

УДК 539.3: 519:87

В. Ф. ЛАБУНЕЦ<sup>1</sup>, Н. И. ДЕНИСЕНКО<sup>2</sup>, Г. Г. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, Украина

<sup>2</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Украина

## ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПОСЛЕ БОРИРОВАНИЯ

*Исследовано структуру, фазовый состав боридного покрытия нанесенного на порошковый материал СП90-ДЗ. Показано, что борирование существенно повышает износостойкость порошкового материала.*

**Ключевые слова:** порошковые материалы, борирование, трение скольжение, износостойкость

**Введения.** Анализ развития современной техники показывает, что одной из важных проблем является проблема повышения надежности и долговечности их трущихся узлов, в конструкциях которых наряду с компактными материалами находят применение порошковые. В большинстве случаев эти материалы подвергаются поверхностному упрочнению для придания деталям определенных свойств. Среди этих методов одним из наиболее эффективных и широко применяемых в производстве являются методы химико-термической обработки и, в частности, борирование.

**Состояние проблемы.** Боридные покрытия способствуют повышению твердости, износостойкости, жаро- и коррозионной стойкости упрочненных поверхностей [1-3]. Борирование с успехом применяется для упрочнения деталей, работающих в условиях абразивного, коррозионно-механического, кавитационного и других видов изнашивания [3]. Однако процессом борирования порошковых материалов изучены значительно слабее, чем компактных, и применяются в порошковой металлургии редко [4]. Этой проблеме посвящена единственная монография [5], в которой рассмотрены закономерности и особенности химико-термической обработки (ХТО) порошковых материалов, вызванные прежде всего их пористостью и гетерогенностью структуры. Что касается триботехнических характеристик боридных слоев на порошковых материалах, то исследование последних позволит установить закономерности процессов, развивающихся на трущихся поверхностях, а следовательно, осуществить выбор надлежащих методов поверхностного упрочнения. С этой целью проводили исследования структуры, фазового состава и триботехнических свойств боридных покрытий, полученных на порошковых материалах методами диффузионного насыщения

Порошковые материалы получали из железного порошка марки СП90ДЗ. Одну часть этих материалов подвергали спеканию по стандартному режиму в водородной атмосфере при температуре  $1140 \pm 20$  °С в течении 2-х часов, а другую подвергали после прессования борированию, т.е. совмещали процессе борирования и спекания. Такие исследования для некоторых процессов ХТО было проведено в [5] и на основании полученных результатов сделан вывод-совмещение возможно. Критерием выбора варианта ХТО – совмещенного со спеканием или раздельно, то есть после спекания – является прежде всего физико-механические свойства изделий после ХТО, так как строение, фазовый состав и глубина диффузионных слоев на предварительно спеченных и неспеченных прессовках примерно одинакова. В случае идентичности или близости темпера-

турно-временных режимов спекание и ХТО, рекомендуется совмещенный вариант процесса, а если разница в температурах предварительного спекания и диффузионного насыщения велика (150-200 °С и более) целесообразнее использовать отдельный вариант обработки.

**Цель исследований.** Исследование влияния диффузионного борирования на триботехнические характеристики порошкового материала.

**Материалы и методы исследований.** В качестве насыщающихся сред использовали порошковую смесь БКБ-2 на основе отходов карбида бора, так как он не требует плавкого затвора, снижает трудоемкость упаковки и особенно распаковки контейнера и является значительно более дешевой борсодержащей смесью, чем порошок карбида бора [6]. Перед употреблением борсодержащую смесь прокальвали при температуре 400-500 °С в течении 1,5 ч для удаления кристаллографической воды. Борирование порошковых материалов проводили при температуре 950-1000 °С и времени выдержки 2,3,4 и 5 ч.

Структуру диффузионных слоев определяли путем травления полированных упрочненных поверхностей 3 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Микротвердость боридных слоев и сердцевины измеряли на микротвердомере ПМТ-3. Фазовый состав диффузионных слоев определяли методом рентгеновского фазового анализа, используя дифрактометр ДРОН – 2 с применением кобальтового  $K_{\alpha}$ -излучения.

Триботехнические характеристики исследуемых материалов и покрытий определяли на машине трения СМТ-1 при скорости скольжения 1 м/с и удельной нагрузке 1 МПа. В качестве контртела использовали образцы из закаленной стали 30ХГСА. Испытания проводили в условиях трения скольжения без смазки и при граничном трении в среде индустриального масла И-20. Упрочненный образец бил неподвижным, а контртело вращалось с постоянной скоростью. Определение объемного износа осуществляли с помощью микроскопа МБС-9 путем замера ширины выработанной канавки. При трении в воздушной среде путь трения составлял 1000 м, а в условиях граничного трения -10000 м. Для исследования тонких поверхностных слоев вторичных структур использовали ожеспектральный анализ, который проводился на приборе Jamp-10S.

**Результаты исследований и их обсуждения.** На рентгенограммах борированных образцов из порошкового материала СП90ДЗ с пористостью 9-11 % при 950 °С в течении 2 ч обнаружены слабовыраженные линии фазы  $Fe_2B$  и линии средней интенсивности фазы  $FeB$ , а также слабее линии карбида железа  $Fe_3C$ . С увеличением пористости материала период решетки  $\alpha$ -фазы уменьшается. Одновременно наблюдается усиление интенсивности линий фазы  $Fe_2B$ , а линии фазы  $FeB$  проявляются более отчетливо. По всей вероятности ослабление интенсивности линии фазы  $Fe_2B$  в первом случае обусловлено увеличением количества фазы  $Fe_2B$  и перестройкой, в связи с этим, тетраганальной решетки фазы  $Fe_2B$  в ромбическую решетку фазы  $FeB$ .

Особенностью строения диффузионного боридного слоя на порошковом материале является повышенная пористость в слое  $Fe_2B$  и в переходной зоне, прилегающей к нему. Кроме того наблюдается более глубокое проникновение бора и образование в переходной зоне разобщенных мелкодисперсных (5-10 мкм) боридных фаз.

Данные по влиянию исходной общей пористости (усредненное значение) и режимов борирования на глубину диффузионных слоев порошкового материала

СП90ДЗ приведены в таблице. Как видно из приведенных данных, с ростом температуры, времени выдержки и пористости глубина диффузионного слоя возрастает.

Микротвердость покрытий также зависит от режимов диффузионного насыщения, пористости и состава порошковых материалов. Установлено, что с увеличением пористости порошковых материалов от 10 до 20 % твердость боридного слоя на материале СП90ДЗ, полученного при 950 °С и выдержке 2 и 3 ч снижается от 79 до 71 НКВ и 80-73 НКВ соответственно. Диффузионный слой на стали 45 состоит из двух фаз: высокобористой фазы FeB и низкобористой фазы Fe<sub>2</sub>B с микротвердостью 17-18 ГПа и 15-16 ГПа, соответственно.

*Таблица*

**Влияние режимов борирования и пористости на глубину диффузионного слоя материала СП90ДЗ**

Режим борирования		СП90ДЗ		
Температура, °С	Время, ч	Глубина слоя, мкм		
		П = 10 %	П = 15 %	П = 20 %
950	2	60	75	90
	3	90	100	120
	4	120	125	135
	5	140	145	150
1000	2	100	110	140
	3	140	150	160
	4	170	175	180
	5	190	195	200

Микротвердость КЭП с частицами аморфного бора дисперсностью 1-5 мкм составляла 600-700 кг/мм<sup>2</sup>. Диффузионный отжиг этих покрытий при температуре 1100 °С позволил получить качественно новые фазы- бориды железа. Структура КЭП представляет собой композицию, состоящую из пластичной α-Fe матрицы, в которой равномерно распределены бориды железа Fe<sub>2</sub>B. Микротвердость покрытия составляет 800–1100 кг/мм<sup>2</sup>.

Триботехнические результаты исследований представлены на рис. 1 в воздушной среде коэффициент трения исследуемых материалов и покрытий почти одинаков и для данных условий испытаний составляет 0,58–0,6.

Износ порошкового материала на основе железа в 3-4 раза больше, чем закаленной стали 45, что объясняется небольшими прочностными характеристиками этого материала и отсутствием устойчивых вторичных структур на его рабочей поверхности, предотвращающих разрушение порошкового материала. На поверхностях трения неупрочненных материалов наблюдаются узлы схватывания (рис. 2, а), вырывов и налипания порошкового материала на рабочую поверхность контртела (рис. 2, б).

Поверхностное упрочнения испытуемых материалов существенно изменяют как качественные, так и количественные характеристики процессов трения. Износостойкость порошкового материала после диффузионного борирования повышается. Повышение износостойкости испытуемых материалов объясняется образованием на борированных поверхностях вторичных структур, которые минимизируют процессы трения, способствуют структурной приспособляемости трущихся поверхностей.

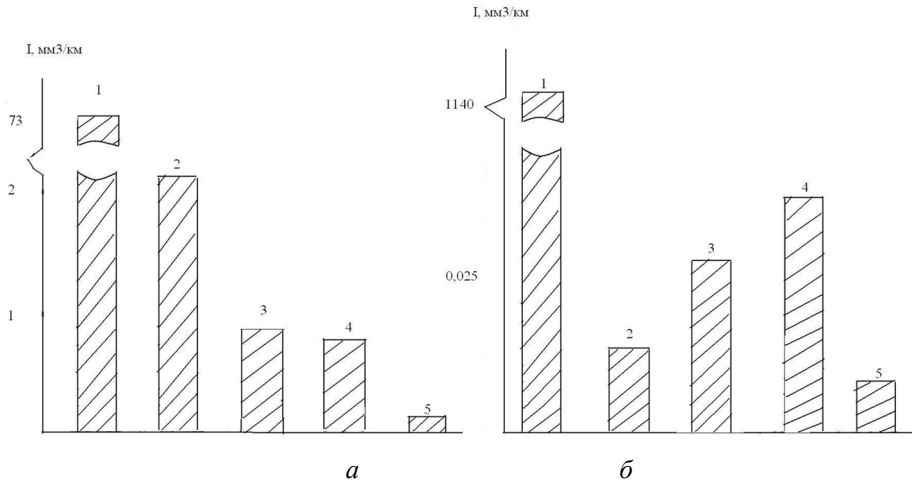


Рис. 1. Приведенный износ после испытаний на воздухе (а) и в масле И-20 (б) на трение скольжения материалов: 1 – СП90ДЗ; 2 – сталь 45 закаленная; 3 – СП90ДЗ после борирования; 4 – композиционное электрохимическое покрытие, системы железо-бор после термообработки при 1100 °С; 5 – сталь 45 борированная

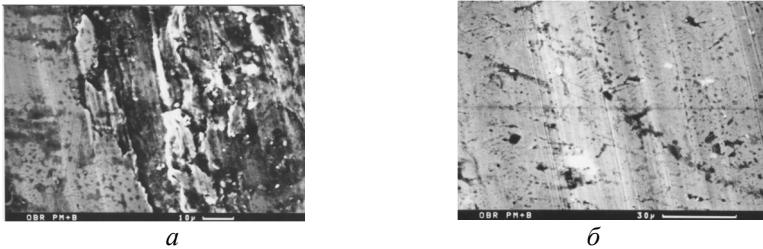


Рис. 2. Внешний вид поверхностей трения порошкового материала СП90ДЗ, испытанного на воздухе (а) и в масле (б)

Некоторые результаты исследований поверхностных слоев вторичных структур представлены на рис. 3.

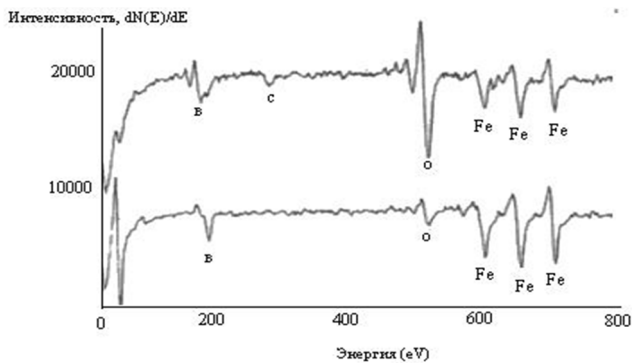


Рис. 3. Вторичные структуры на поверхности борированного порошкового материала СП90ДЗ и соответствующие спектры Оже – электронов бора, железа, кислорода и углерода

Как видно из рис. 3 во вторичной структуре, образованной на борированной поверхности порошкового материала находится бор, углерод, кислород и железо. Максимальное количество кислорода находится в самом верхнем слое и по

мере стравливання вторичної структури аргонном его количество уменьшается, о чем свидетельствует снижение интенсивности линии бора.

**Выводы.** В работе показана технологическая возможность улучшения трибо-технических характеристик порошковых материалов на основе железа с помощью диффузионного борирования. Проверка этой технологии в производственных условиях подтвердила эффективность применения диффузионного борирования для упрочнения деталей, работающих в условиях трения скольжения.

#### Список литературы

1. Глухов В.П. Боридные покрытия на железе и сталях / В.П. Глухов К.: Наукова думка. – 1970. – 208 с.;
2. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов: (Справ.пособие) / Л.Г. Ворошнин. – Минск: Беларусь. – 1981. – 205 с.;
3. Лабунец В.Ф. Износостойкие боридные покрытия / В.Ф. Лабунец, Л.Г. Ворошнин, М.В. Киндрачук. – Техника. – 1989. – 159 с.;
4. Эпик А.П. Современные методы химико-термической обработки металлов и сплавов / А.П. Эпик. – К. : Общество "Знание" Украины. – 1991. – 24 с.;
5. Ворошнин Л.Г. Химико-термическая обработка металлокерамических материалов / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович, Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Протасевич // Минск: Наука и техника. – 1977. – 272с.
6. Боризатор для контейнерного борирования стали / [Л.А.Котляренко, В.Х.Кадаров, А.П.Эпик и др.] // Технология и организация производства. – К. :УкрНИИНТИ. – 1987. – №4. – с. 48-50.

Стаття надійшла до редакції 26.09.2017.

*В. Ф. ЛАБУНЕЦЬ, М. І. ДЕНИСЕНКО, Г. Г. ГОЛЕМБІЄВСЬКИЙ*

#### **ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ПІСЛЯ БОРУВАННЯ**

Досліджено структуру, фазовий склад боридного покриття нанесеного на порошковий матеріал СП90ДЗ. Показано, що борування істотно підвищує зносостійкість порошкового матеріалу.

**Ключові слова:** порошкові матеріали, борування, тертя ковзання, зносостійкість

**Лабунець Василь Федорович** – к.т.н., професор кафедри машинобудівного факультету Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ.

**Денисенко Николай Иванович** – к.т.н., доцент кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту Національного університету біоресурсів та природопользовання України, Київ.

**Голембієвський Григорій Григорьевич** – доцент кафедри механіки факультету Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ.

---

*V. F. LABUNETS, M. I. DENISENKO, G. G. GOLEMBIYEVSKYY*

### **TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF POWDER MATERIALS BASED ON IRON AFTER BORIDING**

The structure, phase composition of the boride coating deposited on the powder material SP90-D3 is studied. It is shown that borating substantially increases the wear resistance of the powder material.

**Keywords:** powder materials, boriding, friction sliding, due to wear resistance

#### **References**

1. Gluhov V.P. Boridnye pokrytija na zheleze i staljah / V.P. Gluhov K.: Naukova dumka. – 1970. – 208 s.
2. Voroshnin L.G. Borirovanie promyshlennyh stalej i chugunov: (Sprav.posobie) / L.G. Voroshnin. – Minsk: Belarus'. – 1981. – 205 s.;
3. Labunec V.F. Iznosostojkie boridnye pokrytija / V.F. Labunec, L.G. Voroshnin, M.V. Kindrachuk. – Tehnika. – 1989. – 159 s.;
4. Jepik A.P. Sovremennye metody himiko-termicheskoy obrabotki metallov i splavov / A.P. Jepik. – K. : Obshhestvo "Znanie" Ukrainy. – 1991. – 24 s.;
5. Voroshnin L.G. Himiko-termicheskaja obrabotka metallokeramicheskikh materia-lov / L.G. Voroshnin, L.S. Ljahovich, F.G. Lovshenko, G.F. Protasevich // Minsk: Nauka i tehnika. – 1977. – 272s.
6. Borizator dlja kontejnernogo borirovanija stali / [L.A.Kotljarenko, V.H.Kadarov, A.P.Jepik i dr.] // Tehnologija i organizacija proizvodstva. – K. :UkrNIINTI. – 1987. – №4. – s. 48-50.