

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
ENGINEERING TECHNOLOGY**

Научная статья

УДК 621.921 : 621.923

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-23-30

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЕДИНИЧНЫХ АБРАЗИВНЫХ
ЗЕРЕН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ФОРМЫ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ОРИЕНТАЦИИ****Шатько Дмитрий Борисович,
Люкшин Владимир Сергеевич**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

*для корреспонденции: shdb.tm@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила:

17 октября 2023 г.

Одобрена после
рецензирования:

20 ноября 2023 г.

Принята к публикации:

22 ноября 2023 г.

Опубликована:

05 декабря 2023 г.

Ключевые слова:Единичное шлифовальное
зерно, форма зерна,
ориентация зерна, режущая
способность, лепестковый
круг, режим резания**Аннотация.**

Анализ существующих данных показывает, что эксплуатационные характеристики выпускаемых промышленностью лепестковых кругов часто не удовлетворяют требованиям, предъявляемым им в процессе шлифования. Это наряду с другими причинами во многом предопределяется тем, что лепестки круга состоят из обычной шлифовальной шкурки, изготовленной из абразивных зерен произвольной формы, без ориентации их относительно поверхности основы. Это обстоятельство оказывает негативное влияние на рабочие характеристики круга в целом, поскольку произвольная форма, геометрия и ориентация зерен приводит к тому, что многие из них не участвуют в совокупном процессе микрорезания, выкрашиваясь и вылетая из связи, либо деформируют и нагревают металл, не срезая его.

Представленное исследование посвящено изучению режущей способности единичных абразивных зерен различной формы и ориентации. Режущая способность абразивных зерен является одним из важнейших параметров, влияющих на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов. Поэтому работа, направленная на всестороннее изучение режущей способности абразивов различных форм и ориентации, имеет большую актуальность. Подобного рода исследование позволит оптимальным образом подобрать абразивы для изготовления шлифовальных инструментов под конкретные условия работы. Целью работы является исследование влияния формы и ориентации абразивных зерен на режущую способность. Описан оригинальный подход к исследованию данного вопроса. Представлены результаты исследований режущей способности как единичных зерен, так и изготовленных из них лепестковых шлифовальных кругов. Сформулированы практические рекомендации по применению тех или иных разновидностей шлифовальных зерен

Для цитирования: Шатько Д.Б., Люкшин В.С. Исследование режущей способности единичных абразивных зерен в зависимости от их формы и пространственной ориентации // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 5 (159). С. 23-30. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-23-30, EDN: QIVLVI

Введение

Процессу шлифования присущ ряд специфических особенностей, отличающих его от процесса резания традиционными лезвийными инструментами, среди которых можно отметить [1]:

- высокие скорости резания;
- срезание тонкой стружки;
- участие большого числа режущих кромок в процессе снятия стружки;
- упругая деформация обрабатываемой поверхности вместо срезания стружки ввиду неупорядоченного расположения шлифовальных зерен в теле инструмента;
- высокая теплонапряженность процесса шлифования.

Шлифовальные инструменты состоят из большого количества абразивных зерен, скрепленных между собой при помощи связки. В процессе работы каждое единичное зерно срезает свою стружку. Благодаря тому обстоятельству, что при шлифовании одновременно участвует большое количество зерен, обеспечивается существенный съем металла в единицу времени.

Вышеперечисленные особенности шлифования влекут за собой ряд трудностей при исследовании протекания данного процесса. Исходя из этого, картину резания исследуют преимущественно косвенными методами. К методам оценки режущей способности абразивов можно отнести [2-8]:

- резание единичным зерном;
- обработка материалов несвязанной абразивной массой (принцип галтовки);
- шлифование образцов абразивной массой, закрепленной под действием центробежных сил;
- струйная обработка материалов под воздействием воздушного потока абразивных зерен.
- Для получения объективных результатов в ходе исследования режущих свойств абразивных зерен крайне важно придерживаться реальных условий процесса шлифования. Такие условия характеризуются следующими данными [9-15]:
- в процесс резания вступает большое число единичных шлифовальных зерен;
- рабочий слой абразива с определенным усилием прижимается к поверхности обрабатываемого материала;
- как правило, шлифование осуществляется абразивом, скрепленным связкой.

Методика исследования

Результаты сравнительного анализа подходов, используемых на практике для исследования режущей способности абразивных материалов, позволили обоснованно предпочесть метод, основанный на микрорезании единичным зерном, которое предварительно закрепляется под разными углами наклона на торце диска, имитирующем шлифовальный круг. Данный подход был взят за основу для определения режущих свойств единичных зерен, поскольку наиболее точно воспроизводит реальные условия шлифования. Исследования проводились на плоскошлифовальном станке мод. 3Г71.

Режимы резания и обрабатываемый материал были подобраны опытным путем: скорость вращения диска 30 м/с; продольная подача – 0,19 м/мин; глубина резания – 0,04 мм; сталь марки Ст3 (НВ 111). Масса снятого материала определялась при помощи весов АДВ-200 (точность измерения 0,0005 г.).

В качестве схемы резания использовалось встречное плоское шлифование.

Во время проведения работы шлифовальное зерно 1, подлежащее исследованию, закреплялось в обойме 2 при помощи связки под требуемыми условиями эксперимента углом (γ) (Рис. 1). Для оценки влияния угла ориентации шлифовальных зерен на их режущую способность было предусмотрено его изменение от 0° до +90°/-90° с шагом в 15°.

Обойма с зерном монтировалась в специальном гнезде на торцевой поверхности диска 3. Диск в свою очередь через оправку устанавливался на штатный шпиндель плоскошлифовального станка.

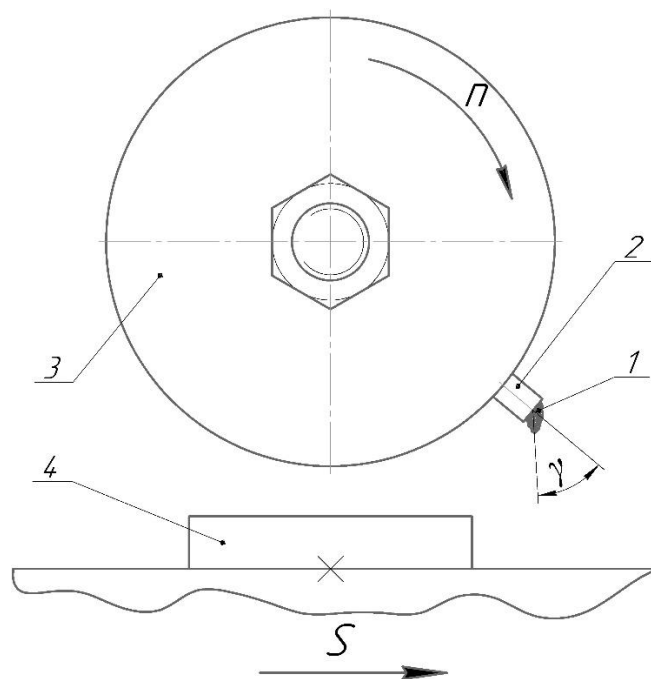


Рис. 1. Приспособление для оценки режущей способности единичных зерен
Fig. 1. Tool for evaluation of cutting capacity of single grains

Испытуемый металлический образец 4 в виде прямоугольной пластинки размерами 30x20x10 мм (ДxШxВ) предварительно взвешивался и закреплялся на столе станка.

Ранее подобранные величины глубины резания и подачи выставлялись соответствующими маховиками станка. Посредством индикатора часового типа (ИЧ) оценивалась глубина резания. По мере реализации 20-ти проходов испытуемый образец снимался и повторно взвешивался, после чего опыт повторялся.

В ходе экспериментов применялись абразивные зерна марки 13А (электрокорунд нормальный), зернистостью №125, изометрической ($K_{\phi} \approx 1,14$), промежуточной ($K_{\phi} \approx 1,56$) и пластинчатой форм ($K_{\phi} \approx 2,27$).

С целью получения шлифовальных зерен точно указанной формы использовался специально для этого сконструированный сепаратор, с помощью которого и производилось разделение общей абразивной массы по признаку формы на требуемые фракции. Для определения численных значений среднего коэффициента формы той или иной полученной в результате отсева фракции было использовано оригинальное программное обеспечение.

Режущая способность единичных шлифовальных зерен рассчитывалась по формуле:

$$\Delta = M_1 - M_2,$$

где M_1 и M_2 – масса образца до и после обработки.

Для получения адекватных данных каждый опыт повторялся 25 раз, а обработка полученных результатов осуществлялась с привлечением программного продукта «Microsoft Excel».

Результаты и обсуждение

Полученные и обработанные экспериментальные данные, приведенные на Рис. 2, говорят о том, что:

- угол ориентации и геометрическая форма зерен оказывают влияние на их режущую способность;
- абразивным зернам пластинчатой формы характерна наибольшая режущая способность, а зернам изометрической формы – наименьшая;
- лучшая режущая способность достигается при следующих углах ориентации зерен:

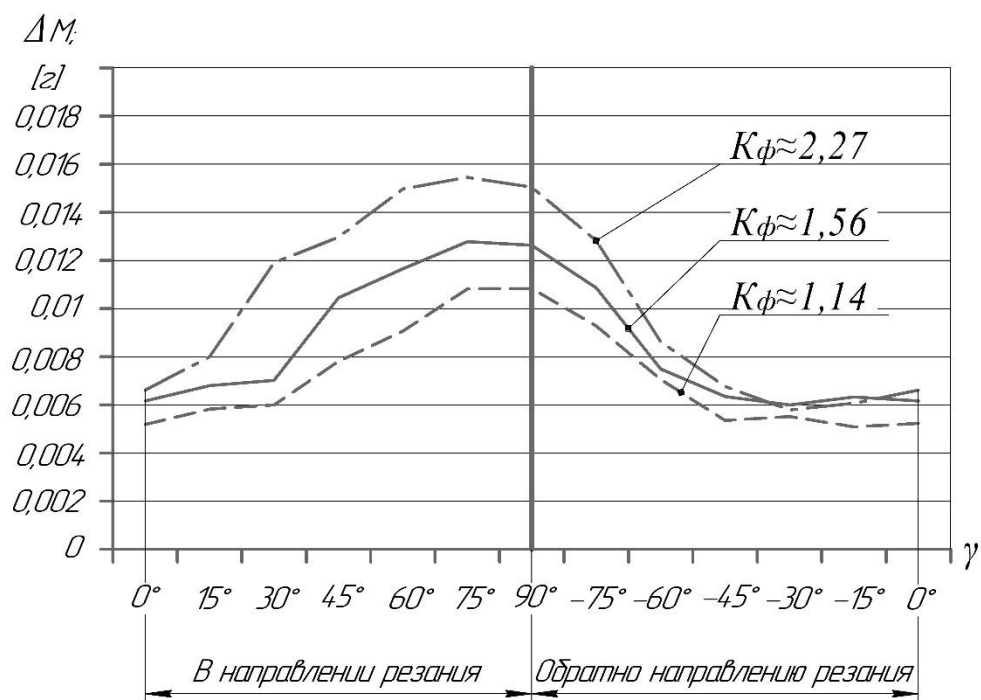


Рис. 2. Зависимость режущей способности абразивных зерен от их формы и угла ориентации
 Fig. 2. Dependence of cutting capacity of abrasive grains on their shape and orientation angle

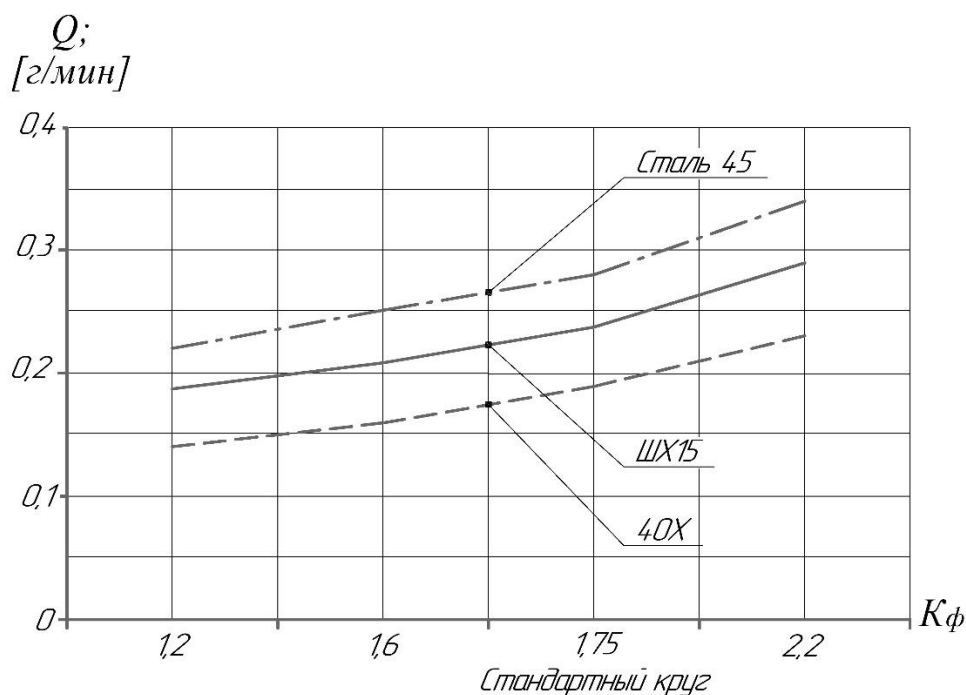


Рис. 3. Влияние формы шлифовального зерна на режущую способность лепестковых кругов
 Fig. 3. Influence of grinding grain shape on cutting capacity of petal wheels

- от 60° до 90° – для зерен пластинчатой формы;
- от 60° до 90° – для зерен промежуточной формы;
- от 75° до 90° – для зерен изометрической формы.

Для подтверждения гипотезы о существенном влиянии формы абразивных зерен на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов была проведена серия экспериментов с лепестковыми кругами, изготовленными из зерен разной формы.

В качестве примера на Рис. 3 приведены зависимости режущей способности от коэффициента формы шлифовального зерна при обработке лепестковыми кругами некоторых марок сталей.

Приведенные зависимости показывают, что переход от изометрической формы зерен к игольчатой (пластинчатой) приводит к возрастанию кривых режущей способности для всех марок сталей порядка в 1,56 раза. При переходе от круга, изготовленного из общей абразивной массы с $K_\phi \approx 1,75$ к кругу с $K_\phi \approx 2,2$ режущая способность возрастает примерно в 1,21 раза. Переход в обратном направлении – к кругу с $K_\phi \approx 1,2$ приводит к снижению режущей способности в среднем в 1,29 раза.

Переход от Стали 45 (НВ 187) в состоянии поставки к закаленной ШХ 15 (HRC 65) сопровождается уменьшением режущей способности в 1,51 раза.

Научно обосновать подобные результаты можно следующим образом. Геометрические параметры игольчатых зерен обеспечивают ему оптимальные условия внедрения в обрабатываемый материал. Более острые углы при вершине зерна позволяют обеспечить снятие большего объема стружки. Изометрические же зерна имеют больший передний и меньший задний углы, что приводит к пластической деформации обрабатываемой поверхности и к ее нагреву. Поэтому при прочих равных условиях изометрические зерна показывают худшие показатели съема материала.

Зависимость режущей способности (Q) от коэффициента формы шлифовального зерна (K_ϕ) в виде математической модели представлена ниже:

$$\ln(Q) = 0,79788 \cdot \ln(K_\phi) - 1,70297$$

или

$$Q = \exp^{(0,79788 \cdot \ln(K_\phi) - 1,70297)}$$

Математическая модель подтверждает ранее полученные экспериментальные данные об увеличении режущей способности круга с ростом коэффициента формы зерна.

Выводы

Результаты исследований, представленные в данной работе, убедительно доказывают важность учета таких параметров, как форма и пространственная ориентация абразивных зерен при изготовлении шлифовальных инструментов. Подобного рода работы имеют хорошую дальнейшую перспективу исследования влияния данных параметров на эксплуатационные характеристики широкой номенклатуры шлифовальных инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пушкарев О. И., Рукин В. М. Определение режущей способности шлифматериалов при экспериментальной оценке эффективности абразивной обработки // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы : Сборник статей международной научно-технической конференции, Волгоград-Волжский, 09–15 сентября 2002 года; под ред. В. М. Шумячера. Волгоград-Волжский : Волжский инженерно-строительный институт, 2002. С. 26–28.
2. Байдакова Н. В., Крюков С. А. О влиянии формы абразивного зерна на режущую способность инструмента на операциях обдирки // Новые материалы и технологии: состояние вопроса и перспективы развития : сборник материалов Всероссийской молодежной научной конференции, Саратов, 24–26 июня 2014 года. Саратов : ИЦ «Наука», 2014. С. 475–478.
3. Байдакова Н. В., Крюков С. А., Орлов И. Ю. Влияние гранулометрического состава абразивного инструмента на эффективность шлифования // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2019 : сборник статей XVII Международной научно-технической конференции, Волжский, 24–26 сентября 2019 года / под общей редакцией В. М. Шумячера. Волжский : Волгоградский государственный технический университет, 2019. С. 64–68.
4. Байдакова Н. В., Назаренко В. А., Крюков С. А., Байдакова Т. А. Повышение производительности и качества обрабатываемых деталей при использовании шлифовальных инструментов с зерном контролируемой формы // СТИН. 2009. № 2. С. 15–19.
5. Шатко Д. Б., Люкшин В. С., Стрельников П. А. Влияние формы и ориентации шлифовальных зерен

на эксплуатационные характеристики инструментов на гибкой основе // Инновации в машиностроении : Сборник трудов X Международной научно-практической конференции, Кемерово, 26–29 ноября 2019 года / Под редакцией В.Ю. Бломенштейна. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. С. 827–835.

6. Сафонова М. Н. Критерий для выбора геометрической модели абразивного зерна // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1–2. С. 432–434.

7. Носенко В. А., Александров А. А., Авилов А. В. Коэффициент формы зерен фракций шлифовальных порошков карбида кремния черного // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 2. С. 53–57.

8. Петухов Ю. Е., Юрьев Г. А. Влияние формы зерна на свойства шлифовального инструмента // Наука сегодня: тенденции развития и вызовы : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Вологда, 16 ноября 2016 года. Вологда : Общество с ограниченной ответственностью «Маркер», 2016. С. 44–46.

9. Люкшин В. С., Шатько Д. Б. Совершенствование процесса сортировки абразивов по форме // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 4 (152). С. 13–22.

10. Shatko D. B., Lyukshin V. S., Strelnikov P. A. Separation of abrasive materials according to the form // Materials Science Forum. 2018. Vol. 927. P. 35–42. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.927.35.

11. Кириенко А. С., Завистовский С. Э., Завистовский В. Э. Реализация технологии управления образованием ориентированных структур в гибких абразивных инструментах // Перспективные машиностроительные технологии : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–25 ноября 2022 года. Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 225–232.

12. Сергеевичев А. В., Федяев А. А. Статистическая многогранная модель абразивного зерна // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 3(31). С. 99–106. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-3-99-106.

13. Зубарев Ю. М., Алейникова М. А. Динамическая модель системы единичного абразивного зерна в шлифовальном круге // Справочник. Инженерный журнал. 2016. № 6(231). С. 40–43.

14. Syreyshchikova N. V., Pimenov D. Y., Gupta M. K., Giasin K., Sharma S. Establishing the relationship between cutting speed and output parameters in belt grinding on steels, aluminum and nickel alloys: Development of recommendations // Materials. 2021. 14(8).

15. Syreyshchikova N. V., Pimenov D. Y., Gupta M. K., Aamir M., Sharma S. Relationship between pressure and output parameters in belt grinding of steels and nickel alloy // Materials. 2021. 14(16).

© 2023 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:

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

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

Заявленный вклад авторов:

Шатько Дмитрий Борисович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, написание текста, выводы.

Люкшин Владимир Сергеевич – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, написание текста, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

INVESTIGATION OF CUTTING CAPACITY OF SINGLE ABRASIVE GRAINS
DEPENDING ON THEIR SHAPE AND SPATIAL ORIENTATIONDmitry B. Shatko,
Vladimir S. Lyukshin

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*for correspondence: shdb.tm@kuzstu.ru



Article info

Received:

17 October 2023

Accepted for publication:

20 November 2023

Accepted:

22 November 2023

Published:

05 December 2023

Keywords: Single grinding grain, grain shape, grain orientation, cutting ability, petal wheel, cutting mode.

Abstract.

Analysis of existing data shows that the performance of commercially available petal wheels often does not meet the requirements of the grinding process. This, among other reasons, is largely predetermined by the fact that the wheel lobes consist of a conventional grinding paper made of abrasive grains of arbitrary shape, without being oriented relative to the surface of the substrate. This has a negative effect on the performance of the wheel as a whole, since the arbitrary shape, geometry and orientation of the grains leads to the fact that many of them do not participate in the combined process of micro-cutting, painting and flying out of the bundle, or deform and heat the metal without cutting it.

The present study is devoted to the study of the cutting capacity of single abrasive grains of different shapes and orientations. The cutting capacity of abrasive grains is one of the most important parameters affecting the performance of grinding tools. Therefore, work aimed at comprehensively studying the cutting ability of abrasives of various shapes and orientations is of great relevance. This kind of research will allow to optimally select abrasives for the manufacture of grinding tools for specific operating conditions. The purpose of the work is to investigate the effect of the shape and orientation of abrasive grains on the cutting capacity. The original approach to the study of this issue is described. The results of studies of cutting ability of both single grains and petal grinding wheels made from them are presented. Practical recommendations for the use of certain varieties of grinding grains are formulated.

For citation: Shatko D.B., Lyukshin V.S. Investigation of cutting capacity of single abrasive grains depending on their shape and spatial orientation. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 5(159):23-30. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-5-23-30, EDN: QIVLVI

REFERENCES

1. Pushkarev O.I., Rukin V.M. Determining the cutting ability of grinding materials in an experimental assessment of the efficiency of abrasive processing. *Abrasive processes, abrasive tools and materials: Collection of articles of the international scientific and technical conference*. Volgograd-Volzhsy, September 09-15, 2002; ed. V.M. Shumyacher. Volgograd-Volzhsy: Volga Civil Engineering Institute; 2002.
2. Baidakova N.V., Kryukov S.A. On the influence of the shape of abrasive grain on the cutting method of the tool during stripping operations. *New materials and technologies: state of the issue and development prospects: a collection of materials of the All-Russian Youth Scientific Conference*. Saratov. June 24-26, 2014. Saratov: IC "Science"; 2014.
3. Baydakova, N.V. [et al.] Effect of particle size distribution of abrasive tool on grinding efficiency. *Abrasive processes, abrasive tools and materials. Shlifabraziv-2019: a collection of articles of the XVII International Scientific and Technical Conference*. Volzhsky, September 24-26, 2019/edited by V. M. Shumyacher. Moscow: Volgograd State Technical University; 2019.
4. Baidakov N.V. [et al.] Improvement of productivity and quality of processed parts when using grinding tools with grain of controlled shape. *STIN*. 2009; 2:15–19.
5. Shatko D.B. [et al.] Influence of the shape and orientation of grinding grains on the operational characteristics of tools on a flexible basis. *Innovations in mechanical engineering: Collection of works X Between-People's Scientific and*

Practical Conference. Kemerovo, November 26-29, 2019/Edited by V. Yu Blumenstein. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2019.

6. Safonova M.N. Criterion for choosing a geometric model of abrasive grain. *Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012; 14(1–2):432–434.

7. Nosenko V.A. [et al.] Grain shape coefficient of fractions of grinding powders of black silicon carbide. *Modern science-intensive technologies*. 2017; 2:53–57.

8. Petukhov Yu.E., Yuriev. G.A. The influence of grain shape on the properties of a grinding tool. *Science today: development trends and challenges: Mothers-scarves of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Vologda, November 16, 2016. Vologda: Marker Limited Liability Company; 2016.

9. Lukshin V.S., Shatko D.B. Improving the process of sorting abrasives by shape//Bulletin of Kuzbass State Technical University. 2022; 4(152):13–22.

10. Shatko D.B. [et al.] Separation of abrasive materials according to the form. *Materials Science Forum*. 2018; 927:35–42. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.927.35.

11. Kiriyyenko A.S. [et al.] Implementation of the technology for managing the formation of oriented structures in flexible abrasive tools. *Promising engineering technologies: a collection of scientific works of the International Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg, November 21-25, 2022. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS; 2023.

12. Sergeevichev A.V., Fedyaev A.A. Statistical multifaceted model of abrasive grain. *Systems. Methods. Technologies*. 2016; 3(31):99–106. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-3-99-106.

13. Zubarev Yu.M., Aleinikova M.A. Dynamic model of the system of single abrasive grain in a grinding wheel. *Handbook. Engineer magazine*. 2016; 6(231):40–43.

14. Syreyshchikova N.V., Pimenov D.Y., Gupta M.K., Giasin K., Sharma S. Establishing the relationship between cutting speed and output parameters in belt grinding on steels, aluminum and nickel alloys: Development of recommendations. *Materials*. 2021; 14(8).

15. Syreyshchikova N.V., Pimenov D.Y., Gupta M.K., Aamir M., Sharma S. Relationship between pressure and output parameters in belt grinding of steels and nickel alloy. *Materials*. 2021; 14(16).

© 2023 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:

Dmitry B. Shatko, C. Sc. in Engineering, associate professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: shdb.tm@kuzstu.ru

Vladimir S. Lyukshin, C. Sc. in Engineering, associate professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28), e-mail: lwsfoa@rambler.ru

Contribution of the authors:

Dmitry B. Shatko – formulation of a research task, conceptualization of research, data collection and analysis, writing text, conclusions.

Vladimir S. Lyukshin – scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, writing of text, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

