

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРАЕКТОРИИ ЦАРАПИНЫ ЕДИНИЧНОГО ЗЕРНА ПРИ ОБРАБОТКЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ РОЛИКА НА ШЛИФОВАЛЬНОМ СТАНКЕ SХК-5А

Носенко В.А.¹, Зуев А.В.², Рыженко Е.В.¹

¹Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия (404121 Россия, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а), e-mail: nosenko@volpi.ru

²ОАО «ЕПК Волжский», Волжский, Россия (404112 Россия, г. Волжский, ул. Пушкина, 45), e-mail: nosenko@volpi.ru

Настоящая статья посвящена исследованию кинематики единичного абразивного зерна при обработке базовой торцовой сферической поверхности конического ролика на шлифовальном станке SХК-5А. Выведены формулы, позволяющие выявить закономерности движения единичного зерна относительно обрабатываемой поверхности ролика. На основании полученных формул разработаны геометрические модели траектории царапины зерна с учетом заданных условий и режимов обработки. В результате получены закономерности изменения данной траектории, зависящие от применяемых режимов обработки торцовой поверхности ролика. Полученные функциональные зависимости дают возможность сравнительного анализа геометрической модели траектории движения зерна с опытными данными, полученными в результате практического нахождения траектории движения зерна на торцовой поверхности ролика. На рисунках показаны траектории движения зерен шлифовального круга с учетом различных условий.

Ключевые слова: шлифование, конический ролик, сферический торец, траектория царапины, шлифовальный станок, единичное зерно

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE TRAJECTORY OF SCRATCH OF SINGLE GRAIN WHEN PROCESSING THE SPHERICAL SURFACE OF THE ROLLER ON THE GRINDER MACHINE SХК-5А

Nosenko V.A.¹, Zuev A.V.², Ryzhenko E.V.¹

¹ Volzhsky polytechnical institute (branch) of the Volgograd state technical university, Volzhsky, Russia (404121 Russia, Volzhsky, Engels st., 42a), e-mail: nosenko@volpi.ru

² ОАО «ЕПК Volzhsky», Volzhsky, Russia (404112 Russia, Volzhsky, Pushkin str., 45), e-mail: nosenko@volpi.ru

This article is dedicated to the study of the kinematics of a single abrasive grain when processing a basic face spherical surface of a tapered roller on the grinding machine SХК-5А. The formulas are received, that help determine patterns of grain movement in relation to the treated surface of the roller. On the basis of the received formulas geometrical models of a trajectory of scratch of grain taking into account the set conditions are developed and processing modes. The regularities of change of this trajectory depending on the applied modes of processing of a face surface of a roller are received. The obtained functional dependences give the chance of the comparative analysis of geometrical model of a grain movement trajectory with the skilled data, which were received by practical finding of a scratch movement trajectory of grain on a face surface of a roller. The figures show the trajectory of the grains of the grinding wheel, taking into account different conditions.

Keywords: grinding, tapered roller, spherical end, the trajectory of scratches, grinding machine, a single grain

Исследование кинематики абразивного зерна при различных способах шлифования является одним из основных вопросов теоретического анализа процесса. Вопросы кинематического анализа процесса при различных видах шлифования рассмотрены во многих работах [4, 10]. Основные уравнения, определяющие траекторию резания абразивным зерном, необходимы прежде всего для определения влияния условий процесса резания на качество обрабатываемой поверхности.

Одной из причин недостаточного качества при шлифовании базовой торцовой сферической поверхности роликов конических подшипников является образование на обработанной поверхности отдельных царапин. Для выяснения возможных причин образования таких дефектов необходимо разработать геометрическую модель траектории царапины.

При обработке сферической поверхности ролика на ОАО «ЕПК Волжский» используется, в частности, специальный шлифовальный автомат модели SХК-5А [7].

Сферические торцы конических роликов обрабатываются методом шлифования на проход. До входа в зону контакта детали с кругом обрабатываемая поверхность имеет микрорельеф, образовавшийся на предыдущей операции или при выполняемом процессе шлифования [1]. Инструментом для данной операции служит вогнуто правленный шлифовальный круг, радиус которого идентичен со шлифуемым радиусом торца конического ролика. Шлифовальный круг правится на заданный радиус с помощью алмазного карандаша [3].

Существует ряд факторов, оказывающих существенное влияние на качество обработанной поверхности, таких как скорость подачи ролика, скорость шлифования, частота вращения ролика и шлифовального круга. Анализ, приведенный в работе [2], позволяет определить диапазон скоростей шлифования и соответствующие этому диапазону соотношения частот вращения для установления оптимального режима резания.

Для обеспечения стабильного параметра «длина ролика» и исключения влияния негативных факторов, возникающих при базировании заготовки на качество получаемой поверхности, исследовано влияние различных погрешностей, возникающих в процессе шлифования [6], а также разработаны математические модели припуска и скорости изменения его величины за время прохождения ролика через зону шлифования [8].

Цель работы

Разработать математическую модель траектории царапины, которую оставляет на базовой торцовой поверхности ролика вершина зерна шлифовального круга при обработке этой поверхности на шлифовальном станке модели SХК-5А.

В процессе обработки поверхности базового торца ролика на шлифовальном станке заготовка совершает следующие движения: вращение вокруг собственной оси против часовой стрелки с угловой скоростью ω ; вращение вокруг оси сепаратора со скоростью v_s . Математическая модель скорости подачи для любой точки базовой поверхности ролика представлена в работе [9].

Разработку математической модели траектории царапины выполняем путем разложения сложного движения ролика на элементарные составляющие и рассматриваем в

следующем порядке: влияние только продольной подачи ролика на траекторию царапины; влияние только вращения ролика вокруг собственной оси на траекторию царапины; совместное влияние продольной подачи и вращения ролика вокруг собственной оси на траекторию царапины.

При разработке математической модели траектории царапины примем следующие начальные условия:

1) обрабатываемая поверхность ролика в проекции на плоскость представляет собой круг радиуса r ;

2) технологическую выточку на базовой торцовой поверхности ролика не учитываем;

3) декартову систему координат располагаем в центре окружности поверхности ролика с направлением осей, указанных на рисунке 2;

4) считаем, что царапина образовалась от вершины зерна, движущегося прямолинейно со скоростью v в направлении, противоположном направлению оси ординат;

5) учитывая, что обрабатываемая поверхность — сфера, а не плоскость, площадью контакта зерна с обрабатываемой поверхностью ролика будет являться не вся сферическая поверхность, а только ее отдельный участок (рис. 1), площадь которого зависит от глубины резания и величины снимаемого припуска [5].

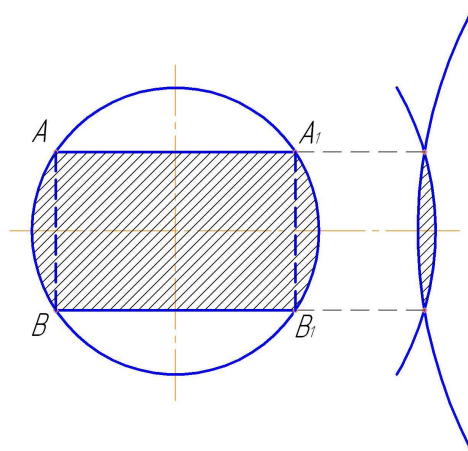


Рис. 1. Схема площади контакта зерна (AA_1B_1B) с обрабатываемой поверхностью

Определим траекторию царапины, образованной вершиной зерна, касающейся базовой поверхности ролика в точке A с координатами $(0, u_A)$, с учетом влияния только продольной подачи ролика (рис. 2).

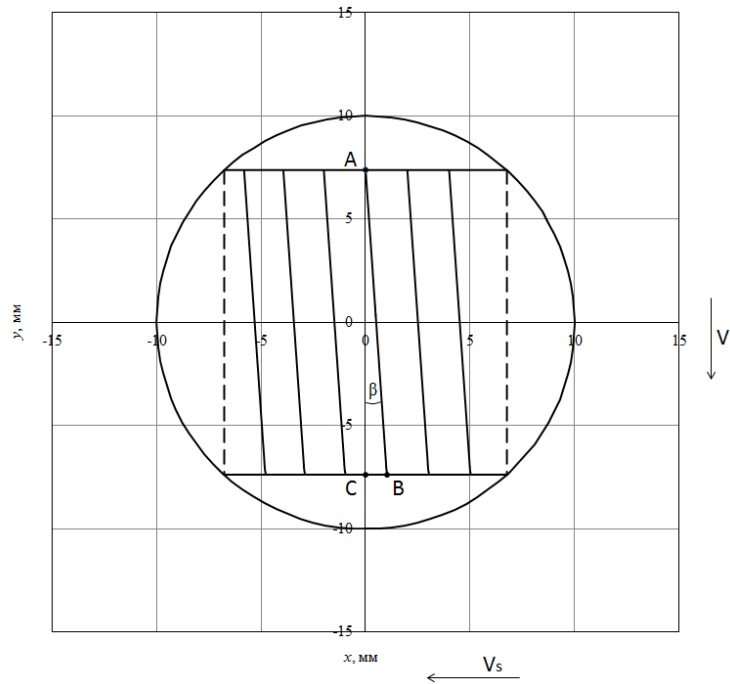


Рис. 2. Траектории движения зерен шлифовального круга с учетом только продольной подачи ролика

В результате перемещения окружности влево вершина зерна выйдет из контакта с обрабатываемой поверхностью в точке B с координатами $(x_B; y_B)$. Перемещение вдоль оси абсцисс определяется скоростью продольной подачи v_s , вдоль оси ординат – скоростью шлифования v . Тогда отрезки

$$CB = x_B - x_A = v_s \tau_{\max}, AC = y_A - y_B = v \tau_{\max}, \quad (1)$$

где τ_{\max} – полное время контакта зерна с обрабатываемой поверхностью.

Из формулы (1):

$$\tau_{\max} = \frac{CB}{v_s}; \tau_{\max} = \frac{AC}{v}. \quad (2)$$

Приравняв правые части равенств (2):

$$\frac{CB}{AC} = \frac{v_s}{v} = \operatorname{tg} \beta. \quad (3)$$

Координаты точки выхода зерна находим из (1):

$$x_B = x_A + v_s \tau_{\max}; y_B = y_A - v \tau_{\max}. \quad (4)$$

Координаты i -ой точки в момент времени τ_i находим по формулам:

$$x_i = x_A + v_s \tau_i; y_i = y_A - v \tau_i. \quad (5)$$

Так как v и v_s – величины постоянные, царапина без учета вращения заготовки ролика вокруг своей оси будет представлять собой прямую линию.

Рассмотрим траекторию движения зерна только при вращении ролика вокруг своей оси с заданной угловой скоростью ω (рис. 3).

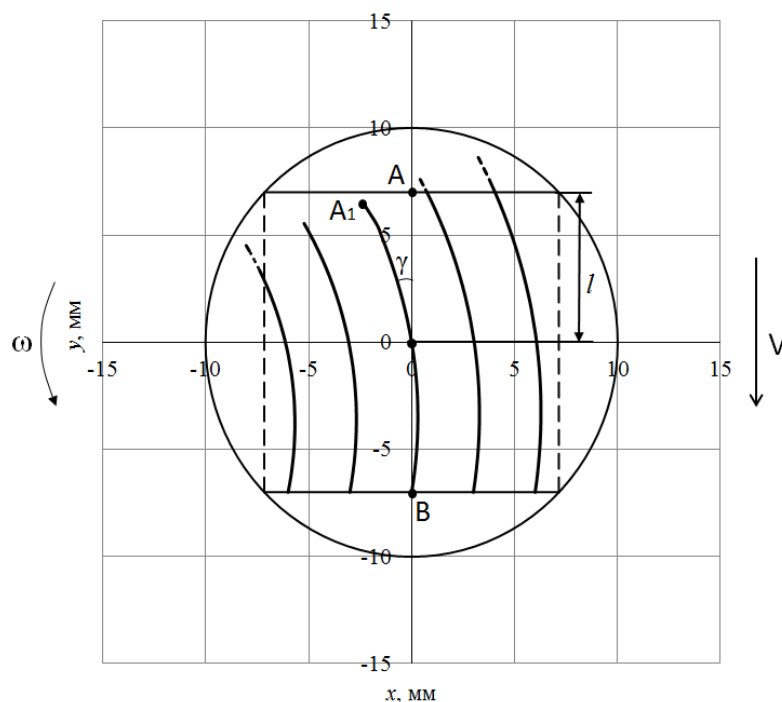


Рис. 3. Траектории движения зерен шлифовального круга с учетом только вращения ролика вокруг собственной оси

Рассмотрим точку A с координатами $(0; l)$, расположенную на оси симметрии торца ролика. За время контакта τ_i точка A повернется на угол γ и сместится по оси абсцисс и ординат в результате круговой подачи заготовки (точка A_1) (рис. 3).

Поворот точки A на угол γ определяется угловой скоростью вращения заготовки вокруг своей оси ω :

$$\gamma = \omega \Delta \tau_i. \quad (6)$$

Угловую скорость определяем по числу оборотов ролика вокруг своей оси n :

$$\omega = 2\pi n. \quad (7)$$

Время на изменение положения точки $\Delta \tau_i$ в результате вращения заготовки будет равно:

$$\Delta \tau_i = \tau_{\max} - \tau_i. \quad (8)$$

Так как время, за которое точка A окажется в положении A_1 , равно максимальному времени обработки, следовательно, $\Delta \tau_i = \tau_{\max}$.

Полное время контакта вершины рассматриваемого зерна с металлом для осевого сечения будет равно:

$$\tau_{\max} = \frac{2l}{v}. \quad (9)$$

Координаты точки A_1 с учетом знаков вычисляем по формулам:

$$x_{A_1} = -l \cdot \sin \gamma_1 = -l \cdot \sin \omega \tau_{\max}; y_{A_1} = l \cdot \cos \gamma_1 = l \cdot \cos \omega \tau_{\max}. \quad (10)$$

Точка B не изменит своего положения, потому что при $\tau_i = 0$ угол поворота γ также будет равен нулю. Координаты точки B : $x_B = 0$; $y_B = -l$.

При движении зерна со скоростью v изменяется не только угол поворота каждой рассматриваемой точки, но и радиус поворота, который для каждой i -ой точки равен y_i .

Для нахождения координат i -ой точки траектории движения зерна задаем значения точки по оси ординат в диапазоне: $-l \leq y_i < y_l$.

Для каждой рассматриваемой точки:

$$y_i = l - v\tau_i. \quad (11)$$

Из (11) выразим момент времени τ_i :

$$\tau_i = \frac{l - y_i}{v}. \quad (12)$$

Подставив (12) в (8), получим:

$$\Delta\tau_i = \tau_{\max} - \frac{l - y_i}{v} = \frac{2l}{v} - \frac{l - y_i}{v} = \frac{l + y_i}{v}. \quad (13)$$

Координаты i -ой точки траектории движения по оси абсцисс вычисляем по формуле:

$$x_i = -y_i \cdot \sin \gamma_i = -y_i \cdot \sin \left(\omega \cdot \frac{l + y_i}{v} \right). \quad (14)$$

Рассмотрим произвольную точку A_i с координатами $(x_i; y_i)$.

Для $x_i < 0$ координаты i -ой точки траектории движения зерна с учетом начального угла положения точки относительно оси вращения вычисляем по формулам:

$$\begin{aligned} x_i &= l_i \cdot \sin(\gamma_{i0} + \gamma_i) = \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \sin \left(\arctg \frac{x_{0i}}{y_{0i}} + \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v} \right) \right) \right); \\ y_i &= l_i \cdot \cos(\gamma_{i0} + \gamma_i) = \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \cos \left(\arctg \frac{x_{0i}}{y_{0i}} + \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v} \right) \right) \right), \end{aligned} \quad (15)$$

с учетом знаков тригонометрических функций – для x_i со знаком « \leftarrow » во II четверти и со знаком « \rightarrow » в III четверти; для y_i со знаком « \rightarrow » во II четверти и со знаком « \leftarrow » в III четверти.

Для $x_i > 0$ координаты i -ой точки траектории движения зерна с учетом начального угла положения точки относительно оси вращения вычисляем по формулам:

$$\begin{aligned} x_i &= l_i \cdot \sin(\gamma_{i0} - \gamma_i) = \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \sin \left(\arctg \frac{x_{0i}}{y_{0i}} - \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v} \right) \right) \right); \\ y_i &= l_i \cdot \cos(\gamma_{i0} - \gamma_i) = \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \cos \left(\arctg \frac{x_{0i}}{y_{0i}} - \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v} \right) \right) \right), \end{aligned} \quad (16)$$

с учетом знаков тригонометрических функций для x_i и y_i со знаком « \rightarrow » в I четверти и со знаком « \leftarrow » в IV четверти.

Рассмотрим геометрическую модель царапины с учетом совместного действия продольной подачи и вращения ролика вокруг собственной оси.

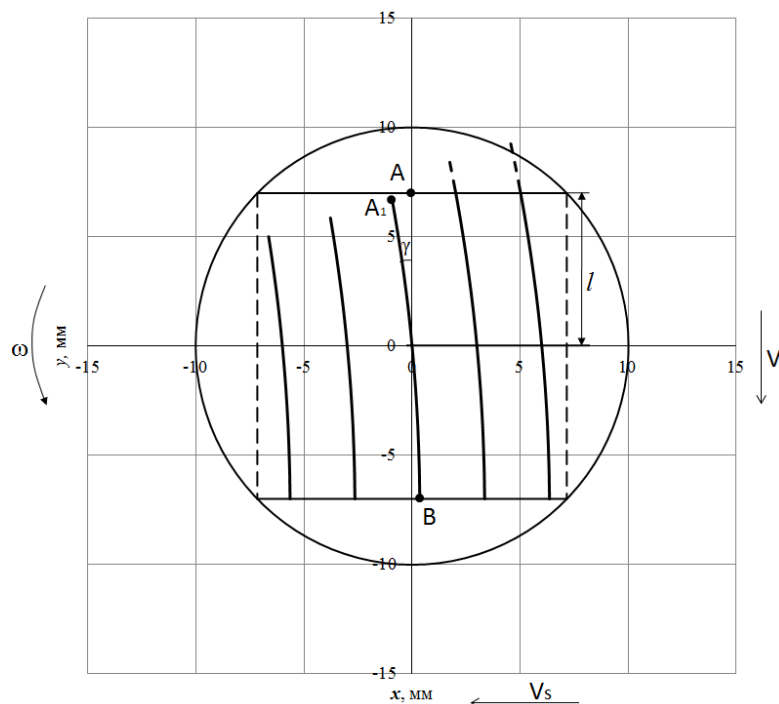


Рис. 4. Траектории движения зерен шлифовального круга

с учетом продольной подачи ролика и его вращения вокруг собственной оси

Первоначальным этапом смещения точки траектории царапины является продольная подача заготовки, вторым фактором является смещение точки с новыми координатами, происходящее в результате вращения заготовки вокруг своей оси.

Вычисление координат i -ой точки в результате продольного перемещения со скоростью подачи v_s осуществляется по формулам (5).

Новые координаты i -ой точки в результате вращения заготовки вокруг своей оси находим по формулам (15, 16)

Таким образом, координаты точек перемещения зерна с учетом совместного влияния продольного перемещения и вращения заготовки вокруг своей оси находим путем сложения этих двух движений:

для $-x_i \leq x_i < 0$:

$$\begin{aligned} x_i &= \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \sin\left(\arctg \frac{x_{i0}}{y_{i0}} + \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v}\right)\right)\right) + (x_0 + v_s \cdot \tau_i); \\ y_i &= \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \cos\left(\arctg \frac{x_{i0}}{y_{i0}} + \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v}\right)\right)\right) + (y_0 - v \cdot \tau_i); \end{aligned} \quad (17)$$

для $x_i \geq x_i > 0$:

$$\begin{aligned} x_i &= l_i \cdot \sin(\gamma_{i0} - \gamma_i) = \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \sin\left(\arctg \frac{x_{i0}}{y_{i0}} - \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v}\right)\right)\right) + (x_0 + v_s \cdot \tau_i); \\ y_i &= l_i \cdot \cos(\gamma_{i0} - \gamma_i) = \sqrt{x_{i0}^2 + y_{i0}^2} \cdot \cos\left(\arctg \frac{x_{i0}}{y_{i0}} - \left(\omega \cdot \left(\frac{l + y_{i0}}{v}\right)\right)\right) + (y_0 - v \cdot \tau_i). \end{aligned} \quad (18)$$

В точке выхода изменение координат происходит только в результате продольной подачи. Фактор вращения в данном случае влияния не оказывает.

Выводы

Получены формулы для разработки траектории движения цапаины, которую оставляет на базовой торцовой поверхности ролика вершина зерна шлифовального круга при обработке этой поверхности на сферошлифовальном станке модели SХК-5А, с учетом продольной подачи ролика и вращения его вокруг собственной оси. На основании полученных формул разработаны геометрические модели траектории движения цапаины зерна с учетом заданных условий. В результате получены закономерности изменения данной траектории, зависящие от применяемых режимов обработки торцевой поверхности ролика.

Полученные функциональные зависимости дают возможность сравнительного анализа геометрической модели траектории движения зерна с опытными данными, полученными в результате практического нахождения траектории движения цапаины на торцовой поверхности ролика.

Список литературы

1. Богуцкий В.Б. Расчет размерного износа абразивных зерен при наружном круглом шлифовании / В.Б. Богуцкий, Ю.К. Новоселов, С.М. Братан // Севастопольский национальный технический университет – г. Севастополь, Украина, 2012 – С. 279–283.
2. Горяинов Д.С. Исследование процесса шлифования сферических поверхностей // Вестник Самарского Государственного Технического Университета. Серия: Технические Науки. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2007 – С. 117–123.
3. Коль Х. Руководство по эксплуатации специального шлифовального автомата SХК-5А с бункерной загрузкой для шлифования торцов конических роликов методом на проход // Mikrosa Werkzeugmaschinen – Лейпциг, 1990 г. 67 с.
4. Курин М.А. Траектория микрорезания шлифующего зерна при плоском планетарном шлифовании периферией круга // Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» / Технология производства летательных аппаратов – Украина, 2008. – С. 47–50.
5. Михайлова Л.Н. Повышение точности шлифования сферических торцов роликов подшипников. Автореферат диссертации на соискание уч. ст. к.т.н. – Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 1994. 23 с.
6. Носенко В.А. Погрешность длины ролика после операции сферошлифования на станке SХК-5А / В.А. Носенко, А.В. Зуев, А.В. Морозов, Е.В. Рыженко, А.А. Вяткин // Актуальные

вопросы современной техники и технологии/Издательский центр «Гравис». — Липецк, 2012. С. 69–74.

7. Носенко В.А. Разработка математической модели скорости подачи ролика подшипника на сфершлифовальном станке SХК-5А / В.А. Носенко, А.В. Зуев, А.В. Морозов // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 5. [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/111-10245 (дата обращения: 11.02.2015).

8. Носенко В.А. Скорость съема припуска при шлифовании сферического торца конического ролика подшипника на станке SХК-5А / В.А. Носенко, А.В. Зуев, А.В. Морозов // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1; URL: www.science-education.ru/121-18266 (дата обращения: 21.04.2015).

9. Носенко В.А. Скорость подачи ролика подшипника при шлифовании сферы на станке SХК-5А / В.А. Носенко, А.А. Копецкий, А.В. Зуев, Е.В. Рыженко // Проблемы современной науки: сб. науч. тр. Вып. 6 / Центр научного знания «Логос». — Ставрополь, 2012. — С. 152–159.

10. Рашоян И.И. Анализ кинематики абразивного зерна при круглом врезном шлифовании // Самарский государственный технический университет / Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения. Сб. науч. трудов МДНТК «Технология-20012, Орёл, 2001.

Рецензенты:

Санинский В.А., д.т.н., профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет, г. Волжский.

Пушкарев О.И., д.т.н., профессор кафедры «Общетехнические дисциплины», Волжский институт строительства и технологий (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», г. Волжский.