

ставил 0.35 ГПа, рис. 4а). В зоне Б значение микротвёрдости выше, чем в основном материале и равняется 8.1 ГПа (разброс значения 0.5 ГПа). В ЗТВ микротвёрдость такая же, как и в исходном покрытии.

В покрытии «сталь 10P6M5+20% WC», после облучения лазером, твёрдость в зонах А и Б ниже, чем в основном покрытии и составляет 6.7 и 7.9 ГПа соответственно (в основном покрытии HV=9 ГПа, рис. 4б). Разброс значений микротвёрдости в этих зонах не превышает 0.3 ГПа. В ЗТВ значения микротвёрдости не существенно отличаются от значений в основном покрытии.

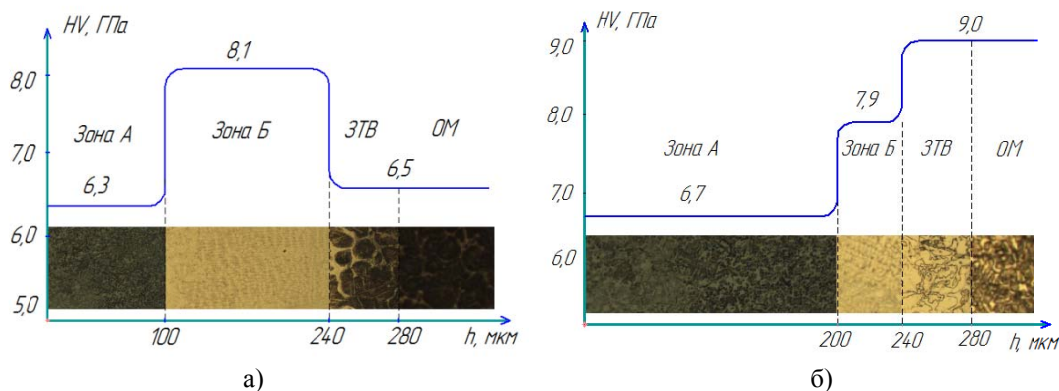


Рис. 4. Распределение средних значений микротвёрдости по зонам литого ядра и ЗТВ облучённых лазером ($\tau_{\text{имп}}=15$ мс) покрытий сталь 10P6M5 а), «сталь 10P6M5+20% WC» б)

Проведенные исследования нуждаются в более детальном анализе структуры с помощью рентгенофазового анализа, растровой и просвечивающей электронной микроскопии.

Литература.

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г. Электронный луч в формировании неравновесных структур. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 115 с.
3. Kwok C.T., Cheng F.T., Man H.C. // Surface & Coatings Technology, 202 (2007), P.336–348.
4. Benyounis K.Y., Fakron O.M., Abboud J.H. // Materials and Design, 30 (2009), P.674–678.
5. Liu Z. H., Zhang D. Q., Chua C.K., Leong K.F. // Materials Characterization, 84 (2013), P.72 – 80.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ЗЕРЕН С КОНТРОЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ

Д.Б. Шатко¹, к.т.н., доцент, В.С. Люкшин^{1,2}, к.т.н., доцент, В.Н. Бакуменко², студент

¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

² Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел./факс: 8 (384-51) 6-26-83
E-mail: lwsfoa@rambler.ru

Введение

В настоящее время большое количество работ посвящено исследованию влияния формы абразивных зерен на процесс резания. Результаты данных исследований убедительно доказывают важность параметра «коэффициент формы» абразивного зерна [7, 11, 20, 21, 23, 24]. Исходя из этого, можно утверждать, что в долгосрочной перспективе разработка новых конструкций шлифовальных инструментов на гибкой основе с использованием классифицированных по признаку формы абразивных зерен не утратит своей актуальности.

Комплексный подход к проблеме изучения влияния формы абразивных зерен на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов на гибкой основе позволил уделить большое внимание всем стадиям их жизненного цикла. В частности решен широкий спектр задач, касающийся анализа формы единичных абразивных зерен, изучения их режущей способности и прочности, изготовления опытных партий инструментов, на конструкции которых получены патенты на изобретения, а также исследования их характеристик.

Методика исследования

Рассмотрим ключевые этапы данной работы.

Как известно, при изготовлении шлифовальных зерен по технологии, предусматривающей дробление слитков абразивного материала на различном оборудовании с последующим рассевом на ситах, абразивные зерна приобретают произвольную форму. Форма может варьироваться в достаточно широком диапазоне: от пластинчатых (иглообразных) до изометрических (сферообразных) разновидностей [6]. Применительно к абразивным материалам установлено, что форма зерна, приобретаемая им в процессе изготовления, во многом зависит от химсостава выплавляемого слитка, его размеров, режима охлаждения, способа дробления и т.д. Влияние этих параметров предопределяет форму и геометрию зерна в ходе измельчения абразивного слитка.

С целью выделения из стандартной абразивной массы фракций зерен с одинаковой формой использовались модернизированный вибрационный сепаратор [1, 7] и электростатический сепаратор. В качестве примера ниже приведен принцип действия вибрационного сепаратора (рис. 1). Узкокласифицированный по крупности абразив, подлежащий сепарации, равномерно поступает из питателя-дозатора 1 на вибрирующую деку 2. Под воздействием направленных колебаний, вызываемых вибровозбудителем, а также в результате действия сил собственной тяжести и трения, происходит передвижение абразивных зерен 3 по плоскости деки. Менее шероховатые частицы округлой формы, так называемые изометрические зерна, скатываются вниз по плоскости в соответствующие ячейки-приемники 4. Зерна промежуточной формы перемещаются преимущественно в поперечном направлении и собираются в боковых ячейках. Плоские и игольчатые зерна поднимаются вверх по наклонной плоскости и попадают в верхние приемники.

После сепарации каждая фракция зерен подвергалась дальнейшей оценке по параметру формы, для чего привлекались качественные и количественные подходы [23].

Принцип оценки формы зерна по качественным методам основан на отнесении зерна по некоторым признакам в соответствующую группу форм – изометрическую, промежуточную и игольчатую (пластинчатую). Наряду с быстротой оценки формы зерен при использовании методов качественной оценки, им присущи характерные недостатки, а именно субъективность классифицирования, поскольку оценка формы зерна осуществляется по одной проекции, тогда как само зерно является объемным телом. Исходя из этого, можно рекомендовать методы качественной оценки лишь при первоначальном анализе форм абразивных зерен.

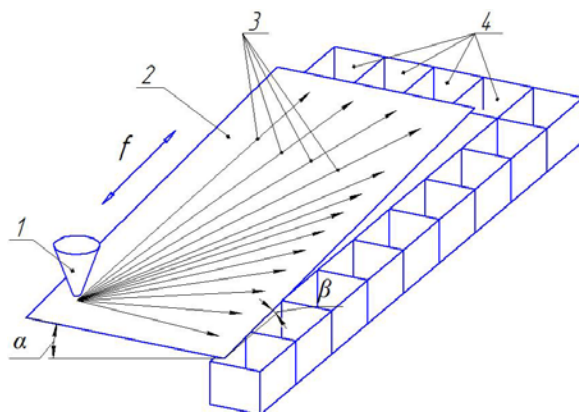


Рис. 1. Распределение шлифовального зерна по вибродеке в зависимости от формы

Для исследования влияния формы шлифовальных зерен на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов более предпочтительны методики количественной оценки, базирующиеся на определении параметра «коэффициент формы» – K_{ϕ} , для расчета которого необходимо получить проекцию зерна на горизонтальной поверхности [15]. Известны следующие наиболее распространенные подходы к определению коэффициента формы:

Коэффициент формы рассчитывается как отношение максимальной длины проекции (l) к ее ширине (b):

$$K_{\phi} = \frac{l}{b} \quad (1)$$

При другом подходе коэффициент формы определяется как отношение описанной вокруг проекции зерна окружности (D) к вписанной в нее окружности (d):

$$K_{\phi} = \frac{D}{d} \quad (2)$$

Перечисленные методы определения коэффициентов формы основаны на обработке горизонтальной проекции зерна, что приводит к неточностям при анализе.

Методика, основанная на исследовании двух проекций – горизонтальной и боковой при оценке формы зерна, дает более точные результаты измерений и позволяет исключить неточности в сравнении с методами оценки формы в одной горизонтальной плоскости. Графическая интерпретация метода оценки формы абразивного зерна по двум проекциям представлена на рис. 2.

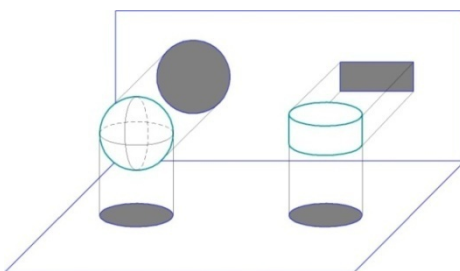


Рис. 2. Оценка формы зерен по горизонтальной и боковой проекциям

Количественная характеристика формы зерна в данном случае имеет следующий вид:

$$K_{\phi}^o = \frac{K_{\phi}^z}{K_{\phi}^b}, \quad (3)$$

где K_{ϕ}^o - объемный коэффициент формы;

K_{ϕ}^z - коэффициент формы горизонтальной проекции;

K_{ϕ}^b - коэффициент формы боковой проекции.

Помимо оценки по параметру коэффициент формы единичные абразивные зерна из каждой выделенной фракции исследовалась также на режущую способность, ударную и статическую прочность. Результатом данных исследований явилось выявление закономерностей влияния не только формы, но и угла ориентации абразивных зерен на их режущую способность и ударную прочность [12, 22].

После выделения требуемого количества абразивных зерен с одинаковой формой были изготовлены опытные партии шлифовальных инструментов на гибкой основе – лепестковые круги и ленты [5, 14]. С целью всесторонних исследований влияния формы зерен на эксплуатационные характеристики, были изготовлены три группы инструментов в соответствии с требованиями ГОСТов, содержащих в своей структуре узкокласифицированные по форме зерна – изометрические со средним коэффициентом формы $K_{\phi} \approx 1,2$, промежуточные ($K_{\phi} \approx 1,6$) и игольчатые ($K_{\phi} \approx 2,2$).

На рис. 3 приведен фрагмент рабочего участка лепесткового круга и шлифовальной ленты.

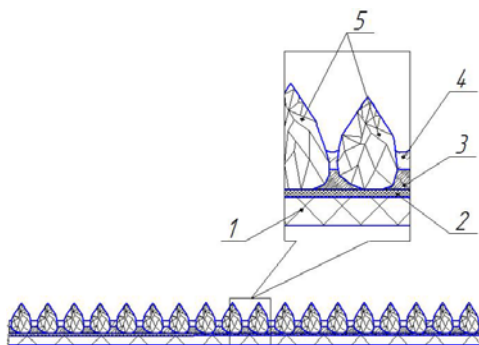


Рис. 3. Участок инструмента на гибкой основе из ориентированных зерен с контролируемой формой (1 – гибкая тканевая основа, 2 – слой аппрета, 3 – основной слой связующего вещества, 4 – закрепляющий слой связующего вещества, 5 – абразивные зерна заданной формы)

При изготовлении опытных партий инструментов для улучшения процесса резания абразивные зерна заданной формы ориентировались на поверхности гибкой основы электростатическим способом на специально спроектированной установке по оригинальной технологии. Конструкция данной установки позволяет практически полностью воспроизвести в лабораторных условиях заводской технологический процесс изготовления шлифовальной шкурки, к достоинствам которой следует отнести компактность, простоту конструкции, многофункциональность и легкую перенастраиваемость. Помимо этого, в отличие от заводского конвейера, здесь имеется возможность нанесения абразивных зерен с помощью электростатического поля под различными углами наклона к поверхности основы.

С целью изучения влияния формы шлифовального зерна на эксплуатационные характеристики, опытные партии инструментов на гибкой основе были подвергнуты испытаниям на износ и режущую способность, также проведены исследования шероховатости обработанной поверхности, температуры в зоне резания и сил резания при шлифовании [8, 9, 10, 16, 17].

Следует отметить, что процесс шлифования инструментом на гибкой основе – достаточно сложное и нестабильное явление, зависящее от многих факторов: свойств абразивного материала и его зернистости, свойств связки и её твёрдости, свойств гибкой основы, геометрических параметров инструмента, вида и режимных параметров шлифования и т.д. Все вышеперечисленное характерно как для лепестковых шлифовальных кругов, так и для шлифовальных лент, поскольку наличие гибкой основы вносит коррективы в процесс шлифования и предопределяет отличия от размерно-стабильных шлифовальных инструментов – отрезных и обдирочных кругов, брусков, сегментов и пр. [3, 4, 13, 18].

Исследования эксплуатационных характеристик опытных шлифовальных инструментов на гибкой основе проводились на плоскошлифовальном станке модели 3Г71.

Основной целью исследований являлось изучение влияния формы абразивного зерна на выходные параметры, при математической обработке использовались модели, достоверно описывающие механизмы протекания процессов. В качестве входного переменного параметра служил коэффициент формы (K_ϕ) шлифовального зерна.

Математическая обработка полученных экспериментальных данных производилась на компьютере с использованием программного пакета “STATISTICA 6.0” с помощью стохастического моделирования методом множественной корреляции. Данное программное обеспечение позволяло обработать полученный массив экспериментальных данных в автоматическом режиме и исследовать форму связи между выходными параметрами процесса шлифования и коэффициентом формы (K_ϕ) шлифовального зерна [2, 7].

Результаты и обсуждение.

Ниже приведены некоторые зависимости, полученные экспериментальным образом при исследовании лепестковых шлифовальных кругов.

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты [17, 19]:

1. При переходе от изометрической ($K_\phi = 1,2$) к игольчатой ($K_\phi = 2,2$) разновидности формы зерна, находящегося в структуре лепесткового круга, кривые режущей способности монотонно возрастают на всех видах сталей примерно в 1,56 раза. В случае же перехода от зерен с $K_\phi = 1,2$ к стандартному кругу с $K_\phi = 1,75$ режущая способность возрастает незначительно в среднем в 1,29 раза. В интервале $K_\phi = 1,75 - K_\phi = 2,2$ наблюдается тенденция некоторого увеличения режущей способности.

При увеличении твердости обрабатываемой заготовки, т.е при переходе от стали 45 (HB 187) в состоянии поставки к закаленной ШХ 15 (HRC 65) режущая способность снижается в среднем в 1,51 раза в зависимости от применяемой формы зерна.

2. Износ лепестковых кругов при переходе от изометрической формы зерна ($K_\phi \approx 1,2$) к кругам с игольчатой разновидностью зерна ($K_\phi \approx 2,2$) пропорционально возрастает порядка в 1,3 раза. При переходе же к кругам, изготовленным по стандартной технологии ($K_\phi \approx 1,75$) износ возрастает несущественно – в среднем в 1,12 раза, причём данная тенденция наблюдается в большей или меньшей степени при обработке всех разновидностей стали.

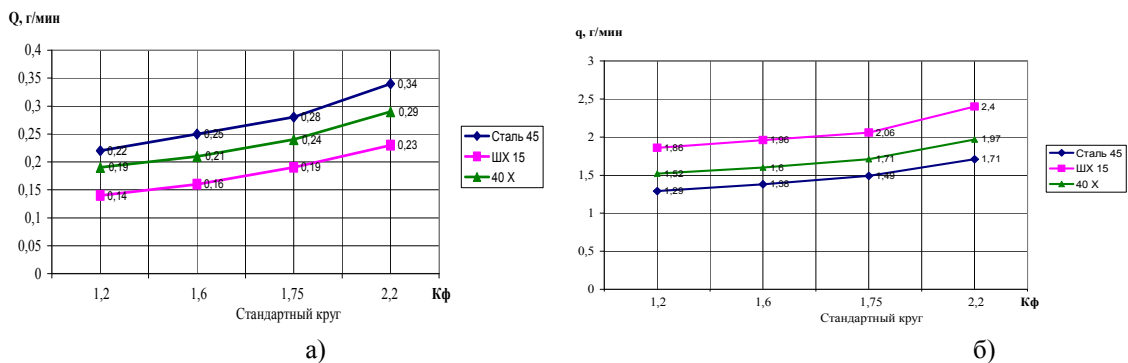


Рис. 4. Зависимость режущей способности а) и износа б) лепесткового круга от коэффициента формы шлифовального зерна при обработке различных видов сталей

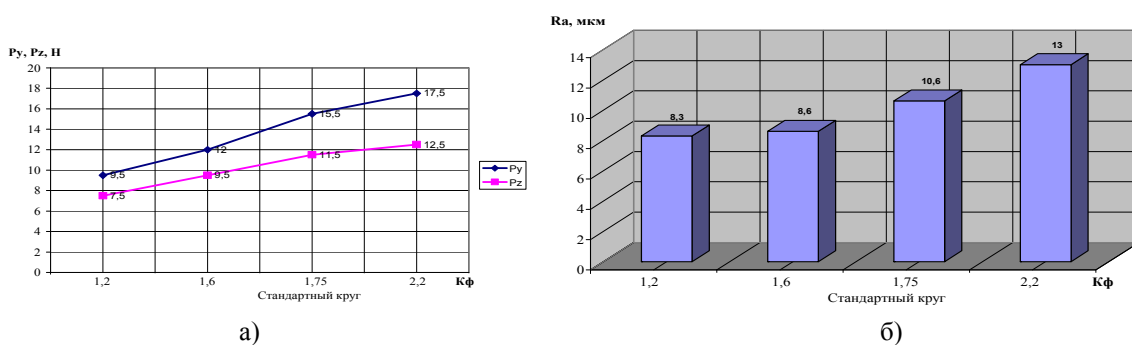


Рис. 5. Влияние коэффициента формы шлифовального зерна на: а) составляющие силы резания и б) шероховатость обработанной поверхности

3. Оценка силовых зависимостей процесса шлифования опытными лепестковыми кругами говорит о том, что при переходе от кругов с изометрической формой ($K_\phi = 1,2$) к кругам с игольчатой формой ($K_\phi = 2,2$) радиальная составляющая силы резания возрастает в среднем в 1,8 раза, а тангенциальная составляющая возрастает в 1,66 раза.

4. Анализ полученных данных показывает, что обработка лепестковыми кругами характеризуется небольшой температурой в зоне резания, что связано с конструктивными особенностями данного инструмента, небольшими нагрузками процесса шлифования и вентиляционным эффектом. Наибольшая зафиксированная разница в абсолютных значениях температуры между кругами с изометрической и игольчатой формой зерна невелика, и составляет порядка 15 – 20 °С для применяемых режимов обработки.

При увеличении твердости обрабатываемой заготовки температура в ее поверхностном слое возрастает в среднем в 1,2 раза для всех разновидностей опытных кругов.

5. Обработка кругами из зерен изометрической формы позволяет достичь более высокого качества обработанной поверхности, чем кругами с игольчатой формой зерен. Так, при обработке образцов из стали 45, разница между кругами с $K_\phi = 1,2$ и $K_\phi = 2,2$ по параметру шероховатости R_a составляет 36%. По отношению к стандартному кругу, увеличение шероховатости у игольчатых зерен составляет 18,5 %, а применение изометрических зерен приводит к уменьшению шероховатости на 17,5 %.

Выводы:

Полученные результаты исследований позволяют сформулировать следующие основные рекомендации по применению новых конструкций шлифовальных инструментов на гибкой основе, для более рационального использования их возможностей:

- для обдирочных и черновых работ целесообразно применять инструменты из зерен с большими значениями K_ϕ (т.е. игольчатой и пластинчатой формы);
- для чистовых работ, где предъявляются высокие требования к качеству обрабатываемой поверхности, предпочтительны инструменты с малыми значениями K_ϕ (т.е. из зерен изометрической формы) [15, 17-20].

В целом проведенные исследования показали, что при целенаправленном подходе к выбору формы и ориентации шлифовальных зерен и более полного использования их потенциальных возможностей, можно существенно повысить эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов на гибкой основе.

Литература.

1. Анахин В.Д., Плисс Д.А., Монахов В.Н. Вибрационные сепараторы. –М.: Недра, 1991. – 160 с.
2. Боровиков В.П., Боровиков И.П. “STATISTICA”. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М., Информационно-издательский дом “Филинь”, 1998. - 608 с.
3. Гдалевич А.И. Финишная обработка лепестковыми кругами. – М. Машиностроение, 1990. – 112 с.
4. Иванов И. Ю., Носов Н.В. Эффективность и качество обработки инструментами на гибкой основе. – М.: Машиностроение. – 1985.
5. Коротков А.Н. Шатько Д.Б. Усовершенствование конструкции лепесткового круга. Обработка металлов № 2/2009. Новосибирск, 2009. С. 34-35.
6. Коротков А.Н. Эксплуатационные свойства абразивных материалов. – Монограф. Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 122 с.
7. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Шатько Д.Б. Оценка формы шлифовальных зерен. Обработка металлов 2/2004. Новосибирск, 2004. С. 43-44.
8. Коротков А.Н., Люкшин В.С. Эксплуатационные свойства шлифовальных шкурок из зерен с разной формой// Труды XIV научной конференции, посвященной 300-летию инженерного образования России. – Филиал ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2001. – С 74–76.
9. Коротков А.Н., Шатько Д.Б. Влияние формы абразивного зерна на эксплуатационные характеристики лепестковых кругов// Обработка металлов. – 2005. – №2(27). С. 37–39.
10. Коротков А.Н., Шатько Д.Б. Повышение эксплуатационных возможностей лепестковых шлифовальных кругов. Сборка в машиностроении, приборостроении. № 10/2008. Москва. С. 44-48.
11. Мурдасов А.В., Хшиво Л.Н. Свойства абразивных зерен в зависимости от их формы// Тр. Уральский фил. Всес. н.-и. ин-та абразивов и шлифования, 1968. – сб. 1. – С. 22–27.
12. Нетребко В.П., Коротков А.Н. Прочность шлифовальных кругов. – М.: Агентство Российской печати, 1992. – 104 с.
13. Паньков Л.А., Костин Н.В. Обработка инструментами из шлифовальной шкурки. – Л.: Машиностроение, 1988. – 235 с.
14. Патент 2245240 С1 В 24 D 13/00. Лепестковый круг / А.Н. Коротков, Д.Б. Шатько – заявл. 30.09.2003. ; Оpubл. 27.01.2005, Бюл. №3.
15. 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.
16. Шатько Д.Б. Исследование эксплуатационных характеристик экспериментальных лепестковых кругов. Обработка металлов № 1/2008. Новосибирск, 2008. С. 28-29.
17. 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.
18. Щеголев В.А., Уланова М.Е. Эластичные абразивные и алмазные инструменты. – Л.: Машиностроение, 1977. – 183 с.
19. A. Korotkov, D. Shatko. Prospective Designs of Flap Grinding Wheels – New Opportunities and Approaches to Import Substitution of Grinding Tools // Applied Mechanics and Materials – 2015. v. 788, pp. 313-317.
20. Korotkov A., Korotkova L., Gubaidulina R. Effect on grains form on performances grinding wheels. – Applied Mechanics and Materials, Vol. 682 (2014), p.p. 469-473. Trans Tech Publications, Switzerland.
21. V. Korotkov, E. Minkin. Forecasting of operational indicators of grinding tools with the controlled form and orientation of abrasive grains // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91 (2015) 012041. doi:10.1088/1757-899X/91/1/012041
22. V S Lyukshin, A V Barsuk, R R Fazleev. Cutting capacity and strength of single grinding grains // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91 (2015) 012047. doi:10.1088/1757-899X/91/1/012047
23. V.S. Lyukshin. Evaluation of Abrasive Grain Form // Applied Mechanics and Materials – 2014. v. 682, pp. 148–153.
24. V.A. Korotkov, S.I. Petrushin. Research of Operational Characterizations of Cutting Discs with Oriented Abrasive Grains // Applied Mechanics and Materials – 2014. v. 682, pp. 224–230.