

КАЧЕСТВО И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТОРЦОВОГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ РЕЛИТА

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Ткаченко В.П.

(Харьковский государственный экономический университет,
ОАО завод “Потенциал”, г. Харьков)

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований параметров процесса врезного торцового шлифования алмазным кругом на металлической связке торцовой поверхности вращающегося уплотнительного кольца из композиционного материала на основе релита. Даны практические рекомендации.

При обработке торцовых поверхностей деталей типа “кольцо” эффективно применение схемы шлифования торцом круга, сообщая детали вращательное движение, а кругу – дополнительную врезную подачу. Данная схема практически исключает неплоскостность обработки, обеспечивает качественную подготовку обрабатываемой поверхности к последующей операции притирки – для достижения высоких показателей шероховатости и точности обработки [1, 2, 3]. Схема получила применение в производстве, однако в теоретическом плане изучена не достаточно, что не позволяет в полной мере оценить ее технологические возможности.

Цель работы разработка теории данной схемы шлифования и выявление новых условий повышения качества и производительности обработки.

Отличительной особенностью схемы является сложность кинематики формообразования торцовой поверхности кольца, т.к. съём материала и формирование шероховатости происходит в результате сложения трех кинематических движений: вращении кольца и круга и врезной (радиальной) подачи круга. Для анализа схемы применим системный подход. Первоначально рассмотрим закономерности формирования шероховатости поверхности в результате сложения двух вращательных движений детали и круга, рис. 1,а. Параметр шероховатости R_{max} определим из условия (рис. 1,б)

$$2 \cdot R_{max} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n = B, \quad (1)$$

где γ - половина угла при вершине режущего зерна; $n = k_0 \cdot B \cdot V_{кр} \cdot \tau$ - количество зерен, участвующих в формировании шероховатости поверхности; k_0 - поверхностная концентрация зерен, шт/м²; B - ширина рабочей части круга, м; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с; $\tau = B / V_{дет}$ - время формирования шероховатости поверхности, с; $V_{дет}$ - скорость вращения детали, м/с.

После преобразований зависимости (1), имеем

$$R_{max} = \frac{1}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k_0 \cdot V_{кр} \cdot \tau} \quad (2)$$

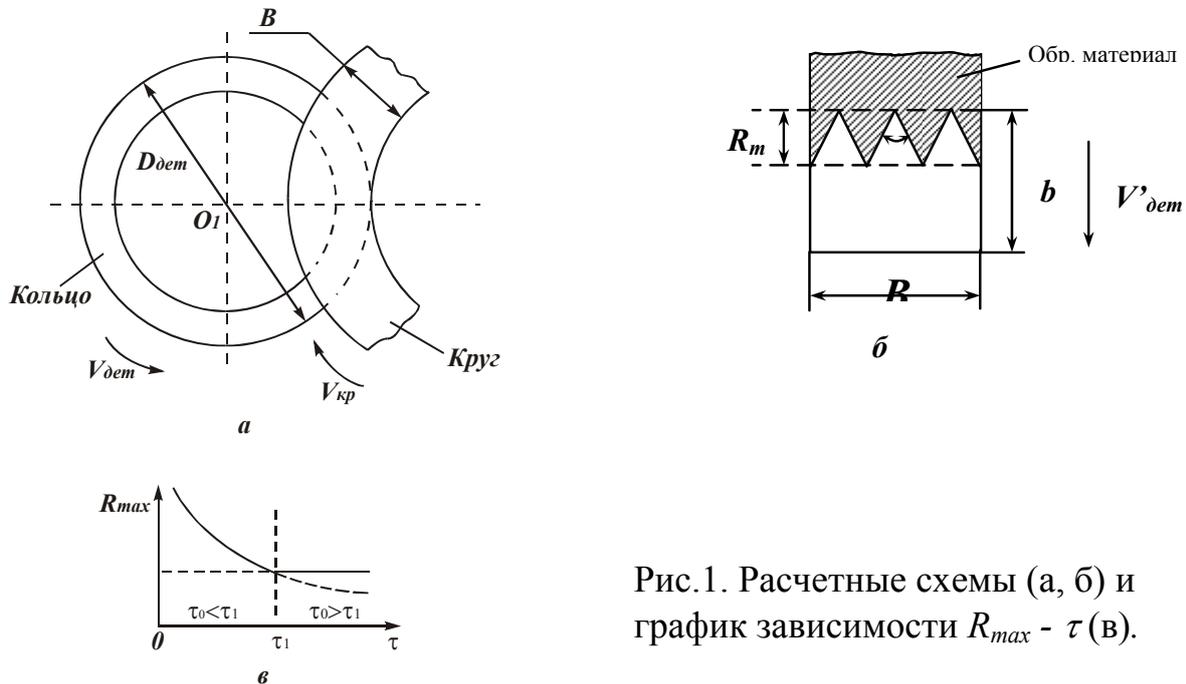


Рис.1. Расчетные схемы (а, б) и график зависимости $R_{max} - \tau$ (в).

В шлифовальном круге зерна выступают над уровнем связки на различную высоту. В первом приближении можно принять равномерный закон выступания, т.е. когда на каждом уровне находится одинаковое количество зерен. Тогда справедливо соотношение $k_0 = k \cdot R_{max} / b$, где k - поверхностная концентрация зерен круга; b - максимальная высота выступания зерен над уровнем связки круга. Проф. Резниковым А.Н. предложены расчетные зависимости для определения параметров: $k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \pi \cdot \bar{X}^2}$; $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}$, где m - объемная концентрация алмазного круга (50; 100; 150); \bar{X} - зернистость круга.

Преобразуя зависимость (2), получим

$$R_{max} = \sqrt{\frac{100 \pi \cdot \bar{X}^3}{3 \cdot m \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot V_{кр} \cdot \tau}} \quad (3)$$

Как видим, наибольшее влияние на параметр R_{max} оказывает зернистость круга \bar{X} . Уменьшить R_{max} можно уменьшением \bar{X} и увеличением $m, \gamma, V_{кр}$ и τ (увеличением B и уменьшением $V_{дет}$):

$$R_{max} = \sqrt{\frac{100 \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет}}{3 \cdot m \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot V_{кр} \cdot B}} \quad (4)$$

Рассмотрим условия формирования шероховатости поверхности в направлении врезной подачи круга $V'_{дет}$. Расчетная схема останется прежней. Изменится лишь время формирования шероховатости поверхности τ , которое бу-

дет равно $\tau = R_{max} / V'_{дет}$. Тогда, исходя из зависимости (3), получим

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{100\pi \cdot X^3 \cdot V'_{дет}}{3 \cdot m \cdot tg\gamma \cdot V_{кр}}} \quad (5)$$

Обозначим время формирования шероховатости поверхности в направлении скорости $V_{дет}$ через τ_0 , а время формирования шероховатости поверхности в направлении скорости $V'_{дет}$ - через τ_1 . Если $\tau_1 > \tau_0$, то определяющим в формировании шероховатости будет вращательное движение детали. Если $\tau_1 < \tau_0$, то наоборот, определяющим будет движение врезной подачи (по нормали к обрабатываемой поверхности). Графически зависимость $R_{max} - \tau$ показана на рис. 1,в. На участке $\tau_1 > \tau_0$ параметр шероховатости R_{max} больше, чем на участке $\tau_1 < \tau_0$. Следовательно, для того, чтобы уменьшить параметр шероховатости, R_{max} необходимо выполнить условие $\tau_1 < \tau_0$ или $\frac{R_{max1}}{V'_{дет}} < \frac{B}{V_{дет}}$, где параметр R_{max1} определяется зависимостью (5).

Поскольку, на участке $\tau_1 < \tau_0$ параметр шероховатости R_{max} не зависит от параметров $B, V_{дет}$, шлифование можно производить торцом круга шириной $B \geq D_{дет}$. Обрабатываемое кольцо при этом может не вращаться.

Приведенные результаты теоретических исследований положены в основу создания промышленной высокоэффективной технологии алмазно-абразивной обработки рабочих поверхностей торцовых уплотнений (выполненных в виде колец) из композиции “твердый сплав “Релит”- медь”, рис.2, рис.3, рис.4. Ниже приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований процесса шлифования торцовой поверхности вращающегося кольца торцом алмазного круга.

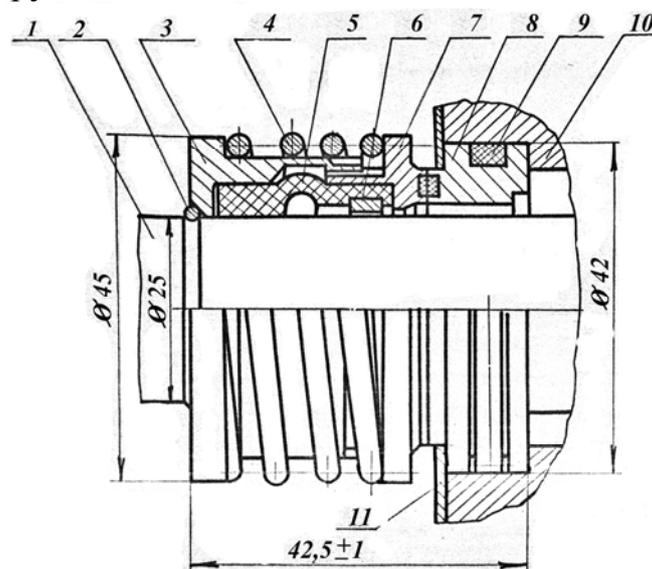


Рис.2. Уплотнение 1P25: 1 – вал протектора; 2 – запорное кольцо; 3 – упор (обжимное кольцо); 4 – пружина; 5 – сильфон; 6 – распорное кольцо; 7 – вращающееся кольцо; 8 – не вращающееся кольцо; 9 – кольцо уплотнительное; 10 – корпус протектора; 11 – кольцо.

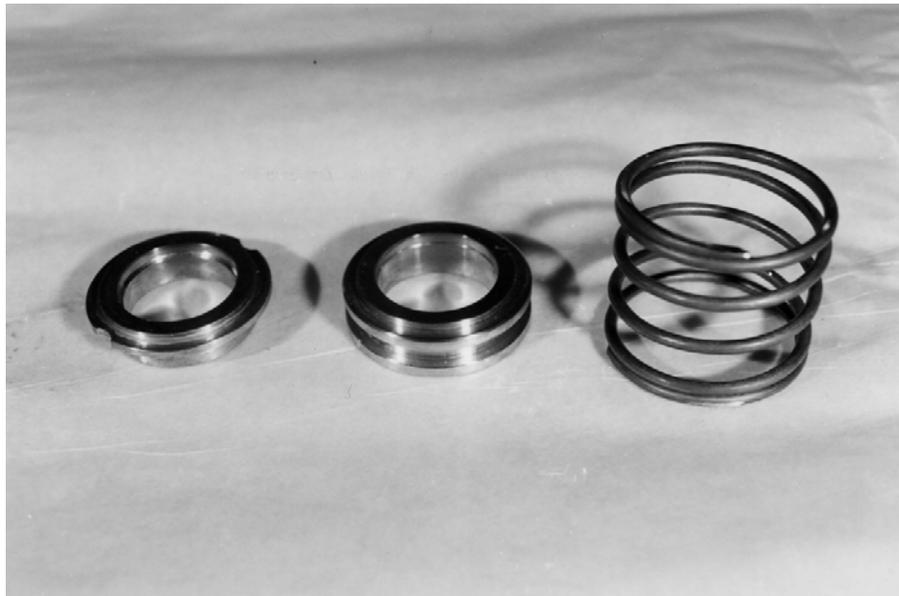


Рис. 3. Деталировка торцового уплотнения.

Для расчета температуры резания при врезном торцовом шлифовании торцевой поверхности вращающегося кольца воспользуемся аналитической зависимостью, полученной проф. Якимовым А.В. [5]

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{\lambda \cdot c \cdot \rho}}, \quad (6)$$

где $q = \frac{P_z \cdot V_{кр}}{F}$ - плотность теплового потока, характеризующего количество теплоты, проходящей через единицу поверхности обрабатываемой детали (кольца) в единицу времени, Вт/м²; P_z - тангенциальная составляющая силы резания, Н; $V_{кр}$ - скорость шлифовального круга, м/с; F - площадь контакта круга с обрабатываемым материалом, м²; τ - время контакта фиксированной точки, расположенной на поверхности обрабатываемого кольца, с кругом, с; $V_{дет}$ - скорость детали (кольца), м/с; λ - коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · К); c - удельная теплоемкость материала, Дж/(кг · К); ρ - плотность обрабатываемого материала, кг/м³.

Время контакта фиксированной точки вращающегося обрабатываемого кольца с торцом круга τ представим в виде (рис. 1)

$$\tau = \tau_1 + \tau'_0 \quad (7)$$

где τ_1 - время, в течение которого срезается слой припуска толщиной t , равной глубине шлифования и определяемой по зависимости

$$t = V'_{дет} \cdot \bar{\tau} = V'_{дет} \cdot \frac{\pi \cdot D_{дет} - L}{V_{дет}}, \quad (8)$$

$D_{дет}$ - диаметр обрабатываемого кольца, м; $\bar{\tau}$ - время одного вращения кольца, с; L - длина дуги контакта круга с кольцом, м.

По сути, параметр τ_1 определяет время формирования шероховатости поверхности в направлении скорости V'_{dem} . Толщины срезов отдельными зернами в данном случае больше параметра шероховатости обработки R_{max} .

Время τ'_0 равно $\tau'_0 = \tau_0 - \tau_1$, где $\tau_0 = L / V'_{dem}$. В течении времени τ'_0 происходит съем обрабатываемого материала режущими зернами с толщинами срезов, равными параметру шероховатости обработки R_{max} . Из этого можно заключить, что в течении времени τ_1 режущие зерна испытывают большие нагрузки, чем в течении времени τ'_0 .

С учетом сказанного, зависимость (6) можно представить

$$\theta = q_1 \cdot \sqrt{\frac{2\tau_1}{\lambda \cdot c \cdot \rho}} + q'_0 \cdot \sqrt{\frac{2\tau'_0}{\lambda \cdot c \cdot \rho}}, \quad (9)$$

где $q_1 = \frac{P'_z \cdot V_{кр}}{L_1 \cdot b} \approx \frac{\sigma \cdot Q}{L_1 \cdot b} = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot D_{dem} \cdot V'_{dem}}{L_1}$ - плотность теплового потока, воз-

никающего при шлифовании на участке контакта круга с обрабатываемым кольцом длиной $L_1 = V_{dem} \cdot \tau_1$; σ - условное напряжение резания, Н/м²; Q - производительность обработки, м³/с; b - ширина торцевой поверхности кольца, м;

$q'_0 = \frac{P'_z \cdot V_{кр}}{(L - L_1) \cdot b} \approx \frac{P'_y \cdot f \cdot V_{кр}}{(L - L_1) \cdot b} = p \cdot f \cdot V_{кр}$ - плотность теплового потока,

возникающего при шлифовании на участке контакта круга с обрабатываемым кольцом длиной $(L - L_1)$; L - суммарная длина дуги контакта круга с обрабатываемым кольцом; P'_z, P'_y, p - составляющие тангенциальной и радиальной сил резания, а также удельное давление, возникающее на участке контакта круга с обрабатываемым кольцом длиной $(L - L_1)$; f - коэффициент трения круга с обрабатываемым материалом.

Зависимость (9) состоит из двух слагаемых. Первое слагаемое определяет температуру шлифования, образующуюся на участке длиной L_1 (условно – на участке резания). Второе слагаемое определяет температуру шлифования, образующуюся на участке длиной $(L - L_1)$ (условно – на участке трения круга с кольцом). Очевидно, для того чтобы уменьшить температуру шлифования θ , необходимо уменьшить или исключить второе слагаемое зависимости (9). Это обеспечивается за счет уменьшения времени $\tau'_0 \rightarrow 0$ и соответственно уменьшения длины L (ширины рабочей части круга).

Как следует из зависимости (8), уменьшение L ведет к увеличению глубины шлифования t и толщин срезов отдельными зернами круга на участке длиной L_1 . Это, в свою очередь, приводит к уменьшению условного напряжения резания σ и первого слагаемого зависимости (9).

Таким образом, уменьшая длину дуги контакта круга с обрабатываемым кольцом до значения $L \rightarrow L_1$, можно существенно уменьшить температуру

шлифования θ . Оптимальное значение длины контакта L_1 (оптимальной ширины рабочей части круга B) можно определить из зависимости

$$L_1 = V_{дет} \cdot \tau_1 = V_{дет} \cdot \frac{R_{max}}{V'_{дет}}, \quad (10)$$

где R_{max} - параметр шероховатости обработки, м.

Из зависимости (10) следует, что длина L_1 определяется параметром R_{max} и соотношением $V_{дет} / V'_{дет}$. Чем больше эти величины, тем больше должна быть длина L_1 (ширина рабочей части круга).

Анализируя зависимость (9), нетрудно видеть увеличение температуры шлифования θ с увеличением скорости круга $V_{кр}$, входящей во второе слагаемое зависимости. Этот неблагоприятный фактор, опять же, можно устранить, исключая второе слагаемое ($\tau'_0 \rightarrow 0$).

Рассмотрим влияние ширины рабочей части торцового алмазного круга на показатели шлифования.

Из зависимости (8) следует, что с увеличением длины дуги контакта круга с обрабатываемым кольцом L происходит уменьшение глубины шлифования t . Это ведет к уменьшению толщин срезов отдельными зернами круга, а также нагрузок, действующих на зерна, и износу зерен. Следовательно, применение алмазных торцовых кругов с увеличенной шириной рабочей части потенциально позволяет повысить производительность обработки и снизить износ кругов.

Кроме того, с увеличением ширины рабочей части круга B увеличивается время формирования шероховатости поверхности, что предполагает выполнение условия $\tau_0 > \tau_1$ (рис.1,в) и уменьшение параметра шероховатости обработки R_{max} .

Вместе с тем, как показано выше и, исходя из зависимости (9), с увеличением ширины рабочей части круга увеличивается температура шлифования, что нежелательно с точки зрения качества обработки. Причем, последний фактор (т.е. температура шлифования) определяется главным образом длиной дуги контакта круга с обрабатываемым кольцом L (шириной рабочей части круга).

Из этого можно заключить, что с целью уменьшения температуры шлифования ширина рабочей части круга должна быть ограничена, а регулирование производительностью, шероховатостью и другими показателями обработки должно производиться за счет варьирования остальными параметрами процесса шлифования.

С этой целью проведены экспериментальные исследования торцового шлифования алмазным кругом формы 12A2 45° 200x20x5 AC6 100/80 M1-01 4, характеризующимся увеличенными диаметром и шириной рабочей части.

Опыты проводились с применением периодической электроэрозионной правки круга. После установки круга на станок, биение круга составило 0,25 мм. Биение было устранено в течении 40 минут с применением электроэрозионной правки, т.е. продолжительность подготовки данного круга к работе су-

щественно увеличилась по сравнению с подготовкой к работе алмазного круга 12А2 45° 150x10x3.

В результате выполненных опытов установлено, что применение данного круга позволяет увеличить производительность обработки и уменьшить параметр шероховатости обработки R_a по сравнению с алмазным кругом 12А2 45° 150x10x3 той же характеристики, рис. 4.

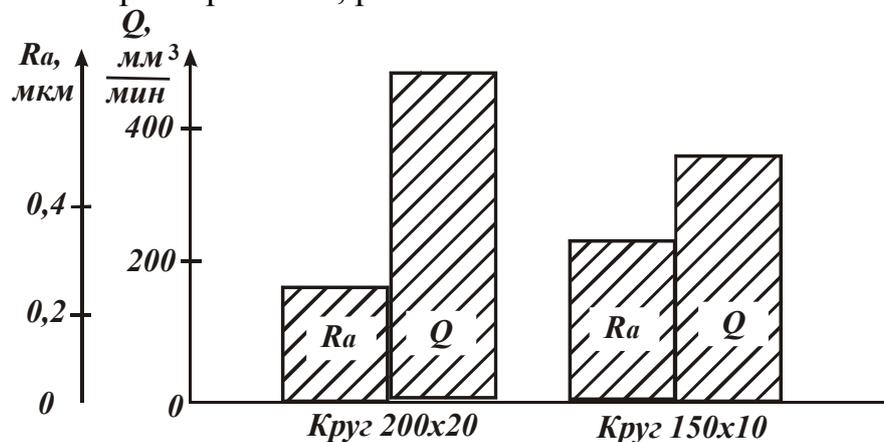


Рис. 4. Значения параметра шероховатости обработки R_a и производительности обработки Q при шлифовании алмазными кругами: 12А2 45° 200x20x5x32 АС6 100/80 М1-01 4; 12А2 45° 150x10x3x32 АС6 100/80 М1-01 4; $V_{дет}=30$ м/мин; $P_{уд}=7$ кГс/см²; $\tau = 4$ мин; СОЖ - 3%-ный раствор Na_2NO_3 .

Полученный эффект объясняется увеличением количества одновременно работающих зерен (т.к. при этом увеличивается площадь контакта круга с обрабатываемой деталью) и увеличением скорости круга вследствие увеличения его диаметра.

Опытами также установлено уменьшение величины образующихся заусенцев, что имеет чрезвычайно важное практическое значение. Это связано с уменьшением толщин срезов. Вместе с тем, при шлифовании данным кругом выявлены новые явления, которые отсутствовали при шлифовании алмазным кругом 12А2 45° 150x10x3. Это следы вибраций и прижоги на обработанных поверхностях.

Появление прижогов связано с увеличением температуры шлифования, что подтверждает теоретические решения, вытекающие из зависимости (9).

В ходе экспериментов обращалось внимание на анализ влияния скорости вращения обрабатываемого кольца $V_{дет}$ на появление прижогов. Изменение $V_{дет}$ в довольно широких пределах (до 100 м/мин) не позволило устранить прижоги, хотя параметр $V_{дет}$ входит в знаменатель первого слагаемого зависимости (9) и его увеличение должно привести к уменьшению температуры шлифования и исключению образования прижогов. Из этого можно заключить, что в формировании температуры шлифования преобладает второе слагаемое зависимости (9), т.к. при шлифовании алмазным кругом с меньшей шириной рабочей части ($B = 10$ мм) прижоги отсутствовали. Следовательно, за счет умень-

шения ширины рабочей части круга решается важная задача снижения температуры шлифования и исключения прижогов.

Появление следов от вибраций на обработанной поверхности кольца также связано с увеличением ширины рабочей части круга и появлением составляющей тангенциальной силы резания P_z' (по сути, силы трения), которая при шлифовании алмазным кругом с меньшей шириной рабочей части ($B = 10$ мм) отсутствовала и не приводила к возникновению вибраций.

Таким образом, применение торцового алмазного круга 12A2 45° 200x20x5 в целом привело к ухудшению качества обработки. Поэтому для практического использования рекомендуется торцовый алмазный круг 12A2 45° 150x10x3, исключающий образование на обработанных поверхностях следов вибраций и прижогов.

Список литературы:

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 4. “Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.
3. Ткаченко В.П. Повышение эффективности технологии прецизионной обработки уплотнительных колец из композиционного материала на основе релита: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Нац. техн. ун-т “ХПИ”. – Харьков, 2004. – 21 с.
4. Новиков Ф.В., Ткаченко В.П. Кинематика формообразования торцовой поверхности вращающегося кольца при шлифовании // Труды 7-й Международной научно-технической конференции “Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве”. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 29-33.
5. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с.