

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING

Научная статья

УДК 621.787, 621.789

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-4-13-22

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРТИРОВКИ АБРАЗИВОВ ПО ФОРМЕ

Люкшин Владимир Сергеевич,
Шатько Дмитрий Борисович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: lwsfoa@rambler.ru



Информация о статье

Поступила:

18 августа 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 августа 2022 г.

Принята к публикации:

31 августа 2022 г.

Ключевые слова:

Сепарация, абразивный материал, вибрационный сепаратор, электростатический сепаратор, форма зерна, сила тяжести, сила трения

Аннотация.

Технологический процесс изготовления абразивных материалов в общем случае предусматривает дробление слитка природного или синтетического материала на дробильных устройствах на мелкие компоненты (крошку, зерно) с последующим просеиванием получившейся фракции на ситах с различными по крупности ячейками.

При этом стандартный процесс не предполагает разделение абразивов по форме, но, как известно, форма единичных абразивных зерен в общей массе может варьироваться в достаточно широком диапазоне и включать в себя округлые, плоские, удлиненные и прочие разновидности. Различные по форме абразивные зерна обладают разными механическими характеристиками, что, в свою очередь, оказывает влияние на эксплуатационные показатели шлифовального инструмента, изготовленного из этих зерен. Исходя из этого, исследования, направленные на совершенствование процессов сортировки абразивов по форме, весьма актуальны, поскольку раскрывают перспективу дальнейшего улучшения свойств широкой номенклатуры шлифовального инструмента.

Статья посвящена изучению подходов к разделению общей абразивной массы на фракции с определенной формой зерен. Проанализированы существующие методы сепарации сыпучих материалов. Предложены новые конструкции и описан принцип действия разработанных оригинальных установок для сепарации абразивов. В результате проведенных исследований выявлены и описаны определенные закономерности, характерные для процесса разделения абразивных масс различной зернистости.

Для цитирования: Люкшин В.С., Шатько Д.Б. Совершенствование процесса сортировки абразивов по форме // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 4 (152). С. 13-22. doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-13-22

Уровень развития современного производства с каждым годом диктует новые требования к

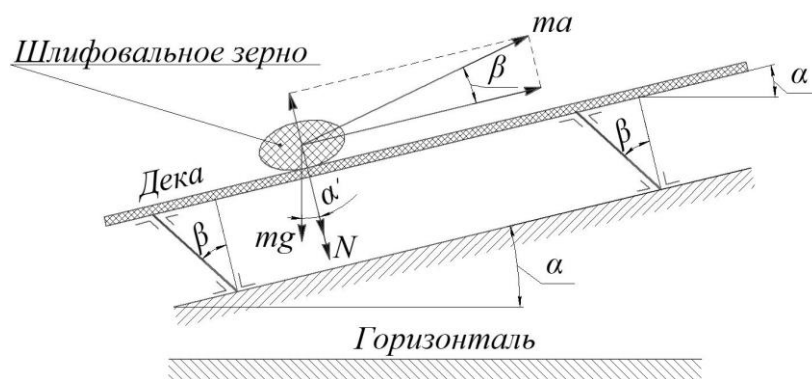


Рис. 1. Схема сепарирования абразивных материалов на основе воздействия сил трения
 Fig. 1. Scheme of separation of abrasive materials based on the action of friction forces

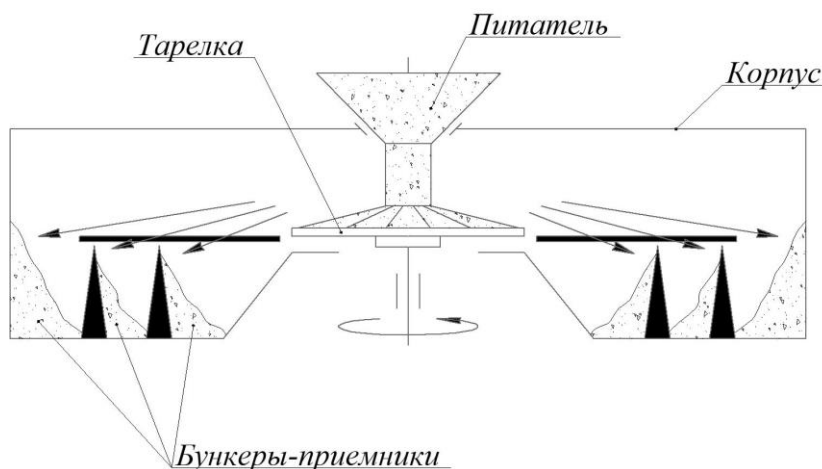


Рис. 2. Схема центробежного сепарирования
 Fig. 2. Scheme of centrifugal separation

качественным и количественным показателям процесса обработки материалов шлифованием. Отсюда следует необходимость постоянного совершенствования эксплуатационных характеристик шлифовальных инструментов. Разработка и изготовление новых конструкций шлифовальных инструментов, которые могут в полной мере соответствовать ожиданиям потребителей, сопряжены с потребностью качественного подбора компонентов, входящих в их состав. Как убедительно показывают ранее проведенные исследования [6-9, 13-15], существенно улучшить характеристики инструментов можно за счет включения в их структуру абразивных зерен с заданной и оптимально обоснованной формой.

В настоящее время в промышленных и лабораторных условиях для разделения материалов по форме применяют множество методов, к числу которых относятся:

- центробежное сепарирование [1, 2];
- сепарация во фрикционных машинах;
- воздушная и гидравлическая сепарация [5];
- вибрационная сепарация [3];
- электростатическая сепарация [4] и др.

Перечисленные методы имеют как преимущества, так и недостатки. Подходы к разделению сыпучих материалов, в том числе и абразивных, укрупненно можно сгруппировать на следующие ключевые позиции:

1. Разделение по форме на основе воздействия сил трения.

Наибольшее распространение получили вибрационный, а также гравитационный методы с использованием наклонной поверхности.

В первом случае сепарирование осуществляется на плоской вибродеке, которая имеет возможность осуществлять гармонические колебания определенной частоты. За счет подбора

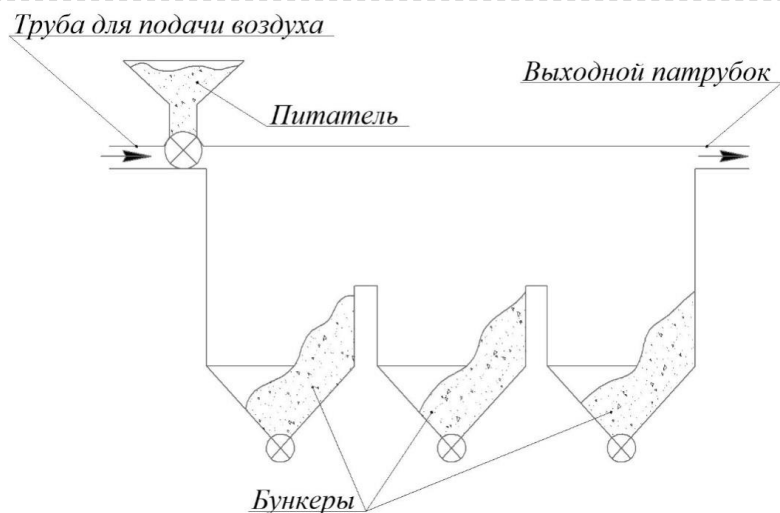


Рис. 3. Камерный сепаратор с горизонтальным потоком воздуха
Fig. 3. Chamber separator with horizontal air flow

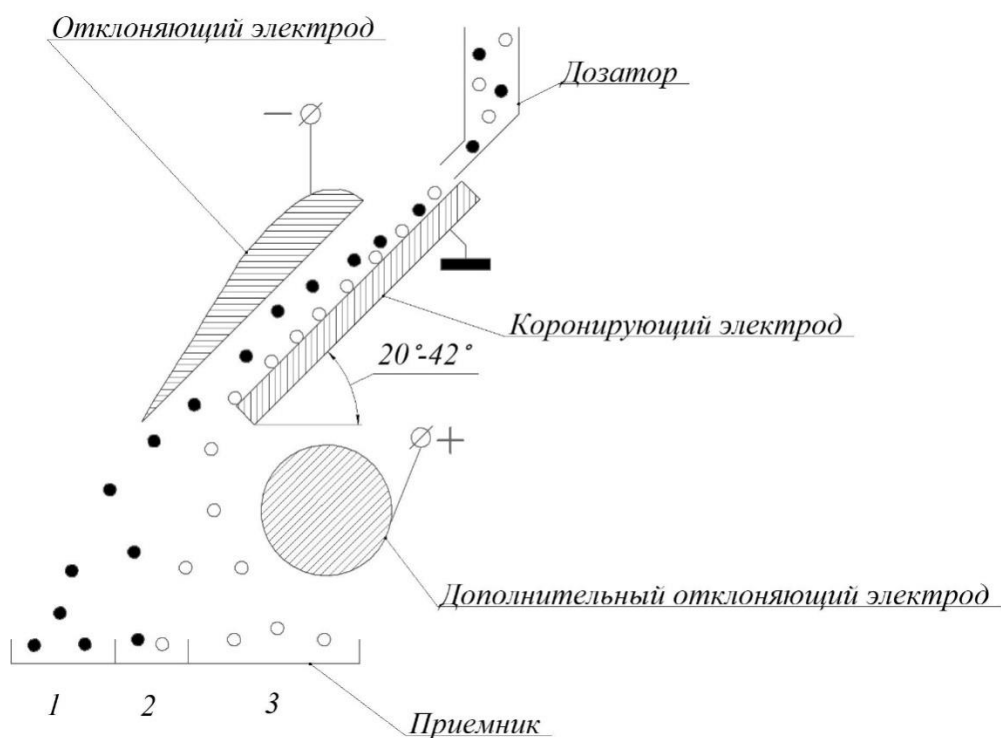


Рис. 4. Схема наклонного электростатического сепаратора
Fig. 4. Diagram of an inclined electrostatic separator

определенных параметров колебаний и наклона деки добиваются всевозможного распределения шлифовальных зерен с разной формой.

В основе второго гравитационного метода лежит разница в коэффициентах трения у шлифовальных зерен различной формы. Так, округлые зерна, в отличие от плоских, имеют низкий коэффициент трения. За счет этого они легче скатываются по наклонной поверхности и скапливаются в отдаленных приемниках.

Суть описанных методов показана на рис. 1.

Перемещение абразивных частиц по плоскости происходит за счет совместного воздействия сил трения и тяжести, а также придаваемых вибраций.

Ключевым параметром, от которого зависит характер перемещения частиц, в данном случае

служит коэффициент трения. Значение этого параметра будет зависеть от материала и формы частиц.

2. Разделение по форме с использованием центробежных сил.

В основе центробежного метода (рис. 2) лежит принцип разной удаленности разброса зерен с различной формой.

При равной массе зерен дальше из них улетит то, которое имеет меньшее сопротивление с воздухом и трение. Следовательно, округлые зерна будут разлетаться на наибольшее расстояние от центра вращения, а ближе всего к нему будут концентрироваться зерна пластинчатые.

3. Разделение с использованием свойств парусности частиц.

На практике нашли применение воздушный и гидравлический способы сепарации.

Воздушный метод разделения частиц основан на принципе парашютирования частиц (рис. 3). При этом подходе пластинчатые абразивные зерна в потоке воздуха улетают на большее расстояние, чем округлые изометрические.

Разделение гидравлическим методом производится за счет различной скорости падения частиц с разной формой в жидкой среде.

4. Разделение по форме при помощи электростатического поля.

Суть метода состоит в том, что частицы угловатых и пластинчатых форм электризуются в электростатическом поле более активно, чем тела овальных и округлых форм. Соответственно, силы притяжения таких тел и объектов в электростатическом поле к электродам будут различными.

На рис. 4 представлена схема наклонного электростатического сепаратора.

Известны также другие способы сепарации по признаку формы, не получившие широкого практического применения ввиду низкой производительности, сложности реализации и недостаточного качества сепарации.

Анализ известных методов сепарирования позволяет сделать вывод о том, что качественную сепарацию абразивов при приемлемой производительности обеспечивает вибрационный метод. При этом вибрационному способу присущ ряд недостатков, которые можно устранить посредством совершенствования его конструкции. К числу потенциальных недостатков можно отнести:

- налипание пыли на вибродеку, что с течением времени приводит к ухудшению качества сепарации;
- сложность устройства для поддержания постоянной частоты колебания вибродеки.

Опираясь на результаты проведенного анализа существующих методов сепарации, коллектив авторов принял решение о проектировании и изготовлении оригинальных конструкций двух вариантов установок, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, базирующимися на сочетании двух принципов сепарации:

1. Разделение по форме с помощью сил трения + вибрационный метод, далее – вибрационный сепаратор.

2. Разделение по форме с помощью сил трения + электростатический метод, далее – электростатический сепаратор.

На начальном этапе работы были сформулированы следующие основные задачи:

1. Разработка сепараторов, отвечающих следующим требованиям:

- высокая производительность;
- постоянство характеристик конструктивных элементов, отвечающих за разделение частиц;
- простота по конструкции и надежность в эксплуатации.

2. Проведение испытания оригинальных сепараторов и выявление закономерности распределения абразивного зерна в зависимости от формы.

Вибрационный сепаратор

Схема разработанного вибрационного сепаратора представлена на рис. 5. На разработанное устройство получен патент на изобретение РФ № 2248851 [11].

Конструкция установки предусматривает возможность продольного и поперечного наклона деки 1, на которой происходит разделение абразивного материала. Колебания деки передаются

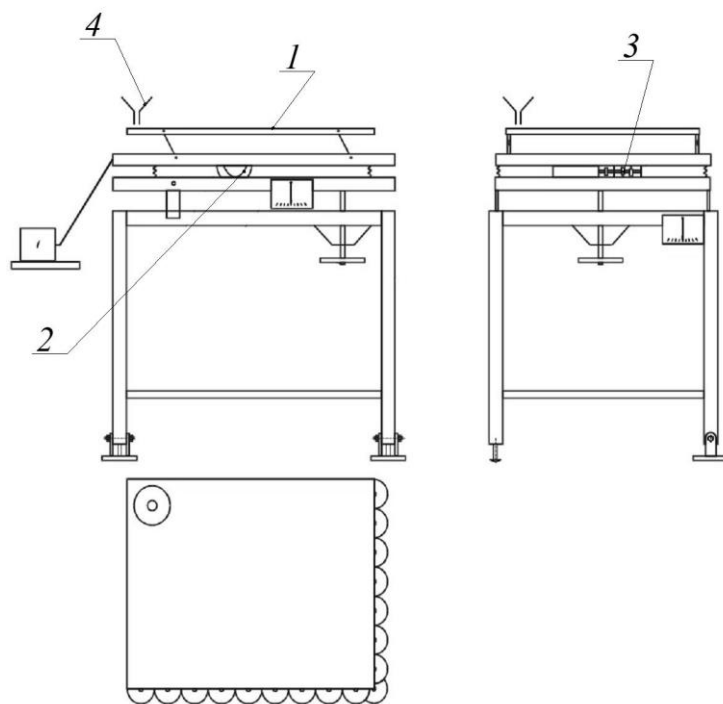


Рис. 5. Схема вибрационного сепаратора
Fig. 5. Vibration separator diagram

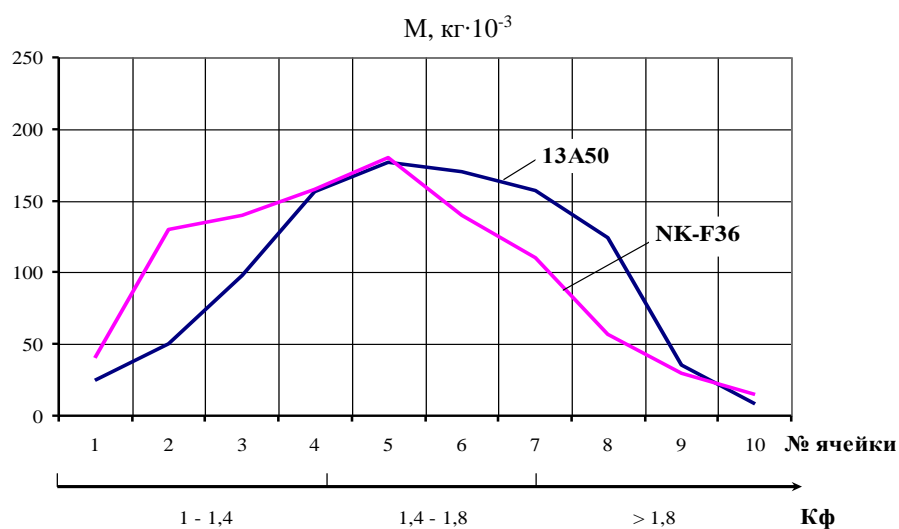


Рис. 6. Массовая доля 1 кг зерна 13A50 и 1 кг зерна NK – F 36
в зависимости от коэффициента формы (K_f)
Fig. 6. The mass fraction of 1 kg of grain 13A50 and 1 kg of grain NK – F 36
depending on the shape coefficient (K_f)

от электродвигателя 2 и дебалансных грузов 3. На деку абразивный материал подается через питатель 4. Абразивные зерна по поверхности деки перемещаются под комплексным воздействием сил тяжести, сил трения и направленных колебаний.

В процессе работы сепаратора округлые изометрические зерна скатываются в нижние ячейки. Абразив промежуточной формы передвигается в поперечном направлении и концентрируется в боковых ячейках. Игольчатые зерна, перемещаясь вверх по деке, поступают в ячейки, расположенные сверху.

Для изучения принципов сепарации и анализа полученных данных был произведен рассев абразивных материалов различных производителей, марок и зернистостей. Для обеспечения достоверности данных рассматривалась выборка абразивных зерен из каждой ячейки сепаратора

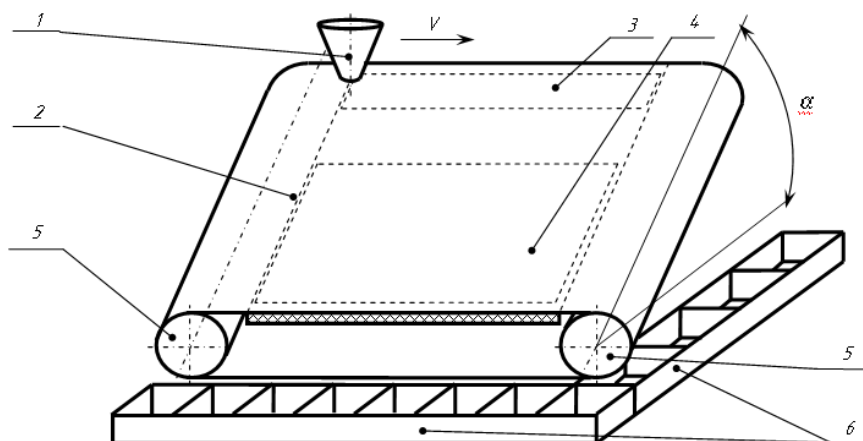


Рис. 7. Схема электростатического сепаратора
Fig. 7. Schematic of the electrostatic separator

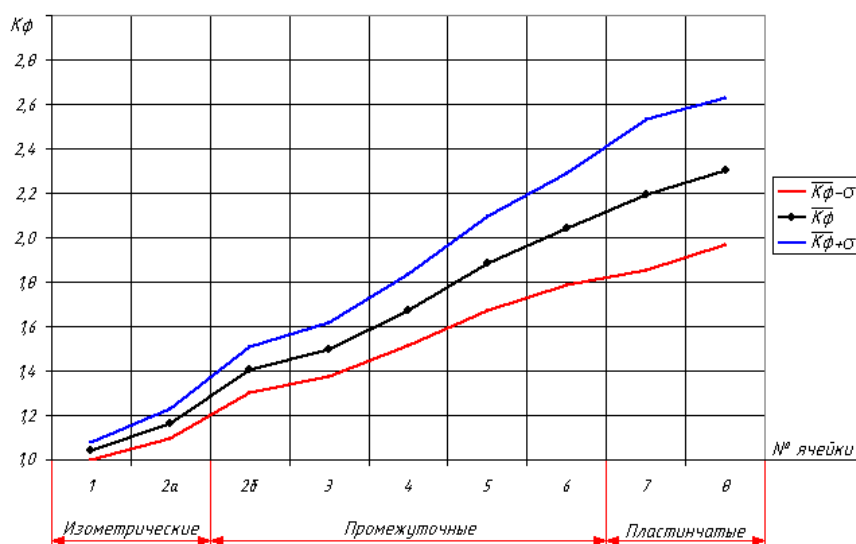


Рис. 8. График отсева шлифовальных зерен марки 13A80
Fig. 8. Schedule of sieving of grinding grains of the brand 13A80

в количестве более ста штук каждой марки и зернистости.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась при помощи специально разработанного программного обеспечения [12]. Предварительно отсканированные и увеличенные изображения абразивных зерен из разных ячеек сепаратора загружаются в программу, которая вычисляет средний коэффициент формы зерен рассматриваемой марки и зернистости. В качестве коэффициента формы абразивных зерен (K_ϕ) принято отношение диаметров, описанных в проекции рассматриваемых зерен окружностей к диаметрам вписанных окружностей. Данный параметр позволяет очень точно описать форму и учесть все разновидности абразивных частиц.

Анализ полученных данных позволил выявить следующие зависимости:

- абразивные зерна изометрической (округлой) формы с $K_\phi \approx 1,0 \div 1,4$ концентрируются в первых ячейках сепаратора (с 1 по 4);
- абразивные зерна промежуточной формы с $K_\phi \approx 1,4 \div 1,8$ располагаются в средних ячейках (5-7);
- абразивные зерна игольчатой формы с $K_\phi > 1,8$ – в последних ячейках.

Выявленные закономерности характерны для всех марок и зернистостей абразивных зерен.

Экспериментальные данные позволили также установить, что стандартная абразивная масса

состоит преимущественно (порядка 65%) из зерен промежуточной формы, остальная часть приходится на округлые и игольчатые разновидности.

Практика показывает, что оценить степень эффективности сепарации частиц по форме возможно при помощи кривых изометричности. Кривая строится следующим образом: по оси абсцисс отмечают точки, соответствующие номерам ячеек сепаратора, а по оси ординат – значения коэффициента формы шлифовальных зерен. В случае, если кривая имеет пологий вид, тем более однородны по форме компоненты смеси. Если кривая изометричности более крута, то можно утверждать, что зерна в составе смеси будут значительно отличаться по форме друг от друга.

Проведенные эксперименты наглядно показывают, что абразивы разных производителей имеют различные массовые доли зерен определенной формы. Например, абразив немецкой фирмы Rottluff имеет более округлую (изометрическую) форму по сравнению с отечественным абразивом производства Юргинского абразивного завода. На рис. 6 отчетливо прослеживается данная тенденция распределения зерен НК – F36 и отечественного аналога 13A50 в зависимости от его коэффициента формы.

Электростатический сепаратор

На рис. 7 показана схема разработанного электростатического сепаратора. На разработанное устройство получен патент на изобретение РФ №223603 [10].

Шлифовальные зерна из питателя 1 поступают на наклонное бесконечное полотно 2, передвигающееся посредством валиков 5. Попадая между верхним 3 и нижним 4 электродами, абразивные зерна оказываются в зоне электростатического поля.

Зерна изометрической формы имеют небольшую силу трения и двигаются по крутым эллиптическим траекториям, попадая в ближайшие к питателю приемники 6. Игольчатые и плоские шлифовальные зерна обладают большей силой сцепления с поверхностью наклонного полотна, двигаются по траекториям более пологой формы и, как следствие, попадают в дальние от питателя приемники 6.

Качество разделения абразивной массы оценивалось по среднему значению коэффициента формы в ячейке ($\overline{K_\phi}$) и стандартному отклонению (σ).

В качестве примера на рис. 8 представлены результаты рассева шлифовальных зерен марки 13A80.

Приведенные зависимости убедительно доказывают, что экспериментальный сепаратор обеспечивает качественный рассев абразивов независимо от марки и размера.

В результате проведенной работы были сформулированы выводы, которые в обобщенном виде представлены ниже.

1. Анализ существующих в настоящее время методов разделения сыпучих материалов показал, что приемлемую производительность и высокое качество сепарации абразивов обеспечивают вибрационный и электростатический методы.

2. Общая абразивная масса, используемая при изготовлении шлифовальных инструментов, включает в себя зерна с существенным разбросом по форме.

3. Абразивным зернам независимо от производителя и размера характерно распределение по форме, описываемое кривой Гаусса.

4. Основная массовая часть исходной массы абразива состоит из зерен промежуточной формы.

Учитывая современные тенденции к повышению качества абразивной обработки материалов, крайне важно учитывать влияние формы зерен на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов. Исходя из этого, достаточно перспективным является изготовление инструментов, полностью состоящих из зерен определенной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев Н. Е. [и др.] Перспективные типы центробежных и гравитационных сепараторов. Теория и анализ конструкций. Воронеж : Воронежский государственный университет, 2005. 637 с.
2. Авдеев Н. Е., Чернухин Ю. В. Разработка новых принципов сепарирования на основе концепции идеального сепаратора // Вестник РАСХН. 1999. №2. С. 18-19.
3. Анахин В. Д., Плисс Д. А., Монахов В. Н. Вибрационные сепараторы. Москва : Недра, 1991. 160 с.
4. Ангелов А. И., Набиулин Ю. Н. Электростатические сепараторы свободного падения. Москва : Недра, 1970.
5. Барский М. Д., Ревнивцев, В. И., Соколкин, Ю. В. Гравитационная классификация зернистых материалов. Москва : Недра, 1974.
6. Дубов Г. М. Повышение работоспособности отрезных шлифовальных кругов на основе использования шлифовальных зерен с контролируемой формой : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.03.01 / Иркут. гос. техн. ун-т. Кемерово, 2004. 20 с.
7. Коротков А. Н., Шатько Д. Б. Влияние формы абразивного зерна на эксплуатационные характеристики лепестковых кругов // Обработка металлов. 2005. №2(27). С. 37-39.
8. Костенков С. А. Повышение работоспособности галтовочных тел на основе применения зерен с контролируемой формой : диссертация ... кандидата технических наук : 05.03.01 / Костенков Сергей Александрович; [Место защиты: Том. политехн. ун-т]. Кемерово, 2007. 183 с. : ил.
9. Мурдасов А. В., Хшиво Л. Н. Свойства абразивных зерен в зависимости от их формы // Уральский фил. Всес. н.-и. ин-та абразивов и шлифования, 1968. Сб. 1. С. 22-27.
10. Патент РФ №223603 В03С7/08. Устройство для сепарации шлифовальных зерен по форме / А. Н. Коротков, С. А. Костенков, В. С. Люкшин, Н. В. Прокаев – заявл. 06/05/2003. Оpubл. 20/09/2004.
11. Патент РФ №2248851 В07В1/40, В07В13/00. Вибрационный сепаратор масс / А. Н. Коротков, Г. М. Дубов, В. Г. Баштанов – заявл. 08/10/2003. Оpubл. 27/03/2005.
12. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004610227. Программа для расчета коэффициента формы шлифовальных зерен (Programm) / В. С. Люкшин, Н. А. Алехин. – №2003612419; Заявлено 21.11.03; Оpubл. 20.01.04.
13. Цехин А. А. Повышение эксплуатационных характеристик шлифовальных кругов на бакелитовой связке путем использования классифицированного по форме зерна : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.03.01 / Кузбасский гос. техн. ун-т. Томск, 2001. 23 с.
14. Шатько Д. Б. Повышение эффективности использования лепестковых шлифовальных кругов за счет зерен с контролируемой формой : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Шатько Дмитрий Борисович. Томск, 2005. 212 с.
15. Shatko D. B., Lyukshin V. S., Strelnikov P. L. Separation of abrasive materials according to the form. Technologies and materials of modern engineering. Materials Science Forum. 2018. Vol. 927. Pp. 35-42. Trans Tech Publications. Switzerland. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.927.35>

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Люкшин Владимир Сергеевич, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, lwsfoa@rambler.ru

Шатько Дмитрий Борисович, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, shdb.tm@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Люкшин В.С. – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Шатько Д.Б. – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

IMPROVING THE PROCESS OF SORTING ABRASIVES BY SHAPE

Vladimir S. Lyukshin,
Dmitry B. Shatko

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: lwsfoa@rambler.ru



Article info

Submitted:

19 August 2022

Approved after reviewing:

30 August 2022

Accepted for publication:

31 August 2022

Keywords: Separation, abrasive material, vibrating separator, electrostatic separator, grain shape, gravity force, friction force

Abstract.

The technological process for the manufacture of abrasive materials generally involves crushing an ingot of natural or synthetic material on crushing devices into small components (crumb, grain) with subsequent sieving of the resulting fraction on sieves with cells of various sizes.

At the same time, the standard process does not involve the separation of abrasives by shape, but, as is known, the shape of single abrasive grains in the general mass can vary in a fairly wide range and include rounded, flat, elongated and other varieties. Differently shaped abrasive grains have different mechanical characteristics, which, in turn, affects the performance of the grinding tool made from these grains. Based on this, research aimed at improving the processes of sorting abrasives by shape is very relevant, since it opens up the prospect of further improving the properties of a wide range of grinding tools.

The article is devoted to the study of approaches to the separation of the general abrasive mass into fractions with a specific grain shape. The existing methods of separation of bulk materials have been analyzed. The designs are considered and the operating principle of the original units for abrasive separation is described.

The revealed regularities at the separation of abrasive masses of various granularities are presented.

For citation: Lyukshin V.S., Shatko D.B. Improving the process of sorting abrasives by shape. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*—Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 4(152):13-22. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-13-22

REFERENCES

1. Avdeyev N.E. Perspektivnyye tipy tsentrobezhnykh i gravitatsionnykh separatorov. Teoriya i analiz konstruktsiy [Perspective types of centrifugal and gravity separators. Theory and analysis of structures]. Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet [Voronezh State University]; 2005. 637 p.
2. Avdeyev N.E. Razrabotka novykh printsipov separirovaniya na osnove kontseptsii ideal'nogo separatora [Development of new separation principles based on the concept of an ideal separator]. *Vestnik RASKHN. [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences]*, 1999; 2:18-19.
3. Anakhin V.D., Pliss D.A., Monakhov V.N. Vibratsionnyye separatory [Vibrating separators]. Moscow: Nedra [Nedra]; 1991.
4. Angelov A.I., Nabiulin Yu.N. Elektrostatischekiye separatory svobodnogo padeniya [Electrostatic separators of free fall]. Moscow: Nedra [Nedra]; 1970.
5. Barskiy M.D., Revnitshev V.I., Sokolkin Yu.V. Gravitatsionnaya klassifikatsiya zernistykh materialov [Gravitational classification of granular materials]. Moscow: Nedra [Nedra]; 1974.
6. Dubov G.M. Povysheniye rabotosposobnosti otreznykh shlifovalnykh krugov na osnove ispolzovaniya shlifovalnykh zeren s kontroliruyemoy formoy [Improving the performance of cutting grinding wheels based on the use of grinding grains with a controlled shape]. Irkut. gos. tekhn. un-t. [Irkut. state. tech. un-t.], 2004. 20 p.
7. Korotkov A.N., Shatko D.B. Vliyaniye formy abrazivnogo zerna na ekspluatatsionnyye kharakteristiki lepestkovykh krugov [Influence of the shape of the abrasive grain on the operational characteristics of the flap wheels]. *Obrabotka metallov. [Processing of metals]*. 2005; 2(27):37-39.
8. Kostenkov S.A. Povysheniye rabotosposobnosti galtovochnykh tel na osnove primeneniya zeren s kontroliruyemoy formoy [Increasing the efficiency of tumbling bodies based on the use of grains with a controlled shape]. Tom. politekhn. un-t. [Tom. polytechnic university], 2007. 183 p.

9. Murdasov A.V., Khshivo L.N. Svoystva abrazivnykh zeren v zavisimosti ot ikh formy [Properties of abrasive grains depending on their shape]. Ural'skiy fil. Vses. n.-i. in-ta abrazivov i shlifovaniya [Ural Phil. Vses. n.-i. Institute of Abrasives and Grinding], 1968. pp. 22–27.

10. Patent RF №223603 B03C7/08. Ustroystvo dlya separatsii shlifoval'nykh zeren po forme [Device for separating grinding grains by shape] / A.N. Korotkov, S.A. Kostenkov, V.S. Lyukshin, N.V. Prokayev – zayavl. 06/05/2003. Opubl. 20/09/2004.

11. Patent RF №2248851 B07B1/40, B07B13/00. Vibratsionnyy separator mass [Vibratory mass separator] / A.N. Korotkov, G.M. Dubov, V.G. Bashtanov – zayavl. 08/10/2003. Opubl. 27/03/2005.

12. Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy dlya EVM №2004610227. Programma dlya rascheta koeffitsiyenta formy shlifoval'nykh zeren [Program for calculating the shape coefficient of grinding grains] / V.S. Lyukshin, N.A. Alekhin. - №2003612419; Zayavleno 21.11.03; Opubl. 20.01.04.

13. Tsekhin A.A. Povysheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik shlifoval'nykh kru-gov na bakelitovoy svyazke putem ispol'zovaniya klassifitsirovannogo po forme zerna [Improving the performance of grinding wheels on a bakelite bond by using a grain classified according to the shape]. Kuzbasskiy gos. tekhn. un-t. [Kuzbass state. tech. un-t.], 2001. 23 p.

14. Shatko D.B. Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya lepestkovykh shlifo-val'nykh krugov za schet zeren s kontroliruyemoy formoy [Improving the efficiency of using flap grinding wheels due to grains with a controlled shape]. Kemerovo: Kuzbasskiy gos. tekhn. un-t. [Kuzbass state. tech. un-t.]; 2005.

15. Shatko D.B., Lyukshin V.S., Strelnikov P.L. Separation of abrasive materials according to the form. Technologies and materials of modern engineering. Materials Science Forum. 2018; 927:35-42. 2018 Trans Tech Publications. Switzerland. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.927.35>

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Vladimir S. Lyukshin, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), C. Sc. in Engineering, lwsfoa@rambler.ru

Dmitry B. Shatko, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28 street Vesennyyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation), C. Sc. in Engineering, shdb.tm@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Dmitry B. Shatko - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Vladimir S. Lyukshin - research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

