

УДК 621. 92

**БОРИРОВАННЫЕ ПОРОШКИ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ
МАГНИТНО – АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ**

*ПАНТЕЛЕЕНКО Ф. И.¹, доктор техн. наук, профессор, чл. - корр. НАН Б,
ПАНТЕЛЕЕНКО Е. Ф.¹, канд. техн. наук, доцент,
ПЕТРИШИН Г. В.², канд. техн. наук, доцент,
БЫСТРЕНКОВ В. М.*

*(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,
Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого, г. Гомель,
Республика Беларусь)*

¹**Пантелеенко Ф.И.** – 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости,65,
Белорусский национальный технический университет,
e – mail: panteleyenkof@tut.by

²**Петришин Г.В.** – 246746, Республика Беларусь, г. Гомель, Пр-т Октября, 48,
Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого,
e – mail: grigpv@yandex.ru

Аннотация

В данной работе рассмотрены новые магнитно-абразивные материалы из борированных отходов производства дробы. Такие материалы отвечают всем предъявляемым к порошку-инструменту требованиям. Исследовано изменение морфологии частиц в процессе обработки, описаны процессы их деформирования и разрушения, а также приведены результаты исследования магнитных и технологических (производительность и стойкость порошка) свойств во взаимосвязи с толщиной боридного слоя.

Ключевые слова: порошок, отходы производства дробы, борирование, магнитно-абразивная обработка, магнитные свойства, морфология, разрушение, технологические свойства, производительность, шероховатость, стойкость, дисперсность, толщина боридного слоя.

Введение

На сегодняшнем этапе развития техники технология магнитно-абразивной обработки (МАО) широко применяется для финишной обработки. Специфика технологии обуславливает требования к применяемому порошку-инструменту, который одновременно должен сочетать: высокие твердость и производительность, стойкость (возможность выдерживать как можно большее количество циклов обработки), хорошие магнитные свойства, доступность и возможность серийного производства.

В настоящее время для МАО используют ферробор; ферровольфрам; бористый чугун; крошку белого чугуна; стальные закаленные иглы; механические смеси магнитных и абразивных порошковых материалов; металлизированные зерна электрокорунда [1]; ферромагнитные порошки с зернами оксида алюминия [2]; сферические ферромагнитные порошки, спеченные с техническими алмазами [3]; магнитно – реологические жидкости [4]. Однако, все указанные материалы, несмотря на то, что некоторые имеют высокую производительность, являются дорогими и сложны в изготовлении.

Разработанные ранее мелкодисперсные диффузионно – борированные порошки из отходов производства дроби [Ошибка! Источник ссылки не найден.Ошибка! Источник ссылки не найден.,6] отвечают этим требованиям и подходят для любых видов МАО: от грубого шлифования до полирования. Ферритная основа магнитна. Поверхностный боридный слой обеспечивает высокую твердость и производительность, более мягкая сердцевина – стойкость, а сырье в виде отходов – невысокую стоимость.

В данной работе исследованы процессы деформирования и разрушения частиц порошка-инструмента из борированных отходов дроби в процессе МАО, а также изучены их магнитные и технологические (производительность и стойкость) свойства исходя из толщины боридного слоя. На основании данных результатов можно сформулировать рекомендации по составу и области применения этих материалов.

Описание теоретических и экспериментальных методик

Исследование магнитных свойств порошка осуществляли с применением магнетометра с вибрирующим образцом фирмы Lakeshore. Магнитно – абразивную обработку образцов цилиндрической формы из улучшенной стали 45, проводили на лабораторной установке при одинаковых технологических режимах. Время одного цикла обработки – 30 секунд. Взвешивание производили на аналитических весах марки ВСЛ – 200/0,1А с точностью до $1 \cdot 10^{-7}$ кг. Перед взвешиванием образцы промывались в ацетоне (ГОСТ 2603 – 71). Шероховатость поверхности определялась на профилометре Сейтроник ПШ8 – 4С. Все полученные результаты подвергали обработке с использованием аппарата математической статистики. Исследования морфологии частиц и механизмов разрушения проведены с помощью спектрального электронного микроскопа JEOL JEM 1200 EX II.

Результаты и обсуждение

Магнитные свойства порошков исследовали для порошков фракции 400 – 630 мкм из колотого отбеленного серого чугуна СЧ 20 – исходного и подвергнутого диффузионному борированию. Характеристики образцов приведены в табл. 1. Для указанных в таблице порошков были построены петли гистерезиса, характеризующие магнитные свойства материала (рис. 1).

Таблица 1

Порошок для исследования магнитных свойств

Продолжительность борирования, часов	Температура борирования, °С	Объемное содержание боридной фазы в порошке, %	Массовое содержание бора в порошке, %
2	900	40,2	4,4
3		55,4	6,1
4		64,9	7,3

Все приведенные петли магнитного гистерезиса характеризуются очень малой площадью, что свидетельствует об магнитомягкости порошков. Коэрцитивное поле исходного порошка, больше, в то время, как магнитный момент насыщения (104) для этого материала примерно в 1,5 раза меньше, чем у борированных порошков ($\max = 167$, $\min = 157$). Такое различие вызвано отличием структуры порошков: исходный порошок обладает структурой белого чугуна, слабомагнитного при комнатной температуре, а борированный порошок содержит графит,

являющийся диамагнетиком (намагничивается против направления внешнего магнитного поля), поэтому, магнитный момент насыщения материалов, содержащих графит, увеличивается. Кроме того, боридные фазы железа имеют худшие магнитные свойства в сравнении с твердыми растворами железа.

Приведенные на рис. 1 результаты показывают, что толщина боридного слоя не оказывает значительного влияния на магнитные свойства порошка.

Технологические свойства диффузионно – борированных порошков на основе колотой чугуной дробы исследовали для фракций порошков, указанных в табл. 2, в которой также приведены их технологические характеристики по сравнению с известными порошками-инструментами для МАО.

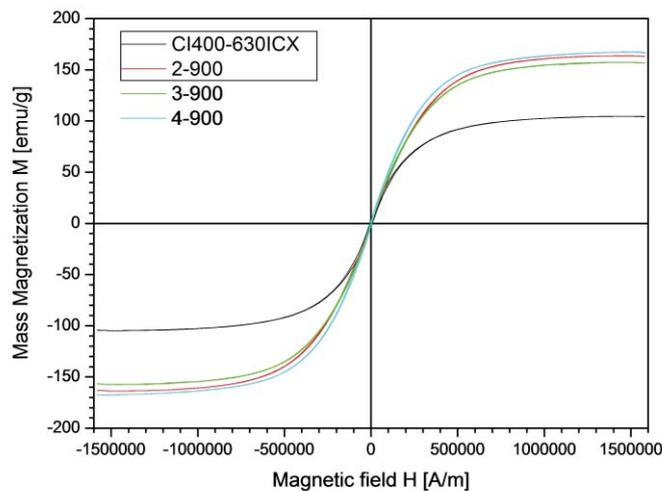


Рис. 1. Петли гистерезиса для порошков на основе колотой чугуной дробы фракции 400 – 630, подвергнутых диффузионному борированию при различных режимах

Результаты показывают, что предложенный порошок – инструмент практически по всем показателям превосходит применяемые в промышленности аналоги: он обладает более высокими производительностью, стойкостью, полирующей способностью, более технологичен в изготовлении. При этом отличается более низкой стоимостью.

Стойкость ферромагнитных абразивных материалов обеспечивается в первую очередь твердостью поверхности и вязкостью сердцевины частиц. Более вязкая и мягкая сердцевина в исследуемом порошке при разрушении уже не обеспечивает необходимых режущих свойств. Однако, такая особенная структура позволяет частицам дольше и эффективнее работать, обуславливая более медленное их разрушение. В данной работе были проведены исследования морфологии порошков до и после магнитно-абразивной обработки и описан механизм разрушения частиц.

Исследовали диффузионно – борированные порошки из колотой чугуной дробы (0,4 – 0,8 мм, борированные в течение 2 часов при температуре 900° С) с толщиной боридного слоя 20 – 30 мкм. Данный порошок – инструмент применяли для магнито – абразивной обработки образцов цилиндрической формы из стали 45 ГОСТ 1050 – 88, подвергнутой закалке и высокому отпуску, при различных режимах (время обработки 5 – 30 мин, частота вращения детали 400 – 630 мин⁻¹).

Результаты проведенных испытаний борированного порошка и металлизированного электрокорунда

N п/п	Характеристика ферромагнитного абразивного материала			Технологические характеристики порошка, процесса шлифования и обработанной поверхности		
	Ферромагнитный абразивный материал	Содержание бора в материале, мас. %	Диапазон размеров частиц порошка, мм	Производительность, мг/цикл	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Стойкость порошка, циклов
Металлизированный порошок						
1	Электрокорунд, металлизированный железом	-	0,200...0,315	158±4	0,34±0,03	82±5
2	Электрокорунд, металлизированный железом	-	0,315...0,400	172±4	0,50±0,04	87±6
Борированный порошок						
3	Борированный порошок	4,4±0,2	0,063...0,080	162±4	0,09±0,01	84±5
4	Борированный порошок	4,8±0,2	0,200...0,315	212±5	0,32±0,03	110±8
5	Борированный порошок	4,8±0,2	0,315...0,400	245±5	0,50±0,04	118±8

При MAO вследствие соударения частиц с обрабатываемой поверхностью и между собой происходят следующие процессы в приведенном порядке:

- разрушение микроразмерных игл поверхностных боридов (рис. 2, а), осколки которых скапливаются во впадинах на поверхности частиц (рис. 2, в, д) и при дальнейшей обработке выполняют полирующую функцию;

- появление на поверхности частиц постепенно растущих микротрещин (рис. 2, б, в), чему способствует пористость, твердость и хрупкость боридного слоя.

- выкрашивание микроигл боридов на поверхности частиц приводит к тому, что на поверхность выходят микропоры, находящиеся в боридном слое (рис. 2, г);

- выкрашивание более крупных элементов с поверхности (рис. 2, д) вследствие соединения образовавшихся на начальных стадиях трещин с порами в боридном слое;

- твердые выступающие части при соударении подвергаются скалыванию и сдвиговым деформациям, (рис. 2, е)

- деформирование мягких центральных областей частицы, вышедших на поверхность, носит пластический характер, если же на поверхности оказывается твердый подборидный слой, то характер его разрушения будет хрупким.

Дополнительным катализатором разрушения частиц при MAO являются графитные включения, локализующиеся в подборидном слое. При MAO с помощью порошка из колотой чугуновой дроби, борированного в течение 5 часов при температуре 900°С, что обеспечивает сквозное борирование и эффект полной графитизации, происходит ускоренное

разрушение частиц порошка. Это обусловлено высокой твердостью и, соответственно, хрупкостью пористого боридного слоя, а также наличием графитных включений, являющихся концентраторами напряжений. Разрушение частиц такого порошка происходит после 5 минут обработки детали диаметром 45 мм при частоте вращения 630 об/мин, в то время как разрушение борированных абразивных материалов с толщиной боридного слоя 20...30 мкм начиналось только после 15 минут работ при тех же режимах. Влияние толщины боридного слоя на стойкость порошка фракции 0,5 – 0,63 мм приведено на рис. 3. В качестве количественного критерия разрушения порошка принимали уменьшение не менее 80 % по массе его фракционного состава. Очевидно, увеличение времени борирования и, соответственно, толщины боридного слоя, приводит к постепенному снижению стойкости порошка.

Однако, в отличие от многих промышленных аналогов, разрушение исследуемого порошка в процессе МАО означает лишь переход его в другой фракционный состав. На рис. 4 показано изменение фракционного состава порошка колотой чугунной дроби исходной фракции 500...630 мкм, подвергнутого сквозному диффузионному насыщению бором.

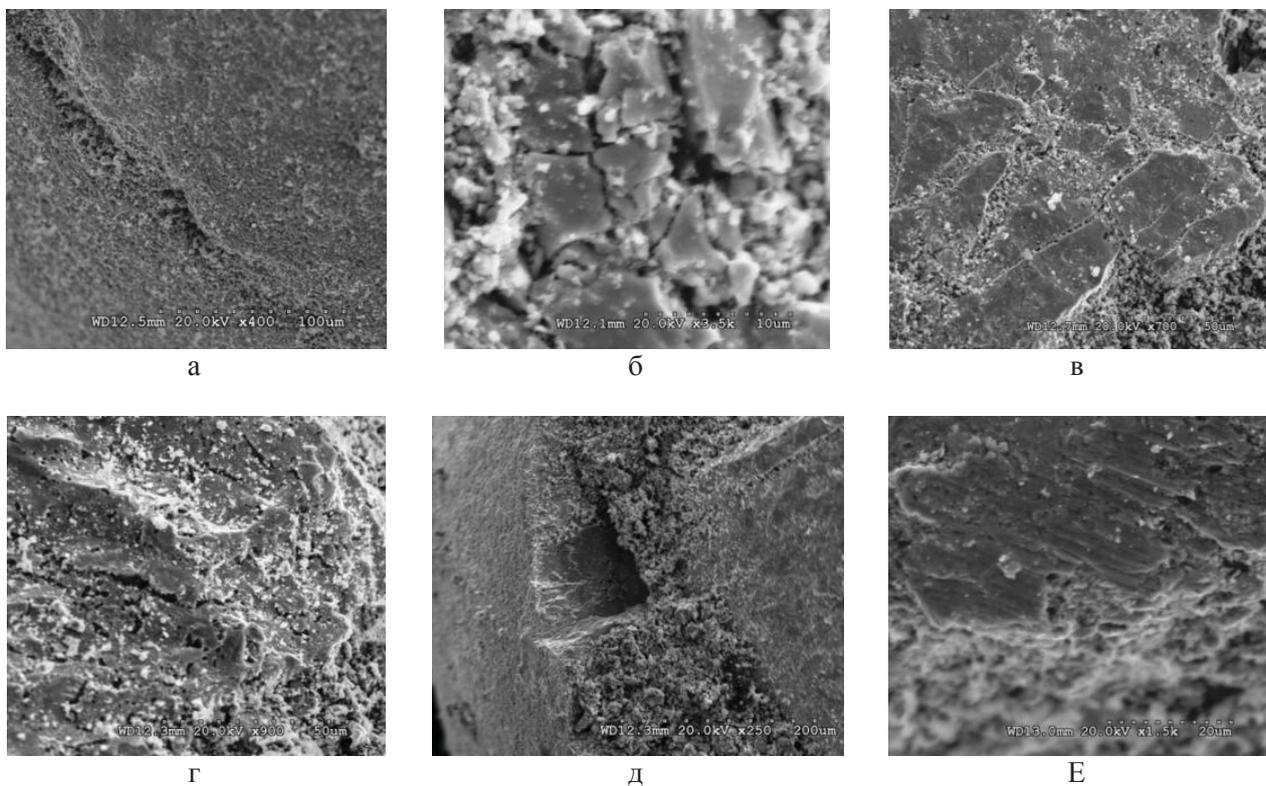


Рис. 2. Изменение морфологии частиц диффузионно – борированной колотой чугунной дроби в процессе магнитно – абразивной обработки

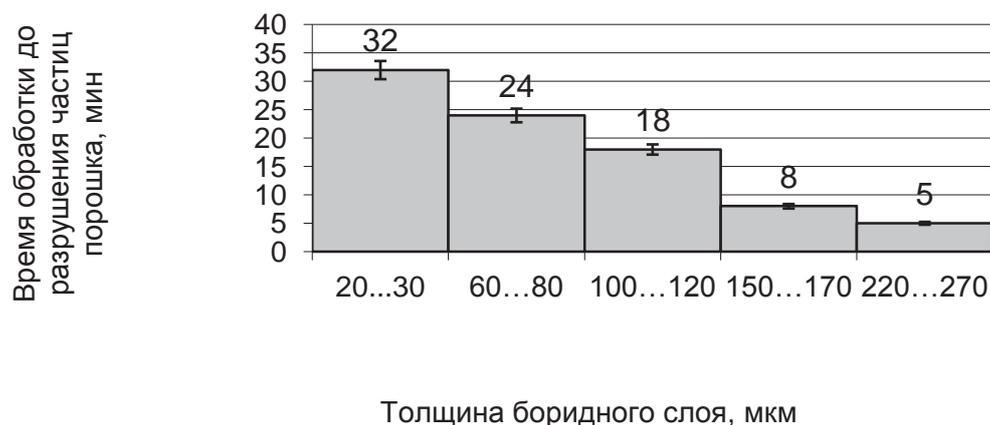


Рис. 3. Время магнитно – абразивной обработки диффузионно – борированными порошками на основе колотой чугунной дроби фракции 500...630 мкм с различной толщиной боридного слоя

Разрушение частиц происходит достаточно быстро, и порошок фракции 650...720 мкм (размер частиц после борирования увеличивается за счет меньшей плотности боридных фаз) за 5 минут работы разрушается до фракции 500...630 мкм, а после 50 минут фракция порошка составляла 25...31,5 мкм. Порошок из светло-серого становился черным – графитные включения при разрушении перемешивались с порошком, оставаясь на поверхности частиц за счет электростатических сил.



Рис. 4. Изменение фракционного состава диффузионно – борированного порошка во время магнитно – абразивной обработки

Производительность исследуемого порошка (рис. 5) снижается только в начале обработки, когда происходит разрушение частиц, и, соответственно, уменьшение глубины и длины царапин при микрорезании. Однако после 10...30 минут работы производительность возрастает до 505...508 мг/мин и остается на этом уровне до 35 минут обработки,

несмотря на продолжающееся разрушение порошка и уменьшение его фракционного состава. Объясняется это тем, что у данных порошковых материалов режущей частью является вся частица, а не абразивное зерно, как у спеченных материалов. Частица, разрушаясь, создает новые режущие кромки, участвующие в микрорезании. При этом повышаются магнитные свойства порошка и жесткость обработки за счет удаления из него немагнитного графита. Снижение производительности после 35 минут обработки объясняется как постепенным затуплением режущих кромок и уменьшением способности частиц порошка к микрорезанию, так и уменьшением шероховатости обрабатываемой поверхности и, соответственно, уменьшением площади контакта порошка с поверхностью.



Рис. 5. Изменение производительности обработки диффузионно – борированным порошком во время магнитно – абразивной обработки

Еще одна немаловажная характеристика порошка – инструмента – полирующая способность, результаты исследования которой приведены на рис. 6.

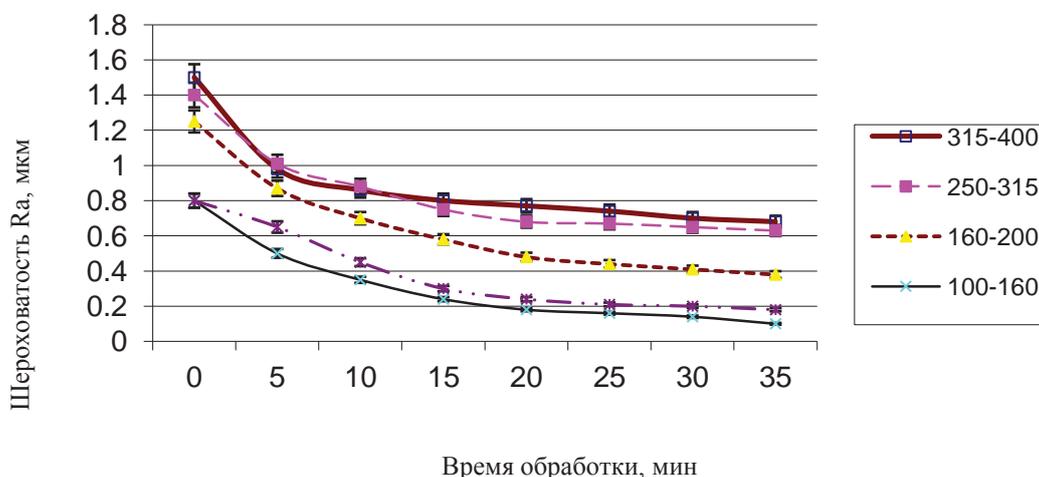


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности во времени магнитно-абразивной обработки диффузионно – борированным порошком на основе колотой чугунной дроби различных фракций, порошком Fe – TiC фракции 100...125 мкм

В данной работе проводились сравнительные исследования по влиянию фракционного состава и времени обработки на шероховатость обработанной поверхности. В качестве порошка-эталоны был принят порошок Fe – TiC фракционного состава 0,100...0,125 мм. Как показывает график, диффузионно – борированные порошки крупных фракций обеспечивают снижение шероховатости до Ra 0,40...0,63, что соответствует шероховатости при обработке шлифовальными материалами на жесткой связке. Порошок мелкого фракционного состава обеспечивает достижения шероховатости Ra 0,10...0,13, соответствующей полированной поверхности. Почти аналогичную шероховатость обеспечивает порошок Fe – TiC такой же фракции, однако он обладает меньшей производительностью (для получения указанной шероховатости длительность обработки должна быть не менее 45 минут).

Выводы

Предложенный порошок из диффузионно – борированных отходов чугуна обладает оптимальным сочетанием свойств, предъявляемых к порошку – инструменту для MAO. В данной работе установлено следующее:

- хорошие магнитные свойства порошка не зависят от толщины боридного слоя;
- описаны процессы разрушения частиц при MAO;
- по сравнению с промышленными аналогами порошок обладает более высокими производительностью и полирующей способностью;
- режущая способность и производительность насквозь борированного порошка не зависят от времени работы, а постепенное измельчение частиц обеспечивает более низкую шероховатость обрабатываемой поверхности. Более того, в процессе обработки можно получить микродисперсные абразивные материалы фракции менее 80 мкм. Однако загрязненность графитом делает возможным применение такого порошка только для наружных легко очищаемых поверхностей.

Таким образом, критическим показателем, определяющим возможность применения диффузионно – борированных порошков для MAO является толщина боридного слоя, и для широкого универсального применения рекомендуется использовать порошковые материалы, имеющие толщину боридного слоя от 10 до 30 мкм в зависимости от размера исходных частиц.

Список литературы

1. Ящерицын П.И., Забавский М.Т., Кожуро Л.М., Акулович Л.М. Алмазно – а разивная обработка изделий в магнитном поле. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 272 с.
2. Hanada K. and Yamaguchi H.: Development of Spherical Iron-based Composite Powder with Carried Alumina Abrasive Grains by Plasma Spray, *Advanced Materials Research*, Vol. 75 (2009), pp.43 – 46.
3. Hanada K., Yamaguchi H., and Zhou H.: New Spherical Magnetic Abrasives with Carried Diamond for Internal Finishing of Capillary Tubes, *Diamond and Related Materials*, Vol. 17 (2008), pp.1434 – 1437.
4. Sato T., Yamaguchi H., Shinmura T., and Okazaki T.: Study of Internal Finishing Process for Capillary using Magneto-rheological Fluid, *J. Jpn. Soc. Prec. Eng.*, Vol. 75, No. 5 (2009), pp. 612 – 616.
5. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.
6. Ферромагнитный абразивный материал. Патент РБ 16981. МПК8, С9К3/14, В24Д3/34, С23С8/68. Пантелеенко Ф. И.; Петришин Г. В., Быстренков В. М., Демиденко Е. Н., Пантелеенко А. Ф. Опубл. 30.04.2013// Аф. Бюл./ Нац. Цэнтр інтэлектуал. Уласнасці – 2013 №2. С.104 – 105.

**BORATED POWDERS MADE OF WASTE PRODUCTS FOR
MAGNETIC – ABRASIVE FINISHING**

Panteleyenko F.I.¹, D. Sc, prof,corr. member of NAS of Belarus, e – mail: panteleyenkofi@tut.by

Panteleyenko K.F.¹, C. Sc, Associate Professor, e – mail: panteleyenko@inbox.ru

Petrishin G.V.², C. Sc, Associate Professor, e – mail: grigpv@yandex.ru

Bystrenkov V.M.², e – mail: grigpv@yandex.ru

¹Belarusian national technical university, 220013, Republic of Belarus, Minsk, Nezavisimosti ave.,65;

²Sukhoi State Technical University of Gomel, 246746, Republic of Belarus, Gomel, Oktiabria ave., 48

Abstract

In this paper the new magnet – abrasive materials made of borated fraction production waste products are overviewed. This products satisfy all requirements for powder-tool. Morphology changes of powder particles surface during magnetic-abrasive finishing was under investigation as well as magnetic and technological (productivity and durability) properties in accordance with borated layer thickness.

Keywords: powder, fraction waste products, borating, magnetic – abrasive finishing, magnet properties, morphology, destruction, technological properties, productivity, roughness, durability, dispersity, borated layer thickness.