

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

Научная статья

УДК 621.922.024 : 621.923.02

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-32-40

**ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
ШЛИФОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАМИ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ**

**Люкшин Владимир Сергеевич,
Шатько Дмитрий Борисович,
Заруцкий Семен Юрьевич**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: shdb.tm@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

14 мая 2025 г.

Одобрена после
рецензирования:

22 июня 2025 г.

Принята к публикации:

30 июня 2025 г.

Опубликована:

28 августа 2025 г.

Ключевые слова:

Шлифовальная шкурка,
лепестковый круг,
шлифовальная лента,
абразивное зерно, режимы
резания.

Аннотация.

Процессы шлифования инструментами на гибкой основе с каждым годом находят все более широкое распространение при обработке различных материалов. Это связано прежде всего с доступностью и простотой применения подобных инструментов, а также с возможностью достижения хорошего качества обрабатываемых поверхностей. В то же время обработка гибкими абразивными инструментами имеет большой потенциал для дальнейшего совершенствования, тем самым обуславливая актуальность исследований в области расширения эксплуатационных возможностей инструментов, подбора рациональных режимов работы, улучшения конструкции и т. п.

Выпускаемые промышленностью лепестковые круги, шкурка и шлифовальные ленты во многом не соответствуют ожиданиям потребителей, что связано с плохим качеством их изготовления, низкой режущей способностью, высоким износом, что в конечном счете приводит к увеличению себестоимости обработки и неоправданно высокому расходу инструмента. Помимо конструктивных особенностей инструментов на процесс шлифования оказывает влияние большое количество факторов, не связанных с технологией их изготовления.

Целью исследования является анализ и обобщение существующих подходов к повышению эффективности процесса абразивной обработки инструментами на гибкой основе.

В статье рассмотрены подходы к совершенствованию конструкций инструментов на гибкой основе, в том числе раскрыты вопросы их проектирования и изготовления на основе использования абразивных зерен с контролируемой формой и ориентацией. Приведены данные по влиянию формы и ориентации зерен на режущую способность шлифовальных лент. Раскрыты способы расширения технологических возможностей процесса обработки инструментами на гибкой основе.

Отмечено, что комплексный подход к выбору рациональных технологических параметров обработки, а также конструктивных показателей инструментов обеспечивает повышение эффективности процесса шлифования.

Для цитирования: Люкшин В.С., Шатько Д.Б., Заруцкий С.Ю. Подходы к повышению эффективности процесса шлифования инструментами на гибкой основе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 4 (170). С. 32-40. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-32-40, EDN: ITNVUI

Обработка абразивными инструментами на гибкой основе, к которым относятся шлифовальная шкурка, лепестковые круги, шлифовальные ленты, получила широкое распространение благодаря ряду специфических особенностей, ключевыми из которых являются:

- упругость рабочей зоны;
- минимальные нагрузки при резании;
- обработка как плоских, так и фасонных поверхностей;
- возможность использования при ручной и машинной обработке и др.

Лепестковые круги и шлифовальные ленты позволяют зачастую обрабатывать детали там, где использование размерно-стабильных инструментов неэффективно либо технически сложно осуществимо.

Эластичным инструментам присущи более рациональные условия работы абразивных зерен в сравнении с другими видами шлифовальных инструментов, что обусловлено рядом причин, среди которых:

- более низкая температура в зоне резания;
- более длительное время контакта зерен с обрабатываемой поверхностью;
- большее количество зерен принимает участие в процессе резания одновременно;
- ударные нагрузки при внедрении зерен в обрабатываемую поверхность имеют меньшие значения;

Вышеприведенные факторы суммарно оказывают положительное воздействие на производительность и качество обработки лепестковыми кругами и шлифовальными лентами. Благоприятные условия использования режущих свойств абразивных зерен выражаются также и в том, что они самоустанавливаются по высоте и равномерно распределяют нагрузку между собой. Кроме того, зерна обладают

некоторой подвижностью относительно друг друга, что обеспечивает лучшее удаление стружки и уменьшает засаливание.

Указанные выше особенности гибких абразивных инструментов вызывают необходимость в каждом конкретном случае определять оптимальные условия процесса шлифования [1]. На практике для повышения эффективности процесса обработки инструментами на гибкой основе преимущественно используют следующие способы:

1. Изменение конструкции инструментов с использованием стандартной шкурки.
2. Использование в конструкции инструментов нестандартной шкурки.
3. Подбор оптимальных режимов резания.
4. Применение смазывающе-охлаждающей жидкости и импрегнирования.

В приведенных выше подходах успешно применяют как самостоятельные способы, так и их комбинации друг с другом для повышения эффекта. Рассмотрим подробнее известные способы повышения работоспособности лепестковых кругов и лент.

Изменение конструкции инструментов с использованием стандартной шкурки.

Данный подход используется для оптимизации конструкций лепестковых кругов прямого профиля и торцевых лепестковых кругов и имеет несколько направлений.

Повышение плотности упаковки лепестков

С целью увеличения производительности обработки за счет большего количества зерен, участвующих в процессе резания, повышают плотность упаковки лепестков в круге. Это достигается за счет использования лепестков, у которых основание в зоне их крепления к корпусу имеет безабразивный слой. На Рис. 1

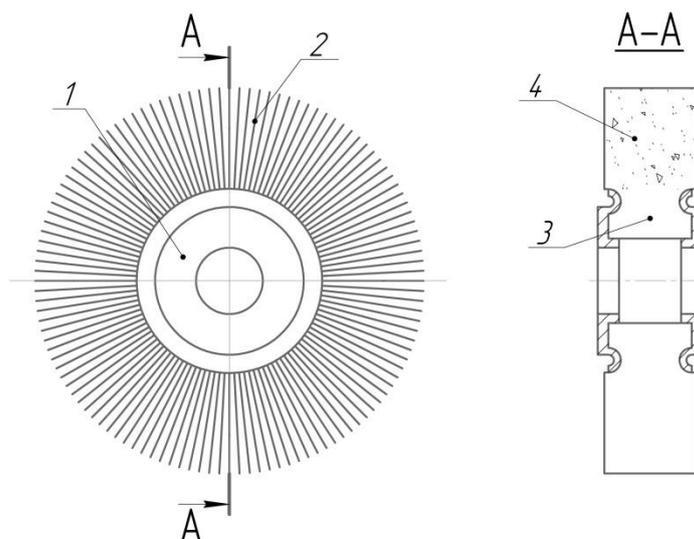


Рис. 1. Схема конструкции круга с лепестками, содержащими участки без абразива
Fig. 1. Design diagram of a circle with petals containing areas without abrasive

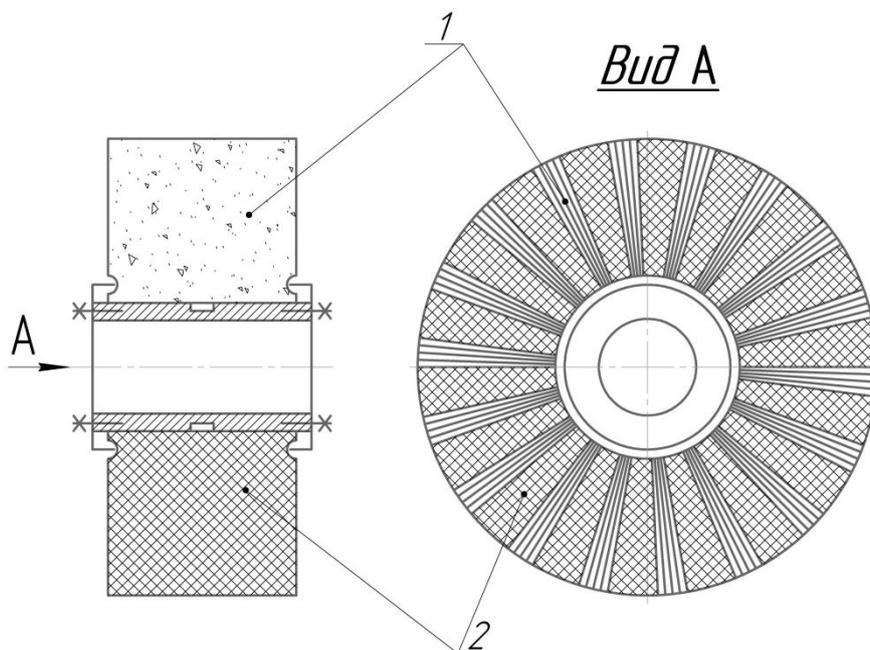


Рис. 2. Схема конструкции круга с чередующимися лепестками разной зернистости
Fig. 2. Design diagram of a circle with alternating petals of different grain sizes

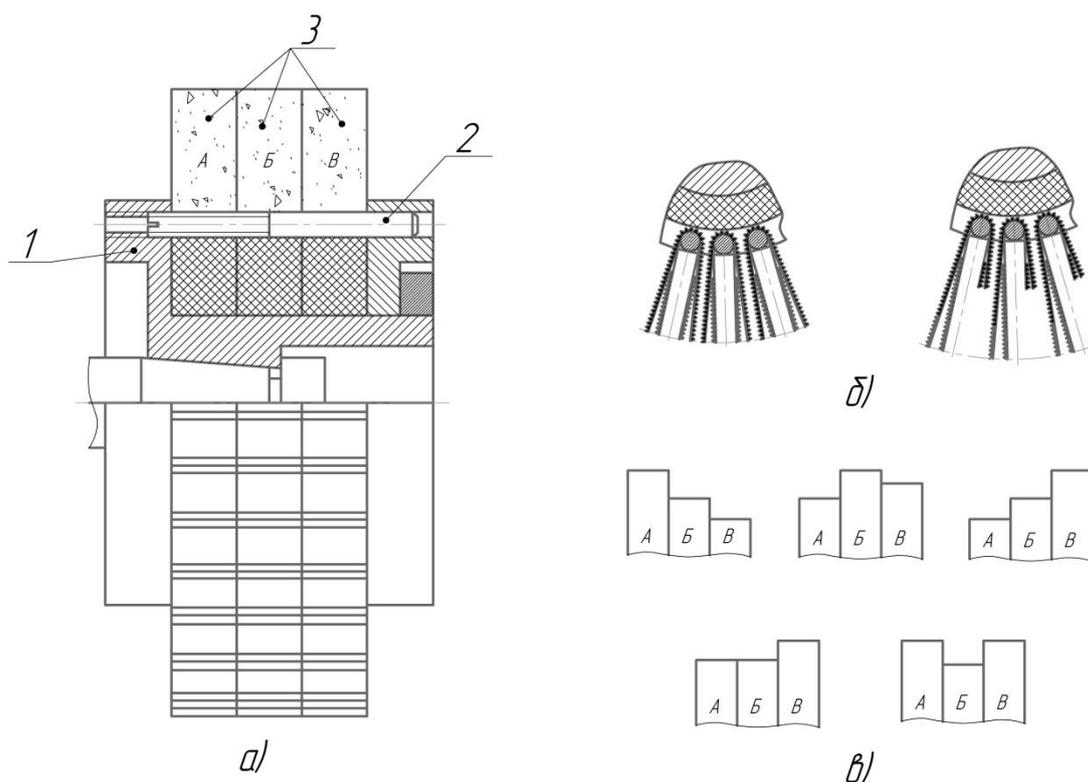


Рис. 3. Сборный лепестковый круг
Fig. 3. Prefabricated petal circle

приведен пример такой конструкции для лепесткового круга прямого профиля.

В этом случае при прочих равных условиях на круге удастся расположить до 50% лепестков больше (в зависимости от номера зернистости),

чем в стандартной конструкции [2]. На рисунке позициями обозначены: 1 корпус круга, 2 лепесток, 3 участок лепестка, не содержащий абразивных зерен, 4 рабочий участок лепестка с абразивными зёрнами.

Помимо указанных преимуществ, использование такой конструкции обеспечивает сокращение на треть расход абразивных зерен и связки без негативного влияния на прочность конструкции.

Чередование лепестков из шкурки с разной зернистостью

Представленная на Рис. 2 схема конструкции лепесткового круга предназначена для повышения производительности и качества обработки. Это достигается за счет размещения между пакетами лепестков 1 специальных вставок из нетканого материала 2, причем пакеты состоят из лепестков различной зернистости. Предлагаемое решение позволяет исключить царапины на обрабатываемой поверхности, снизить засаливание шкурки и избежать прижогов [3].

Сборные конструкции лепестковых кругов

На практике нашли широкое распространение сборные конструкции лепестковых кругов. Одни из них предусматривают механическое крепление пакетов лепестков на ступице с возможностью их замены после полного износа. Другие конструкции позволяют изменять

наружный диаметр или жесткость круга, а также менять профиль его рабочей поверхности. Например, изображенная на Рис. 3, а) конструкция круга позволяет расширить возможности круга за счет обработки различных фасонных поверхностей. Регулировка диаметра и изменение жесткости лепестков 3 осуществляется при помощи шпилек 2, установленных в корпусе 1 (Рис 3, б). На Рис 3, в) приведены возможные варианты профиля рабочей части круга [4].

Изменение структуры корпуса круга

Очередное конструктивное решение заключается в следующем. Тарельчатый корпус торцевого лепесткового круга сформован из пропитанной связующим материалом стеклотетки, на базовой поверхности которого расположены лепестки из шлифовального полотна (Рис. 3). Улучшение конструкции достигается тем, что предлагается выполнить корпус многослойным, причем слои из стеклосеток расположены последовательно с увеличением их прочности в сторону базовой торцевой поверхности корпуса. Данное техническое решение, по мнению авторов,

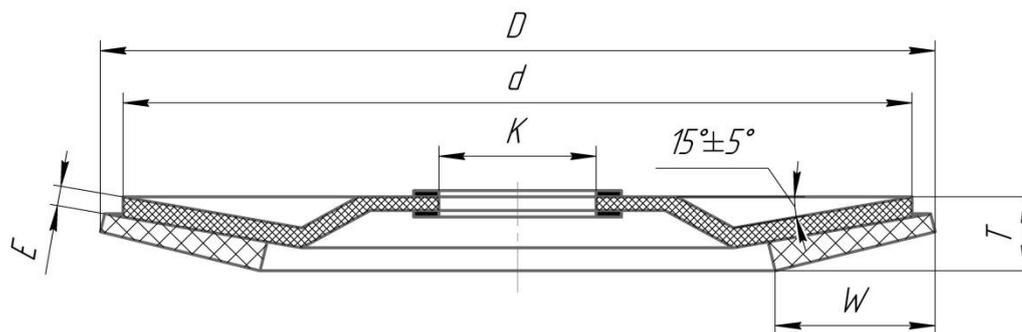


Рис. 4. Торцевой лепестковый круг с многослойным корпусом

Fig. 4. End lobed circle with a multilayer body

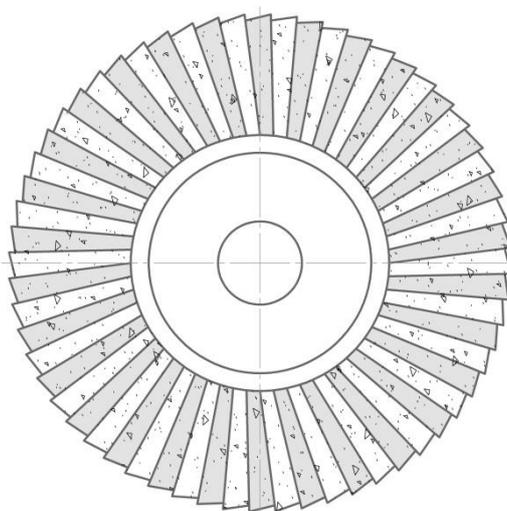


Рис. 5. Лепестковый круг, содержащий лепестки с дополнительным слоем связующего

5. A petal circle containing petals with an additional layer of binder

обеспечит устойчивую геометрическую форму корпуса круга, что позволит демпфировать колебания и будет способствовать качественной обработке поверхностей [5].

Принципиально иной подход к совершенствованию характеристик инструментов основан на **использовании в их конструкции нестандартной шкурки.**

Конструкции инструментов на гибкой основе можно совершенствовать путем улучшения физико-механических свойств основы, связки, шлифовальных зерен и т. п.

Применение абразивных зерен определенной ориентации и формы.

Использование стандартных лепестковых кругов и шлифовальных лент демонстрирует низкую эффективность их применения ввиду их изготовления из традиционной шлифовальной шкурки. В свою очередь, шкурка изготавливается из не отсортированной по форме абразивной массы и зачастую не ориентированных относительно поверхности основы зерен. Описанная ситуация приводит к тому, что большое количество зерен не принимает участия в процессе резания, а наоборот, оказывает на него негативное влияние, поскольку абразивные частицы выпадают из связки, нагревают и деформируют обрабатываемый материал, при этом не срезают его.

Форма шлифовального зерна влияет на работоспособность лепестковых кругов и лент, например, использование зерен округлых форм позволяет повысить стойкость, а удлиненных зерен – режущую способность [6]. Подбор зерен определенной формы под конкретные задачи обработки позволяет также изменять в широком диапазоне шероховатость обработанной поверхности [7].

Применение модифицированных лепестков с дополнительным связующим.

В целях улучшения абразивного действия в конструкции круга (Рис. 5) предусматривается применение двух разных видов лепестков, а именно на первые пластины наносят дополнительный слой связующего с абразивоактивными материалами (фтороборат калия, криолит, фторид кальция и хиолит). Вторые пластины выполнены без дополненного слоя связующего. Располагаются данные пластины на корпусе поочередно друг за другом [8].

Подбор оптимальных режимов резания.

Выбор рациональных режимов резания является важной задачей при обработке гибкими абразивными инструментами. Режимы резания напрямую зависят от физико-механических свойств обрабатываемых заготовок, их формы, размеров, необходимой чистоты и точности поверхности. К основным режимам резания

гибкими инструментами относят: скорость вращения, натяг, подачу, а также характеристики самого инструмента (диаметр и тип круга, длина ленты, марка и размер абразивных зерен, вид связки и др.)

Компенсация износа круга натягом.

Величина деформации (натяга) лепестковых шлифовальных кругов решающим образом влияет на качество обработанной поверхности. Шлифование лепестковыми кругами при обработке отдельных видов заготовок характеризуется низкой стабильностью данного процесса вследствие изнашивания абразивного инструмента. Стабилизировать параметры шероховатости поверхности и скорость съема металла можно путем периодического или непрерывного увеличения деформации лепесткового круга в процессе обработки [9].

Применение более прогрессивной схемы резания.

Результативность обработки шлифовальными лентами и лепестковыми кругами можно несколько повысить за счет применения схемы попутного шлифования, которая в отличие от встречного дает следующие преимущества:

- безударное врезание абразива в обрабатываемую поверхность;
- снижение сил резания и износа шлифовальной шкурки;
- благоприятные условия съема металла;
- повышение точности и качества обработки.

Изменение зоны контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Площадь и форма зоны контакта абразивного инструмента с обрабатываемой поверхностью является важным параметром при ленточном шлифовании. Варьируя размер пятна контакта, можно влиять на производительность и качество обработанной поверхности, а также значительно расширить технологические возможности ленточного шлифования [10].

Применение СОЖ и импрегнирования.

Смазывающе-охлаждающая технологическая среда обеспечивает более благоприятные условия обработки гибкими абразивными инструментами. В частности, существенно снижается теплонапряженность процесса шлифования, уменьшается загрязнение рабочей поверхности шлифовальной шкурки продуктами износа и микростружкой, улучшается качество обработанной поверхности. В качестве СОЖ применяют жидкости на основе воды, минеральные масла, легкие жиры, растворимые масляные эмульсии и другие материалы, которые выполняют смазывающее, охлаждающее, моющее и защитно-антикоррозионное действие.

Однако применение к лепестковым кругам СОЖ в виде жидких эмульсий не обеспечивает в полной мере ожидаемого эффекта. Это объясняется конструктивной особенностью

такого инструмента, работающего как вентилятор и препятствующему проникновению эмульсии в зону шлифования. В то же время температура оказывает влияние на работоспособность инструмента и качество обработанных деталей, и пренебрегать данным фактором нельзя [11]. В этом случае используют твердые смазочные материалы для импрегнирования лепестков, что способствует снижению работы трения, уменьшению тепловыделения, повышению режущей способности инструмента и уменьшению его износа.

Импрегнирование лепестков обеспечивает безударный характер взаимодействия лепестка с заготовкой. Энергетическое воздействие инструмента на поверхность заготовки снижается вследствие потерь энергии на вытеснения слоя СОТС из зоны контакта. Исследование влияния импрегнирования лепестковых кругов на параметры процесса шлифования позволило установить, что при обработке, например, заготовок из титанового сплава импрегнированным лепестковым кругом силы P_y и P_z снижаются в 2-3,5 раза по сравнению с обработкой «всухую». Учет сил резания, возникающих в процессе шлифования лепестковыми кругами, является важным моментом данного процесса, поскольку позволяет оптимальным образом подобрать необходимые режимы [12]. Также отмечено, что износ лепестковых кругов уменьшается благодаря их импрегнированию в 2,0-3,5 раза в зависимости от характеристики круга [13].

Анализ представленных подходов к

повышению эффективности процесса шлифования инструментами на гибкой основе позволяет выявить, что характеристика инструмента является одним из ключевых факторов, оказывающим важное влияние на процесс шлифования. Перспективным направлением является улучшение эксплуатационных характеристик абразивных зерен или более рациональное их использование. Целенаправленный подбор формы абразивных зерен наряду с их ориентацией на поверхности основы гибкого инструмента в процессе их изготовления гарантированно обеспечит повышение эффективности процесса шлифования такими инструментами [14].

На практике для изучения процесса обработки лепестковыми кругами и лентами используется стандартное металлообрабатывающее оборудование, ручные шлифовальные машинки, а также специально проектируются оригинальные лабораторные комплексы для исследования требуемых параметров [15].

В качестве примера на Рис. 6 представлены зависимости влияния формы и ориентации шлифовальных зерен, а также времени обработки на режущую способность шлифовальных лент.

Как видно из зависимостей, изображенных на Рис. 6, режущая способность у шлифовальных лент с изометрическими зернами ($K_{\phi} \approx 1,14$) наименьшая, а у лент с пластинчатыми зернами ($K_{\phi} \approx 2,27$), ориентированными под углом $\gamma = 75^\circ$ – наибольшая.

Полученные в результате статистической

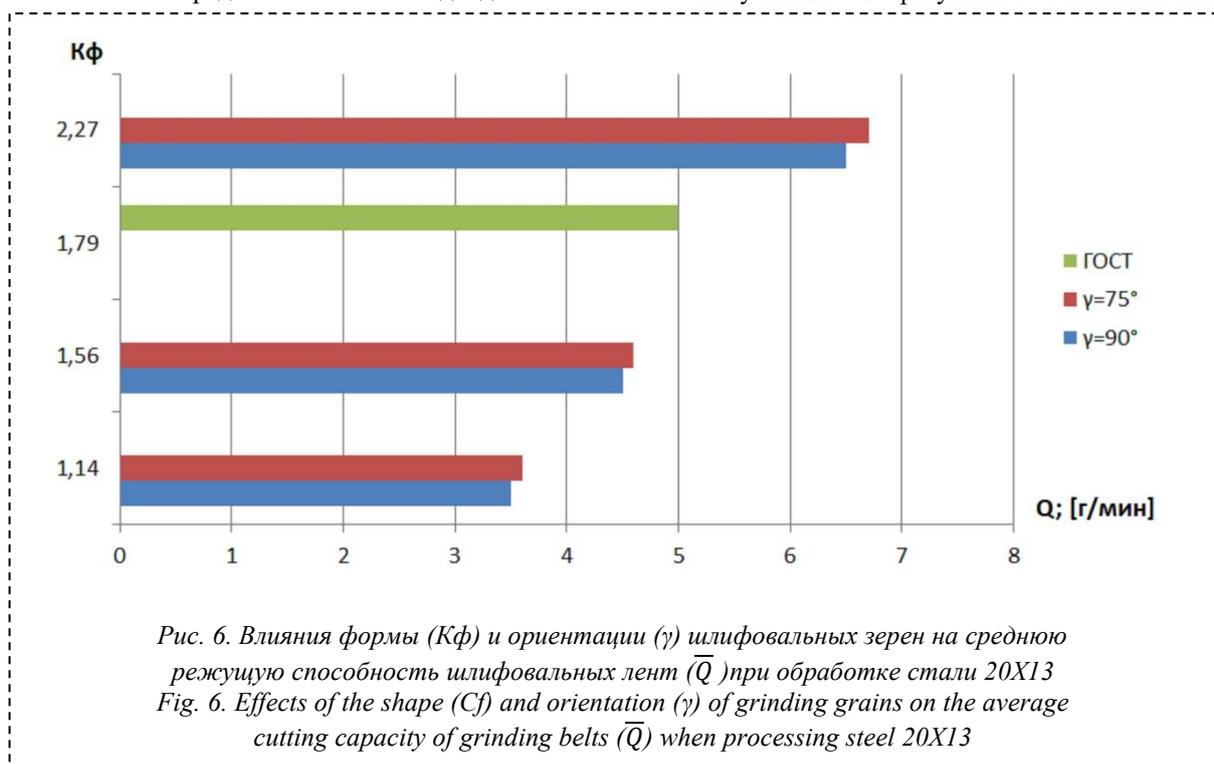


Рис. 6. Влияния формы (K_{ϕ}) и ориентации (γ) шлифовальных зерен на среднюю режущую способность шлифовальных лент (\bar{Q}) при обработке стали 20X13
 Fig. 6. Effects of the shape (C_{ϕ}) and orientation (γ) of grinding grains on the average cutting capacity of grinding belts (\bar{Q}) when processing steel 20X13

Таблица. Модели статистической обработки экспериментальных данных
Table. Models of statistical processing of experimental data

Обрабатываемый материал – 20X13 (HRC 26)	
Зависимость	Модель
Линейная	$Q = 5,0461 + 2,7954 \cdot K_{\phi} - 0,0117 \cdot \gamma - 1,2722 \cdot t$ Коэффициент корреляции (R) – 0,9581
Логарифмическая	$Q = 10,1652 + 4,5752 \cdot \ln K_{\phi} - 0,9653 \cdot \ln \gamma - 3,2846 \cdot \ln t$ Коэффициент корреляции (R) – 0,9781
Экспоненциальная	$Q = \exp^{(1,6377+0,5391 \cdot K_{\phi}-0,0028 \cdot \gamma-0,2735 \cdot t)}$ Коэффициент корреляции (R) – 0,9905

обработки модели и их коэффициенты корреляции представлены в Таблице 1.

Из Таблицы 1 видно, что полученные экспериментальные данные с достаточной точностью описываются экспоненциальной зависимостью.

Экспериментальные образцы инструментов на гибкой основе успешно прошли испытания, как в лабораторных, так и в промышленных условиях, где доказали свои преимущества в сравнении со стандартными инструментами.

Таким образом, целенаправленный подход к выбору формы и ориентации шлифовальных зерен на этапе изготовления инструментов на гибкой основе обеспечивает более полное использование их потенциальных возможностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гдалевич А. И. Финишная обработка лепестковыми кругами. М. : Машиностроение, 1990. 112 с.
2. А. с. 994239, СССР, МПК В24D 13/00. Лепестковый круг / А. М. Земляков. Оpubл. в Б. И., 1983. № 5.
3. А. с. 1773709, СССР, МПК В24D 13/04. Лепестковый круг / Е. П. Ипполитов [и др.] Оpubл. в Б. И., 1992. № 41.
4. А. с. 1764980, СССР, МПК В24D 13/04. Сборный лепестковый круг / Ю. П. Бурочкин. Оpubл. в Б. И., 1992. № 36.
5. Патент 23269, РФ, МПК В24D 13/14 (2000.01), В24D 17/00 (2000.01). Круг лепестковый торцевой / АООТ «Лужский абразивный завод»; В. А. Борисов [и др.] – Оpubл. 2002.
6. Shatko D. B., Lyukshin V. S., Strelnikov P. A. The influence of the grinding grains shape and orientation on performance of coated abrasive tools // X International Scientific and Practical Conference «Innovations in mechanical engineering». MATEC Web of Conferences. 2019. № 297. 09006. DOI: 10.1051/mateconf/201929709006.
7. Lyukshin V. S., Shatko D. B., Strelnikov P. A. Study of the working face of a flexible grinding tool // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). 2020. № 734. 012068. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012068.
8. Патент 2205102, РФ, МПК В24D 13/16. Веерный

шлифовальный круг / Ферайниге Шмиргель-Унд Машинген-Фабрикен АГ (DE); Г. Айзенберг. Оpubл. 2003.

9. Бишутин С. Г., Шупиков И. Л. Стабилизация качества и производительности шлифования протяженных цилиндрических поверхностей валов лепестковыми кругами // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17. № 2. С. 127–131. DOI: 10.36622/VSTU.2021.17.2.020.

10. Бабоскин А. Ф. Теория и методы повышения эффективности шлифования абразивными лентами : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 2005.

11. Унянин А. Н., Чистяков В. С. Моделирование технологических параметров и температурного поля процесса шлифования тонкостенных заготовок лепестковыми кругами // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2023. № 1(101). С. 25–28.

12. Унянин А. Н., Чистяков В. С. Исследование сил шлифования лепестковыми кругами Чистяков // Инновационные технологии в машиностроении : Сборник трудов Международной научно-практической заочной конференции (посвящается 65-летию со дня основания машиностроительного факультета Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ/ULSTU)), Ульяновск, 30 ноября 2022 года / Отв. редакторы В. П. Табаков, Д. В. Кравченко. Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2022. С. 64–68.

13. Дубровский П. В. Повышение эффективности отделочно-зачистной обработки лепестковыми кругами заготовок из труднообрабатываемых материалов путем импрегнирования лепестков СОТС : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ульяновск, 1995.

14. Shatko D. B., Lyukshin V. S., Strelnikov P. A. Study of the electrostatic method of applying abrasive grains to the grinding tool backing. ISSN 1063-7850. Technical Physics Letters, Pleiades Publishing, Ltd., 2024. DOI: 10.1134/s1063785024700275.

15. Ле Ч. В., Кольцов В. П., Стародубцева Д. А., Пискунова Ю. Ю. // Лабораторный комплекс для исследования зачистки лепестковым кругом // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции, Иркутск, 13–14 мая 2024 года. Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2024. С. 77-83.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

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

Шатько Дмитрий Борисович, канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, e-mail: shdb.tm@kuzstu.ru

Заруцкий Семен Юрьевич, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, e-mail: semyon.zarutsky@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Люкшин Владимир Сергеевич - концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы.

Шатько Дмитрий Борисович - постановка исследовательской задачи научный менеджмент, написание текста.

Заруцкий Семен Юрьевич - обзор соответствующей литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

APPROACHES TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE GRINDING PROCESS WITH TOOLS ON A FLEXIBLE BASIS

Vladimir S. Lyukshin, Dmitry B. Shatko,
Semyon Yu. Zarutsky

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: shdb.tm@kuzstu.ru



Article info

Received:

14 May 2025

Accepted for publication:

22 June 2025

Accepted:

30 June 2025

Published:

28 August 2025

Keywords: Sandpaper, petal wheel, sanding belt, abrasive grain, cutting modes.

Abstract.

The processes of grinding with tools on a flexible basis are becoming more widespread every year in the processing of various materials. This is primarily due to the availability and ease of use of such tools, as well as the ability to achieve good quality surfaces. At the same time, processing with flexible abrasive tools has great potential for further improvement, thereby determining the relevance of research in the field of expanding the operational capabilities of tools, selecting rational operating modes, improving design, etc.

The petal wheels, skins and sanding belts produced by the industry largely do not meet the expectations of consumers, which is due to the poor quality of their manufacture, low cutting capacity, high wear, which ultimately leads to an increase in processing costs and unreasonably high tool consumption. In addition to the design features of the tools, the grinding process is influenced by a large number of factors unrelated to the technology of their manufacture.

The purpose of the study is to analyze and generalize existing approaches to improving the efficiency of the abrasive processing process with tools on a flexible basis.

The article discusses approaches to improving tool designs on a flexible basis, including the issues of their design and manufacture based on the use of abrasive grains with a controlled shape and orientation. Data on the influence of the shape and orientation of grains on the cutting ability of grinding belts are presented. The ways of expanding the technological possibilities of the processing process with tools on a flexible basis are disclosed.

It is noted that an integrated approach to the selection of rational technological parameters of processing, as well as constructive indicators of tools, ensures an increase in the efficiency of the grinding process.

For citation: Lyukshin V.S., Shatko D.B., Zarutsky S.Yu. Approaches to improving the efficiency of the grinding process with tools on a flexible basis. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 4(170):32-40. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-32-40, EDN: ITNVUI

REFERENCES

1. Gdalevich A.I. Finishnaya obrabotka lepestkovymi krugami [Finishing treatment with petal circles]. Moscow: Mechanical engineering; 1990. 112 p.
2. A.s. 994239, SSSR, MPK B24D 13/00. Lepestkovyy krug [Petal circle] / A.M. Zemlyakov. 1983. № 5.
3. A.s. 1773709, SSSR, MPK B24D 13/04. Lepestkovyy krug [Petal circle] / E.P. Ippolitov. 1992. № 41.
4. A.s. 1764980, SSSR, MPK B24D 13/04. Sbornyy lepestkovyy krug [Prefabricated petal circle] / Yu.P. Burochkin. 1992. № 36.
5. Patent 23269, RF, MPK V24D 13/14 (2000.01), V24D 17/00 (2000.01). Krug lepestkovyy tortsevoy [Petal end circle] / AOOT «Luzhskiy abrazivnyy zavod»; V.A. Borisov [i dr.]. 2002.
6. Shatko D.B., Lyukshin V.S., Strelnikov P.A. The influence of the grinding grains shape and orientation on performance of coated abrasive tools. *X International Scientific and Practical Conference «Innovations in mechanical engineering». MATEC Web of Conferences*. 2019; 297:09006. DOI: 10.1051/mateconf/201929709006.
7. Lyukshin V.S., Shatko D.B., Strelnikov P.A. Study of the working face of a flexible grinding tool. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE)*. 2020; 734:012068. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012068.
8. Patent 2205102, RF, MPK V24D 13/16. Vernyy shlifoval'nyy krug [Fan Grinding Wheel] / Feraynige Shmirgel'-Und Mashingen-Fabriken AG (DE); G. Ayzenberg. 2003.
9. Bishutin S.G. Stabilizatsiya kachestva i proizvoditel'nosti shlifovaniya protyazhennykh tsilindricheskikh poverkhnostey valov lepestkovymi krugami [Stabilization of the quality and productivity of grinding extended cylindrical surfaces of shafts with petal circles]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Technical University]*. 2021; 17(2):127–131. DOI: 10.36622/VSTU.2021.17.2.020.
10. Baboshkin A.F. Teoriya i metody povysheniya effektivnosti shlifovaniya abrazivnymi lentami [Theory and methods of increasing the efficiency of grinding with abrasive belts] : avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. Sankt-Peterburg, 2005.
11. Unyanin A.N., Chistyakov V.S. Modelirovanie tekhnologicheskikh parametrov i temperaturno-go polya protsessa shlifovaniya tonkostennykh zagotovok lepestkovymi krugami [Modeling of technological parameters and temperature field of the process of grinding thin-walled workpieces with petal circles]. *Vestnik Ulyanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University]*. 2023; 1(101):25–28.
12. Unyanin A.N., Chistyakov V.S. Issledovanie sil shlifovaniya lepestkovymi krugami [Investigation of the grinding forces of petal wheels]. *Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii : Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy zaachnoy konferentsii (posvyashchaetsya 65-letiyu so dnya osnovaniya mashinostroitelnogo fakul'teta Ulyanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (UlGTU/ULSTU)) [Innovative technologies in mechanical engineering : Proceedings of the International Scientific and Practical Correspondence Conference (dedicated to the 65th anniversary of the founding of the Faculty of Mechanical Engineering of Ulyanovsk State Technical University (ULSTU))]*. Ulyanovsk: Ulyanovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet; 2022. P. 64–68.
13. Dubrovskiy P.V. Povysenie effektivnosti otdelochno-zachistnoy obrabotki lepestkovymi krugami zagotovok iz trudnoobrabatyvaemykh materialov putem impregirovaniya lepestkov SOTS [Improving the efficiency of finishing and stripping of blanks made of hard-to-process materials with petal circles by impregnating the petals with a lubricating and cooling process medium] : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Ulyanovsk, 1995.
14. Shatko D.B., Lyukshin V.S., Strelnikov P.A. Study of the electrostatic method of applying abrasive grains to the grinding tool backing. ISSN 1063-7850, Technical Physics Letters. Pleiades Publishing. Ltd. 2024. DOI: 10.1134/s1063785024700275.
15. Le Ch.V., Koltsov V.P., Starodubtseva D.A., Piskunova Yu.Yu. Laboratornyy kompleks dlya issledovaniya zachistki lepestkovymi krugami [Laboratory complex for the study of petal circle stripping]. *Zhiznennyy tsikl konstruksionnykh materialov (ot polucheniya do utilizatsii) : Materialy XIV Vserossijskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [The life cycle of structural materials (from production to disposal) : Materials of the XIV All-Russian Scientific and Technical Conference]*. Irkutsk: Irkutskiy natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnicheskiiy universitet; 2024. P. 77–83.

© 2025 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, C. Sc. in Engineering, associate professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: lwsfoa@rambler.ru

Dmitry B. Shatko, C. Sc. in Engineering, associate professor, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: shdb.tm@kuzstu.ru

Semyon Yu. Zarutsky, graduate student, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: semyon.zarutsky@yandex.ru

Contribution of the authors:

Vladimir S. Lyukshin - conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions.

Dmitry B. Shatko - setting a research task, scientific management, writing a text.

Semyon Yu. Zarutsky - a review of the relevant literature.

All authors have read and approved the final manuscript.

