

ности изнашивания на стадии установившегося трения, а дальнейшее повышение концентрации добавки вызывает увеличение этих показателей, причем с повышением вязкости смазочного материала оптимальное содержание в нем добавки сдвигается в область меньших значений концентрации УДАГ. Так например, при  $p = 35$  МПа и  $V = 0,02$  м/с минимальные значения коэффициента трения для пластичной смазки LT8102 составляет  $f = 0,097$  при  $C_a = 1,5$  мас.%, для пасты LT8155 –  $f = 0,084$  при  $C_a = 1,0$  мас.% и для пасты LT8191 –  $f = 0,075$  при  $C_a = 0,5$  мас.%. Добавление УДАГ в смазку повышает ее вязкость, в частности, для пасты LT8155 при увеличении концентрации шихты УДАГ с  $C_a = 0$  до  $C_a = 2,5$  мас.% показатель пенетрации возрастает с 289 ед. до 304 ед. Сначала повышение параметров вязкости смазки способствует увеличению несущей способности смазочного слоя, а затем после превышения определенного уровня повышенная вязкость смазки начинает отрицательно сказываться на сплошности смазочного слоя. Это влечет за собой появление непосредственного контакта трущихся поверхностей и, как следствие, повышение коэффициента трения и интенсивности изнашивания.

УДК 621.762, 621.793

## **ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ДИФФУЗИОННОМ БОРИРОВАНИИ ЧАСТИЦ БЕЛОГО ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО ЧУГУНА**

Е.Ф. Пантелеенко, канд. техн. наук  
Белорусский национальный технический университет  
(г.Минск, Республика Беларусь)

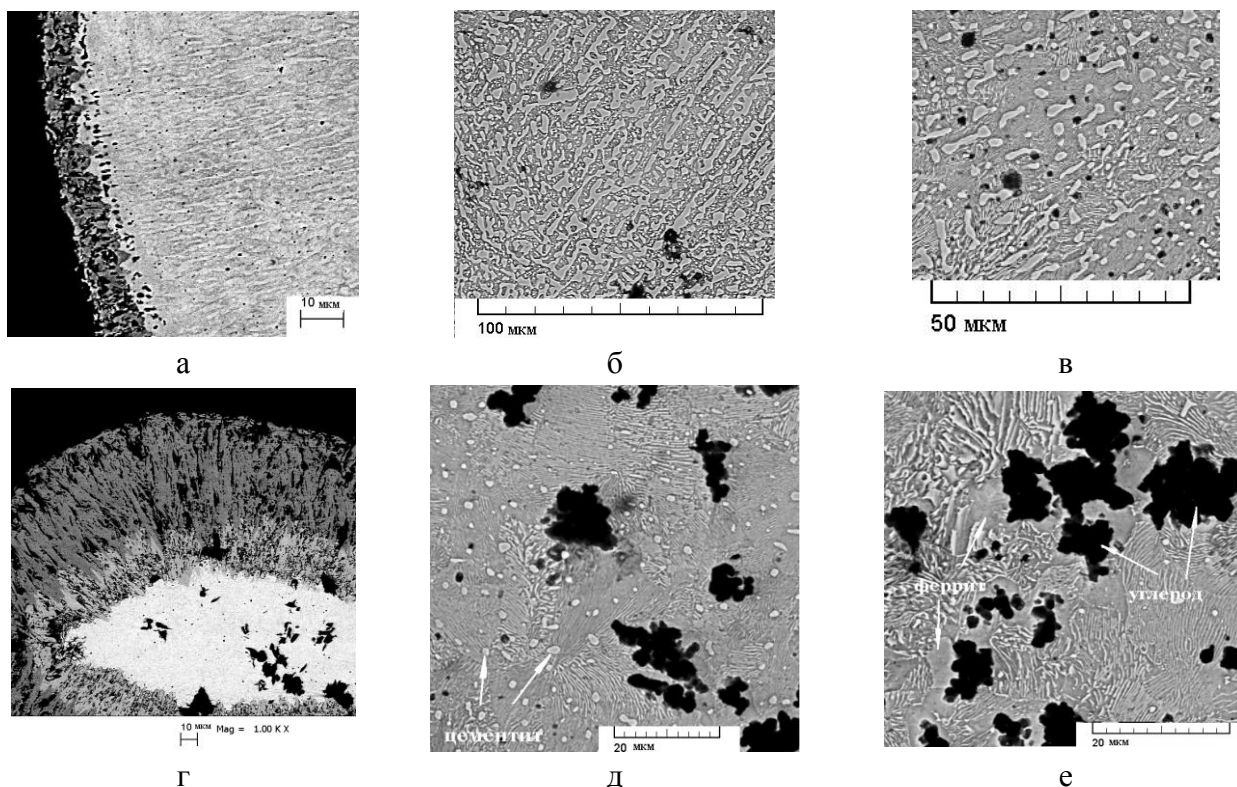
**Введение.** Метод диффузионного легирования как способ получения самораспадающихся порошков на основе железных сплавов известен давно [1, 2]. Однако, процессы структурообразования до сих пор подробно не изучены. В данной работе представлены результаты исследования процессов, происходящих при борировании микрочастиц размерами 200–630 мкм из доэвтектического белого чугуна (2,7 – 3% С), что представляет особый интерес, так как структура частиц неравновесная и при ХТО происходят одновременно два процесса: графитизация и диффузионное насыщение поверхности бором.

### **Результаты и их обсуждение.**

Частицы характеризуются степенью сферичности 56 .. 62%. Поверхность гладкая, без трещин, структура 5–10% частиц характеризуется дефектностью – присутствуют поры, трещины, пустоты. На поверхности ~ 20% частиц присутствует оксидная оболочка.

Установлено, что диффузионные процессы по интенсивности их протекания во времени можно разделить на три стадии: начальной, умеренной и интенсивной (аномальной) диффузии.

При температуре ХТО начинается ускоренная диффузия бора вглубь частицы, чему способствуют неравновесность структуры (большое количество дефектов по границам зерен), наличие дефектов и оксидных оболочек. В течение начальной стадии диффузии, на поверхности частиц образуется однофазный ( $Fe_2B$ ) боридный слой (рисунок 1,а), происходит коагуляция и сфероидизация избыточного цементита (рисунок 1,б,в) с одновременным зарождением графитных включений (рисунок 1,в).



**Рисунок 1 – Микроструктура борированных частиц чугуна**

Механизм диффузии бора носит вакансионный характер, при этом происходит отеснение углерода вглубь частицы. Подборидный слой, пересыщен вакансиями, которые объединяются в поры (рисунок 1, а), что соответствует эффекту Френкеля. С увеличением времени ХТО (2 – 4 часа – умеренная диффузия) на поверхности частиц образуется двухфазный ( $Fe_2B + FeB$ ) боридный слой (рисунок 1,г), а в подборидной зоне повышается концентрация цементита. В присутствии элементов, способствующих графитизации (B, Si) начинается и протекает указанный процесс. Центрами графитизации служат микропоры или дефекты [3]. Постепенно цементит распадается, матрица ядра частицы становится перлитной, а затем и феррито–перлитной (рисунок 1, д, е). В результате начинается третья стадия аномальной (интенсивной) диффузии, чему также способствует так называемый «краевой эффект». Образовавшиеся графитные включения постепенно поглощаются слоем боридов (рисунок 1, г).

**Выводы.** Основываясь на изучении особенностей структуры борированных микрокомпозитов, впервые предложено подробное описание механизма

структурообразования при диффузионном легировании неравновесных чугуновых частиц.

### Литература

1. Пантелеенко, Ф.И. СДЛП на железной основе и защитные покрытия из них. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300с.

2. Любецкий, С.Н. Разработка технологии диффузионного легирования железных порошков и получение наплавленных износостойких покрытий: автореф. дисс. – канд. техн. наук: 05.16.01 / С.Н. Любецкий; БПИ. – Минск, 1991. – 20 с.

3. Криштал, М.А. Механизм диффузии в железных сплавах / М.А. Криштал – М.: «Металлургия», 1972. – 400с.

УДК 621.762

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПОРОШКАХ ТИТАНА ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ СПЕКАНИИ

Р.П. Быков<sup>1</sup>, К.Е. Белявин<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф., Д.С. Пальчевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

(г. Минск, Республика Беларусь)

**Введение.** Получение из металлических, керамических и полимерных порошков материалов, имеющих открытую пористость и сложную пространственную геометрию поверхности, является актуальной задачей для порошковой металлургии. Данная задача может быть решена с помощью селективного лазерного спекания (СЛС) порошков, основанного на принципе послойного построения физической модели или послойного лазерного синтеза [1–3], в результате которого трехмерный объект заменяется совокупностью плоских слоев, физически связанных между собой.

Применяемые в настоящее время технологии СЛС порошков, ориентированные в основном на реализацию процессов, связанных с полным расплавлением частиц порошка, не могут обеспечить получение пористых материалов [3].

Возможность применения СЛС для получения пористых материалов базируется на идее использования энергии лазерного излучения для поверхностного оплавления частиц порошка при сохранении твердого ядра, что приводит к образованию межчастичных контактов в присутствии жидкой фазы.

Такая технология, обеспечивая минимальную усадку слоев при отсутствии конгломерации частиц, позволит получить заданную пористость изделий. Для разработки такой технологии необходимо выявить основные закономерности влияния лазерного излучения на порошки и изучить механизм контактообразования.