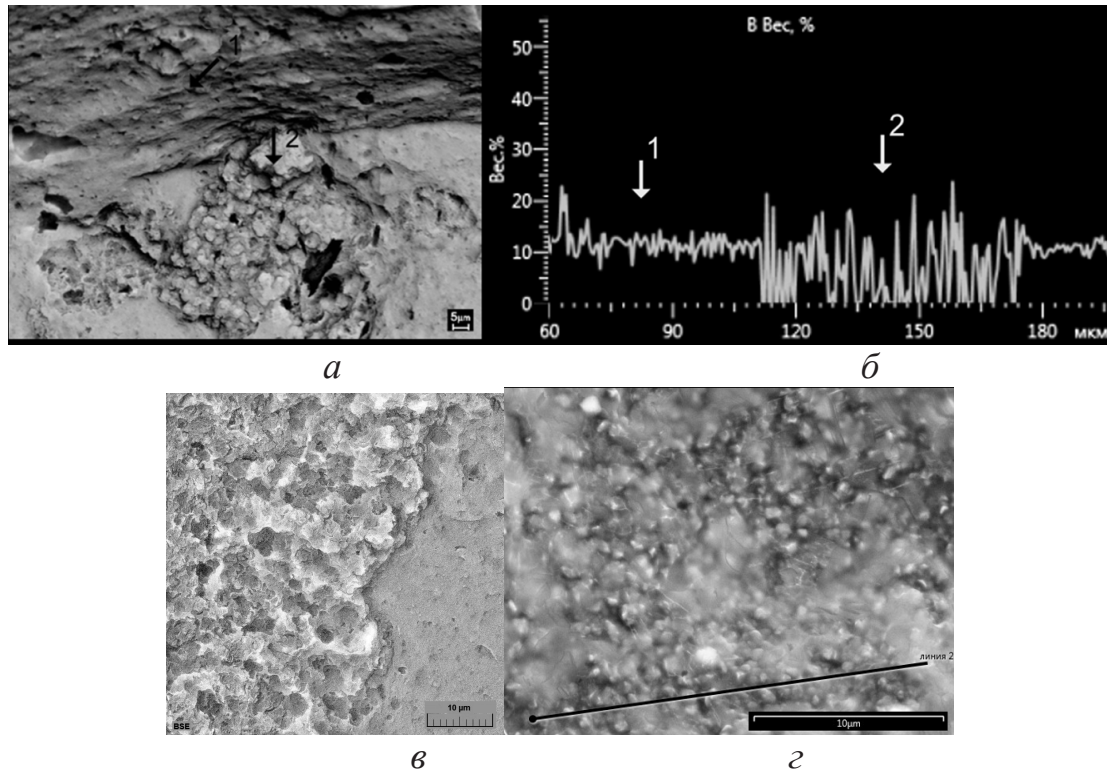
А.С. Раковец, асп.; М.В. Петровский, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА С ДОБАВКАМИ БОРА И ЖЕЛЕЗА**

Изучение фазовых превращений в системе ультрадисперсных компонентов бор-углерод связано с перспективами синтеза методами нанотехнологии новой нанокерамики с уникальными физико-механическими свойствами, особенно с учетом того, что для бораинтенсивная пластическая деформация однозначно связана с формированием в композитах наноструктурного состояния.

Методом высокоэнергетической консолидации путем легирования аморфным бором ранее полученного композита на основе не содержащей фуллеренов нанодисперсной экстрагированной фуллереновой сажи с добавкой железа ( $C_{Эфс}-10\%Fe$ ) получен новый сверхлегкий, изотропно супертвердый с высокой трещиностойкостью и упругостью углеродный аморфно-нанокристаллический композиционный материал  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$ . Композит имеет аморфную углеродную основу-матрицу, заполненную упрочняющими ее нанокристаллитами карбидов и боридов Fe и карбоборидов, супертвердыми частицами углеродной фазы и частицами Fe, преобразованными в новый по структуре и свойствам карбид железа (рис. 1).

Как и прогнозировалось, легирование бором, обладающим уникальными свойствами, привело к существенным положительным изменениям структуры и свойств нанокompозита  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$ : структура стала ярко выражено гетерофазной, в лучших образцах (таблица 1) микротвердость углеродной матрицы возросла в ~2-4 раза, супертвердых частиц до  $HV_{300}=29...89$  ГПа и во многих частицах близка к твердости алмаза –  $HV_{300-500}$  до 100 ГПа, частиц на основе Fe-C – до 9,2...15,8 ГПа, размер кристаллитов связующей "фазы-основы" уменьшился и составляет 0,5...11,9 nm – уровень аморфно-нанокристаллический. Удельный вес сверхлегкого композита составляет 2,13...2,168 г/см<sup>3</sup>.



*a, в* – излом по фазе-основа и по частице карбида Fe;  
*б* – концентрационные кривые распределения бора при сканировании через участок по линии на рис. *г*; *в, г* – включения дисперсных Fe-B наночастиц по фазе-основа (*в*) и по частице карбида Fe  
**Рисунок – Образец композита  $C_{Эфс}B-Fe-34$**

Анализ результатов проведенного исследования позволил предложить следующий механизм структурообразования в композите  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$  супертвердых углеродных частиц с микротвердостью на поверхности близкой к твердости алмаза.

Высокоэнергетическая консолидация смеси порошков – нанодисперсного углерода, аморфного бора и порошка карбонильного железа создает в композите  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$  в течение 30...140 с условия скоростной диффузии с образованием из железного порошка новых по структуре и свойствам карбидов железа с поверхностным переходным Fe-C диффузионным слоем, легированным бором, превращающимся в сверхтвердое аморфное углеродное покрытие (рис. *в*), одновременно внутри частиц железа образуются упрочняющие его нанокристаллиты карбидов и боридов Fe и карбоборидов (рис. *в, г*). Полученный композит по своему структурному состоянию, изотропной супертвердости, трещиностойкости, низкой плотности может иметь широкое применение как износостойкий, абразивный и конструкционный материал, изготовленный на дешевом безфуллереновом сырье.