

**МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-3-56-61

УДК 621.922.3

**ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ОРИЕНТАЦИИ ЗЁРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ****THE INFLUENCE OF THE SHAPE AND GRAIN ORIENTATION ON THE PERFORMANCE INDICATORS OF GRINDING WHEELS WITH A FLAT GRINDING****Коротков Александр Николаевич,**

доктор техн. наук., проф., e-mail: korotkov.a.n@mail.ru

**Alexander N. Korotkov,** Doctor of Technical Sciences, professor**Коротков Виталий Александрович**

канд. техн. наук., проф., e-mail: korotkov\_v.a@mail.ru

**Vitaly A. Korotkov,** Senior Researcher, Ph. D.**Минкин Евгений Михайлович,**

инженер, e-mail: minkin.e.m@gmail.com

**Evgeniy M. Minkin,** Engineer

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Аннотация:**

Шлифовальные инструменты не полностью используют свои потенциальные возможности. Основная причина этого недостатка состоит в том, что зёрна, являющиеся режущими элементами этих инструментов, имеют произвольную форму и хаотичное расположение. Отсутствие упорядоченной геометрии зёрен препятствует эффективному процессу срезания металла. Это следует из сравнения геометрии лезвийных инструментов (резцов, сверл, фрез и др.) со шлифовальным. У лезвийных инструментов режущие клинья затачиваются с высокой точностью и в соответствии с рекомендациями справочников. А у шлифовальных инструментов геометрия зёрен произвольно изменяется в широком диапазоне от изометрических до пластинчатых разновидностей. Кроме того, на геометрию режущих клиньев зёрен влияет их положение в теле инструмента. Предложены способы по целенаправленному подбору формы и ориентации зёрен, позволяющие повысить работоспособность зёрен и инструментов в целом. Упорядочение формы зёрен достигалось путем сепарации исходной абразивной массы на вибрационном сепараторе на ряд фракций с одинаковой формой зёрен. Ориентация зёрен обеспечивалась за счет электростатического эффекта и специально разработанного способа. Спроектирована технология по изготовлению экспериментальных шлифовальных кругов с контролируемой формой и ориентацией зёрен. Изготовлена опытная партия экспериментальных шлифовальных кругов. Разработана конструкция испытательного стенда для оценки эксплуатационных характеристик экспериментальных кругов. Проведены сравнительные испытания таких кругов при плоском шлифовании по отношению к стандартным инструментам. В ходе испытаний контролировались следующие параметры: режущая способность, коэффициент шлифования, составляющие силы резания, эффективная мощность, температура прогрева детали, шероховатость обрабатываемых поверхностей. Результаты испытаний показывают, что опытные инструменты по ряду эксплуатационных показателей превосходят стандартные круги.

**Ключевые слова:** шлифовальные инструменты, форма и ориентация зёрен, изготовление кругов, сравнительные испытания, эксплуатационные показатели.

**Abstract:**

*Grinding tools do not fully use their potential capabilities. The main reason for this drawback is that the grains that are the cutting elements of these tools have an arbitrary shape and a chaotic arrangement. The absence of an ordered geometry of grains impedes the effective process of cutting metal. This follows from a comparison of the geometry of blade tools (cutters, drills, milling cutters, etc.) with grinding. With blade tools, the cutting wedges are honed with high precision and in accordance with the recommendations of the directories. And in grinding tools, the geometry of grains varies arbitrarily in a wide range from isometric to lamellar varieties. In addition, the geometry of the cutting wedges of grains is influenced by their position in the body of the tool. Methods are proposed for a purposeful selection of the shape and orientation of the grains, which make it possible to improve the performance of grains and tools in general. The ordering of the grains was achieved by separating the original abrasive mass from the vibratory separator into a series of fractions with the same grain form. Orientation of the grains was provided due to the electrostatic effect and a specially developed method. The technology for manufacturing experimental grinding wheels with a controlled shape and orientation of the grains has been designed. A pilot batch of experimental grinding wheels was made. The design of a test bench for evaluating the performance characteristics of experimental circles has been developed. Comparative tests of such circles with flat grinding relative to standard tools have been carried out. During the tests, the following parameters were monitored: cutting capacity, grinding coefficient, cutting force components, effective power, heating temperature of the part, roughness of the surfaces to be treated. The results of the tests show that the experimental tools for a number of performance indicators exceed standard wheels.*

**Key words:** grinding tools, shape and orientation of grains, manufacture of wheels, comparative tests, performance indicators.

Каждое зерно, находящееся на рабочей поверхности шлифовального круга, представляет собой режущий клин в микромасштабе, которым осуществляется процесс срезания микростружек. В отличие от лезвийных инструментов (резцов, сверл, фрез), где режущий клин затачивается с большой точностью и в соответствии с рекомендациями справочников, в шлифовальных инструментах режущие клинья зёрен имеют произвольную геометрию [1, 2, 3, 4, 5]. Это обусловлено двумя факторами – произвольной формой зёрен и их произвольном расположением в теле инструмента. Типовым технологиям изготовления шлифовальных зерен свойственно наличие в общей массе абразива зёрен, обладающих формой от изометрических до пластинчатых разновидностей [6, 7]. При изготовлении из таких, разных по форме зёрен, шлифовальных инструментов, без целенаправленной их ориентации, получают режущие клинья, многие из которых не в состоянии срезать материал [8]. Поэтому работоспособность стандартных шлифовальных инструментов не превосходит 10-20% от их потенциальных возможностей [9].

На кафедре металлорежущих станков и инструментов КузГТУ предложены способы по упорядочению формы шлифовальных зёрен и их целенаправленной ориентации. Подбор определенной формы зёрен из общей массы исходного абразива обеспечивается за счет вибрационного способа сортировки мелких объектов [10]. Суть способа состоит в разной траектории движения частиц разной формы по вибрирующей наклонной плоскости. В соответствии с данным способом разработано устройство для сепарации шлифовальных зерен по форме [11], позволяющее разделять исходную массу абразива на 12 – 14 фракций с одинаковой формой зёрен. Для идентификации фор-

мы зёрен разработан количественный метод оценки их формы, основанный на применении специального программного обеспечения, микроскопа, сканера и компьютера [12]. Форма зерна оценивалась коэффициентом формы, равным отношению диаметров описанных и вписанных окружностей в проекции зёрен на плоскости или сферы в объеме [13].

Для придания зёрнам определенной ориентации в теле инструмента разработан способ, основанный на использовании электростатического поля, в зону действия которого помещаются зёрна [14]. Под действием этого поля зёрна разворачиваются своими острыми выступами в направлении силовых линий. Электростатическое поле формируется за счет источника высокого напряжения и электродов, имеющих специальную конфигурацию. Концентрические электроды позволяют формировать радиальное расположение зёрен в круге, а радиальные и наклонные электроды – дают возможность ориентировать зёрна наклонно или параллельно плоскости резания.

В соответствии с предложенными способами сепарации зёрен по форме и ориентации их в теле инструментов разработаны технологии по изготовлению экспериментальных шлифовальных кругов [15]. Данные технологии отличаются от типовых технологий тем, что в них добавлены две операции – по отбору зёрен с требуемой формой и по их ориентации в инструменте [16].

На основе упомянутых технологий изготовления опытная партия шлифовальных кругов прямого профиля (ПП), которая прошла сравнительные испытания со стандартными шлифовальными кругами в условиях плоского шлифования. Для проведения испытаний сконструирован стенд на базе плоскошлифовального станка модели 3Г71 с уставленным на него комплексом измерительной

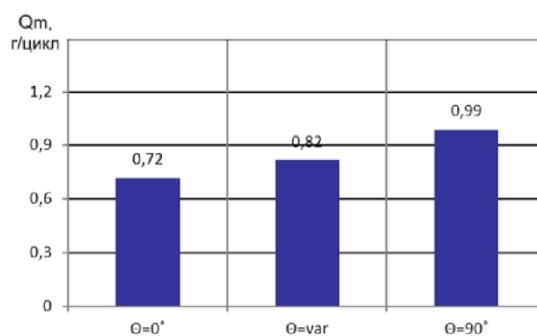


Рис. 1. Режущая способность шлифовальных кругов с различной ориентацией зёрен ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) по сравнению с кругами из обычных зёрен ( $\Theta = var$ ).  
Fig. 1. Cutting capacity of grinding wheels with different grain orientation ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) compared with circles of ordinary grains ( $\Theta = var$ ).

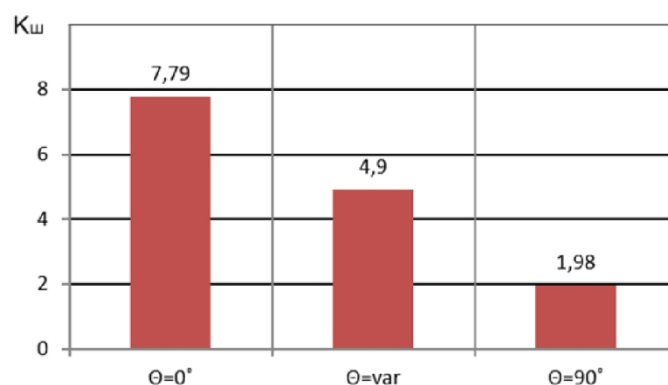


Рис. 2. Коэффициент шлифования при использовании шлифовальных кругов с ориентированными зёрнами ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) по сравнению с обычными кругами ( $\Theta = var$ ).  
Fig. 2. Coefficient of grinding when using grinding wheels with orientated grains ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) compared to conventional circles ( $\Theta = var$ ).

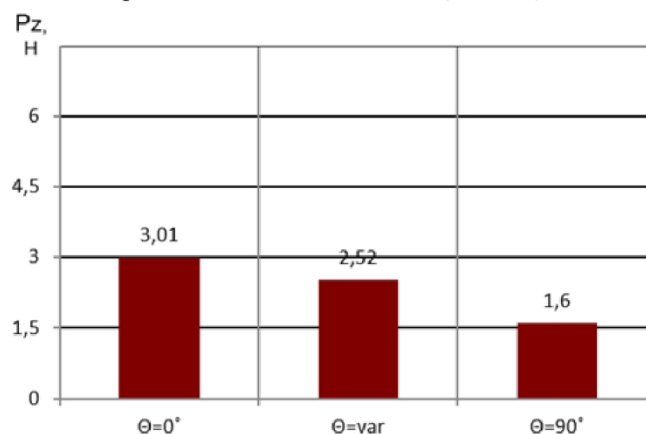


Рис. 3. Сила резания  $P_z$  при шлифовании кругами с разной ориентацией зёрен  
Fig. 3. Cutting force  $P_z$  when grinding in circles with different orientation of the grains

аппаратуры. В состав аппаратуры входили: двух-компонентный динамометр (для измерения радиальной и тангенциальной составляющих силы резания), видеокамера (для одновременной записи показаний ваттметра и динамометра) и веб-камера

(для передачи показаний динамометра на экран ноутбука), ноутбук (для обработки видеoinформации).

Испытания проводились на следующих режимах резания: скорость резания – 27 м/с;

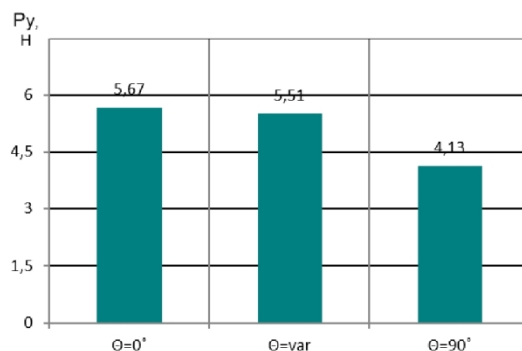


Рис. 4. Сила резания  $P_y$  при шлифовании кругами с разной ориентацией зёрен  
Fig. 4. Cutting force  $P_y$  when grinding in circles with different grain orientations

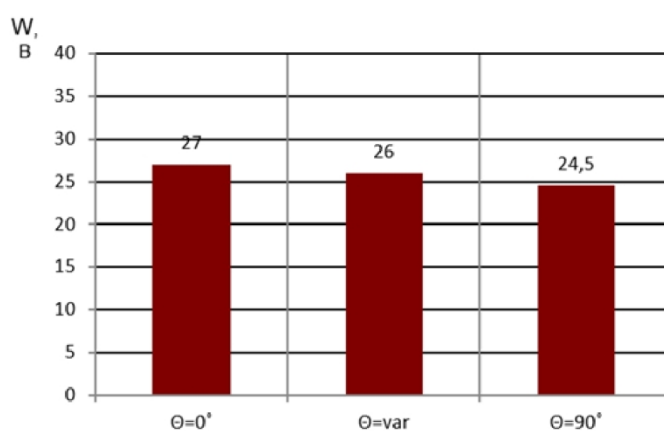


Рис. 5. Эффективная мощность шлифовании кругами с разной ориентацией зёрен  
Fig. 5. Effective grinding power in circles with different grain orientation

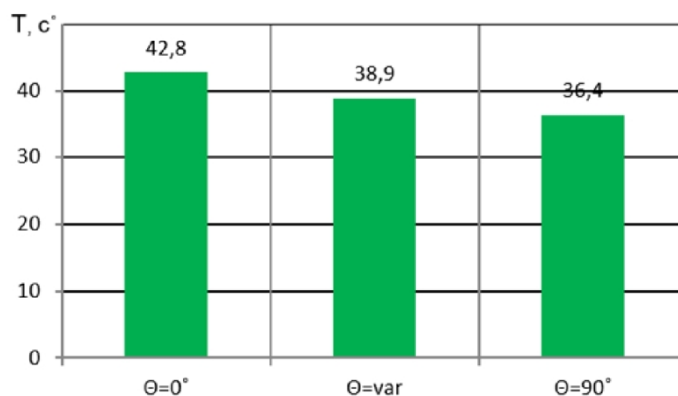


Рис. 6. Температура прогрева детали при шлифовании кругами с ориентированными зёрнами ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) по сравнению с обычными кругами ( $\Theta = var$ )  
Fig. 6. The temperature of the part's heating during grinding with circles with oriented grains ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) compared to the usual circles ( $\Theta = var$ )

продольная подача – 10,6 мм/мин; поперечная подача – 0,6 мм/ход; глубина резания – 0,01 мм.

Шлифованию подвергались детали из легированной стали ШХ-15 с размерами 100x50x10 мм.

В качестве эксплуатационных параметров опытных шлифовальных кругов измерялись:

- режущая способность кругов (количество срезанного материала за определенное и одинаковое число проходов,  $Q$  г/цикл.),

- износ шлифовальных кругов (потеря массы инструмента за определенное число проходов,  $Q_m$  г/цикл),

- коэффициент шлифования (отношение количества срезанного металла к количеству изношенного абразива,  $K_{ш}$ ),

- силы резания и мощность при шлифовании ( $P_y$ ,  $P_z$ ,  $W$ ),

- температура прогрева детали при шли-

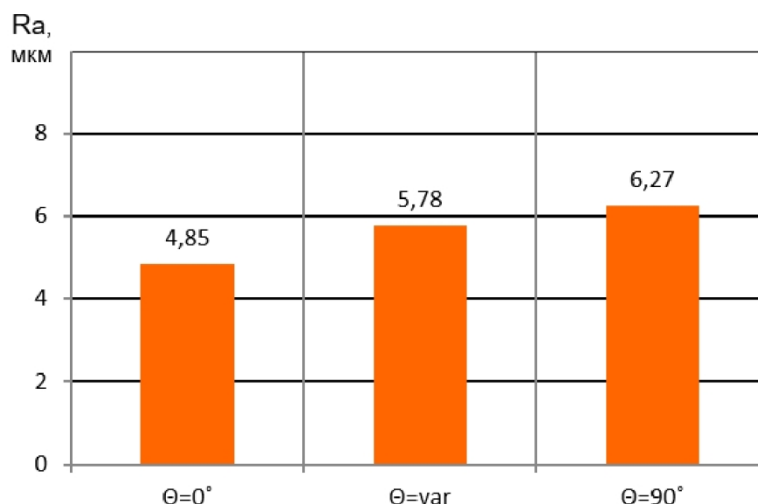


Рис. 7. Качество поверхностного слоя при шлифовании кругами с ориентированными зёрнами ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) по сравнению с обычными кругами ( $\Theta = var$ )

Fig. 7. The quality of the surface layer when grinding wheels with oriented grains ( $\Theta = 0^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ) compared to conventional circles ( $\Theta = var$ )

фования (Т).

Результаты испытаний представлены на графиках рис. 1 – рис. 7

### ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований говорят о том, что, благодаря использованию зёрен с контролируемой формой и ориентацией, можно: повысить режущую способность кругов на 21%, повысить коэффициент шлифования на 59%, снизить температуру прогрева деталей на 7%, понизить шероховатость обрабатываемых поверхностей на 16%, снизить радиальную и тангенциальную составляющую силы резания на 25% и 36%, а мощность шлифования – на 9%.

Таким образом, подтверждается целесообраз-

ность изготовления шлифовальных кругов с контролируемой формой и ориентацией зёрен. Наибольший эффект такие круги покажут в случае изготовления их под конкретные задачи шлифования. Так, если требуется большой съём материала, то следует использовать круги с радиальной ориентацией зёрен; если необходимо снизить шероховатость обрабатываемых поверхностей, то более подходящими окажутся круги с тангенциальной ориентацией зёрен; такие же круги характеризуются пониженным износом и наиболее высоким коэффициентом шлифования. В случае, если требуется снизить температуру шлифования, то это могут обеспечить круги с радиальной формой зёрен.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д.В. Металлорежущие инструменты / Д.В. Кожевников, С.В. Кирсанов – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 390 с.
2. Лал Г., Шоу М. Влияние радиуса при вершине абразивных зёрен на процесс чистового шлифования // Конструирование и технология машиностроения. Тр. амер. о-ва. инж.-мех., 1975, Т. 97, №3. – С. 306 – 312.
3. Besugen A., Verkerk J. Untersuchungen der Schleifkorngeometrie mit dem Rasterelektronenmikroskop. – Fertigung, Bd.5, 1971.- S. 1 -12.
4. Degner W., Lutze H., Smejkal E. Spanende Formung. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1968. – 330 S.
5. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с.
6. Lukshin V. Evaluation of Abrasive Grain Form. Applied Mechanics and Materials – 682 (2014). doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.682.148.
7. Зайцев А.Г. Влияние расположения алмазных зерен на процесс шлифования твердых сплавов // Вестник машиностроения. – 1977. – № 8. – С. 71–72.
8. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
9. Lukshin V.S., Barsuk A.V., Fazleev R.R. Cutting capacity and strength of single grinding grains // Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 91. – pp. 132–136.
10. Плисс Д.А. Вибрационные сепараторы / Д.А. Плисс, В.А. Анахин, В.Н. Монахов – М.: Недра,



1991. – 157 с.

11. Патент 2236303 Российская Федерация, МПК7 В 03 С 7/08. Устройство для сепарации шлифовальных зёрен по форме / А.Н. Коротков, С.А. Костенков, В.С. Люкшин, Н.В. Прокаев. – № 2003113373; заявл. 20.09.07; опубл. 27.12.07, Бюл. № 26.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2006610153. Форма шлифовальных зёрен. / Коротков А.Н., Рылов Г.М. - №2005612738; заявл. 25.10.05; опубл. 10.01.06.

13. Lyukshin V.S. Evaluation of Abrasive Grain Form // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. pp. 148-153.

14. Патент 2369474 Российская Федерация, МПК7 В 24 Д 18/00. Способ изготовления шлифовальных кругов с ориентированными зёрнами / В.А. Коротков. – Опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28.

15. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Под ред. А.М. Ковальчука – М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.

16. Цехин А.А. Повышение эксплуатационных характеристик шлифовальных кругов на бакелитовой связке путем использования классифицированного по форме зерна: Дис. канд. техн. наук. – Кемерово, 2001. – 148 л.

## REFERENCES

1. Kozhevnikov DV, Kirsanov S.V. Metal cutting tools. - Tomsk: Publishing house Tom. University, 2003. - 390 p.

2. Lal G., Shaw M. Influence of the radius at the top of the abrasive grains on the process of pure grinding. Design and Engineering Technology. Works of American union of engineers, 97(1975). - №3. - pp 306 – 312.

3. Besugen A., Verkerk J. Untersuchungen der Schleifkorngeometrie mit dem Rasterelektronenmikroskop. – Fertigung. Bd.5, 1971.- S. 1 -12.

4. Degner W., Lutze H., Smejkal E. Spanende Formung. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1968. – 330 S.

5. Maslov E.N. Theory of grinding metals. - Moscow: Mashinostroenie, 1974. - 319 p.

6. Lukshin V. Evaluation of Abrasive Grain Form. Applied Mechanics and Materials – 682 (2014). doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.682.148.

7. Zaitsev A.G. Influence of the arrangement of diamond grains on the process of grinding hard alloys // Bulletin of Machine Building. - 1977. - №. 8. - pp. 71-72.

8. Abrasive and diamond processing of materials: reference book / ed. A.N. Reznikova. - Moscow: Mechanical Engineering, 1977. - 391 p.

9. Lukshin V., Barsuk A., Fazleev R. Cutting capacity and strength of single grinding grains. Materials Science and Engineering 91 (2015), doi:10.1088/1757-899X/91/1.

10. Pliss DA, Anakhin VA, Monakhov VN Vibration separators. - Moscow: Nedra, 1991. - 157 p.

11. Patent 2236303 Russian Federation, IPC<sup>7</sup> В 03 С 7/08. Device for separation of grinding grains in shape / A.N. Korotkov, S.A. Kostenkov, V.S. Lyukshin, N.V. Prokayev. - No. 2003113373; claimed. 20.09.07; publ. 27.12.07, Bul. No. 26.

12. Certificate of state registration of the computer program №2006610153. Form of grinding grains. / A.N. Korotkov, G.M. Rylov - №2005612738; claimed. 25.10.05; publ. 10.01.06.

13. Lyukshin V.S. Evaluation of Abrasive Grain Form // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. pp. 148-153.

14. Patent 2369474 Russian Federation, IPC 7 In 24 D 18/00. Method of manufacturing grinding wheels with oriented grains / V.A. Korotkov. - Opubl. 10.10.2009, Bul. № 28.

15. Basics of design and technology of manufacturing abrasive and diamond tools / Ed. A.M. Kovalchuk - M.: Mechanical Engineering, 1984. - 288 p.

16. Tsekhin A.A. Improving the performance characteristics of grinding wheels on a bakelite binder by using a grain-classified grain: Dis. Cand. tech. sciences. - Kemerovo, 2001. - 148 liters.

Поступило в редакцию 27.03.2018

Received 27.03.2018