

## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ПРАВЯЩИХ РОЛИКОВ В ПОДШИПНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*С.Д. Шапошников, Е.А. Якубович*

Самарский государственный технический университет  
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: ensave@samgtu.ru

*Рассматриваются оптимальные условия применения перспективного вида правящего инструмента.*

**Ключевые слова:** алмазный ролик, правка, подшипник.

В настоящее время в подшипниковой промышленности почти повсеместно на операциях врезного шлифования дорожек качения применяется правка с помощью единичного алмаза, заключенного в специальную оправу. Привод оправы с алмазом осуществляется с помощью специального устройства, обеспечивающего правящему инструменту перемещение по дуге окружности. Острие алмаза перемещается вдоль образующей шлифовального круга со скоростью поперечной подачи  $S_n$ , при этом с круга снимается слой абразива величиной  $t$ . Для полного восстановления режущей способности шлифовального круга алмаз может в зависимости от величины износа круга совершать один или несколько двойных ходов вдоль образующей; в завершение правки круг выхаживают, т. е. дают алмазу поперечную подачу, не подавая его на глубину. Алмаз также в процессе правки должен совершать примерно равный перебеги в обе стороны.

Отмечая возможность достижения высокой точности профилирования кругов рассматриваемым методом правки, необходимо обобщить присущие ему недостатки:

- 1) большое время, затрачиваемое собственно на правку, и невозможность совмещения его со временем шлифования;
- 2) малая стойкость правящих алмазов при их высокой стоимости;
- 3) невозможность получения точного профиля при правке алмазным карандашом;
- 4) необходимость применения сложных копирных устройств в случае правки сложных криволинейных поверхностей (например весь профиль кольца шарико-подшипника).

Все это обуславливает необходимость применения на операции шлифования дорожек качения колец подшипников другого вида инструмента, свободного от перечисленных недостатков. Им является профильный правящий инструмент – алмазный правящий ролик (АПР). Причиной этому являются те неоспоримые преимущества, какие имеет этот вид правки перед правкой шлифовальных кругов единичным правящим инструментом.

Во-первых, это очень высокая стойкость АПР. Большое количество алмазов вызывает появление на поверхности ролика большого числа режущих граней. Второй положительной особенностью является очень малое время, затрачиваемое на правку

---

*Сергей Дмитриевич Шапошников (к.т.н., доц.), профессор кафедры «Автоматизация производств и управления транспортными системами».*

*Ефим Абрамович Якубович (к.т.н., доцент), проректор по международному сотрудничеству.*

АПР. В-третьих, с помощью АПР или блока АПР имеется возможность производить правку всей профильной поверхности шлифовального круга врезанием без применения каких-либо копирных устройств. При этом достигается высокая стабильность обработки, т. к. точность и качество поверхности шлифуемых деталей находятся в прямой зависимости от точности и качества рабочей поверхности правящего ролика.

Из числа других положительных особенностей применения данного правящего инструмента можно отметить применение для изготовления АПР как более дешевых мелких природных, так и синтетических алмазов, высокую стабильность АПР при правке, простоту наладки шлифовальных станков, снабженных таким видом правящего инструмента, возможность резкого упрощения конструкции станка и др.

Однако до настоящего времени вопросы, связанные с влиянием правки АПР на точность и качество шлифуемых поверхностей, изучены недостаточно. Соответственно АПР применяются только в процессах, не требующих высокой точности обработки. Вместе с тем известно, что применение АПР при шлифовании беговых дорожек буровых долот позволило повысить точность обработки до 51 %, повысить чистоту шлифуемых поверхностей на 1,5-2 класса, увеличить производительность шлифования в 3,53 раза.

Данные обстоятельства позволили повысить проходку долот на 14 % и увеличить механическую скорость долота на 30 %. Точность профиля АПР, применяемых при этом процессе, составляет 15-20 мкм.

Применению АПР в подшипниковой промышленности препятствует требование высокой точности профиля обрабатываемых колец, которая не обеспечивается точностью профиля изготовленных роликов. Современные методы изготовления АПР не предусматривают точности изготовления их профиля выше 10-20 мкм, чего явно недостаточно для профилирования колец с точностью профиля 2-5 мкм. Другим фактором, сдерживающим применение АПР в подшипниковой промышленности, является недостаточная стабильность профиля АПР в процессе их эксплуатации.

Анализируя вышесказанное, можно сформулировать комплекс мероприятий, выполнение которых позволит оптимизировать применение алмазных роликов в подшипниковой промышленности и обеспечить требуемые параметры обработки.

Во-первых, это выбор перспективного способа обработки рабочей поверхности АПР. Обеспечение высокой точности профиля и режущих способностей АПР сопряжено со значительными трудностями, которые связаны с выбором их способа обработки, инструмента и режимов.

Оптимизация способа и режимов обработки с целью стабильного обеспечения необходимой точности профиля и высоких режущих свойств АПР включает два последовательных этапа:

а) экспериментальный подбор способа и инструмента для обработки АПР на основе косвенной оценки получаемой точности профиля ролика и его режущих свойств;

б) разработка специальной методики, позволяющей оценивать точность формообразования и режущую способность АПР при обработке их рабочей поверхности выбранным способом.

На рис. 1 представлена структурная схема разработанных способов обработки поверхности АПР. В основу классификации положено разделение способов по кинематическим движениям обрабатывающего инструмента на две группы, каждая из которых, в свою очередь, подразделялась в зависимости от типа применяемого инструмента.

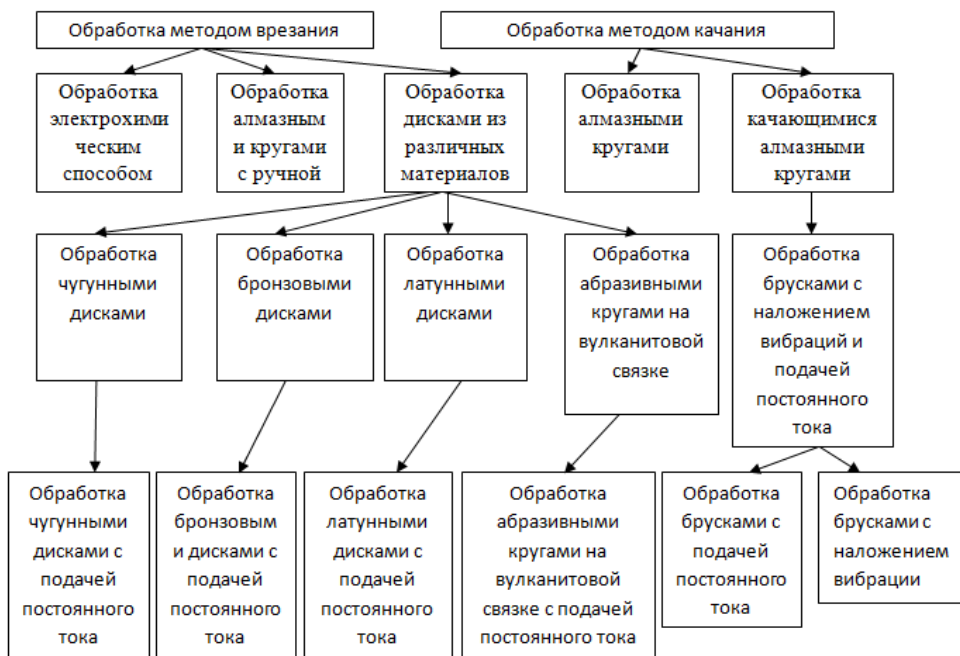


Рис. 1. Классификация способов обработки поверхности АТР

Критериями оценки эффективности способов обработки поверхности правящих роликов являлись:

а) достигаемая точность обработки профиля, которая оценивалась по погрешности профиля дорожек качения колец при их шлифовании абразивным кругом, правка которого осуществлялась АТР;

б) режущая способность ролика, которая оценивалась косвенно по мощности в цепи электродвигателя привода шлифовального круга.

При сравнительной оценке способов обработки использовались АТР, изготовленные только методом укладки, так как после предварительных испытаний выяснилось, что этот тип роликов обладает наилучшими стойкостными качествами.

Наиболее эффективным оказался способ обработки АТР на специальном стенде методом качания. При правильном подборе технологических режимов обработки точность профиля обрабатываемого АТР и его режущая способность вполне удовлетворяют необходимым требованиям. Метод качания является наиболее эффективным при обработке рабочих поверхностей АТР и может быть использован в качестве основного способа обработки.

Технологические возможности выбранного способа обработки рабочей поверхности АТР оцениваются по специальной методике, позволяющей оценивать критерии его эффективности – точность профиля и режущую способность ролика до и после обработки.

Для контроля точности обработки рабочей поверхности АТР используется оптическая система оптикошлифовального станка, обладающая высокой четкостью и высокой разрешающей способностью.

На проекционном экране станка помещается шаблон, с помощью которого производится анализ исходного (перед обработкой) и всех последующих состояний профиля рабочей поверхности в процессе обработки. На шаблоне имеется ряд концентрических полуокружностей, наименьший радиус которых равен увеличенному в 50 раз минимальному радиусу профиля дорожки качения кольца того типоразмера,

для обработки которого изготовлен АПР. Последующие полуокружности выполняются через равные интервалы (также увеличенные в 50 раз), сумма которых не превышает величину допуска на радиус профиля обрабатываемого кольца. Профиль каждого из выделенных сечений проектируется через оптическую систему на экран. Изображения всех сечений АПР, совмещенные с шаблоном, позволяют подсчитывать и измерять (зная увеличение оптической системы оптикошлифовального станка) количество алмазных зерен и длину отсекаемых ими участков на соответствующих уровнях (рис. 2).

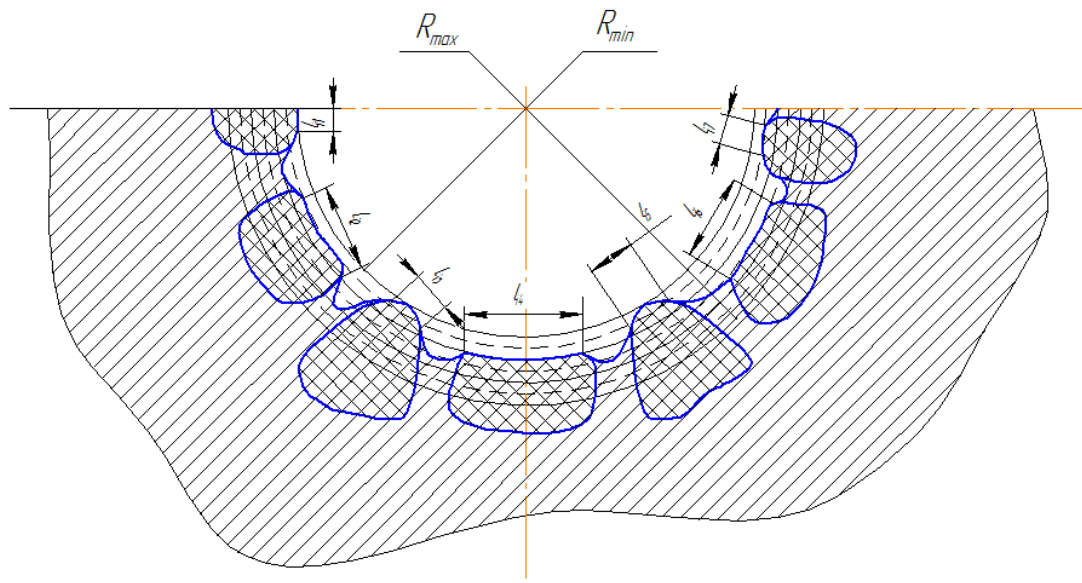


Рис. 2. Метод определения искажения профиля рабочей поверхности АПР

Количество алмазных зерен, подвергающихся обработке на всей поверхности АПР на  $i$ -уровне:

$$N_i = b_i \cdot \frac{N}{p} = N \cdot \frac{\sum_{k=1}^q n_i^{(k)}}{p^2 \cdot q},$$

где  $b_i = \frac{\sum_{k=1}^q n_i^{(k)}}{p \cdot q}$  – относительная величина, характеризующая количество алмазных зерен, подвергающихся обработке на  $i$ -уровне по всем сечениям  $k$ ;

$N$  – общее количество видимых алмазных зерен на рабочей поверхности АПР;

$p$  – среднее количество алмазных зерен на площади  $f_{\delta}$ .

Относительное количество алмазных зерен, подлежащих обработке на  $i$ -уровне:

$$\beta_i = \frac{N_i}{N} \cdot 100\%$$

Значения  $L_i$ ,  $N_i$ ,  $\beta_i$  определяются для всех  $S$ -уровней, и строятся графики их изменения в зависимости от номера уровня. Построенные характеристики  $L_i$ ,  $N_i$ ,  $\beta_i$  позволяют дать сравнительную оценку рабочей поверхности АПР при различных видах ее обработки. Величина  $\beta_i$  позволяет определить количество алмазных зерен, которые необходимо обработать при тех или иных глубинах (уровнях).

Вторым основным требованием, предъявляемым к обработке поверхности АПР, является обеспечение высоких режущих свойств АПР. Выполнение этого требования

возможно при выборе такой глубины обработки, чтобы при получении точности профиля в заданных пределах обработке подвергалось минимальное число алмазных зерен. Необходимость этого условия продиктована тем, что вследствие особенностей принятого способа обработки на зернах образуются площадки, при увеличении числа которых снижается режущая способность АПР. Избежать этого можно выбирая оптимальную глубину обработки рабочей поверхности АПР.

Для оценки режущей способности ролика после обработки его поверхности с предварительно выбранной глубиной приняты следующие критерии:

- а) мощность, потребляемая электродвигателем привода абразивного круга при шлифовании колец с правкой обработанным АПР;
- б) стойкость абразивного круга между правками;
- в) производительность шлифования колец.

Подготовленные вышеприведенным способом АПР во многом определяют точность и качество обрабатываемых колец подшипников. Поэтому оценка этих параметров, полученных в результате применения доведенных роликов, является важным элементом, позволяющим оптимизировать условия внедрения АПР.

Точность шлифования может быть оценена по параметру «гранности», т. к. эта величина является определяющей при эксплуатации собранных подшипников. Для анализа «гранности» выполняются следующие задачи:

- а) представление в виде математической модели суммарной «гранности» обрабатываемых поверхностей колец подшипников при шлифовании с правкой АПР и ее гармоническое разложение на специальной аппаратуре;
- б) исследование вида «гранности» и ее количественная оценка при данном процессе обработки.

Для решения этих задач может быть использована аппаратура, состоящая из анализатора гармоник и специальной приставки, позволяющей производить разложение в декартовых координатах и путем нахождения корреляционных связей оценивать передаваемую через АПР точность обработки.

Оценка качества обработки с применением АПР может быть выполнена анализом состояния поверхностного слоя обрабатываемой поверхности. Это исследование величины и характера остаточных напряжений шлифуемых поверхностей, состояния микротвердости, рентгеноструктурный анализ и другие методы.

Заключительным этапом являются сравнительные стендовые испытания подшипников с шлифованием колец с правкой рассматриваемым и традиционным методами.

Данные испытания проводились с целью установления сравнительной работоспособности двух подшипников 306 (подшипник ступиц автомобильных колес), у которых внутренние кольца были прошлифованы с правкой кругов единичным алмазом и АПР.

Дорожки качения внутренних колец, прошлифованных с правкой круга единичным алмазом (первая партия), обрабатывались с заводскими технологическими режимами. Шлифование с правкой круга АПР (вторая партия) велось на экспериментально подобранных режимах:  $V_{\text{шл}} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $S_{\text{шл}} = 6 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ .

Подшипники первой партии в количестве 25 штук были замаркированы порядковыми номерами от 30 до 55, а подшипники второй партии в том же количестве (25 штук) были замаркированы соответственно от 1 до 25. Обе партии подшипников были замерены в собранном виде по следующим параметрам:

- а) наружный диаметр;
- б) внутренний диаметр;

в) биение согласно ГОСТ 520-71;

г) радиальный зазор.

Из обеих партий на стендовые испытания после замера приведенных параметров были поставлены 20 подшипников первой партии и 20 подшипников второй партии.

Испытания проводились на стендах ЦКБ-72 на следующих режимах:  $R = 250$  кг;  $n = 10000$  об/мин;  $n_{расч} = 45$  ч;  $C_g = 752$  кг. Все поставленные на испытания подшипники выстояли расчетную норму. Результаты испытаний представлены на рис. 3.

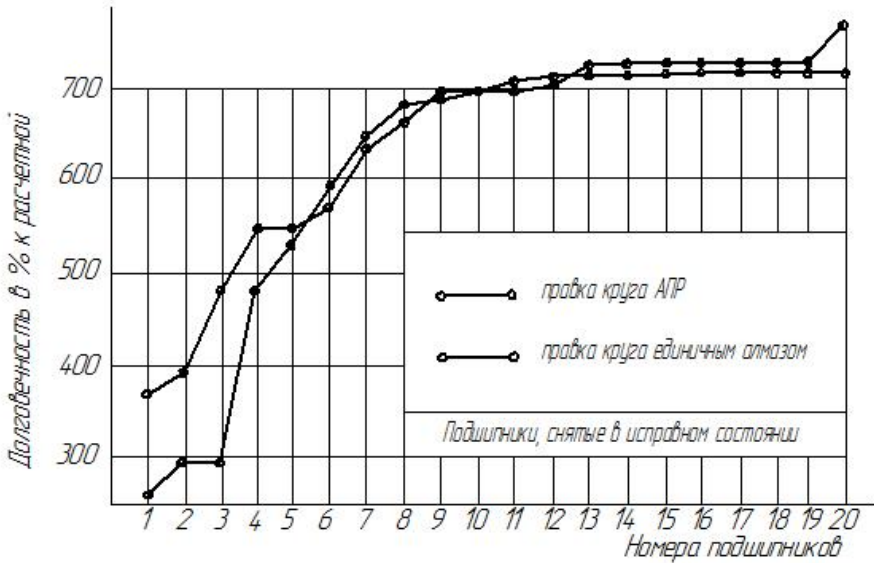


Рис. 3. Сравнительная долговечность подшипников 306 с обработкой желобов внутренних колец по существующей технологии и с правкой круга АПР

В обеих партиях основной причиной выхода подшипников из строя явилось выкрашивание на дорожках качения внутренних колец. В партии 1, кроме того, имеются три случая выкрашивания на шарах.

Все виды разрушений на деталях подшипников носят усталостный характер и не связаны с качеством металла и термической обработкой. Анализ результатов испытаний производится по методике ВНИПП М37.006.022-72 путем определения 90%-го и 50%-го ресурсов  $L_{90}$  и  $L_{50}$  для обеих партий подшипников. Указанные ресурсы определяются из трехпараметрического распределения Вейбулла:

$$F(L) = 1 - e^{-\left(\frac{L-a}{b}\right)^k}$$

где  $F(L)$  – функция распределения долговечности;

$a$  – параметр начального сдвига, означающий, что при  $L=a$  возможность отказа подшипников исключается;

$b$  – параметр масштаба кривой распределения;

$k$  – параметр формы кривой распределения.

На рис. 4 представлены функции надежности для обеих испытанных партий подшипников.

Из приведенного графика видно, что партия подшипников 2 по сравнению с партией 1 имеет более высокий ресурс при значениях вероятности безотказной работы, превышающих 0,65. Подшипники с обработкой дорожек качения внутренних

колец с правкой кругов единичным алмазом имеют 90%-й ресурс – 159 часов, т. е. 353 % от расчетной долговечности, а подшипники 2-й партии (правка кругов АПР) – 202 часа, т. е. 449 % от расчетной долговечности. Поскольку ГОСТ 520-71 регламентирует для подшипников 90%-й ресурс, на основе анализа проведенных испытаний следует считать, что правка кругов АПР при шлифовании дорожек качения внутренних колец позволяет повысить ресурс и надежность подшипников.

Таким образом, в статье изложен комплекс мероприятий, позволяющих оптимизировать процесс внедрения на предприятиях подшипниковой промышленности перспективной технологии шлифования колец подшипников с правкой абразивных кругов алмазным правящим роликом. Как показывают стендовые испытания, новый техпроцесс позволяет увеличить ресурс автомобильных подшипников.

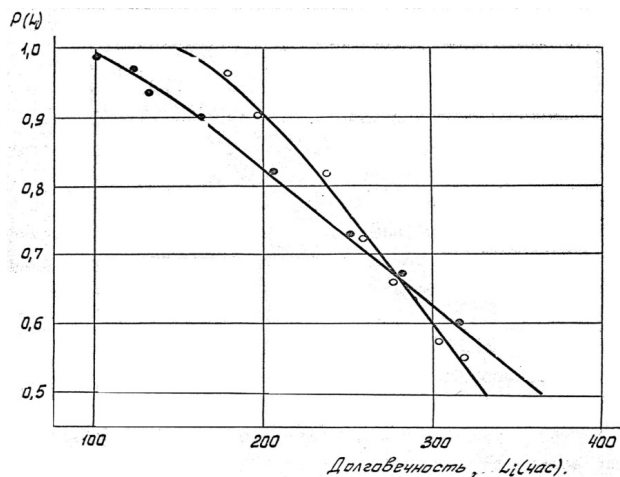


Рис. 4. Функции надежности двух партий подшипников 306:

○ – обработка желобов внутренних колец с правкой круга АПР; ● – обработка желобов внутренних колец по существующей технологии с правкой круга единичным алмазом

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абразивная обработка: Учеб. пособие / С.С. Никифоров, В.Н. Попов, В.Н. Байкалова, В.В. Стрельцов; Моск. гос. агроинж. ун-т. – М.: Изд-во МГАУ, 1998. – 88 с.: ил., табл.
2. Ермаков Ю.М. Перспективы эффективного применения абразивной обработки: Обзор / Ю.М. Ермаков; НИИ информации по машиностроению. – М.: НИИмаш, 1982. – 57 с.: ил.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2012 г.

## OPTIMIZATION OF THE CONDITIONS OF USE THE DIAMOND CORRECTION ROLLER IN BEARING INDUSTRY

*S.D. Shaposhnikov, E.A. Yakubovich*

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

*The optimal conditions of use perspective type of the correction tool are submitted.*

**Keywords:** *diamond roller, correction, bearing.*

*Sergey D. Shaposhnikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Efim A. Yakubovich (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*