

УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРАВКИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, проф., Дитиненко С.А., канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет)

Для обработки изделий из твердых сплавов и других труднообрабатываемых материалов широко используется алмазное шлифование [1]. Благодаря высокой режущей способности алмазного круга обеспечивается высокое качество шлифованных поверхностей. Однако алмазные круги на органических связках интенсивно изнашиваются и их экономически не выгодно применять на форсированных режимах шлифования. Алмазные круги на металлических связках изнашиваются с меньшей интенсивностью, но быстро засаливаются и теряют режущую способность. Это ведет к снижению производительности и качества обработки. Известные методы механической правки таких кругов мало эффективны. Гораздо большими возможностями располагает метод электроэрозионной правки, основанной на эффекте термического разрушения металлической связки алмазного круга [2]. Поэтому целью работы является обоснование условий эффективного использования электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках при шлифовании.

Внедренный нами на ряде предприятий на операциях круглого наружного продольного и врезного шлифования твердосплавных изделий (в частности, твердосплавных инструментов) процесс электроэрозионной правки алмазных кругов формы 1А1 позволяет исправить их геометрическую форму, устранить засаливание и вывести биение. На рабочей поверхности круга формируется развитый режущий рельеф, характеризующийся значительным выступанием алмазных зерен над уровнем связки и большим объемом межзеренного пространства, достаточным для свободного размещения образующихся стружек и других продуктов обработки. По сути, в процессе электроэрозионной правки формируется принципиально новый алмазный инструмент с хорошо развитым (регулируемым) режущим рельефом, что создает объективные предпосылки шлифования с повышенными параметрами срезов (увеличенными толщинами и длинами срезов) и существенного увеличения производительности обработки. Высокая острота режущих кромок обеспечивает уменьшение сил и температуры резания, улучшение качества обработки (исключаются прижоги, микротрещины, сколы и другие дефекты поверхностного слоя материала), а высокая прочность металлической связки обеспечивает повышенную износостойкость алмазного круга. Подготовленный таким способом к работе круг обладает чрезвычайно большими технологическими возможностями в плане повышения производительности обработки и его стойкости при

шлифовании твердых сплавов, высокопрочных сплавов и других труднообрабатываемых металлических и неметаллических материалов.

Установлено, что электроэрозионную правку можно производить непрерывно в процессе шлифования или периодически по мере затупления круга. В первом случае в качестве правящего электрода служит обрабатываемая деталь. Процесс шлифования совмещается с правкой круга (на практике получил название – электроэрозионное алмазное шлифование). Во втором случае в качестве электрода при правке алмазных кругов формы 1А1 на круглошлифовальном станке используется цилиндрическая заготовка из чугуна (стали) или другого эрозионностойкого материала. При этом эффективно использовать источники технологического тока повышенной мощности (до 4 кВт) с целью обеспечения увеличенного выступания алмазных зерен над уровнем связки круга. Установлено, что при обработке твердых сплавов совместно со сталью (твердосплавных инструментов) заправленного таким способом круга достаточно для работы в течение одного часа и более. В качестве рабочей среды при электроэрозионной правке могут быть использованы простые по составу безвредные технологические жидкости (например, обычно применяемые при шлифовании эмульсии), рекомендуется 1–3%-ный раствор соды.

Процесс электроэрозионной правки алмазного круга осуществляется на специальных или обычных шлифовальных станках после их соответствующей модернизации (электроизоляции шпинделя круга) и подключения источника технологического тока. После установки на станок нового алмазного круга на металлической связке необходимо произвести его начальное вскрытие и устранить биение. Для этого положительный полюс источника технологического тока подключается к щетке на круге, а отрицательный полюс – к корпусу задней бабки шлифовального станка. В центрах устанавливается цилиндрическая заготовка – электрод из чугуна или стали.

При касании вращающегося круга деталью в зоне обработки возбуждаются электрические разряды, в результате чего происходит термическое разрушение металлической связки круга и вскрытие алмазноносного слоя. Для поддержания разрядного тока на уровне 70–80 А необходимо периодически осуществлять поперечную подачу круга. Контроль величины круга необходимо производить по прибору, установленному на источнике технологического тока. Правку следует производить до тех пор, пока вся режущая поверхность круга не будет вскрыта, что указывает на отсутствие биения круга. Контроль за состоянием режущей способности круга следует производить визуально, периодически останавливая и осматривая круг. Длительность процесса правки, как правило, не превышает 10–20 минут.

После подготовки круга к работе рекомендуется шлифование деталей производить с отключенным источником технологического тока. По мере затупления круга периодически в процессе шлифования включается источник тока и производится правка круга. В качестве правящего электрода в данном случае используется обрабатываемая деталь. Продолжительность правки

значительно меньше, чем начального вскрытия круга и составляет до 5 минут. При этом разрядный ток следует поддерживать на уровне 20–40 А.

Возможен вариант шлифования с постоянно работающим источником технологического тока. При этом разрядный ток следует поддерживать на уровне до 20А. Однако данный вариант не всегда эффективен, так как ведет к повышенному износу алмазного круга и ухудшает экологию производства. Поэтому целесообразно использовать периодическую электроэрозионную правку, обеспечивая при этом значительное выступание алмазных зерен над уровнем связки и высокую режущую способность круга. При шлифовании детали с постоянно включенным источником технологического тока возможно образование на ее обрабатываемой поверхности следов от возникающих электрических разрядов (черного цвета). В этом случае необходимо произвести выхаживание с отключенным источником тока (следы устраняются).

Экспериментально установлено, что в процессе электроэрозионного шлифования твердосплавных инструментов в силу высокой остроты алмазного круга достигается шероховатость обработки на уровне 7 – 8 классов чистоты. Для обеспечения 9 класса чистоты и выше рекомендуется после электроэрозионной правки произвести затупление алмазных зерен круга, используя алмазные карандаши или алмазный резец (алмазный ролик, алмазный круг). Для этого алмазный карандаш устанавливается в специальное приспособление на круглошлифовальном станке и производится обточка алмазного круга в течении одного продольного хода стола станка. В результате происходит практически полное срезание алмазных зерен и круг можно эффективно использовать на операциях чистового шлифования, обеспечивая стабильно 9-й класс шероховатости и выше. Таким образом, алмазный круг на металлической связке эффективно применяется при предварительном и окончательном шлифовании.

Предварительное круглое наружное продольное шлифование целесообразно производить по схеме много проходного шлифования со скоростью вращения круга со скоростью 25–35 м/с, скоростью вращения детали 20–60 м/мин, скоростью продольной подачи 10–20 мм/об детали при высоте круга 25 мм, скоростью поперечной подачи до 0,1 мм на один продольный ход стола.

Рекомендуется использовать схему глубинного круглого наружного шлифования со скоростью вращения детали 0,5–5 м/мин, скоростью продольной подачи 0,02–0,2 м/мин, глубиной шлифования – до 1 мм на проход. Для реализации схемы глубинного шлифования необходимо уменьшить скорость вращения детали, что достигается установлением на станок редуктора. Глубинное шлифование увеличивает производительность обработки до 5 раз, уменьшает износ круга, улучшает шероховатость обработки (позволяет совместить эффекты предварительного и окончательного шлифования).

При электроэрозионном шлифовании эффективно использовать алмазные круги диаметром 300–400 мм и высотой 20–40 мм, зернистостью 125/100 – 100/80 и ниже (с целью улучшения шероховатости поверхности), концентрацией зерен 50–100% с медно-алюминиевой металлической связкой

М1-01 (режущая поверхность серого цвета). Применение алмазных кругов на медно-оловянистых связках М2-01 (режущая поверхность коричневого цвета) при обработке твердых сплавов и сталей малоэффективна, так как они быстро засаливаются, теряют режущую способность и их необходимо часто править. Эти круги целесообразно использовать для шлифования неметаллических материалов (стекло, различные виды керамики, твердые породы камня и т.д.).

Для выполнения окончательного шлифования алмазным кругом на металлической связке (после притупления вершин зерен с помощью алмазного карандаша) рекомендуется оставлять минимально возможный припуск (не более 0,02 мм на сторону) и соответственно поперечную подачу устанавливать не более 0,02 мм на ход стола. Чем меньше съем материала на операции окончательного шлифования, тем больше стойкость алмазного круга, обеспечивающего шероховатость поверхности на уровне 9-го класса чистоты. В противном случае происходит частичное самозатачивание алмазного круга, что

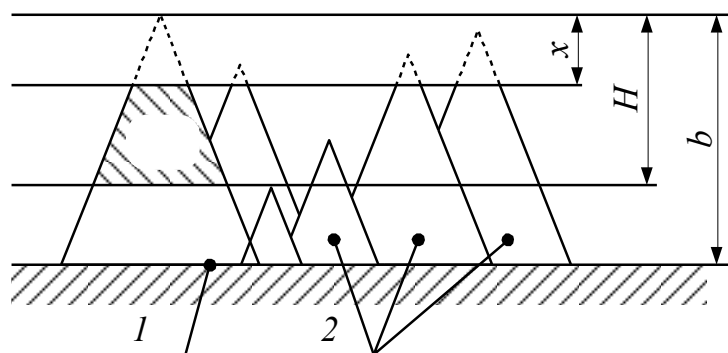


Рис. 1. Расчетная схема параметров шлифования: 1 – связка круга; 2 – режущие

ведет к ухудшению шероховатости поверхности.

Шероховатости поверхности, как показано выше, зависит от степени износа (разрушения) алмазных зерен. Поэтому проведем теоретический анализ влияния износа зерен на основные параметры шлифования, используя данные, приведенные в работах [3 – 5].

Максимальная вероятностная (приведенная) толщина среза H_{max} и максимальная (условная) глубина внедрения зерен в обрабатываемый материал H , отсчитываемая от вершины исходного неизношенного максимально выступающего над связкой зерна (рис. 1), описываются аналитическими зависимостями:

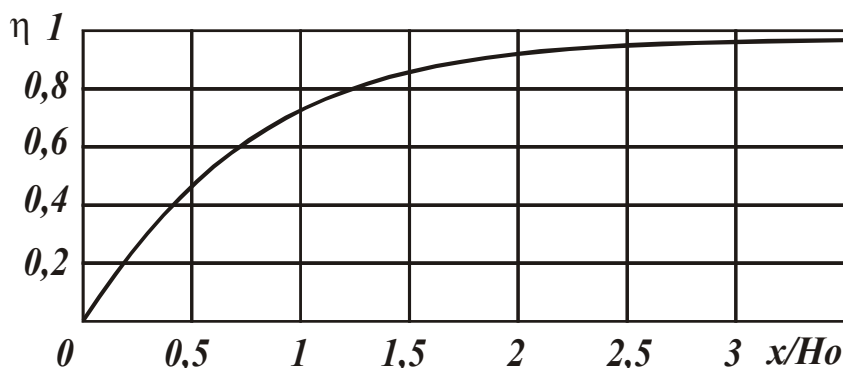
$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{450 \cdot \pi \cdot V'_{dem} \cdot \bar{X}^3 \cdot (1 - \eta)^2}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot (1 + \eta)}}, \quad (1)$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{450 \cdot \pi \cdot V'_{dem} \cdot \bar{X}^3}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta^2)}}, \quad (2)$$

где V'_{dem} – скорость перемещения прямолинейного обрабатываемого образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга, м/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; \bar{X} – зернистость круга, м; m – объемная концентрация алмазных зерен круга (например, $m=100$ для 100%-ной концентрации круга); γ – половина угла при вершине конусообразного зерна; $\eta = x/H$ – безразмерная величина, определяющая степень затупления зерна, изменяется в пределах 0

...1 (для острого зерна $\eta \rightarrow 0$, для затупленного зерна $\eta \rightarrow 1$); x – величина линейного износа максимально выступающего над связкой зерна, м.

С учетом обозначения $H_0 = \sqrt[3]{\frac{450 \cdot \pi \cdot V'_{dem} \cdot \bar{X}^3}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}}$, имеем $H = \frac{H_0}{\sqrt[3]{1-\eta^2}}$.



Как видно, величина η зависит от соотношения x/H_0 . Чем оно больше, тем больше η , рис. 2. При $x/H_0 < 0,8$ величина η принимает значения, близкие x/H_0 . При $x/H_0 > 0,8$ – значения, близкие к единице ($\eta \rightarrow 1$).

Рис. 2. Зависимость безразмерной величины η от соотношения x/H_0 .

С увеличением отношения x/H_0 значения η приближаются асимптотически к единице. Как следует из рис. 2, при x/H_0 значение $\eta=0,75$. Задавая значение H_0 , (например, $H_0=1$) из рис. 2 несложно установить взаимосвязь между величинами x и η . Исходя из зависимости, несложно определить параметр H . Для $H_0 = 1$ в табл. 1 приведены расчетные значения параметра H .

Таблица 1

Расчетные значения параметра H

x , мкм	0	0,25	0,55	0,99	1,55	2,05	3,7	∞
H , мкм	–	1,0	1,1	1,32	1,72	2,16	3,74	∞

С увеличением величины линейного износа зерна x (при $H_0 = 1$), параметр H увеличивается. Причем, начиная с $x=2$ значения параметров x и H примерно равны в связи с асимптотическим приближением безразмерной величины H_{max} (максимальной толщины среза) к единице ($\eta \rightarrow 1$).

Зная значения параметров x и H , исходя из зависимости $H_{max} = H - x$ (рис. 2 и табл. 1), несложно определить параметр H_{max} . Построим график зависимости максимальной вероятностной (приведенной) толщины среза H_{max} от величины линейного износа зерна круга x .

Как следует из рис. 3, с увеличением x параметр H_{max} уменьшается. При $x \rightarrow \infty$ справедливо $H_{max} \rightarrow 0$. Учитывая ограниченность величины x , параметр H_{max} принимает конечные значения.

Из проведенного анализа следует, что величина x оказывает на максимальную толщину среза H_{max} значительное влияние, изменяя его практически в неограниченных пределах. Это указывает на то, что при расчете

параметра H_{max} , наряду с традиционными параметрами (режима шлифования и характеристик круга), необходимо учитывать величину линейного износа зерен x .

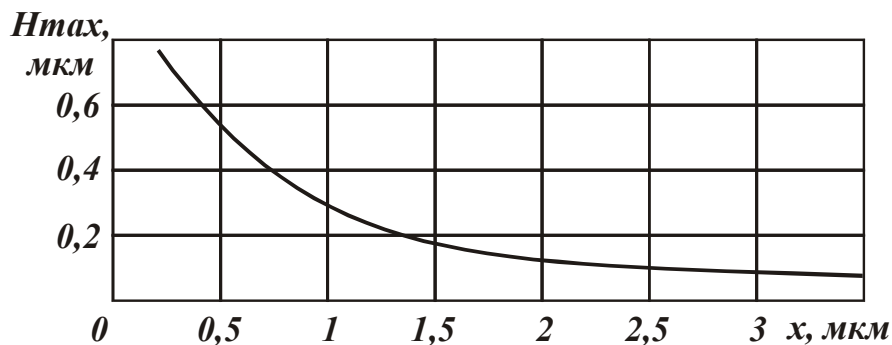


Рис. 3. Зависимости максимальной вероятностной (приведенной) толщины среза H_{max} от величины линейного износа зерна круга x .

Параметр H_{max} определяется

$$H_{max} = (1 - \eta) \cdot H = H_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{(1 - \eta)^2}{1 + \eta}}. \quad (3)$$

Параметры H_{max} и H_0 связаны линейной зависимостью, а H_{max} и η – нелинейной зависимостью. Параметр H_{max} тем больше, чем больше H_0 и меньше безразмерная величина η . Исходя из зависимости, множитель $\sqrt[3]{(1 - \eta)^2 / (1 + \eta)}$ можно рассматривать в качестве поправочного коэффициента, зависящего от степени затупления режущих зерен. В табл. 2 приведены значения параметров η и H_{max} при $H_0 = 1$.

Таблица 2

Расчетные значения параметров η и H_{max} при $H_0 = 1$

η	0	0,25	0,5	0,75	0,9	0,95	0,99	1,0
H_{max}	–	0,75	0,55	0,33	0,17	0,11	0,04	0

Как видно, с увеличением безразмерного параметра η параметр H_{max} уменьшается. При $\eta \rightarrow 1$ справедливо $H_{max} \rightarrow 0$. С одной стороны, по мере износа зерен параметр H_{max} уменьшается, что позволяет повысить чистоту обработки. С другой стороны, это ведет к прекращению съема материала, так как при $\eta \rightarrow 0$ параметр $H_{max} \rightarrow 0$. В табл. 2 параметр H_{max} равен множителю $\sqrt[3]{(1 - \eta)^2 / (1 + \eta)}$, поскольку $H_0 = 1$. Таким образом, множитель $\sqrt[3]{(1 - \eta)^2 / (1 + \eta)}$, выполняющий роль поправочного коэффициента в зависимости, с увеличением величины η уменьшается вплоть до нуля.

Этим показано, что износ зерен, определяемый величинами x и η , оказывает существенное влияние на закономерности процесса шлифования. Поэтому, регулируя эти величины за счет применения электроэрозионной правки алмазного круга, можно в широких пределах изменять основные

технологические параметры шлифования, включая производительность обработки, удельный расход алмаза, силу и температуру резания, шероховатость поверхности и параметры качества обработки.

Список литературы

1. Бакуль В.Н., Захаренко И.П., Кункин Я.А., Мильштейн М.З. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента. – Киев: Техника, 1971. – 208 с.

2. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов. – Автореф. дис....докт. техн. наук. – Харьков, 1995. – 56 с.

3. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис....докт. техн. наук. – Одесса, 1995. – 36 с.

4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580с.

5. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Алмазная обработка: Учеб. пособие. – К.: ІЗМН, 1996. – 168 с.