

## ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРАВКИ ТОРЦОВЫХ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ И ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Ткаченко В.П.  
(г. Харьков, Украина)

*В работе предложена эффективная технология электроэрозионной правки торцовых алмазных кругов и шлифования твердосплавных уплотнительных колец*

Твердосплавные уплотнительные кольца получили широкое применение в электробуровой технике. Вместе с тем, организация их массового производства оказалась весьма сложной задачей в связи с трудностями механической обработки (съём больших припусков и высокие требования к точности и качеству обработки).

Эффективной кинематической схемой обработки торцовой поверхности твердосплавного уплотнительного кольца является схема врезного шлифования торцом алмазного круга на металлической связке, сообща обрабатываемому кольцу вращательное движение [1, 2]. Для обеспечения высокой режущей способности алмазного круга эффективно применение его электроэрозионной правки, используя в качестве правящего электрода обрабатываемое кольцо. В связи с этим, целью работы является разработка эффективной технологии электроэрозионной правки торцовых алмазных кругов на металлических связках и шлифования твердосплавных уплотнительных колец.

Исследования проводились на внутришлифовальном станке. Кольцо, используемое как правящий электрод (рис. 1), крепилось в патроне станка и в процессе электроэрозионной правки круга совершало вращательное движение. Алмазный круг формы 12А2 45° 150×10 (20)×3 устанавливался на шпинделе станка на специальную двухступенчатую втулку и совершал в процессе правки вращательное и поступательное (в продольном направлении) движения. Процесс правки круга осуществлялся по упругой схеме с фиксированным радиальным усилием.

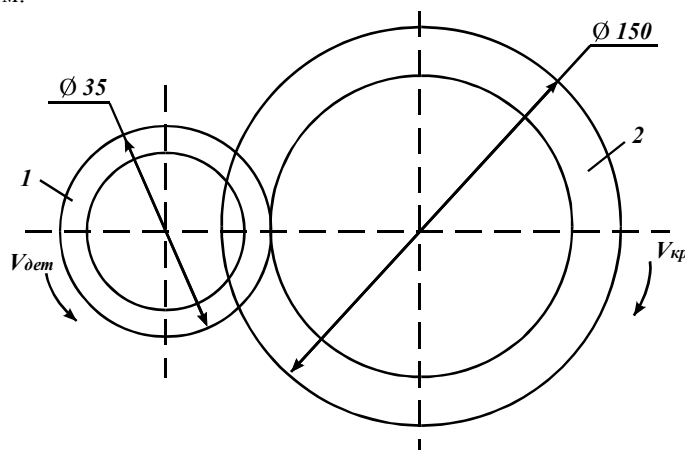


Рис. 1. Схема шлифования торца вращающегося кольца торцом алмазного круга: 1- обрабатываемое кольцо, 2- алмазный круг.

Алмазный круг по отношению к кольцу устанавливался таким образом, чтобы вся ширина рабочей поверхности круга  $B$  участвовала в контакте с кольцом.

Испытывались алмазные круги на металлических связках М1-01, М2-01, зернистостью АС6 50/40...200/160 и концентрацией 50...150%, а также алмазные круги на органической связке В2-01.

Для осуществления электроэрозионной правки алмазного круга на металлической связке, втулка, на которую устанавливался круг, выполнена из изоляционного материала – текстолита (рис. 2). Для обеспечения токоподвода к металлическому корпусу алмазного круга на втулке крепилось бронзовое кольцо, которое касалось корпуса круга. К кольцу через специальное щеточное устройство подводился положительный полюс источника технологического тока. К правящему кольцу (обрабатываемой детали) через контактирующий элемент подводился отрицательный полюс источника тока. Такая схема обеспечивала электроэрозионную правку алмазного круга с целью поддержания его высокой режущей способности.

В зону обработки подавалась охлаждающая жидкость – 3 %-й раствор  $Na_2NO_3$ . В качестве источника технологического тока использовался специально изготовленный выпрямитель с трансформатором мощностью 1,62 кВт, формирующий постоянный ток напряжением 36 В и силой тока  $I = 0...45$  А.

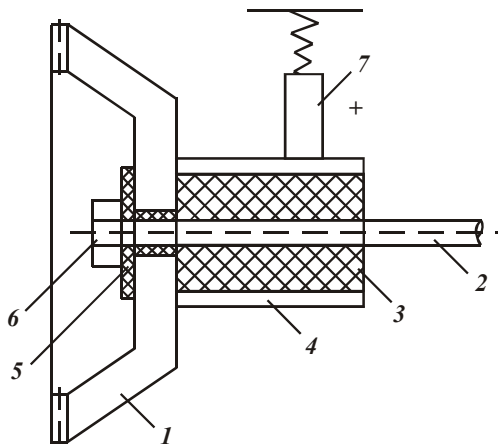


Рис.2. Схема подвода электрического тока к алмазному кругу: 1- алмазный круг; 2 – шпиндель станка; 3 – электроизоляционная втулка; 4 – бронзовое кольцо; 5 – текстолитовая (электроизоляционная) шайба; 6 – гайка; 7 – щетка.

После установки алмазного круга на металлической связке на станок производилось его начальное вскрытие и устранение радиального биения (в пределах 0,15 мм) с помощью электроэрозионной правки. Алмазный круг подводится до касания к правящему кольцу для возбуждения в межэлектродном промежутке электрических разрядов. Электроэрозионная правка производилась при оптимальной (установленной экспериментально) силе тока  $I = 20$  А путем непрерывной подачи круга в течении до 10 минут.

Контроль за состоянием режущей поверхности круга осуществлялся визуально (периодически останавливая круг) и на «слух» - при наличии биения характерна неравномерность (периодичность) электроэрозионного процесса. Об устранении биения круга можно было судить также по отсутствию «дребезжания» стрелки амперметра.

Качество правки круга проверялось в процессе шлифования вращающейся обрабатываемой детали (правящего кольца). При наличии на обработанной поверхности отдельных периодически повторяющихся участков, процесс правки продолжался. Об отсутствии биения круга свидетельствовала однородная обработанная поверхность, не имеющая чередующих участков.

При достаточно точной установке круга на шпинделе станка продолжительность его начальной электроэрозионной правки, как установлено экспериментально, уменьшалась и составляла до 5 минут. Если биение значительно – до 0,3 мм (что имело место) - продолжительность правки увеличилась до 20 минут, а в ряде случаев и более.

Выбор оптимального электрического режима работы источника постоянного тока при правке производился из следующих соображений. Мощность по току  $N$ , затрачиваемая при правке круга, равна

$$N = I \cdot U = I \cdot (U_0 - U_{кз}), \quad (1)$$

$$U_{кз} = I \cdot R_0 ;$$

где  $I$  – сила тока, А;  $U$  – напряжение, В;  $U_0$  – напряжение источника тока, В;  $U_{кз}$  – напряжение режима «короткого замыкания», В;  $R_0$  – нагрузочное сопротивление, Ом.

После преобразования зависимости (1), имеем

$$N = I \cdot (U_0 - I \cdot R_0). \quad (2)$$

Зависимость (2) носит экстремальный характер с увеличением силы тока  $I$ . Для определения экстремального значения  $I_{экстр}$  возьмем первую производную от функции  $N$  по силе тока  $I$  и полученное выражение приравняем к нулю. В результате получено

$$I_{экстр} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_0}{R_0} = \frac{1}{2} \cdot I_{кз}, \quad (3)$$

где  $I_{кз}$  – сила тока режима «короткого замыкания», А.

Вторая производная  $N''_I = -2 \cdot R_0$  - отрицательная, т.е. имеет место максимум функции  $N$  от  $I$ .

Максимальное значение  $N_{max}$  получим после подстановки зависимости (3) в (2):

$$N_{max} = \frac{I_{кз} \cdot U_0}{4} = \frac{N_{кз}}{4}, \quad (4)$$

где  $N_{кз}$  – мощность режима «короткого замыкания».

Пример расчета:

1) для заданных значений  $R_0 = 2$  Ом;  $U_0 = 40$  В; имеем  $I_{кз} = 20$  А;  $I_{экстр} = 10$ А;  $N_{кз} = 800$  Вт;

$N_{max} = 200$  Вт;

2) для заданных значений  $R_0 = 1$  Ом;  $U_0 = 40$  В; имеем:  $I_{кз} = 40$  А;  $N_{кз} = 1600$  Вт;  $N_{max} = 400$  Вт.

Результаты расчетов приведены на рис. 3. Оптимальное значение силы электрического тока  $I_{экстр}$  следует выбирать из условия максимального использования мощности источника технологического тока, т.е.  $N_{кз}$ . Из условия  $I_{кз} = N / U_0$ , имеем

$$I_{экстр} = \frac{N_{кз}}{2 \cdot U_0}. \quad (5)$$

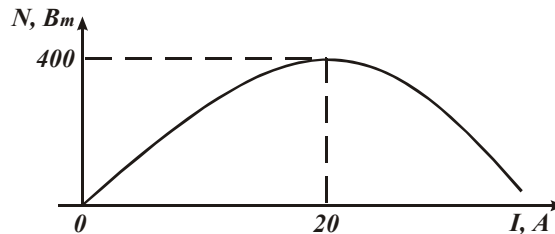


Рис.3. Зависимость мощности  $N$  электроэрозионной правки круга от силы тока  $I$ .

Пример расчета. Для заданных значений  $N_{кз} = 1600$  Вт,  $U_0 = 36$  В оптимальное значение  $I_{экстр}$  в соответствии с зависимостью (5) равно 22,2 А.

Теоретическое решение проверялось экспериментально. В электрическую цепь включалось нагрузочное сопротивление  $R_0 = 1$  Ом (тарированная спираль). При силе тока  $I \approx 22$  А наблюдалась наиболее интенсивная правка круга 12A2 45° 150×10×3 AC6 125 / 100 M1-01 4. При увеличении и уменьшении силы тока, начиная со значения  $I \approx 22$  А, интенсивность правки уменьшалась, о чем свидетельствовало уменьшение интенсивности электрических разрядов. При  $I \rightarrow I_{кз} = 40$  А возбуждение в межэлектродном промежутке электрических разрядов отсутствовало.

Экспериментальные значения мощности  $N$  правки практически совпали с расчетными, приведенными на рис. 3. Максимум мощности  $N$  достигался при  $I = 22$  А. Следует отметить, что изменение силы тока  $I$  при проведении экспериментов обеспечивалось за счет изменения силы прижима алмазного круга к электроду (обрабатываемому кольцу). С увеличением силы прижима сила электрического тока  $I$  увеличивалась.

На рис. 4 приведены результаты экспериментальных исследований производительности электроэрозионной правки  $Q_{кр}$  в зависимости от силы тока  $I$ .

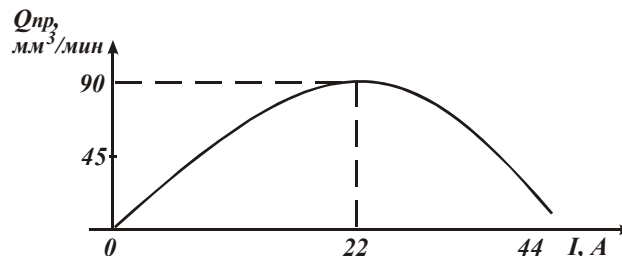


Рис. 4. Зависимость производительности  $Q_{кр}$  электроэрозионной правки круга от силы тока  $I$ .

Производительность  $Q_{кр}$  равна отношению объема алмазосодержащего слоя круга, снятого в единицу времени (размерность – мм³/мин). Из графика следует, что производительность  $Q_{кр}$  изменяется по экстремальной зависимости. Максимум достигается при силе тока  $I = 22$  А, что соответствует теоретическим результатам и данным простого визуального наблюдения за процессом правки, как отмечалось выше.

Для проведения данных экспериментальных исследований была отобрана партия алмазных кругов одной характеристики в количестве 60 штук с начальным торцовым биением кругов 0,1 мм. Замеры величины биения круга (после установки его на шпиндель станка) производились с помощью индикатора.

Необходимо отметить, что при изменении  $I$  до значения  $I_{экстр} = 20$  А процесс электроэрозионной правки круга происходил практически без сошлифовывания правящего электрода (обрабатываемого кольца), рис. 5. С увеличением силы тока начиная с 17 А, скорость износа (сошлифовывания) электрода увеличивалась. Следовательно, при  $I_{экстр} = 17$  А межэлектродный зазор равен приблизительно максимальной высоте выступания зерен над уровнем связки алмазного круга. С увеличением силы тока зазор уменьшается и зерна контактируют с правящим электродом, осуществляя процесс резания. Из этого можно заключить, что процесс алмазного электроэрозионного шлифования обрабатываемой детали (правящего электрода) возможен при  $17 \text{ А} < I < 40 \text{ А}$ . Для того чтобы увеличить  $I_{экстр} > 20$  А и соответственно увеличить скорость съема обрабатываемого материала необходимо в соответствии с зависимостью (3) уменьшить нагрузочное

сопротивление  $R_0$ . Например, при  $R_0 = 0,5$  Ом сила тока  $I_{экстр}$  станет равной 40 А, что позволит в максимальной степени использовать энергию электрических разрядов для осуществления процесса алмазного электроэрозионного шлифования.

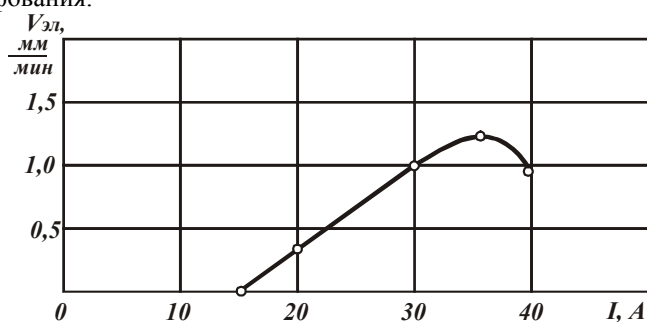


Рис. 5. Зависимость линейной скорости съема материала электрода  $V_{эл}$  при правке от силы тока  $I$ .

Сила прижима круга к обрабатываемому кольцу  $P$  при шлифовании по упругой схеме является основным параметром процесса, определяющим условия механического взаимодействия режущих зерен и связки круга с обрабатываемым материалом, а при алмазном электроэрозионном шлифовании – определяющим дополнительно условия протекания процесса электроэрозионной правки алмазного круга на металлической связке. Из рис. 3 следует, что с увеличением силы тока  $I$  мощность  $N$  процесса электроэрозионной правки алмазного круга изменяется по экстремальной зависимости. В пределах  $0 < I < 20$  А мощность  $N$  увеличивается, а при дальнейшем увеличении силы тока  $I$ , наоборот, уменьшается до нуля. Изменение силы тока  $I$  обеспечивается за счет изменения толщины зазора между алмазным кругом и правящим электродом (в нашем случае обрабатываемым кольцом) путем изменения силы прижатия круга к обрабатываемому кольцу. Чем больше эта сила, тем меньше толщина межэлектродного зазора и больше сила тока  $I$ .

При  $I > 20$  А мощность  $N$  процесса электроэрозионной правки уменьшается, что ведет к снижению производительности процесса правки, рис. 4. Следовательно, с увеличением силы прижима алмазного круга к обрабатываемому кольцу интенсивность электроэрозионной правки снижается и процесс алмазного электроэрозионного шлифования мало чем отличается от обычного алмазного шлифования.

Опытами установлено, что при  $I > 35$  А в зоне резания практически отсутствуют электрические разряды, т.е. отсутствует процесс электроэрозии. Из этого можно заключить, что сила прижатия круга к кольцу при алмазном электроэрозионном шлифовании должна изменяться в определенных пределах. Учитывая то, что между силой тока  $I$  и силой прижатия круга к кольцу  $P$  в процессе алмазного электроэрозионного шлифования существует вполне однозначная связь, управление процессом шлифования можно осуществлять путем поддержания во времени заданного значения  $P$  или  $I$ . В первом случае необходимо использовать упругую схему шлифования с фиксированной силой прижатия круга к кольцу  $P$ . Во втором случае можно использовать шлифование с “ручной” подачей, например, на рассматриваемом внутришлифовальном станке, осуществляя “вручную” продольную подачу круга, определяющую силу прижатия круга к кольцу.

Данная схема весьма эффективна при кратковременном процессе шлифования, каким является процесс шлифования одного кольца, закрепленного в патроне внутришлифовального станка (съем припуска величиной 0,1 ... 0,15 мм происходит в течении 3...5 с). По данной схеме можно обеспечить плавное касание круга с обрабатываемым кольцом (без удара), чего трудно добиться при частой установке обрабатываемых колец в условиях обычного шлифования по упругой схеме.

Как показано выше, изменить электрическую характеристику  $N - I$  можно за счет изменения нагрузочного сопротивления  $R_0$  в электрической цепи. Чем меньше  $R_0$ , тем больше экстремальные значения силы тока  $I$  и мощности процесса электроэрозионной правки  $N$ . Увеличение экстремального значения  $I$  позволяет увеличить силу прижатия круга к кольцу и соответственно производительность обработки. Таким образом, на основе проведенных экспериментальных исследований определены технологические возможности увеличения производительности процесса алмазного электроэрозионного шлифования.

#### Список литературы

1. Новиков Ф.В., Ткаченко В.П. Условия повышения производительности процесса алмазного шлифования. - Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: Збірка наукових праць. Тематичний випуск 11: Технічний прогрес та ефективність виробництва. - Харків: НТУ “ХПІ”, 2001. – С. 131-136.

2. Ткаченко В.П. Высокоэффективная технология алмазно-абразивной обработки релитовых торцовых уплотнений. - Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Материалы 6-й Международной научно-технической конференции, 10-11 октября 2002 г. - Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2002. - С. 44-49.