



УДК 621.923.4

© Л. Г. Вайнер, 2012

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОРЦЕШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Вайнер Л. Г. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия и машинная графика», тел.: (4212) 22-43-83, e-mail: val@mail.khstu.ru (ТОГУ)

Разработана методика расчетного определения геометрических характеристик оригинальных двухкомпонентных шлифовальных кругов для двусторонней обработки торцов деталей. Показана возможность управления структурой циклов чернового и чистового шлифования во время одного прохода заготовки. Предложенные рекомендации направлены на повышение производительности и качества обработки.

The method has been worked out for the determination of the geometrical parameters of original two-component grinding wheels for two-sided treatment of blank faces. Possibility of control of rough-and-final grinding cycle at one pass of a blank is shown. Recommendations given aim at increasing quality machining of blank surface.

Ключевые слова: двустороннее торцешлифование, двухкомпонентные абразивные круги, съем припуска, структура цикла шлифования, производительность, качество обработки.

Введение

В современном машиностроении в условиях крупносерийного и массового производства для одновременной шлифовальной обработки двух номинально параллельных плоскостей противоположных торцов детали широко используются двусторонние торцешлифовальные станки.

Реальная геометрическая форма технологического пространства, ограниченного участками рабочих поверхностей торцов АИ, в котором перемещаются обрабатываемые заготовки, определяет условия физико-механического взаимодействия инструментов и заготовки, характер съема припуска при движении заготовок вдоль траектории подачи и, соответственно, структуру цикла шлифования, силы резания, под действием которых происходят упругие смещения АИ, процесс формообразования и формирование точности торцов заготовок.

Основными факторами, определяющими форму технологического пространства, являются угловые смещения АИ в горизонтальной и вертикальной плоскостях и форма торцевой поверхности АИ, физико-механическое состояние технологического пространства определяется характеристиками применяемого АИ.

Двусторонняя торцешлифовальная операция, как правило, выполняется в несколько этапов чернового и чистового шлифования. Так в одном из вариантов технологического процесса обработки цилиндрических роликов подшипников качения 14x14 мм на двустороннем торцешлифовальном станке 3342АД предусмотрено два прохода с припусками на две стороны 0,13 мм, и 0,09 мм. При этом марки и характеристики АИ подбираются для каждого этапа в зависимости от величины снимаемого припуска и требуемых показателей точности и шероховатости обработанных поверхностей торцов. Но, поскольку для любого этапа скорость съема припуска за один проход заготовки есть величина существенно переменная [1, 2] (может изменяться от максимального значения до 0), характеристики АИ приходится выбирать очень усреднено.

В данной работе приводится описание оригинальной авторской конструкции двухкомпонентного АИ для двусторонней торцешлифовальной обработки (ДТШО), предлагается методика определения его геометрических характеристик, исходя из требуемых параметров съема припуска и заданной формы рабочих поверхностей АИ, а также приводится анализ условий повышения производительности ДТШО.

Геометрические характеристики двухкомпонентных АИ и возможности управления циклами чернового и чистового шлифования

Разделение общей зоны шлифования (траектории заготовки в процессе съема припуска) на две зоны - зону относительно высоких скоростей съема припуска и зону относительно низких скоростей съема припуска позволяет более обоснованно и точно назначать характеристики абразивных материалов на этих участках с целью оптимизации выходных характеристик качества обработанных поверхностей. Совмещение чернового и чистового шлифования в одном проходе детали повышает производительность операции ДТШО.

Необходимое конструктивное разделение зоны шлифования предложено в разработанном автором устройстве для двустороннего шлифования торцов деталей (положительное решение от 3.07.2012 г. о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2011153276 от 26.12.2011 г.) (рис. 1), содержащем два вращающихся шлифовальных круга 1, оси которых имеют угловые смещения в вертикальной α и горизонтальной γ плоскостях, и вращающийся загрузочный диск-сепаратор 2 с расположенными по окружности обрабатываемыми деталями 3. Отличительной особенностью устройства и реализуемого на его основе способа шлифования является то, что рабочая торцевая поверхность каждого шлифовального круга состоит из наружной 4 и внутренней 5 концентрично расположенных кольцевых зон с различающимися свойствами.

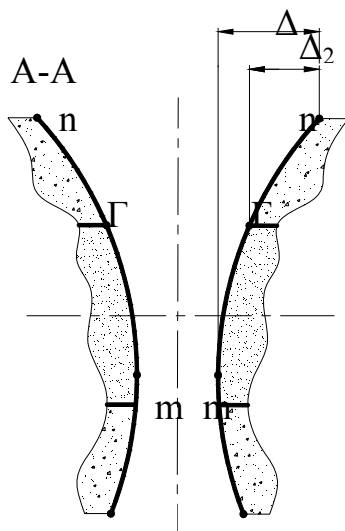
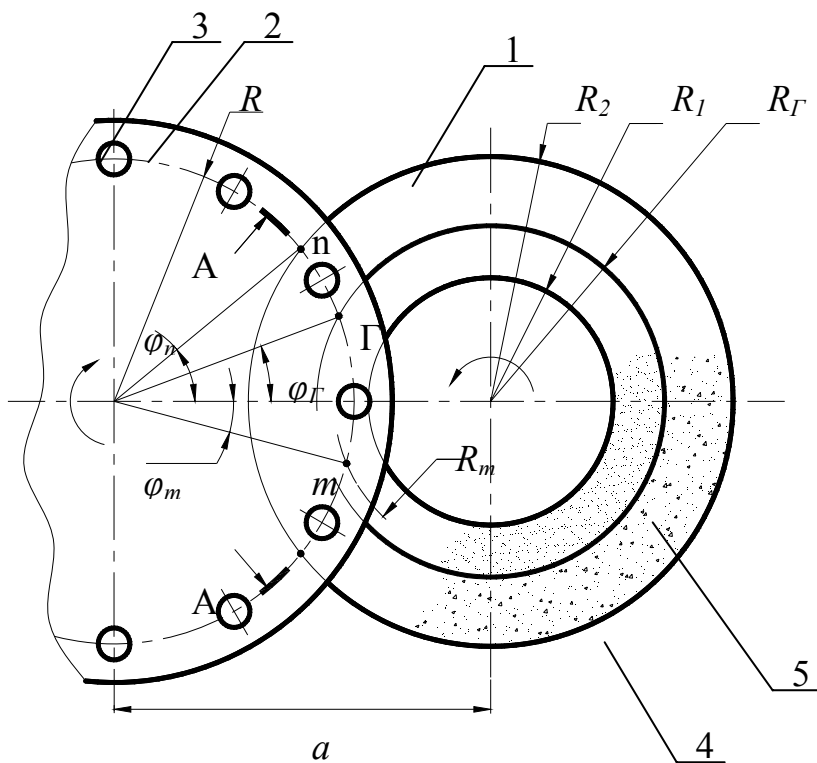


Рис. 1. К определению границы кольцевых зон двухкомпонентного АИ

На рис. 1 показана типичная форма шлифовальных кругов в их сечении А-А цилиндрической поверхностью с образующей, совпадающей с осью детали, и направляющей, совпадающей с круговой траекторией движения оси детали. Кривые, образованные в данном сечении определяют характер съема припуска с торцов заготовки.

Углы настройки α и γ подбирают таким образом, чтобы обеспечить постепенное уменьшение скорости съема припуска с торцов детали [2] при ее перемещении по круговой траектории от момента касания шлифовальных кругов в точке n до окончания съема припуска в точке m . В процессе движения вдоль траектории подачи детали проходят две зоны обработки: на участке $n-G$ – зону относительно высоких скоростей съема припуска (в дальнейшем – зону черного шлифования), образованную наружной кольцевой поверхностью торцов шлифовальных кругов шириной b_2 ; на участке $G-m$ – зону относительно низких скоростей съема припуска (зону чистового шлифования), образованную внутренней кольцевой поверхностью торцов шлифовальных кругов шириной b_1 . При этом на участке $n-G$ с торцов детали снимается черновой припуск Δ_2 , а на участке $G-m$ – чистовой $\Delta_1 = \Delta - \Delta_2$, здесь Δ – припуск снимаемый за проход заготовки с каждого торца при симметричных условиях обработки.

Наличие двух концентрично расположенных кольцевых зон с различающимися свойствами шлифовальных материалов, позволяет за один проход заготовки вести черновую и чистовую обработку разными шлифовальными материалами с оптимально подобранными для этих этапов шлифования характеристиками. Например, при применении шлифовальных материалов с такими общими для обеих зон основными характеристиками (ГОСТ 2424-83) как материал абразивных зерен – электрокорунд белый, связка – бакелитовая, структура – открытая, класс точности – А для внешней кольцевой зоны черного шлифования можно использовать шлифовальный материал с зернистостью 40 - 50 и твердостью – СТ1 - СТ2, а для внутренней кольцевой зоны чистового шлифования – с зернистостью 8-12 и твердостью СМ1- СМ2.

Геометрический расчет двухкомпонентных АИ заключается в определении ширины каждой кольцевой зоны, исходя из геометрических параметров наладки станка, формы АИ и заданного соотношения k между снимаемым черновым припуском Δ_2 и общим припуском Δ , снимаемым за один проход заготовки, при условии реализации черновой и чистовой обработки всей поверхности торца заготовки строго в пределах каждой кольцевой зоны.

Основные расчетные зависимости при параболических и плоских (частный случай) торцевых поверхностях АИ приведены ниже.

Размеры кольцевых зон АИ:

$$b_2 = R_2 - R_r; \quad (1)$$

$$b_1 = R_r - R_1, \quad (2)$$

здесь R_1 и R_2 – внутренний и наружный радиусы шлифовальных кругов;



$$R_{\Gamma} = \sqrt{a^2 + R^2 - 2RCos\varphi_{\Gamma}} \quad (3)$$

- радиус границы кольцевых зон торцов шлифовальных кругов, где R – радиус расположения заготовок в загрузочном диске-сепараторе, a – межцентровое расстояние между осями диска-сепаратора и АИ.

Угловая координата точки Γ круговой траектории заготовки, лежащей на границе кольцевых зон, φ_{Γ} определяется в результате решения трансцендентного тригонометрического уравнения, полученного из условия

$$\frac{\Delta_2}{\Delta} = k, \quad (4)$$

где k – заданное соотношение между снимаемым черновым припуском Δ_2 и общим припуском Δ , являющееся параметром распределения припуска вдоль двухкомпонентной зоны шлифования.

Текущий снимаемый припуск в точке траектории с угловой координатой φ_i определяется разностью ординат профиля АИ вдоль траектории движения оси заготовки. Так для параболоида вращения

$$\Delta_i(\varphi_i) = R(\alpha Sin\varphi_n - \gamma Cos\varphi_n - \alpha Sin\varphi_i + \gamma Cos\varphi_i + \mu Cos\varphi_i - \mu Cos\varphi_n), \quad (5)$$

здесь

$$\varphi_n = \arccos\left(\frac{a^2 + R^2 - R_2^2}{2R}\right)$$

- угловая координата точки n круговой траектории заготовки, в которой начинается съём припуска с ее торцов;

$$\mu = \frac{2c}{k_r R_2}$$

- фактор влияния кривизны параболического профиля, где c – выпуклость образующей параболы в радиальном сечении торцевой поверхности АИ – параболоида вращения; $k_r = \frac{R_2}{a}$ - параметр наладки технологической зоны

станка.

Тогда

$$\Delta_2 = \Delta_i \text{ при } \varphi_i = \varphi_{\Gamma}, \quad (6)$$

$$\Delta = \Delta_i, \text{ при } \varphi_i = \varphi_m. \quad (7)$$

Здесь

$$\varphi_m = \arctg\left(\frac{\alpha}{\mu - \gamma}\right) \quad (8)$$

- угловая координата точки m круговой траектории заготовки, в которой заканчивается съём припуска с ее торцов (определяется как угловая координата точки экстремума начальной кривой формы технологического пространства [2]);

Угловую координату φ_{Γ} найдем как положительное решение квадратного уравнения, полученного после подстановки (6) и (7) с учетом (5) в (4).

По известному значению φ_r определяется искомый радиус круговой границы кольцевых зон – R_r (3).

Найденный радиус границы кольцевых зон торцов шлифовальных кругов R_r должен отвечать условию завершения съема припуска со всей поверхности торца заготовки в пределах зоны чистового шлифования

$$R_r > R_m + r, \quad (9)$$

где r – наружный радиус торца заготовки;

$$R_m = \sqrt{a^2 + R^2 - 2RCos\varphi_m}$$

- радиус-вектор точки m круговой траектории заготовки, в которой заканчивается съем припуска с ее торцов.

По найденному (3) и скорректированному в случае необходимости (9) значению R_r определяются размеры кольцевых зон чернового b_2 (1) и чистового b_1 (2) шлифования.

Заметим, что приведенные выше зависимости справедливы и для плоских торцевых поверхностей при параметре выпуклости образующей параболы $c=0$.

Определение b_2 и b_1 поясним на частном примере.

Параметры наладки, соответствующие реальным условиям шлифования роликов подшипников с наружным диаметром 14 мм на двустороннем торцешлифовальном станке при плоских рабочих поверхностях шлифовальных кругов: $R=0,2075$ м, $R_2=0,225$ м, $R_1=0,15$ м, $a=0,365$ м, $\alpha=0,000114$ рад, $\gamma=0,00114$ рад, $\text{tg } \varphi_m=-0,1$, $\varphi_m=-6^\circ$, $\varphi_n=33,9^\circ$, $R_m=0,1605$ м, $r=0,0065$ мм. Найденные размеры кольцевых зон при разных соотношениях k между снимаемым черновым припуском и общим припуском сведем в таблицу 1.

Таблица 1

k	0,6	0,7	0,8
R_r , мм	181,8	175,1	167,7
Условие $R_r > R_m + r$	выполнено	выполнено	выполнено
b_1 , мм	31,8	25,1	17,7
b_2 , мм	43,2	49,9	67,3

На рис. 2 приведен пример кривых распределения снимаемого текущего припуска t на участках чернового 2 и чистового шлифования при $k=0,7$ (здесь θ – угловое перемещение заготовки, отсчитываемое от начала каждого участка). При этом скорость съема припуска изменяется от 0,2 мм/рад до 0,12 мм/рад на участке 2 и от 0,12 мм/рад до 0 на участке 1.

Для возможности разработки рекомендаций по проектированию двухкомпонентных шлифовальных кругов необходимо рассмотреть влияние параметров их формы и положения на размеры кольцевых зон. Принятые параметры наладки, за исключением варьируемых переменных, приведены выше.

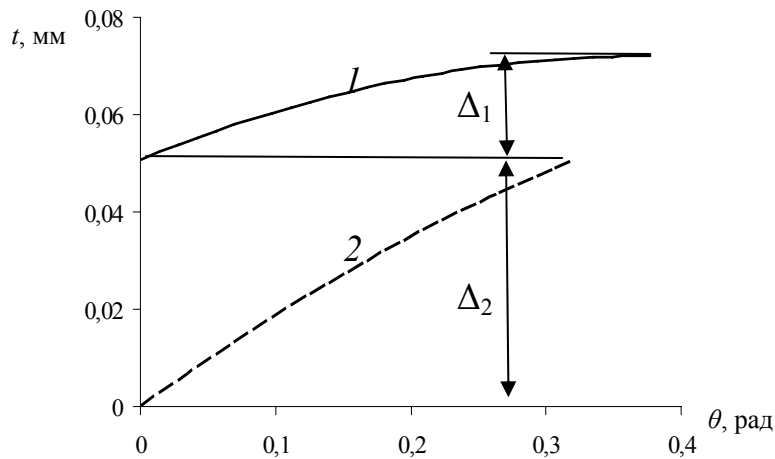


Рис. 2. Примеры кривых распределения снимаемого текущего припуска t на участках черного 2 и чистового 1 шлифования

Для большей степени обобщения введем следующие относительные характеристики: $b_o = b_2 / (b_1 + b_2)$ - относительная ширина кольцевой зоны 2 черного шлифования, α/γ - отношение угловых смещений АИ - параметр углового положения АИ.

На рис. 3, а показана зависимость относительной ширины кольцевой зоны 2 b_o от параметра настройки углового положения α/γ при неизменной форме АИ ($c=0,05$ мм) и различных заданных значениях параметра распределения припуска k .

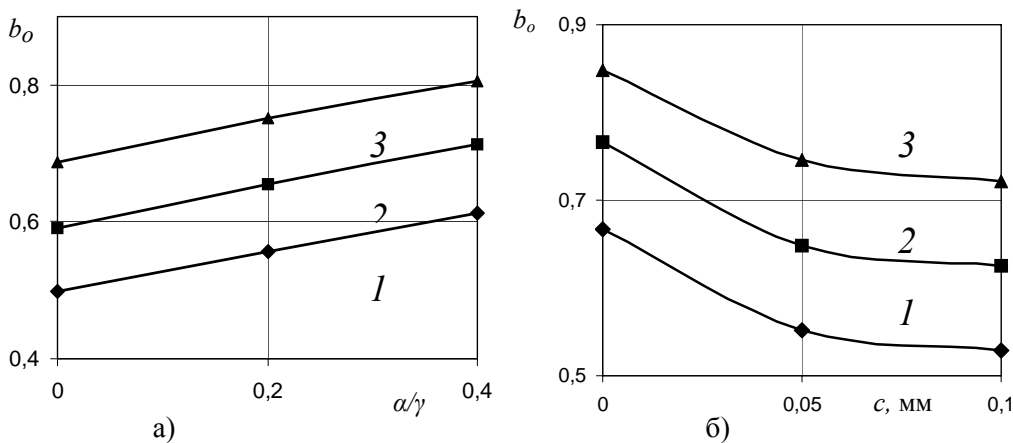


Рис. 3. Влияние отношения α/γ (а) и выпуклости параболического профиля торцевой поверхности АИ c (б) на b_o при $k=0,6$ (1), $k=0,7$ (2), $k=0,8$ (3)

Увеличение вертикального наклона АИ α вызывает дрейф точки окончания съема припуска t и, соответственно, изменение ее координаты φ_m в сторону больших (по абсолютной величине) значений, поэтому заданное значение k реализуется при больших значениях b_o . Однако, с увеличением R_m , начиная с его определенного критического значения, условие завершения съема припуска со всей поверхности торца заготовки в пределах зоны чистового шлифования (9) перестает выполняться, в результате чего приходится корректировать R_r , b_o и уменьшать зону чернового шлифования по сравнению с заданной (значения фактического параметра распределения припуска k также уменьшаются).

С увеличением выпуклости торцевой поверхности АИ c (рис. 3, б) значения относительной ширины кольцевой зоны чернового шлифования b_o для обеспечения требуемой величины параметра распределения припуска k уменьшаются. Таким образом, применение модифицированных профилей АИ (например, торцевых поверхностей в виде параболоидов вращения с регламентируемой выпуклостью) позволяет увеличить диапазон применяемых угловых смещений АИ и использовать настройку станка с большими значениями параметра распределения припуска k , т. е. реализовать требуемое рациональное соотношение между снимаемым черновым и чистовым припуском.

Сравнительная оценка производительности ДТШО с применением двухкомпонентных АИ

Для определения среднечасовой технологической производительности ДТШО Q – числа заготовок, обрабатываемых на данной операции в единицу времени (шт/ч) воспользуемся методическими рекомендациями [3].

$$Q = 60 / t_{on},$$

где t_{on} – приведенное оперативное время, приходящееся на одну заготовку, мин

$$t_{on} = t_o + t_n t^{0,4} + t_n,$$

здесь

$$t_o = \frac{2\pi Ri}{S n_n k_3}$$

- основное технологическое время при скорости подачи S , мм/мин, числе позиций заготовок в диске n_n , коэффициенте заполнения позиций k_3 , числе проходов заготовки для съема заданного припуска i ;

$$t_n = \frac{T_n t_0}{C_n}$$



- приведенное к одной заготовке время правки, где T_n – время правки АИ, зависящее от его диаметра и метода правки, C_n – период между правками, $C_n=80-120$ мин – при $i=1$, $C_n=120-150$ мин – при $i=2$;

$t_n = k_n t_o$ - приведенное к одной заготовке вспомогательное время переналадки станка с чернового на чистовое шлифование, k_n - коэффициент относительных затрат времени на переналадку станка (для ДТШО $k_n=0,15-0,3$).

При сравнительной оценке производительности рассмотрены два варианта организации технологической операции ДТШО: 1) двусторонние торцешлифовальные станки встроены в автоматическую линию, при этом черновая и чистовая обработка происходит параллельно (вариант 1); 2) черновая и чистовая ДТШО партии заготовок производится последовательно на одном станке (вариант 2). В первом случае дополнительного вспомогательного времени не требуется и $t_n=0$. Во втором случае необходима внутриоперационная переналадка станка для чистового шлифования.

Шлифование заданного припуска в один проход требует более частой правки АИ, что учитывается при выборе численных значений C_n , и может вызвать необходимость снижения на 25-50 % скорости подачи заготовок S для уменьшения сил, действующих на абразивные зерна, и увеличения времени взаимодействия материала заготовки и АИ.

На рис. 4 представлены зависимости относительной производительности $Q_o=Q_1/Q_2$ – отношения производительности совмещенной обработки в один проход при использовании двухкомпонентных АИ Q_1 к производительности обработки в два прохода Q_2 , от относительной скорости подачи $S_o=S_1/S_2$ - отношения скоростей подачи при соответствующих вариантах обработки для двух вышеназванных вариантов организации технологической операции ДТШО (кривые 1 и 2). Исходные данные: $S_2=5$ м/мин, $S_1=2,5-5$ м/мин, $R=207,5$ мм, $T_n=15$ мин, $k_n=0,25$, $k_s=1$, $n_n=40$, что соответствует условиям шлифования цилиндрических роликов на двустороннем торцешлифовальном автомате 3342 АД.

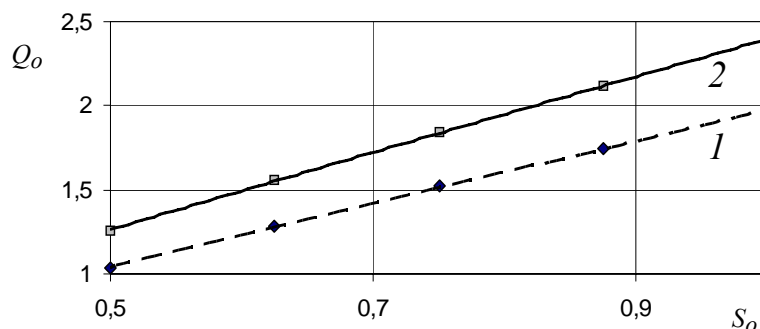


Рис. 4. Зависимость относительной производительности Q_o совмещенного шлифования от относительной скорости подачи заготовок S_o без учета (кривая 1) и с учетом (кривая 2) вспомогательного времени

**Выводы:**

1. Применение двухкомпонентных АИ открывает дополнительные возможности в управлении процессом ДТШО.

2. Предлагаемое разделение рабочей торцевой поверхности инструмента на две кольцевые зоны позволяет подобрать оптимальные характеристики шлифовальных материалов для совмещенных в одной технологической операции двух этапов цикла шлифования торцов деталей – этапа шлифования с относительно высокими скоростями съема припуска и этапа шлифования с относительно низкими скоростями съема припуска и выхаживанием, что повышает точность и качество обработанных торцевых поверхностей.

3. Рассмотренная расчетная методика позволяет при вариациях параметров формы и положения АИ реализовать заданное соотношение между величинами снимаемого припуска при черновом и чистовом шлифовании и обеспечить окончание процесса (выхаживание) по всей обрабатываемой поверхности строго в пределах соответствующей кольцевой зоны.

4. Геометрическая модификация профилей АИ делает возможным реализацию требуемого рационального соотношения между снимаемым черновым и чистовым припуском при расширенном диапазоне применяемых угловых смещений АИ.

5. Реализованная в предлагаемом способе торцешлифовальной обработки возможность совмещения чернового и чистового шлифования за один проход детали повышает ее производительность в 1,1-2,3 раза в зависимости от технологических и организационных условий.

Библиографические ссылки

1. Вайнер Л. Г. Характер вращения роликов и точность обработки при двустороннем торцешлифовании // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2010. - № 4(19). - С. 111-120.
2. Вайнер Л. Г. Определение параметров технологического пространства при двусторонней торцешлифовальной обработке // Вестник машиностроения. 2011. - № 12. - С. 72-77.
3. Эльянов В. Д., Кочуров В. Е., Сигов А. В. Особенности назначения режимов шлифования // Производство подшипников. 1998. - №2 (10). – С. 57-82.