

# АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОТЕРЬ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Лазарев Д.С., Гусев В.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г. Донецк,)

*Аннотация.* В статье проанализированы математические модели, описывающие процессы потери режущей способности алмазного шлифовального круга и восстановления ее при правке свободным абразивом.

*Ключевые слова:* шлифование, правка, алмазный шлифовальный круг, свободный абразив.

## Введение

Основным видом механической обработки керамики, обладающей высокой твердостью и хрупкостью, является шлифование алмазными шлифовальными кругами (АШК). Применение АШК обеспечивает значительный рост производительности труда, снижение затрат и повышение эффективности производства при достижении высоких эксплуатационных свойств обработанных поверхностей [1].

Шлифование представляет собой процесс взаимного разрушения и износа контактирующих поверхностей протекает в виде скалывания, истирания и вырывания частиц керамики, алмазных зерен связки. Главные показатели работы АШК — необходимые точность и качество поверхности шлифования при высокой производительности, определяемой съемом материала. Между тем эти параметры не остаются постоянными в процессе шлифования, так как происходит изменение режущих свойств круга. Зерна шлифовального круга, участвующие в работе, испытывают периодическое силовое, тепловое и химическое воздействие в момент контакта с обрабатываемой заготовкой. В результате этого, режущие кромки зерен истираются или скалываются, происходит вырывание целых зерен из связки круга. Неравномерный износ АШК приводит к искажению его формы, изменяются его режущие свойства. Все выше перечисленные явления в той или иной мере влияют на качество обрабатываемой поверхности. Выбор рациональных условий алмазного шлифования невозможен без анализа изменения состояния рабочей поверхности круга (РПК) во времени.

Правка – процесс восстановления режущей способности шлифовального круга (ШК) и правильной геометрической формы инструмента. Правке подвергается вновь устанавливаемые на станок инструменты и затупившиеся в процессе работы. На правку расходуется от 45% до 80% полезного объема ШК. Затраты на правку могут достигать до 40% штучного времени обработки и более. Вопросам правки алмазных шлифовальных кругов посвящено значительное количество исследований [2, 3, 4]. В данное время наиболее известны способы правки, основанные на: механических, химических, физических и комбинированных воздействиях на РПК.

Электрохимические методы воздействия на РПК применяются с использованием электрического тока и химического воздействия. Правка такими способами характеризуется высокой точностью, применима для кругов на металлической и металлоорганической связке [5]. Электрофизические методы воздействия на РПК, в частности правка электроэрозией, способны обеспечить необходимую режущую способность круга. Для осуществления правки требуется правящий инструмент (электрод), достаточно простой в конструктивном исполнении. Суть метода состоит

в испарении частиц связки круга с поверхности абразивного инструмента импульсным током.

Несмотря на достоинства физического и химического способов правки, необходимо отметить и присущие им недостатки [6]:

- необходимость модернизация существующего оборудования;
- сложная реализация в производственных условиях;
- большие энергозатраты;
- сложность при соблюдении правил техники безопасности в условиях повышенной влажности в зоне работы станочника;
  - наличия электрических разрядов большой силы тока;
- невозможность использования этих способов для кругов на неметаллической связке.

Альтернативой электроэрозионному способу правки выступают многочисленные механические способы правки. Механическую правку кругов осуществляют различными методами:

- обтачиванием режущей поверхности правящими инструментами из сверхтвердых материалов (алмазами в оправках, алмазными иглами, алмазными карандашами);
- шлифованием режущей поверхности правящими кругами;
- правка свободным абразивом.

Все эти способы направлены на исправление геометрии инструмента, который подвергается правке, и создание необходимого микропрофиля рабочей поверхности круга РПК. Из перечисленных способов правки шлифовальных кругов видно, что их существует довольно большое количество. Наиболее простым и эффективным управляющим воздействием является разновидность механического метода, к которому относится правка свободным абразивом. Этот метод отличается, по сравнению с другими механическими методами правки, более мягким воздействием на алмазные зерна круга и большей избирательностью воздействия на связку круга.

При правке круга свободным абразивом (рис. 1), через отверстие в притире подается смесь в виде суспензии или карандаша, состоящая из абразивных зерен и связки. При вращении шлифовального круга в зазор между кругом и притиром попадает абразив, который увлекается поверхностью круга. В процессе перекатывания зерна свободного абразива в рабочей зоне притира и их шаржирования в него связка круга удаляется, при этом за алмазным зерном образуются «подпорки».

Достоинства метода [7,8]:

- производительность правки свободным абразивом в 2-3 раза выше, чем при правке другими механическими методами;
- затрата абразива в 6 раз ниже;
- позволяет интенсифицировать процесс с минимальной затратой абразивного материала.

К недостаткам можно отнести:

- необходимость в специальном устройстве для реализации;
- информации о назначении режимов правки для достижения наибольшей производительности процесса недостаточно;
- при обработке детали существует возможность ухудшения качества поверхности обрабатываемой детали при попадании на нее зерен абразива.

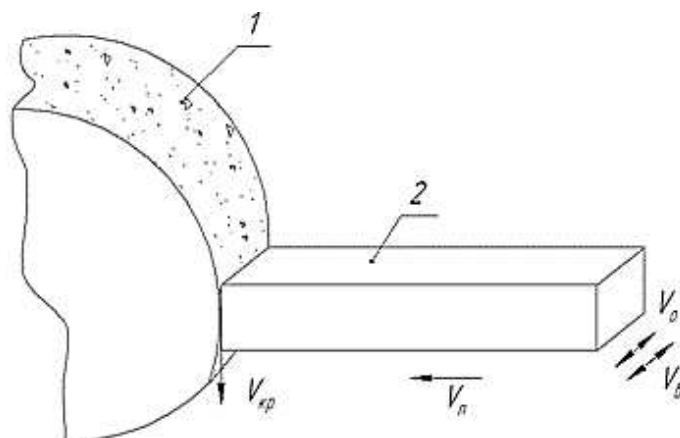


Рис. 1 – Способ правки свободным абразивом: 1 – АШК; 2 – притир;  $V_{кр}$  – скорость вращения круга;  $V_{п}$  – скорость радиального перемещения притира;  $V_{о}$  – скорость возвратно-поступательного движения притира вдоль образующей шлифовального круга;  $V_{в}$  – скорость движения притира при его высокочастотных колебаниях

По такому принципу создано большое количество способов правки:

- с движущимся возвратно-поступательно притиром;
- с вращающимся притиром;
- с дополнительным высокочастотным колебанием притира.

В качестве связующего вещества для свободного абразива могут выступать:

- полусвязанные абразивные зерна в виде бруска;
- жидкая связка.

**Цель работы и задачи исследования.** Анализ математических моделей, которые описывают процессы потери режущей способности алмазного шлифовального круга и восстановления ее при правке свободным абразивом.

### Основное содержание работы

Правка свободным абразивом довольно сложный технологический процесс, который направлен на восстановление режущей способности круга. Процесс управляющих воздействий свободного абразива – можно представить как процессы абразивного износа связки ШК и притира. Во время правки возникает большое количество факторов, которые влияют на выполняемую операцию. Процесс работы АШК можно разделить на 2 этапа:

- 1) Этап обработки заготовки с потерей режущей способности круга;
- 2) Процесс восстановления режущей способности круга (правка круга).

Вопросом моделирования потери режущей способности РПК и ее восстановления занималось много исследователей. К таким исследованиям относится работа [9], в которой шлифовались образцы из твердого сплава ВК15 кругами 1А1 40×16×10×3 АС6-4-М2-01, зернистостью 100/80, 125/100, 200/160. Для восстановления режущей способности круга использовали периодическое электроэрозионное воздействие (ЭЭВ). В результате экспериментов было установлено, что изменение текущей режущей способности кругов  $Q(\tau)$  при шлифовании без ЭЭВ описываются экспоненциальными зависимостями вида:

$$Q(\tau) = Q_{уст} + \Delta Q \cdot \exp(-\beta_Q \cdot \tau) \quad (1)$$

где  $Q(\tau)$ ,  $Q_{исх}$ ,  $Q_{уст}$  – соответственно текущее, исходное и установившееся значение режущей способности круга;  $\Delta Q = Q_{исх} - Q_{уст}$  – амплитуда снижения режущей способности,  $мм^3/мин$ ;  $\beta_Q$  – эмпирический коэффициент,  $1/мин$ ;  $\tau$  – продолжительность шлифования,  $мин$ .

При восстановлении режущей способности РПК за счет ЭЭВ, повышение режущей способности РПК и рост текущего расхода алмазов описывается линейными зависимостями вида [8]:

$$Q_{ЭЭВ}(\tau) = K_Q \cdot \tau + B_Q \quad (2)$$

Коэффициенты уравнений (1) – (2) для исследуемых алмазных кругов, описывающие закон изменения текущей лимитированной режущей способности и расхода алмазов в процессе шлифования и шлифования с восстановлением режущей способности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составляющие уравнений (1), (2), описывающие закон изменения текущей лимитированной режущей способности круга в процессе шлифования без ЭЭВ и шлифования с восстановлением режущей способности с помощью ЭЭВ в зависимости от зернистости алмазных зерен [9]:

Зернистость круга	Шлифование без ЭЭВ			Правка с ЭЭВ	
	Установившееся значение режущей способности $Q_{уст}$ , $мм^3/мин$	Амплитуда снижения режущей способности $\Delta Q$ , $мм^3/мин$	Показатель степени $\beta_Q$	Интенсивность восстановления режущей способности $K_Q$ , $мм^3/мин$	Свободный коэффициент $B_Q$ , $мм^3/мин$
100/80	40	371,1	-0,24	384,3	35
125/100	30	409,2	-0,28	732,1	25,4
200/160	20	400,1	-0,13	250,4	17,5

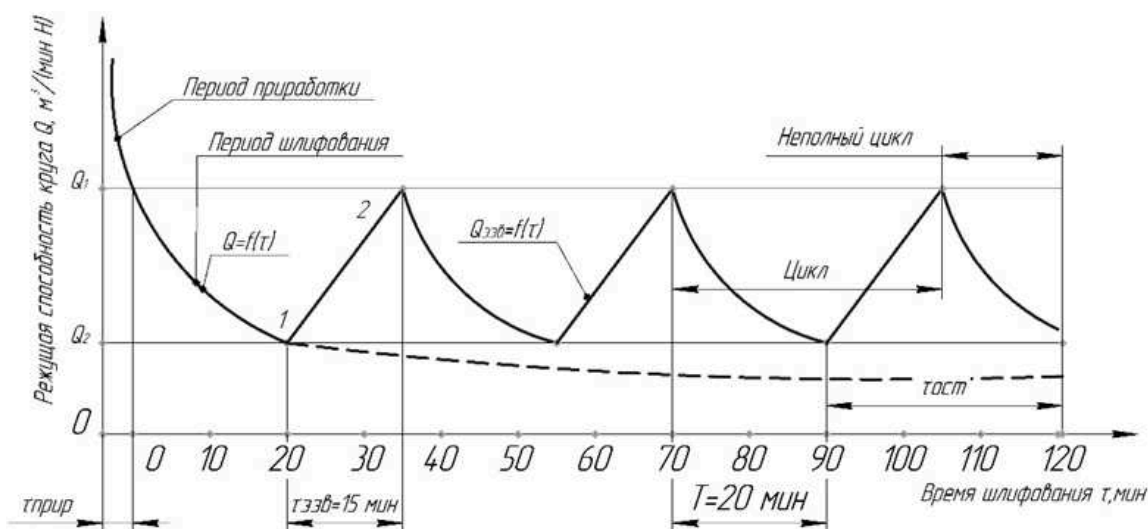


Рис. 2 - Изменение во времени текущей режущей способности круга с применением ЭЭВ [8]

Промежуток времени  $0 - \tau_1$  соответствует этапу приработки РПК, сформированного в процессе электроэрозионной правки. Этап приработки характеризуется наибольшим значением режущей способности РПК и интенсивным износом рабочего слоя круга. Этап приработки считается законченным, когда текущая режущая способность круга достигает определенного значения  $Q_1$ .

Этап  $\tau_1 - \tau_2$  описывает изменение текущей лимитированной режущей способности круга в процессе шлифования. Значение времени  $\tau_2$  соответствует значению режущей способности круга  $Q_2$ , при достижении которого начинается восстановление режущей способности круга.

Этап  $\tau_2 - \tau_3$  описывает изменение текущей режущей способности круга при введении ЭЭВ в зону резания одновременно с процессом обработки. При этом происходит восстановление режущей способности круга от значения  $Q_2$  до  $Q_1$ . Данный период характеризуется интенсивным ростом режущей способности за счет удаления продуктов засаливания круга и частиц связки, что приводит также к интенсификации расхода рабочего слоя круга.

В момент времени  $\tau_3$ , когда текущая режущая способность круга достигает исходного заданного значения  $Q_1$ , введение ЭЭВ прекращается и круг продолжает работу в режиме обычного шлифования до очередного падения режущей способности до уровня  $Q_2$ , после чего цикл повторяется [8].

При обработке керамики [9] восстановление режущей способности производили правкой круга свободным абразивом. Режущая способность измерялась при реализации упругой схемы шлифования, путем поджатия образца из ситалла АС-370 ( $K_{1c}=2,1\pm 0,1$  МПа·м<sup>1/2</sup>) к поверхности ШК 1А1 200x76x10 250/200 А2-4-М2-01 с постоянным усилием 41,5 Н. Изменение режущей способности круга адекватно описывается следующей зависимостью [9]:

$$Q(\tau) = \frac{1}{a \cdot \exp(-b\tau - c)} + \frac{1}{Q_{np}}, \quad (3)$$

где  $a$  - коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала и характеристики инструмента, определяет нижнюю границу режущей способности ШК при принятых условиях обработки;  $b$  - коэффициент, зависящий от технологического регламента правки, определяет интенсивность правки;  $c$  - коэффициент, зависящий от исходного состояния РПК перед правкой (степени его износа), определяет длительность времени правки, необходимую для достижения кругом предельной режущей способности;  $Q_{np}$  - предельная режущая способность круга при принятых условиях ее определения, зависящая от характеристики круга и физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $Q_{np}$  определяются экспериментальным путем для конкретных условий обработки и правки.

График, описывающий изменение режущей способности круга за исследуемое время обработки при шлифовании с периодическими воздействиями на РПК свободного абразива (рис. 3).

Промежуток времени  $0 - \tau_1$  представляет собой длительность работы предварительно заправленного круга  $T'$  до начала правки свободным абразивом с целью восстановления режущей способности РПК. Он содержит период приработки  $0 - \tau_{np}$ , характеризуемый быстрой потерей режущей способности за счет выпадения из связки

наиболее выступающих зерен, и период 1 длительностью  $\tau_{пр} - \tau_1$ . В этот период режущая способность круга продолжает уменьшаться, но с меньшей интенсивностью.

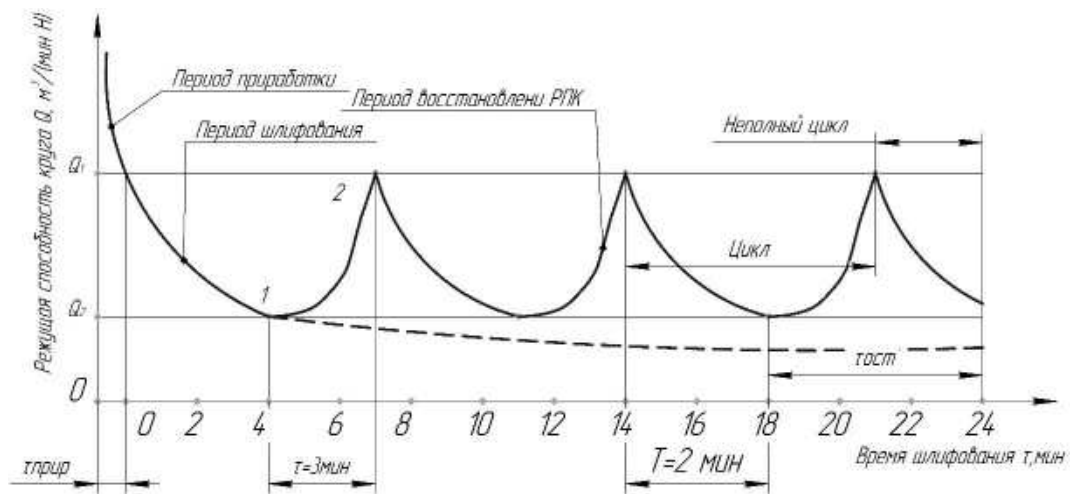


Рис. 3 - Изменение режущей способности круга при шлифовании с периодическим управляющим воздействием свободного абразива на РПК [9]

Изменения текущей режущей способности круга  $Q_1(\tau)$  в периоды 1 и 3 также как и в работе [8] на промежутках  $0 - \tau_1$ ,  $\tau_2 - \tau_3$  описываются экспоненциальной зависимостью (3). Длительность периода работы круга до состояния при котором необходимо править АШК зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, характеристики круга и режима обработки заготовки.

Объем удаленного алмазосодержащего слоя с круга при правке прямо пропорционален времени воздействия зерен свободного абразива на РПК. Для сокращения времени восстановления режущей способности РПК воздействие свободного абразива на рабочую поверхность круга желательно осуществлять при рациональных для данных условий режимах правки (а именно, скоростей притира и абразива). Воздействие свободного абразива на РПК необходимо прекращать, когда режущая способность круга достигнет определенного, заданного уровня, что позволит исключить чрезмерный расход алмазов и нерациональный расход правящего абразива.

Как видно из графиков (рис. 2 и рис. 3), период восстановления РПК довольно большой, поэтому возникает необходимость в моделировании процесса правки и определения параметров, которые влияют на сокращения времени процесса. При этом длительность правки свободным абразивом на порядок меньше длительности правки при ЭЭВ.

### Выводы:

1. Восстановления режущей способности алмазного круга при обработке керамики более эффективно вести разновидностью механического метода воздействия на РПК – методом свободного абразива, вследствие его большей производительности по сравнению с другими способами правки. По сравнению с другими механическими методами метод правки свободным абразивом отличается более мягким воздействием на алмазные зерна круга и большей избирательностью воздействия на связку круга.

2. Установлены зависимости описывающие процессы потери режущей способности алмазного шлифовального круга и восстановления ее при правке свободным абразивом.

3. Для сокращения длительности процесса воздействия свободного абразива на РПК необходимо теоретическое и экспериментальное исследование условий и параметров правки.

#### Список литературы:

1. Kramer D., Rehsteiner F., Schuhmacher B. ECD (Electrochemical In-Process Controlled Dressing), a New Method for Grinding of Modern High-Performance Cutting Materials to Highest Quality // *Cirp Annals - Manufacturing Technology*. 1999. Vol. 48, no 1. P. 265-268. DOI: 10.1016/S00078506(07)63180-1. 2. Полтавец, В.В. Повышение степени управляемости технологической системой шлифования кругами из сверхтвердых материалов за счет воздействий на характеристики инструмента / В. В. Полтавец // *Наукові праці ДонНТУ. Серія Машинобудування і машинознавство*. Випуск 6 (154). Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С.79-86. 3. Чачин В.Н. Профилирование алмазных шлифовальных кругов / В.Н. Чачин, В.Д. Дорофеев В.Д. – Минск.: Наука и техника, 1974. – 160 с. 4. Пахалин Ю.А. Алмазное контактно-эрозионное шлифование / Ю.А. Пахалин. – Л., Машиностроение, 1985. - 178 с. 5. Шавва, М. А., Экспериментальная установка для алмазного шлифования с применением непрерывной электрохимической правки шлифовального круга / А. М. Шавва, Е. М. Захаревич; НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ.Н.Э.БАУМАНА. НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ. Эл № ФС77 — 48211. Государственная регистрация № 421 200 025. ISSN 1994–0408. Электронный научно-технический журнал. 2014. – С.44-54. 6. Матюха, П. Г. Устройство для электроэрозионной правки кругов на металлической связке / П. Г. Матюха, В. П. Цокур // *Науч.-техн. реферативный сб. «Электрические и электрохимические методы обработки»*. – М.НИИМАШ. – 1981. – Вып.8. – С.2-3. 7. Гусев, В. В. Закономерности изменения режущей способности алмазных шлифовальных кругов при правке свободным и полусвязанным абразивом / В. В. Гусев, А. Л. Медведев // *Наукові праці ДонНТУ. Серія Машинобудування і машинознавство*. Випуск 6 (154). Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С.41-48. 8. Матюха П.Г., Шлифование труднообрабатываемых материалов кругами из алмазов и эльбора. Монография / П.Г. Матюха, В.В. Полтавец, А.В. Бурдин, В.В. Габитов. – Черкаси.: Вертикаль, 2015. – 251 с. 9. Гусев В.В., Управление режущей способностью алмазных кругов как фактор повышения эффективности шлифования изделий из керамики / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, А.Л. Медведев, Д.Ю. Семенюк // *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Машинобудування і машинознавство»*. – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. – Вип. №8 (190). – С.35-43.