

# КАРБИДОСТАЛИ, ДИСПЕРСНОУПРОЧНЕННЫЕ ТУГОПЛАВКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ TiC, TiB, TiB<sub>2</sub>

Сизоненко О.Н.<sup>(1)</sup>, Григорьев Е.Г.<sup>(2)</sup>, Зайченко А.Д.<sup>(1)</sup>,  
Присташ Н.С.<sup>(1)</sup>, Липян Е.В.<sup>(1)</sup>, Торпаков А.С.<sup>(1)</sup>, Юрлова М.С.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, пр. Октябрьский, 43а, Николаев: sizonenko43@rambler.ru; <sup>(2)</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское шоссе, 31, Москва: EGGrigoryev@mephi.ru

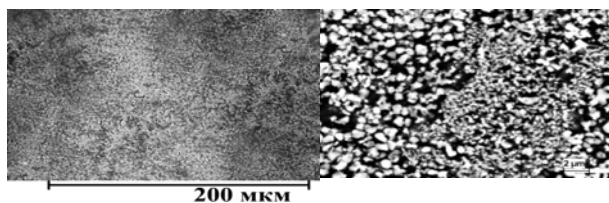
Карбидостали – высокоизносостойкие конструкционные материалы, которые могут быть использованы в качестве материалов для изготовления штампов, матриц, рабочих деталей разного рода дробилок и др. Для материалов такого класса важно иметь высокие характеристики не только износостойкости, но и твердости. Одним из методов повышения физико-механических свойств порошковых материалов является введение в их состав тугоплавких карбидов и боридов.

Цель данной работы – исследовать особенности структуры и свойств карбидосталей системы Fe-Ti-B-C дисперсноупрочненных тугоплавкими соединениями TiC, TiB, TiB<sub>2</sub>.

При подготовке шихты для получения карбидосталей предложен способ высоковольтной электроразрядной (ВЭР) обработки смеси элементарных порошков в керосине [1]. За счет эффекта выделения необходимых дисперсных фаз при ВЭР воздействию на порошки искусственно создается гетерогенность шихты. Синтезируются микро- и наноразмерные частицы с повышенным уровнем свободной энергии и, как следствие, с повышенной способностью к интенсивному взаимодействию с наночастицами – продуктами пиролиза керосина плазменным каналом разряда. Таким образом, дисперсноупрочняющие добавки, в частности TiC, TiB, TiB<sub>2</sub>, не вводятся механически в шихту, а синтезируются в результате реакционного синтеза под действием ВЭР.

Для консолидации карбидосталей системы Fe-Ti-B-C использовался метод искро-плазменного спекания (ИПС), который позволяет сохранить микро- и наноразмерные упрочняющие тугоплавкие частицы. Для определения скорости нагрева при выходе на режим спекания была изучена кинетика уплотнения шихты. В качестве модели деформации принята модель степенной ползучести Эшби [2]. Скорость нагрева составляла 100 °С/мин (1,65 °С/с), время выдержки 120 с при температуре 820 °С и давлении 60 МПа. После спекания для устранения ликвации, то есть неоднородности химиче-

ского состава внутри отдельных зерен или в объеме сплава был применен отжиг при температуре 850 °С. Далее проводилась закалка при 870 °С с охлаждением в воде и низкотемпературный отпуск при 180-200 °С для устранения внутренних напряжений. Образцы, полученные ИПС методом, имеют мелкозернистую структуру, упрочненную тугоплавкими соединениями TiC, TiB, TiB<sub>2</sub> (рис. 1, а). Плотность образцов близка к теоретической, а твердость составляет 53 HRC.



а (400x)

б (5000x)

Рис. 1 Микроструктуры композиции Fe-Ti-B-C: а - после ИПС; б – после термообработки

После термообработки образцы сохранили мелкозернистую структуру с равномерно распределенными упрочняющими фазами (рис. 1, б). Микротвердость светлой фазы (упрочняющей) – 16,48 ГПа, темной (матрицы) – 9,27 ГПа, что соответствует мартенситу отпуска, твердость образцов составляет 68 HRC. Применение современных плазменных технологий позволило получить и сохранить размер упрочняющих наноструктур в составе полученных образцов, что значительно повлияло на их механические характеристики. Так прочность на изгиб  $\sigma_{\max} \approx 1350$  МПа, износостойкость при абразивном износе  $m_{\text{изн}} \approx 51$  мкм/км, что превышает характеристики закаленной дисперсноупрочненной быстрорежущей стали Р6М5, твердость которой 60 HRC, прочность на изгиб 1100 МПа, а износостойкость  $m_{\text{изн}} \sim 61$  мкм/км.

1. Сизоненко О.Н. Отримання карбідосталей системи Fe-Ti-B-C з використанням високовольтного розряду в рідині для підготовки шихти / О.М. Сизоненко, та ін. // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Вип. 42 – Луцьк, 2013-С.254-261.

2. Theory of sintering: from discrete to continuum / E.A. Olevsky // Material science and engineering. – 1998. – R. 23. – P. 41 – 100.