

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НЕКРУГОВЫМ ТОРЦОВЫМ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

А.А. Козлов<sup>1</sup>, А.М. Козлов<sup>1</sup>, Ю.В. Василенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Липецкий государственный технический университет, г. Липецк,

<sup>2</sup>Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел

Топография поверхности оказывает значительное влияние на её эксплуатационные показатели, в частности – на износостойкость. Наибольшим сопротивлением износу обладает поверхность с перекрещивающимся типом направлений неровностей. Для получения таких поверхностей на цилиндрической поверхности разработан абразивный инструмент в форме диска с торцовой некруговой рабочей поверхностью. Такой инструмент имеет широкие возможности по формированию на цилиндрической поверхности микрорельефов различной направленности. Тем не менее, прогнозирование шероховатости, получаемой в результате этого сложного процесса, с целью управления им, является задачей, требующей отдельного рассмотрения.

В статье приводится обзор проблематики прогнозирования шероховатости обработанной поверхности при шлифовании некруговым торцовым инструментом. Ставится задача разработки математической модели прогнозирования шероховатости, указываются основные особенности процесса, учитываемые при моделировании.

Разработанная модель строится на основе представления единичного абразивного зерна произвольной формы совокупностью отдельных режущих элементов, имеющих различные условия контакта с обрабатываемой поверхностью. Для каждой точки определяются режущая, деформирующая и не контактирующая с поверхностью детали. Таким образом формируется царапина от единичного зерна, а совокупность таких царапин образует обработанную поверхность с перекрещивающимся типом направления неровностей. Модель дает возможность прогнозировать параметры шероховатости обработанной поверхности и определять характеристики контакта с сопрягаемой поверхностью.

Для проверки адекватности разработанной модели проведен ряд экспериментов, выполненных в промышленных условиях на валках листопрокатных станков. Эксперимент показал, что износостойкость поверхности, обработанной торцовым абразивным инструментом, выше на 30–40 % по сравнению с обработанной по традиционной технологии.

*Ключевые слова: моделирование, направление микронеровностей, абразивный инструмент, некруговая торцовая рабочая поверхность.*

### Введение

Шлифование до настоящего времени остается основным методом финишной обработки многих деталей, обеспечивая требуемые параметры точности и шероховатости поверхности [1–3]. Сложность процессов, протекающих при шлифовании, и многообразие применяемых конструкций и характеристик абразивного инструмента являются причиной того, что существующие методики назначения режимов обработки построены на экспериментально-статистических исследованиях и имеют преимущественно рекомендательный характер [4, 5].

Предварительный анализ процесса взаимодействия поверхностей абразивного инструмента и обрабатываемой показывает, что имеются следующие сложности моделирования:

- большое количество абразивных зерен, участвующих в работе;
- взаимодействие единичного зерна с поверхностью зависит от его геометрии и пространственного расположения;
- сложность моделирования взаимодействия единичного зерна не с гладкой поверхностью, а с поверхностью, уже имеющей следы обработки.

## 1. Описание проблемы

Параметры шероховатости обработанной поверхности оказывают значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей, в том числе – контактную жесткость, износостойкость. Вследствие стохастического характера распределения параметров неровностей шлифованной поверхности при ее моделировании возникают значительные трудности. Задача дополнительно усложняется, если направления движения абразивных зерен пересекаются.

Анализ процессов круглого наружного шлифования абразивным инструментом (АИ) различных конструкций показал, что при постоянной кинематической схеме обработки торцовый абразивный инструмент позволяет получать на обрабатываемой поверхности различные типы направлений неровностей. При этом формирование микрорельефа управляется только смещением оси инструмента относительно оси детали [6].

Практика шлифования показывает также, что для снижения количества теплоты, выделяющейся в зоне контакта абразивного инструмента с деталью, применяют шлифовальные круги с прерывистой рабочей поверхностью [7].

Другим направлением реализации прерывистого резания является разработка инструмента с аксиально-смещенным режущим слоем. В этом случае сохраняется непрерывный контакт инструмента с заготовкой, а зона контакта «осциллирует» по обрабатываемой поверхности – метод «бегущего контакта» [8, 9]. В этом случае осцилляцию зоны контакта по поверхности детали можно характеризовать как квазипрерывистое резание.

Стремление объединить в одном инструменте возможности управления типом направлений неровностей и квазипрерывистое резание привело к созданию торцового абразивного инструмента с некруговым контуром рабочей поверхности инструмента [10]. Рабочая поверхность инструмента может представлять собой многогранник, имеющий  $n$  сторон. Такой АИ (рис. 1) состоит из диска 1, на торцевой поверхности которого закреплены  $n$  абразивных элементов 2.

Абразивные элементы, например, абразивные бруски, которые могут иметь в поперечном сечении различную форму, крепятся в направляющих 3 с помощью пайки, клеивания или механически. Направляющие монтируются на диске.

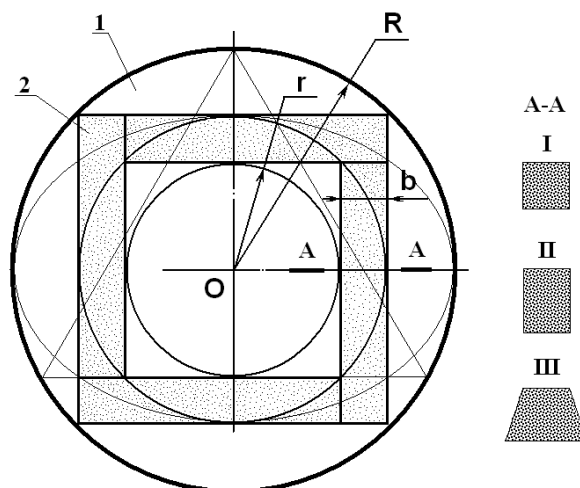


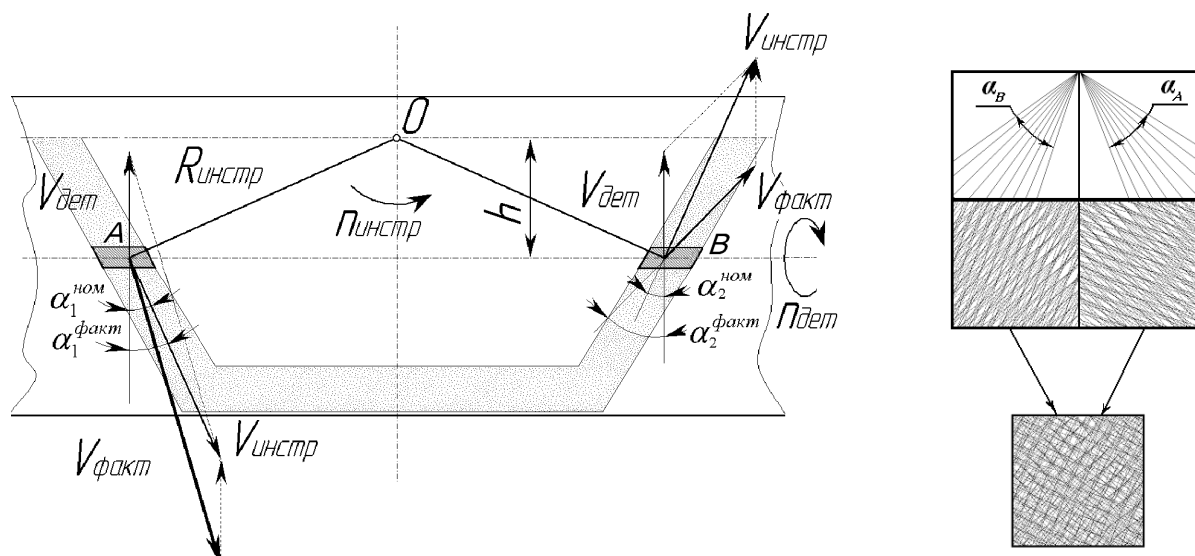
Рис. 1. Схема расположения рабочих элементов сборного торцового абразивного инструмента: 1 – основание, 2 – рабочие элементы, I, II, III – варианты сечений рабочего элемента

Количество абразивных элементов может быть разным – два, три, четыре и т. д. При количестве элементов, равным двум, для сохранения непрерывности контакта с обрабатываемой поверхностью их форма может быть представлена в виде эллипса.

Применение такой конструкции при изменении величины смещения оси детали относительно оси инструмента позволяет переходить в процессе обработки от эффекта «бегущего контакта» к «непрерывному» шлифованию с получением микрорельефа, имеющего пересекающиеся следы обработки.

Конструкция инструмента определяет неодинаковое направление векторов скоростей резания отдельных зерен при движении абразивного бруска, как показано на рис. 2. Формируемая в данном случае топография шлифованной поверхности является сложной, и следы обработки не просто пересекаются под определенным углом, а образуют систему разнонаправленных в некотором диапазоне рисок [11].

Положение единичного абразивного зерна в пространстве рабочего слоя инструмента [12] и траектория его движения относительно обрабатываемой поверхности имеет определяющее значение в процессе формирования микрорельефа поверхности.



**Рис. 2.** Схема формирования углов пересечения следов обработки:  $V_{дет}$  – скорость движения детали;  $V$  – скорость перемещения абразивного зерна в указанной точке;  $n_{инстр}$  – частота вращения инструмента;  $n_{дет}$  – частота вращения детали

Угловой диапазон следов обработки определяется как разность углов между векторами скорости различных точек абразивного элемента относительно обрабатываемой поверхности и зависит от расположения оси инструмента относительно оси детали и количества рабочих элементов.

Учитывая величину  $h$  смещения оси круга относительно оси заготовки, угловой диапазон изменения направления следов обработки можно описать выражением:

$$\Omega = 2 \cdot \left( \arcsin \frac{h}{R \cdot \cos(180^\circ/n)} - \arcsin \frac{h}{R} \right), \quad (1)$$

где  $R$  – радиус вращения абразивного зерна;  $h$  – величина смещения осей инструмента и детали.

В таблице представлены диапазоны изменения окружной скорости и углов скрещивания следов обработки в зависимости от количества абразивных элементов, закрепленных на торце шлифовального инструмента.

**Влияние количества рабочих элементов на топографию шлифуемой поверхности**

Параметр	Количество рабочих элементов				
	3	4	5	6	8
Диапазон изменения окружной скорости	50 %	29,3 %	19,1 %	13,4 %	7,6 %
Диапазон изменения угла скрещивания следов обработки	120°	90°	72°	60°	45°

## 2. Моделирование обработанной поверхности

Воздействие абразивного зерна на срезаемый слой в значительной степени зависит от его пространственной ориентации. В этой связи необходимо учитывать формирование «переднего» угла зерна в зависимости от его положения в абразивном инструменте.

Если принять допущение, что вершину абразивного зерна можно представить в виде вершины лезвийного инструмента, имеющего радиусную форму передней поверхности [13–21], то можно воспользоваться результатами исследований, которые показывают, что между значением «переднего» угла абразивного зерна и значением граничного угла сдвига  $\beta_1$  (рис. 3) существует зависимость

$$\operatorname{tg} \beta_1 \approx \frac{\cos \gamma + 0,05 \eta}{0,9 \eta - \sin \gamma}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – «передний» угол режущих зерен;  $\eta$  – коэффициент усадки стружки.

Предположим, что

$$2R_0 \approx \frac{(0,1...0,2)a_z}{\sin \beta_1}, \tag{3}$$

где  $2R_0$  – диаметр деформируемой сферы;  $a_z$  – глубина внедрения зерна в обрабатываемый материал.

Тогда

$$2R_0 \approx \frac{(0,1...0,2) \cdot a_z}{\sin \left( \arctg \frac{\cos \gamma + 0,05 \eta}{0,9 \eta - \sin \gamma} \right)}. \tag{4}$$

Процесс отделения и перехода деформируемого материала в стружку возможен только при условии, если диаметр деформируемой зоны вписывается в толщину зоны деформации, то есть

$$2R_0 \leq a_z \tag{5}$$

или

$$\frac{2R_0}{a_z} \leq 1. \tag{6}$$

Преобразуем выражение (4), разделив обе его части на  $a_z$

$$\frac{2R_0}{a_z} \approx \frac{0,1...0,2}{\sin \left( \arctg \frac{\cos \gamma + 0,05 \eta}{0,9 \eta - \sin \gamma} \right)}. \tag{7}$$

Сопоставляя выражения (6) и (7), получим

$$1 < \frac{(0,1...0,2)}{\sin \left( \arctg \frac{\cos \gamma + 0,05 \eta}{0,9 \eta - \sin \gamma} \right)}. \tag{8}$$

Таким образом, при выполнении условия (8) характер работы любой точки передней поверхности абразивного зерна считается режущим, в противном случае – деформирующим.

При моделировании для реализации аппарата разделения передней поверхности зерна на зоны с деформирующим и режущим характерами работы проекция площади передней поверхности разбивается на множество  $m \times n$  элементарных участков. В частности, для данной компьютеризированной модели проекция передней поверхности зерна была представлена как матрица размером  $100 \times 100$  элементов (рис. 4).

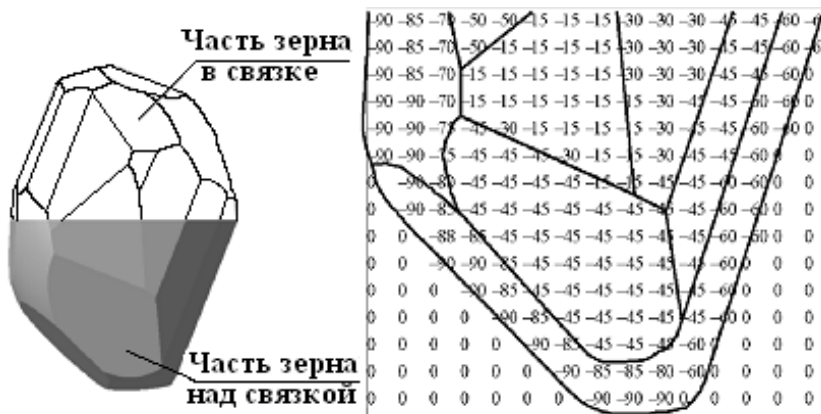


Рис. 4. Аппроксимация «передней» поверхности абразивного зерна в виде матрицы элементов

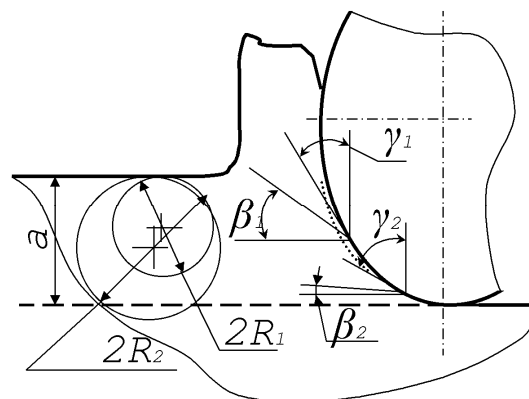


Рис. 3. Схема деформирования срезаемого слоя и образования стружки

## Расчет и конструирование

$$\gamma[i, j] = \begin{vmatrix} \gamma[1,1] & \dots & \gamma[100,1] \\ \dots & \dots & \dots \\ \gamma[100,1] & \dots & \gamma[100,100] \end{vmatrix}, \quad (9)$$

где  $\gamma[i, j]$  – значения «передних» углов модели абразивного зерна.

Для определения площади «передней» поверхности зерна с режущим характером работы вычислялось значение:

$$S_p = \sum_{i=1}^{100} \sum_{j=1}^{100} |f[i, j]|. \quad (10)$$

$$f[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{при } 1 < \frac{(0,1\dots 0,2)}{\sin\left(\arctg \frac{\cos \gamma[i, j] + 0,05 \eta}{0,9 \eta - \sin \gamma[i, j]}\right)} \\ 0, & \text{при } 1 \geq \frac{(0,1\dots 0,2)}{\sin\left(\arctg \frac{\cos \gamma[i, j] + 0,05 \eta}{0,9 \eta - \sin \gamma[i, j]}\right)} \end{cases}.$$

где  $f[i, j]$  – функция, выражающая характер работы элементарной точки передней поверхности зерна и принимающая значения.

Для определения площади с деформирующим характером работы применяется выражение

$$S_d = \sum_{i=1}^{100} \sum_{j=1}^{100} |(f[i, j] - 1)|. \quad (11)$$

Соответственно, площадь всей передней поверхности абразивного зерна равна сумме площадей деформирующей и режущей частей:

$$S_{\text{общ}} = S_d + S_p, \quad (12)$$

где  $S_p$  – площадь режущей части передней поверхности зерна.

Вычисление данных выражений актуально только при условии, когда зерно хотя бы в одной точке контактирует с обрабатываемым металлом. Значение функции  $f[i, j]$  также имеет смысл только при наличии контакта текущей точки передней поверхности зерна с обрабатываемым материалом.

В результате моделирования в качестве выходного параметра получена реализация не единичного профиля микрорельефа, а фрагмента шлифованной поверхности (рис. 5).

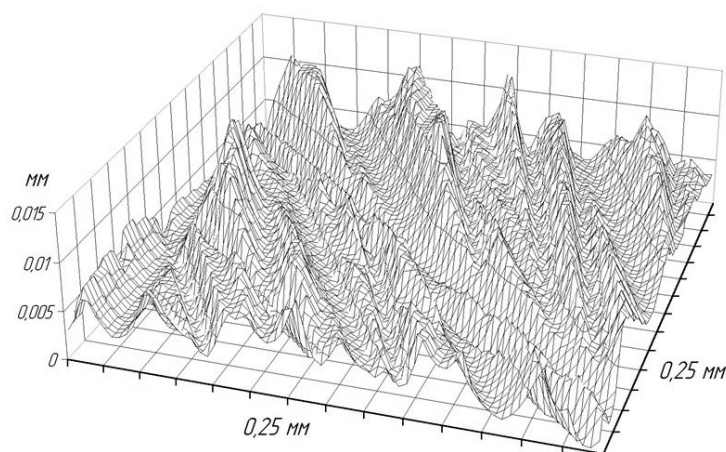


Рис. 5. Фрагмент модели шлифованной поверхности

На рис. 6 представлен внешний вид реальной цилиндрической поверхности, обработанной торцовым АИ с некруговой рабочей поверхностью. Анализ рисунка показывает, что на поверхности образовался микрорельеф, характеризующийся пересечением следов обработки, схожий с хонингованием.

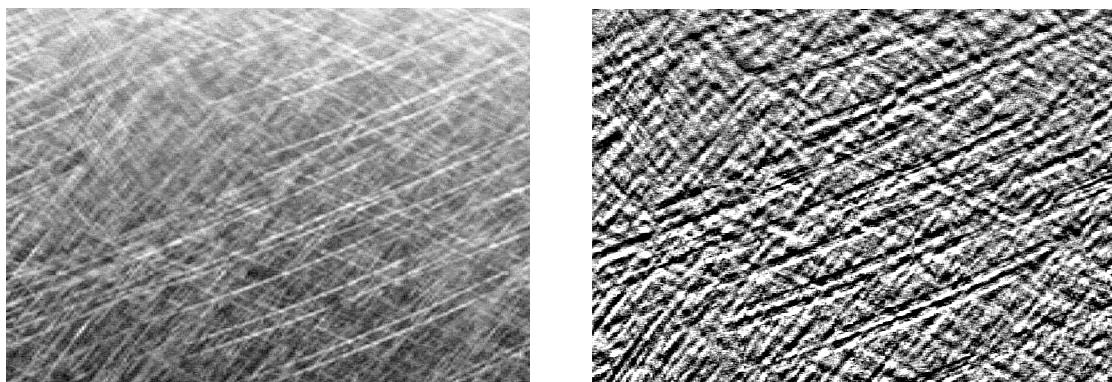


Рис. 6. Вид поверхности с перекрещивающимся микрорельефом после шлифования двумя сторонами сборного торцового АИ (сканирование – слева, разрешение 2400 dpi. и после обработки фильтром «рельеф»)

### Выводы

Результатом проделанной работы стало моделирование процесса контактного взаимодействия единичного абразивного зерна с обрабатываемым материалом. Получены новые данные о взаимодействии пересекающихся следов обработки. В качестве выходного параметра получена реализация не единичного профиля микрорельефа, а фрагмента шлифованной поверхности. В настоящее время ведется работа по использованию полученной модели для определения возможности удержания смазки и образования замкнутых пространств при контакте шероховатых поверхностей. Реализация данной модели позволит прогнозировать эксплуатационные параметры шлифованной поверхности на стадии проектирования.

Экспериментальные исследования, проведенные в промышленных условиях на валках листопрокатных станов, показали, что износостойкость поверхностей, полученных шлифованием торцовым абразивным инструментом и имеющих перекрещивающийся микрорельеф, на 30–40 % выше по сравнению с обработанными по традиционной технологии периферией круга.

### Литература

1. Malkin, S. *Grinding Technology. Theory and Application of Machining with Abrasives* / S. Malkin. – New York, 1989.
2. Ardashev, D.V. *Predicting the performance of abrasive tools in Process design for diversified production* / D.V. Ardashev // *J. Russian Engineering Research*. – 2015. – Vol. 35. – Iss. 3. – С. 206–208.
3. Ardashev, D.V. *Group Abrasive Machining in Flexible Production* / D.V. Ardashev // *J. Russian Engineering Research*. – 2015. – Vol. 35. – Iss. 4. – С. 305–306.
4. Matsui, S. *Statistical approach to grinding mechanism influence of the distribution in depth for the position of grain tip angles* / S. Matsui // *Technology Reports Tohoku University*. – 1972. – Vol. 32, № 2. – С. 297–312.
5. *Geometry analysis and simulation in shoe centerless grinding* / Zhang Hong, Lieh Jungshen, Yen David et al. // *Trans. ASME. J. Manuf. Sci. And Eng.* – 2003. – Vol. 2. – С. 304–309.
6. Козлов, А.М. *Повышение качества и точности цилиндрических деталей при шлифовании* / А.М. Козлов. – Липецк: ЛГТУ, 2004.
7. Гусев, В.Г. *Формирование поверхностей вращения в процессе дискретного шлифования сборными абразивными кругами* / В.Г. Гусев // *Вестник машиностроения*. – 1993. – № 10. – С. 20–27.
8. Степанов, Ю.С. *Шлифовальный круг с аксиально-смещенным абразивным слоем и востанавливаемым наружным диаметром* / Ю.С. Степанов, Б.И. Афанасьев // *Справочник. Инженерный журнал*. – 1999. – № 5. – С. 44–45.
9. Stepanov, Yu.S. *High-performance ways of flat grinding* / Yu.S. Stepanov, B.I. Afanasiev, O.V. Boldin // *Fundamental and applied technological problems of machine building – Technology - 2002. Materials International Scientific-Technical Internet Conference, Oryol, 2002*. – С. 32–37.
10. Пат. № 2249500 Российская Федерация, МПКВ 24D 7/06 *Сборный торцошлифовальный круг* / А.М. Козлов, О.Н. Пономарев, В.В. Ефремов; заявитель и патентообладатель Липецкий

государственный технический университет (ЛГТУ). – № 2003103827; заявл. 10.02.2003; опубл. 10.04.2005, Бюл. № 10.

11. Kozlov, A.M. *Shaping the surface topology of cylindrical components by means of an abrasive tool* / A.M. Kozlov, A.A. Kozlov // *J. Russian Engineering Research*. – 2009. – № 29(3). – С. 743–746.

12. Козлов, А.М. *Определение параметров рабочей поверхности абразивного инструмента на основе моделирования* / А.М. Козлов // *Изв. ВУЗов. Машиностроение*. – 2008. – № 1. – С. 51–56.

13. Altintas, Y. *Mechanics of micro-milling with round edge tools* / Y. Altintas, X. Jin // *J. CIRP Annals – Manuf. Tech.* – 2011. – № 60. – С. 77–80.

14. Rao, S. *Analytical modeling of micro end-milling forces with edge radius and material strengthening effects* / S. Rao, M.S. Shunmugam // *J. Mach. Sci. and Tech.* – 2013. – № 16. – С. 205–227.

15. Козлов, А.М. *Формирование микрорельефа при обработке абразивным инструментом* / А.М. Козлов, В.В. Ефремов // *Изв. ВУЗов. Машиностроение*. – 2004. – С. 59–64.

16. Dyakonov, A.A. *Blank-cutter interaction in high-speed cutting* / A.A. Dyakonov // *J. Russian Engineering Research*. – 2014. – № 34 (12). – С. 775–777.

17. D'yakonov, A.A. *Capabilities of internal-grinding wheels* / A.A. D'yakonov // *J. Russian Engineering Research*. – 2014. – Vol. 34, № 12. – P. 781–784.

18. Dyakonov, A.A. *Selecting the Cutting Conditions for Plane Grinding by the Wheel Periphery* / A.A. Dyakonov, I.V. Shipulin // *J. Russian Engineering Research*. – 2014. – № 34 (12). – С. 814–816.

19. Inasaki, I. *Grinding process simulation based on the wheel topography measurement* / I. Inasaki // *J. Annals of the CIRP*. – 1996. – Vol. 45, № 1. – P. 347–350.

20. Nadolny, K. *Modeling and simulation of single-pass internal cylindrical grinding process* / K. Nadolny, B. Balasz // *J. Archives of mechanical Technology and Automation*. – 2006. – Vol. 26. – Iss. 2. – P. 67–76.

21. Shmidt, I.V. *Forming effective cycle of round grinding with radial feed* / I.V. Shmidt, A.A. Dyakonov // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 685. – P. 360–364.

**Козлов Андрей Александрович**, кандидат технических наук, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, kam-48@yandex.ru.

**Козлов Александр Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, kam-48@yandex.ru.

**Василенко Юрий Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент, директор технологического института им. Н.Н. Поликарпова, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, vyuv-post@yandex.ru.

*Поступила в редакцию 15 июня 2016 г.*

---

DOI: 10.14529/engin160307

## MODELING OF MACHINED SURFACE DURING THE GRINDING OF NONCIRCULAR END ABRASIVE TOOL

**A.A. Kozlov**<sup>1</sup>, kam-48@yandex.ru,

**A.M. Kozlov**<sup>1</sup>, kam-48@yandex.ru,

**Yu.V. Vasilenko**<sup>2</sup>, vyuv-post@yandex.ru

<sup>1</sup>Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation,

<sup>2</sup>Orel State University, Orel, Russian Federation

The surface topography has a significant influence on its operational performance, in particular endurance. The highest wear resistance has the surface with criss-cross type lines of roughness. To obtain such surfaces on the cylindrical surface developed abrasive tool in the form

of a disc with non-circular end working surface. Such a tool has wide capabilities in forming on a cylindrical surface microrelief of various kinds. However, the prediction of roughness, the resulting complex process to manage them, is a task that requires separate consideration.

The article provides an overview of the problems of predicting the roughness of the machined surface during the grinding of noncircular end tool. The task of developing a mathematical model for predicting roughness are the main features of the process considered in the simulation.

The developed model is based on the submission of individual abrasive grains of random shape by a set of individual cutting elements having different contact conditions with the surface. For each point shall be determined by cutting, deforming, and not in contact with the surface of the workpiece. Thus is formed a scratch from single grains, and the totality of these forms of scratching the treated surface with intersecting direction type irregularities. The model allows to predict the roughness parameters of the machined surface and to determine the characteristics of contact with the mating surface.

For checking the adequacy of the developed model, a series of experiments carried out in industrial conditions on the example of rolls of sheet rolling mills. The experiment showed that the wear resistance of the surface-treated mechanical grinding higher by 30–40% compared than with processed by traditional technology.

*Keywords: modeling, abrasive tools, non-circular face working surface, lay.*

### References

1. Malkin S. *Grinding Technology. Theory and Application of Machining with Abrasives*. New York, 1989.
2. Ardashev D.V. Predicting the Performance of Abrasive Tools in Process Design for Diversified Production. *J. Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35(3), pp. 206–208.
3. Ardashev D.V. Group Abrasive Machining in Flexible Production. *J. Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35(4), pp. 305–306.
4. Matsui S. Statistical Approach to Grinding Mechanism in Fluence of the Distribution in Depth for the Position of Grain Tip Angles. *Technology Reports Tohoku University*, 1972, vol. 32, № 2, pp. 297–312.
5. Hong Z., Jungshen L., David Y., Xiaozhong S., Xiaojian R. Geometry Analysis and Simulation in Shoe Centerless Grinding. *Trans. ASME. J. Manuf. Sci. and Eng.*, 2003, vol. 2, pp. 304–309.
6. Kozlov A.M. *Povyshenie kachestva i tochnosti tsilindricheskikh detaley pri shlifovanii* [Improving the Quality and Accuracy of Cylindrical Parts for Grinding]. Lipetsk, LSTU, 2004. (in Russ.)
7. Gusev V.G. [Forming Surfaces of Revolution in the Digital Teams Grinding Abrasive Wheels]. *Bulletin of Engineering*, 1993, vol. 10, pp. 20–27. (in Russ.)
8. Stepanov Y.S., Afanasiev B.I. [Grinding Wheel with an Axially-displaced Abrasive Layer and a Reducing Outer Diameter]. *Reference book. Engineering Journal*, 1999, vol. 5, pp. 44–45. (in Russ.)
9. Stepanov Yu.S., Afanasiev B.I., Boldin O.V. High-Performance Ways of Flat Grinding. *Fundamental and applied technological problems of machine building – Technology -2002. Materials International Scientific-Technical Internet Conference*, Oryol, 2002, pp. 32–37.
10. Kozlov A.M., Ponomarev O.N., Efremov V.V. *Sbornyy tortsoshlifoval'nyy krug* [Modular Surface Grinding Wheel]. Patent no. 2249500 Russian Federation, 2003.
11. Kozlov A.M., Kozlov A.A. Shaping the Surface Topology of Cylindrical Components by Means of an Abrasive Tool. *J. Russian Engineering Research*, 2009, vol. 29(3), pp. 743–746.
12. Kozlov A.M. [Defining the Parameters of the Working Surface of an Abrasive Tool Based on Modeling]. *Proceedings of the universities. Mechanical Engineering*, 2005, vol. 1, pp. 51–56. (in Russ.)
13. Altintas Y., Jin X. Mechanics of Micro-Milling with Round Edge Tools. *J. CIRP Annals – Manuf. Tech.*, 2011, vol. 60, pp. 77–80.
14. Rao S., Shunmugam M.S. Analytical Modeling of Micro end-Milling Forces with Edge Radius and Material Strengthening Effects. *J. Mach. Sci. and Tech.*, 2013, vol. 16, pp. 205–227.
15. Kozlov A.M., Efremov V.V. [Formation of Micro Relief When Handling Abrasive Tool]. *Proceedings of the universities. Mechanical Engineering*, 2004, vol. 1, pp. 59–64. (in Russ.)
16. Dyakonov A.A. Blank-Cutter Interaction in High-Speed Cutting. *J. Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34(12), pp. 775–777.



## Расчет и конструирование

---

17. D'yakonov A.A. Capabilities of Internal-Grinding Wheels. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34(12), pp. 781–784.

18. Dyakonov A.A., Shipulin L.V. Selecting the Cutting Conditions for Plane Grinding by the Wheel Periphery. *J. Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34 (12), pp. 814–816.

19. Inasaki I. Grinding Process Simulation Based on the Wheel Topography Measurement. *J. Annals of the CIRP*, 1996, vol. 45(1), pp. 347–350.

20. Nadolny K., Bałasz B. Modeling and Simulation of Single-Pass Internal Cylindrical Grinding Process. *J. Archives of mechanical Technology and Automation*, 2006, vol. 26(2), pp. 67–76.

21. Shmidt I.V., Dyakonov A.A. Forming Effective Cycle of Round Grinding with Radial Feed. *Key Engineering Materials*, 2016, vol. 685, pp. 360–364.

*Received 15 June 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Козлов, А.А. Моделирование обработанной поверхности при шлифовании некруговым торцовым абразивным инструментом / А.А. Козлов, А.М. Козлов, Ю.В. Василенко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 54–62. DOI: 10.14529/engin160307

### FOR CITATION

Kozlov A.A., Kozlov A.M., Vasilenko Yu.V. Modeling of Machined Surface During the Grinding of Non-circular End Abrasive Tool. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 54–62. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin160307