



*Possibility and reasonability of application of self-fluxing diffusion-alloyed powders from the fraction production wastes for obtaining of coverings by welding method by currents of high frequency are considered. The structure and properties of the received coverings is investigated.*

Е. Ф. ПАНТЕЛЕЕНКО, БНТУ, Г. В. ПЕТРИШИН, ГГТУ им. П. О. Сухого

УДК 621.762, 621.793

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДРОБИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ТВЧ

Отходы, образующиеся при производстве и использовании на предприятиях машиностроительного профиля дробы, трудно поддаются переработке: при переплавке мелкие частицы сгорают, не расплавляясь. Поэтому утилизировать данный вид отходов достаточно проблематично. Однако непригодная дробь является ценным вторичным сырьем, из которого авторами предложено получать самофлюсующиеся диффузионно-легированные бором порошки (СДЛП) (пат. РБ № 11033 и заявка на пат. № а 20090167 от 06.02.2009) [1–3]. Данный метод по сравнению с промышленной технологией получения объемно-легированного порошка методом распыления позволяет значительно сократить технологическую цепочку производства, сократить экономические, энергетические затраты (сократить время производства, парка необходимого оборудования, производственных площадей, рабочих). На данный момент проведены обширные исследования в области применения новых СДЛП, содержащих от 4,4 до 13,4 мас.% бора, для технологий магнитно-электрического упрочнения (или электромагнитной наплавки). Тем не менее, диапазон применения новых материалов более широк: самофлюсующиеся диффузионно-борированные порошки можно использовать как в технологиях восстановления и упрочнения деталей машин, так и для механической, в том числе финишной обра-

ботки. В рамках данной работы было исследовано применение разработанных материалов для технологии наплавки ТВЧ. Отметим, что для наплавки ТВЧ форма частиц значительной роли не играет, поэтому подходят отходы как колотой, так и литой дробы.

Покрытия ТВЧ получали на образцах из стали 45 с применением порошков из борированных отходов чугунной дробы дисперсностью 200–315 мкм (№ 4а) и дисперсностью 400–630 мкм (№ 2б, 3б, 4б). Объемное и массовое содержание бора в использованных порошках приведено в таблице.

Источник тока – высокочастотный генератор ВЧГ2–100/0,066 мощностью 100 кВт, число фаз – 3, частота 66 кГц. Параметры режима нанесения: накат – 13,5 В, ток на сетке – 1,0–1,5 А, анод – 2,5–5,0 А, анодное напряжение – 7–10 кВ.

В процессе осуществления наплавки ТВЧ и исследования полученных покрытий установлено, что чем больше фракция наплавляемого порошка, тем лучше он проплавляется, тем более сплошным и однородным является получаемое покрытие. Поверхность полученных слоев более гладкая, чем у покрытий, полученных методом МЭУ и не зависит от размера частиц порошка, поскольку в данном случае происходит одновременное проплавление всех частиц и флюсование покрытия. Этими отличиями и обусловлены особенности рассматриваемых

Покрытия из порошков, обработанных в различных условиях и содержащих разное количество боридной фазы

Номер покрытия	Фракция, мкм, материал порошка	Продолжительность ХТО, ч	Температура ХТО, °С	Объемное содержание боридной фазы в порошке, %	Массовое содержание бора в порошке, %
4а	200–315, чугун	4	900	99,96	13,1
2б		2		40,2	4,4
3б		3		55,4	6,1
4б		4		64,9	7,3

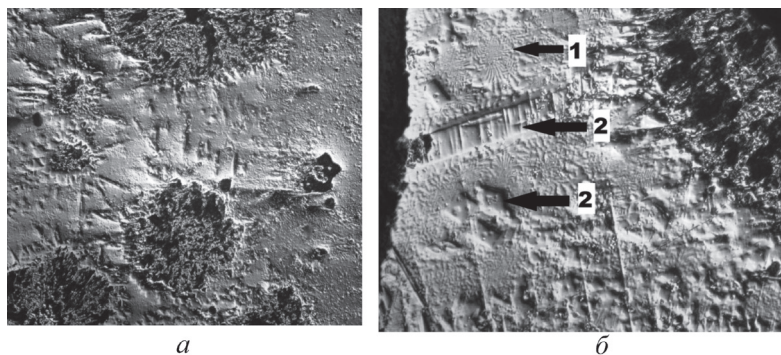


Рис. 1. Покрытие из порошка 4а с нерасплавившимися ядрами частиц.  $\times 500$

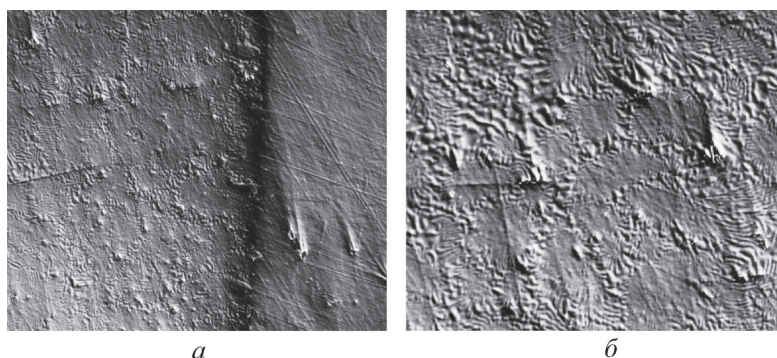


Рис. 2. Покрытие из порошка 4б.  $\times 1000$

мых покрытий по сравнению с магнитно-электрическими. Покрытия отличаются высокой степенью сплошности, за исключением покрытия из порошка более мелкой фракции, в котором не произошло полное расплавление частиц, ядра которых, имеющие большую температуру плавления по сравнению с борсодержащими оболочками, до конца не расплавились (рис. 1).

Данное покрытие, кроме нерасплавившихся ядер частиц и матрицы, состоящей из веерообразной боридной эвтектики (1, рис. 1, б), содержит игольчатые боридные включения, примыкающие к поверхности указанных округлых ядер, и ромбовидные бориды (2, рис. 1, б), которые характеризуются микротвердостью от 17 880 до 22 360 МПа, что соответствует твердости фазы FeV и также свидетельствует о том, что при наплавке не произошло полного проплавления порошка, его самофлюсования и перемешивания образовавшегося расплава.

Граница между покрытием и подложкой во всех случаях отличается минимальной пористостью, дефекты отсутствуют, что свидетельствует о высоком качестве зоны сплавления. В покрытиях, за исключением описанного выше покрытия из порошка 4а, границ между наплавленными частицами не выявлено, что одновременно с однородной структурой свидетельствует о полном их расплавлении и перемешивании материала.

Исследование покрытия, полученного наплавкой ТВЧ из СДЛП на основе сферических отходов чугушной дробы дисперсностью 400–630 мкм, содержащего 7,3 мас.% бора (объем боридной фазы в частице около 65%), показало, что оно является эвтектическим – полностью состоит из боридной эвтектики (рис. 2).

Микротвердость данного эвтектического покрытия составляет от 6900 до 8900 МПа, что несколько ниже, чем в магнитно-электрических покрытиях. Однако и содержание бора в наносимом порошке для получения эвтектического покрытия методом МЭУ требуется больше ( $12 \pm 0,5$  мас.%) [1, 4], чем при наплавке ТВЧ ( $7,3 \pm 0,5$  мас.%). Местами в эвтектическом покрытии встречаются дендритные включения более твердой фазы (микротвердостью от 9550 до 11 200 МПа), которые на рис. 3 указаны стрелкой.

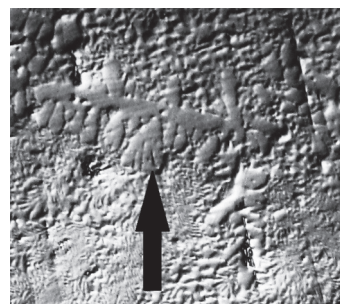


Рис. 3. Дендритные включения в эвтектической матрице покрытия из порошка 4б.  $\times 1500$

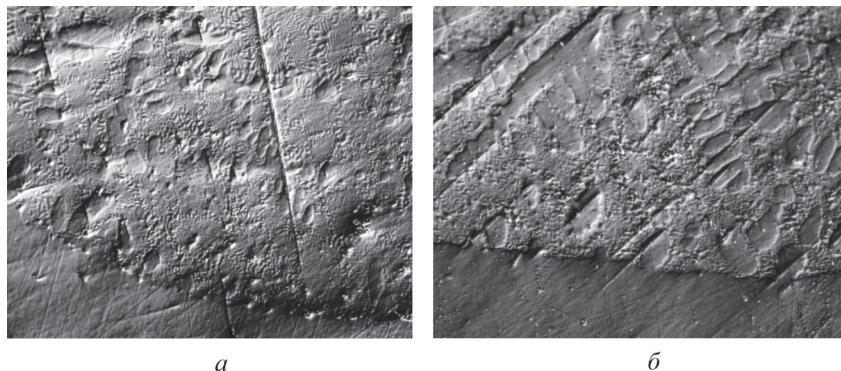


Рис. 4. Покрытия из порошка с содержанием бора 6,1 мас.% (а) и 4,4 мас.% (б).  $\times 1500$

Покрытия из порошков 3б и 2б, содержащих 6,1 и 4,4 мас.% бора соответственно, являются доэвтектическими: состоят из эвтектической боридной матрицы и более мягких дендритных включений, микротвердость которых составляет от 4000 до 4400 МПа, что несколько выше, чем твердость перлита. Причем с уменьшением массового содержания бора в наносимом порошке количество таких включений увеличивается (рис. 4).

Необходимо отметить, что, как видно из приведенных выше фотографий микроструктуры полученных покрытий (рис. 2, а, 4, а, б), их твердость превышает твердость подложки, поскольку они слегка выступают над ней.

#### Вывод

Рассмотрена одна из областей применения борированных отходов производства дроби, а именно область восстановления и упрочнения деталей машин методом наплавки ТВЧ. Проведенные исследова-

ния показали целесообразность предложенного материала в указанной технологии.

Для полученных покрытий выявлены зависимости между содержанием бора в наносимом порошке и структурой, а соответственно и свойствами наносимых покрытий. Метод наплавки ТВЧ позволяет получать покрытия с доэвтектической, эвтектической и заэвтектической структурами (так же, как и метод магнитно-электрического упрочнения [1, 4, 5]), причем для получения эвтектической структуры покрытия необходимым является содержание бора в порошке, равное  $7,3 \pm 0,5$  мас.%. Микротвердость таких покрытий колеблется от 6,9 до 8,9 ГПа, что свидетельствует о достаточно высокой износостойкости.

Установлено, что для наплавки ТВЧ целесообразно использовать частицы размером 400–800 мкм, сферической или осколочной формы, которые также в зависимости от количества бора позволяют получить различные по структуре покрытия.

#### Литература

1. Пантелеенко, Е. Ф. Самофлюсующиеся композиционные порошки из борированных отходов стальной и чугунной дроби для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин: дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2009.
2. Порошок для магнитно-электрического упрочнения: пат. 11033 Респ. Беларусь МПК (2006) В 23К 35/30 / Ф. И. Пантелеенко, П. С. Гурченко, М. И. Демин [и др.] заявитель УО «Полоц. гос. ун-т». № а20050945; заявл.03.10.2005; опубл. 30.06.2007.
3. Самофлюсующийся порошок для износостойких покрытий / пат. № 13823 Респ. Беларусь: МПК<sup>7</sup> В 22F 1/02 / Ф. И. Пантелеенко, Г. В. Петришин, Е. Ф. Пантелеенко [и др.] // опубл. 30.12.2010 // Афіцыйны бюл. /Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2010. № 12. С. 206–208.
4. Петришин, Г. В. Износостойкие гетерогенные покрытия из борированных наплавочных материалов на основе отходов стальной дроби, нанесенные магнитно-электрическим методом: дис. ... канд. техн. наук. Гомель, 2006.
5. Пантелеенко, Е. Ф. Влияние состава самофлюсующегося порошка на структуру и свойства магнитно-электрических покрытий/Е. Ф. Пантелеенко // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Инженерия поверхностного слоя деталей машин». декабрь 2009. Кемерово. 2009. С. 227–236.