

## СЕКЦИЯ II МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

---

### ОСОБЕННОСТИ ДИФфуЗИОННОГО БОРИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ПЖРВ

Е. А. Астапов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Г. В. Петришин

**Введение.** Одной из операций, часто применяемых на заключительных стадиях технологических процессов изготовления деталей, является абразивная обработка, широко применяемая во всех отраслях машиностроения. Среди разновидностей абразивной обработки все большее распространение получает магнитно-абразивная обработка (МАО) ферромагнитными абразивными порошками под действием магнитных сил, используемая для обдирочно-зачистных работ, снятия заусенцев, шлифования и полирования. Анализ литературных данных [1] показывает, что с помощью МАО можно снизить исходную шероховатость с  $Ra = 1,25-3,2$  мкм до  $Ra = 0,08-0,02$  мкм; волнистость – в 8–10 раз, гранность – в 1,5–2 раза. При этом точность размеров и формы не изменяются. Основные преимущества МАО – возможность обработки сверхтонких изделий ( $h = 0,05-0,5$  мм) и изделий неправильной геометрической формы, возможность обнаружения дефектов предшествующей обработки (трещины, прижоги и т. д.).

В настоящее время в качестве абразивных материалов для МАО [2] применяют механические смеси из магнитно-мягкого материала (железа, легированного железа), магнитно-твердого (ферритов, сплавов Fe–Ni–Al и Fe–Ni–Al–Co) или из абразивных частиц (алмаза, эльбора, корунда, карбида кремния, карбида бора и др.). Еще одной разновидностью абразивных материалов являются керметные порошки. Обычно их ферромагнитная основа состоит из железа или его сплавов, а в качестве абразивных фаз используют оксиды ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ), карбиды (SiC, TiC) и бориды ( $TiB_2$ ,  $ZnB_2$ ). Нашли свое применение специальные магнитно-абразивные порошки типа «Полимам» и «Царамам», а также литые порошки на основе чугунов и закаленных сталей, ферросплавов (ферробор, ферровольфрам), магнитных сплавов (альсифер, амперм) и др.

Общим их недостатком являются средние показатели по физико-механическим свойствам (стойкость, магнитная проницаемость и т. д.), высокая себестоимость, а также трение материала ферромагнитной матрицы о полируемую поверхность, что недопустимо, например, при полировании химически активных материалов. Этот недостаток отсутствует у магнитно-абразивных материалов со структурами, в которых ферромагнитное ядро полностью покрыто абразивным материалом [3], [4]. Такие структуры можно получить борированием железного порошка.

В работе приведены исследования свойств и структуры слоев частиц порошка на основе ПЖРВ, полученных при помощи высокотемпературного борирования в течение 1, 3 и 5 ч.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований являлись диффузионно-упрочненные слои частиц порошка на основе ПЖРВ. Порошки получали ме-

тодом диффузионного легирования бором. В качестве исходного сырья использовался порошок на основе ПЖРВ с размером частиц 0,05–0,063 мм. Исходный порошок в соотношении 1 : 7 перемешивали с насыщающей средой из карбида бора В<sub>4</sub>С. Полученную смесь помещали в контейнер из стали 12Х18Н10Т с плавким герметизирующим затвором. Нагрев осуществляли в лабораторной камерной печи марки СНОЛ-1.62.0.08/9-141 до температуры 900 °С. Продолжительность химико-термической обработки составляла 1–5 ч в зависимости от требуемого количества бора в частицах порошка. Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе Метам РВ-22. Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 в соответствии с ГОСТ 9450–76 при нагрузке 0,981 Н.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Исследования показали, что в процессе химико-термической обработки частиц порошка происходит увеличение массы и размеров частиц, причем это изменение зависит от времени и температуры борирования, т. е. от толщины диффузионного слоя. С увеличением толщины диффузионного слоя количество бора, проникшего в частицы порошка, возрастает, соответственно увеличиваются указанные выше параметры. В частности, после химико-термической обработки порошка на основе ПЖРВ фракции 50–63 мкм в условиях, обеспечивающих сквозное борирование (3 ч, 900 °С), наблюдали увеличение объема обрабатываемого порошка почти в два раза.

Основываясь на исследовании фотографий частиц порошка, борированных в различных условиях, полученных на спектральном электронном микроскопе *Vega II LMU*, установлено, что поверхность частиц становится шероховатой (рис. 1, а), появляются образования призматической формы в виде наростов (выступов) размером 2–5 мкм (рис. 1, б).

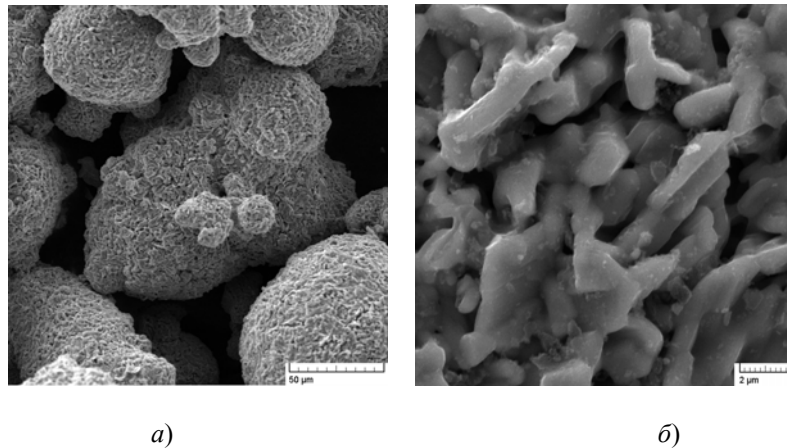


Рис. 1. Морфология борированных частиц порошка фракции 50–63 мкм (3 ч, 900 °С):  
а – шероховатая поверхность частиц; б – призматические выступы на поверхности частиц

В результате исследования распределения микротвердости по глубине упрочненного слоя для образцов порошка, борированных при температуре 900 °С в течение 1 ч, установлено, что толщина диффузионного слоя составляет 18–26 мкм, а микротвердость образцов в зоне поверхностного упрочнения составляет 572–1097 НВ, затем при переходе к основе уменьшается до 87,6–160 НВ. Исследование последующих партий порошков показало, что химико-термическая обработка в среде из карбида бора В<sub>4</sub>С

при температуре 900 °С и времени выдержки 3 и 5 ч приводит к сквозному борированию указанных образцов. В результате процесса диффузионного легирования микротвердость в упрочненной зоне для каждой партии образцов составила 1097 и 1532 НВ, соответственно (рис. 2). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что твердость всех партий образцов борированного порошка значительно выше по сравнению с исходной основой – порошком ПЖРВ, микротвердость которого составляет 71,3 НВ.

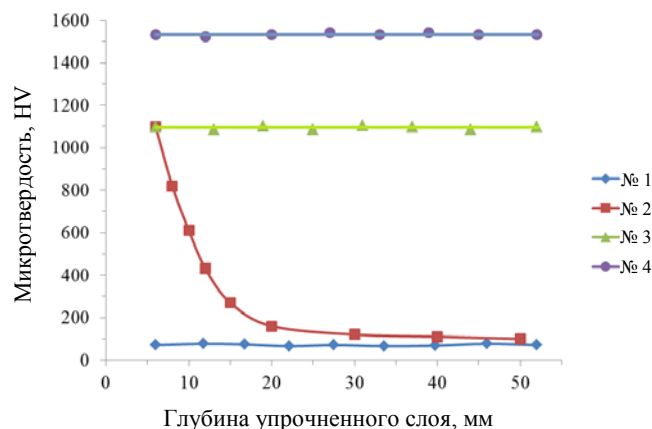


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя (от края к центру) в зависимости от режима химико-термической обработки: без обработки (№ 1), борирование при температуре 900 °С в течение 1 ч (№ 2), 3 ч (№ 3) и 5 ч (№ 4)

**Заключение.** В результате проведенной работы были исследованы технологические особенности диффузионного борирования частиц порошка на основе ПЖРВ. Получены закономерности толщины диффузионного боридного слоя от времени и температуры химико-термической обработки. Установлено, что после борирования увеличиваются размер и масса частиц порошка, при этом поверхность становится шероховатой за счет образования абразивной составляющей, представляющей собой боридный слой вокруг ферромагнитного ядра, имеющийся на каждой частице ферромагнитного порошка. Следует также отметить, что скорость диффузионного борирования порошка на основе ПЖРВ существенно выше, чем у стальной и чугушной дроби аналогичного фракционного состава. Это обусловлено невысоким содержанием углерода в исходном материале, а также отсутствием легирующих элементов, которые препятствуют диффундированию атомов бора внутрь частиц порошка.

#### Литература

1. Барон, Ю. М. Технология конструкционных материалов / Ю. М. Барон. – СПб. : Питер, 2012. – 512 с.
2. Оликер, В. Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В. Е. Оликер. – М. : Metallurgia, 1990. – 176 с.
3. Ферромагнитный абразивный материал : пат. 16981 С1 Респ. Беларусь, МПК С 09К 3/14, В 24D 3/34, С 23С 8/68 ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № u 20101910 ; заявл. 2010.12.29 ; опубл. 2013.04.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2 (91). – С. 104–105.
4. Новые диффузионно-борированные материалы для магнитно-абразивной обработки / Ф. И. Пантелеенко [и др.] // Перспективные материалы и технологии. – 2017. – Т. 2. – С. 241–254.