

УДК 621.793

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Е. Ф. ПАНТЕЛЕЕНКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент,

Г. В. ПЕТРИШИН<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент

(<sup>1</sup>БНТУ, г. Минск, Беларусь; <sup>2</sup>ГТТУ им. П.О.Сухого, г. Гомель, Беларусь)

Пантелеенко Е.Ф. – 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65  
Белорусский национальный технический университет,

e-mail: pantelleyenko@inbox.ru

**Аннотация:** В данной работе представлены результаты исследований структуры новых восстановительно-упрочняющих покрытий, полученных методом электродуговой наплавки из композиций порошков на основе отходов производства чугунной дробы и отходов механической обработки деталей из твердого сплава ВК3.

**Ключевые слова:** Отходы производства дробы, стружка, покрытия, электродуговая наплавка, структура, микротвердость.

### Введение

Поскольку в Республике Беларусь развит машиностроительный комплекс, то на предприятиях ежегодно образуется огромное количество металлических дисперсных и крупногабаритных отходов. Авторами был предложен метод повторного использования отходов производства дробы для упрочнения и восстановления деталей машин строительного и сельскохозяйственного профиля, подвергающихся абразивному изнашиванию [1, 2]. Дальнейшие исследования в данной области направлены на расширение спектра применяемых отходов. Так, для повышения износостойкости разработанных ранее покрытий, к разработанным порошкам из борированных отходов производства дробы предложено добавлять дисперсные отходы, полученные при обработке твердых сплавов.

рованных отходов производства дробы предложено добавлять дисперсные отходы, полученные при обработке твердых сплавов.

### Материалы и методы

Покрытия наносили на подложку из стали 40. Для получения покрытий использовали композиции порошков из диффузионно-легированных бором отходов производства чугунной колотой дробы (ДЧК) фракции 0,8 – 1 мм с содержанием бора 15 масс.% и стружки твердого сплава ВК3. Образцы покрытий получали методом электродуговой наплавки неплавящимся угольным электродом с использованием сварочной установки инверторного типа. Режим нанесения приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Режим нанесения магнитно-электрических покрытий из смеси борированной ДЧК и стружки ВК-3

Сила тока, А	100
Напряжение холостого хода, В	12
Диаметр электрода, мм	8

Получен ряд покрытий из порошков с различным соотношением компонентов. Ряд полученных покрытий приведен в таблице 2.

ченных покрытий приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Покрытия с различным соотношением компонентов.

Номер покрытия	Количество борированной ДЧК, %	Количество стружки ВК-3, %
1	80	20
2	60	40
3	50	50
4	30	70

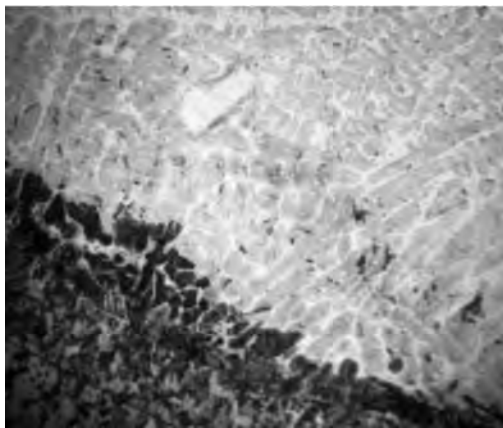
Шлифы покрытий готовили в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302–88. Изучение микроструктуры проводили с помощью микроскопа AXIOVERT 40MAT фирмы METCO. Микродю-

рометрические исследования проводили на приборе METCON 3/6 согласно ГОСТ 9450–76.

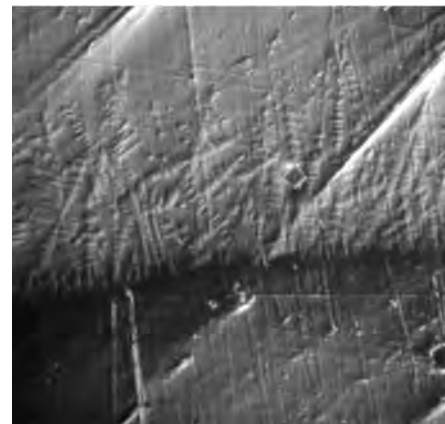
### Результаты и обсуждение

У большинства покрытий зона сплавления с

подложкой отличается ориентацией осей дендритов в направлении основного отвода тепла, т.е перпендикулярно границе раздела. Это объясняется высокой скоростью охлаждения данной области и значительным градиентом температур



а



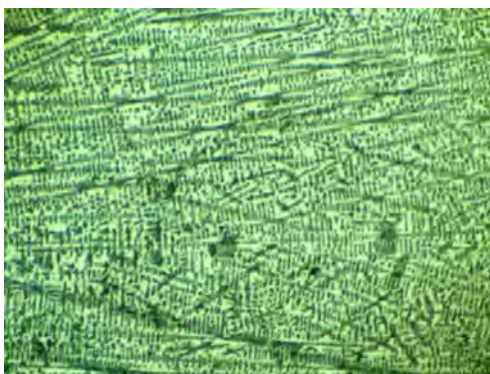
б

Рисунок 1 – Зона покрытие-подложка: а – покрытие № 1; б – покрытие № 3

Наряду с отсутствием заметных пор в зоне сплавления это свидетельствует о прочном соединении покрытия с подложкой и отсутствии возможности отслаивания покрытия в процессе эксплуатации. Дисперсность видимых дендритных включений колеблется от 0,01 мм до 1 мм.

Покрытие №1 характеризуется высокой сплошностью и наличием доэвтектической

структуры, сходной со структурой белого доэвтектического чугуна (рисунок 2,а). Покрытие состоит из белой эвтектической матрицы и темных дендритных включений избыточной фазы. Направление осей первого порядка дендритных включений ориентировано по направлению максимально быстрого отвода тепла – перпендикулярно подложке (рисунок 2,б).



а



б

Рисунок 2 – Покрытие №2: а - общая структура; б – ориентация дендритных включений

Среднее значение микротвердости по сечению всего покрытия (от подложки до поверхности) составляет HV 794, что соответствует твердости цемента, хотя структура покрытия соответствует доэвтекстическому чугуну.

Такие высокие показатели микротвердости объясняются присутствием в покрытии легирующих элементов – бора, вольфрама, кобальта. Микротвердость эвтектической матрицы (белого цвета, рисунки 1,2) в среднем 874 HV, данный показатель для избыточных перлитных включений составляет 698 HV. Твердость

обычного перлита находится в пределах 200 – 250 HV. Повышенные показания исследуемого параметра объясняются тем, что дендриты перлита армированы ультрадисперсными (микродисперсными) частицами карбида вольфрама WC, размер которых находится в пределах от 2 до 10 мкм. На рисунке 3 а, б внутри дендритных темноокрашенных включений присутствуют игольчатой или угловатой формы более светлые включения WC. Твердость чистого карбида вольфрама составляет 1 400 – 1800 HV, однако включения данной фазы настолько микродис-

персны, что измерить отдельно микротвердость фазы не представляется возможным. Кроме этого включения WC демпфируют при вдавливании индентора за счет своих малых размеров, поэтому измерена только средняя твердость механической смеси перлита и карбида вольфрама.

Несмотря на высокую температуру, достигаемую при нанесении покрытия электродуговой наплавкой, достаточную даже для расплавления карбида вольфрама ( $T_{пл} = 2870^\circ\text{C}$ ), все же обра-

зуется механическая смесь компонентов WC,  $\text{Fe}_3(\text{B},\text{C})$ ,  $\text{Fe}_x\text{B}_y$  и твердый раствор замещения  $\text{C}_\infty - \text{Fe}$  (оба элемента характеризуются одинаковым типом кристаллической решетки и имеют близкие значения атомного радиуса), так как каждое из указанных соединений обладает отличной от других температурой плавления и типом кристаллической решетки. Карбиды вольфрама также присутствуют и в эвтектической матрице (белая фаза).

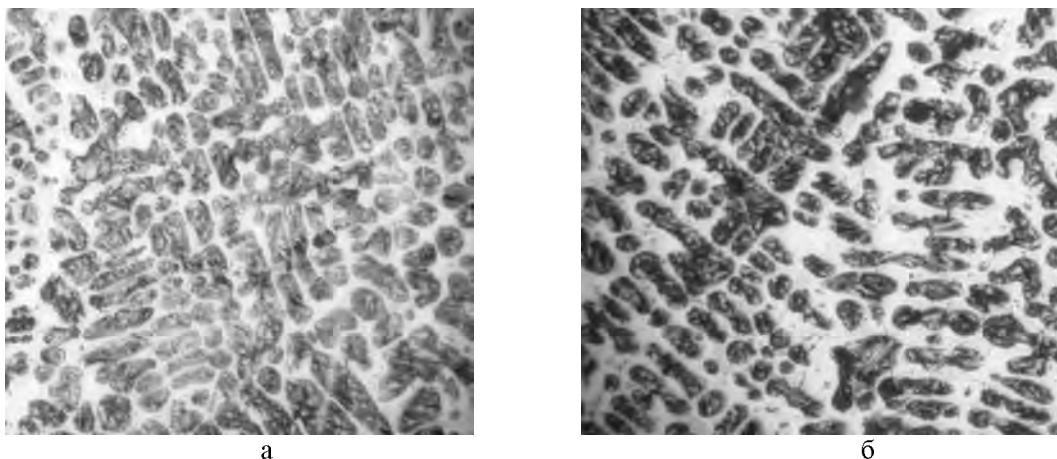


Рисунок 3 – Дендритные включения перлита, упрочненные микродисперсными частицами карбида вольфрама

Высокое содержание бора в исходном материале не обеспечивает наличие боридной эвтектики в покрытии, так как при расплавлении компонентов материала идет интенсивное окисление не только железосодержащих компонентов, но также и карбида вольфрама (окисление карбида вольфрама на воздухе начинается при  $500\text{--}700^\circ\text{C}$ , а выше  $800^\circ\text{C}$  полностью окисляется в связи с большой летучестью). Поэтому большая часть присутствующего в системе бора расходуется на раскисление покрытия. Следует отметить, что данный процесс проходит в пол-

ной мере – в покрытии наблюдается минимальная пористость, высокая сплошность и однородность, а также отсутствие каких-либо включений оксидов.

При увеличении количества ВКЗ в наплавляемом порошке (покрытия №2 и №3) структура заметно меняется (рисунок 4): кроме областей дендритных включений появляются области без видимого рельефа (рисунок 4,б), а также мелкие единичные включения нерасплавившегося ВКЗ дисперсностью  $0,1 - 1\ \mu\text{м}$  (рисунок 4 а,б).

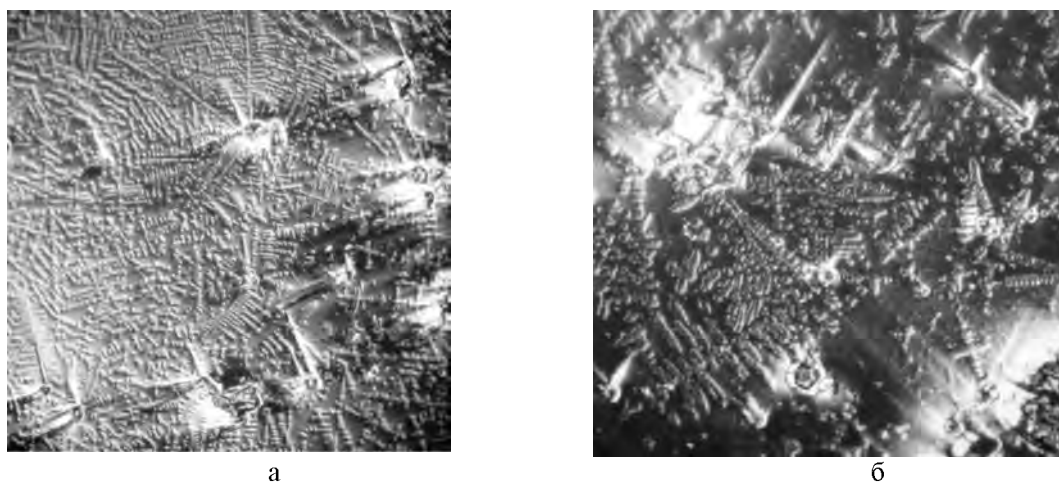


Рисунок 4 – Нерасплавившиеся дисперсные включения ВКЗ, служащие центрами кристаллизации: а – покрытие №2; б – покрытие №3

Указанные включения являются центрами кристаллизации, поэтому вокруг них образуются звездоподобные дендритные образования, которые растут от центра. Сами включения характеризуются микротвердостью от 1300 до 1500 HV, что соответствует твердости карбида вольфрама (1400 – 1800 HV). Средняя твердость по Виккерсу областей дендритных включений составляет 800 – 900 HV, а областей без видимого рельефа – 1010 – 1200 HV. По мере приближения к поверхности количество дендритов

уменьшается. В зоне, прилегающей к дисперсным нерасплавившимся включениям ВКЗ, зачастую дендриты отсутствуют (рисунок 5). Описываемые включения на приведенных здесь фотографиях окружены взаимно перпендикулярными или однонаправленными царапинами (рисунки 4 - 6). Они появились при изготовлении шлифа вследствие высокой твердости выступающих над поверхностью микровключений, не позволяющих надлежащим образом отполировать прилегающие области образца.

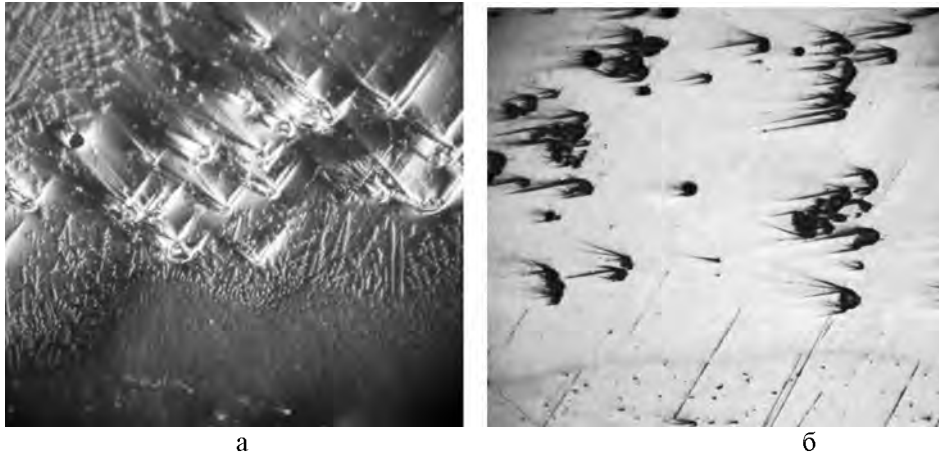


Рисунок 5 – Включения ВКЗ: а - покрытие №2; покрытие №4

При соотношении борированной ДЧК и ВКЗ 30:70 (покрытие №4) дендритные включения практически исчезают, присутствуя только в зоне сплавления (рисунок 1,б). Зато заметно увеличивается количество микродисперсных нерасплавившихся частиц ВКЗ (рисунок 6,а).

#### Выводы

Получены новые покрытия из композиций борированных отходов производства дробы и стружки твердого сплава ВК-3. Исследованы их структуры и свойства. Установлены закономерности формирования структур новых многокомпонентных покрытий из композиций порошков на основе металлических дисперсных отходов. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективности и целесообразности их использования для восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в условиях трения, поскольку покрытия характеризуются сплошностью, качественной зоной сплавления с подложкой и высокими показателями твердости.

ности формирования структур новых многокомпонентных покрытий из композиций порошков на основе металлических дисперсных отходов. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективности и целесообразности их использования для восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в условиях трения, поскольку покрытия характеризуются сплошностью, качественной зоной сплавления с подложкой и высокими показателями твердости.

#### Список литературы

1. *Петришин, Г.В.* Износостойкие гетерогенные покрытия из борированных наплавочных материалов на основе отходов стальной дробы, нанесенные магнитно-электрическим методом: дисс. ... канд.техн.наук: 05.02.01 / Г.В. Петришин; ГГТУ им. П.О. Сухого – Гомель, 2006. – 178 с.

2. *Пантелеенко, Е.Ф.* Самофлюсующиеся композиционные порошки из борированных отходов стальной и чугунной дробы для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин: дисс. ... канд.техн.наук: 05.16.06 / Е.Ф.Пантелеенко; БНТУ – Минск, 2009. – 163 с.

## FUNCTIONAL COATINGS MADE OF DISPERSED METAL WASTES

Panteleyenko, E. F.<sup>1</sup>, C.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: panteleyenko@inbox.ru

Petrishin, G.V.<sup>2</sup>, C.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: grigpv@yandex.ru

<sup>1</sup>Belarussian National Technical University, 65, avenue Nezavisimosty, Minsk, 220013, Belarus

<sup>2</sup>Sukhoi State Technical University of Gomei, 48, avenue Oktyabrya, Gomei, 246746, Belarus

**Abstract:** This paper is devoted to the structure investigation of new recovering and strengthening coatings made of powder compositions via arc welding. Powder compositions consist of dispersed metal wastes: boronized (via chemical-thermal treatment) cast iron waste products and shavings of wolfram-cobalt hard alloy. The new coatings are characterized by the high quality of substrate-coating zone, heterogeneous structures, which depend of powder components ratio and high micro hardness. In this work the regularities of structure formation were discovered and it allows considering this new coatings to be available in recovering and hardening of machine details working under wear conditions.

**Keywords:** Fraction waste products, shavings, coating, arc welding, structure, micro hardness.