

**НОВИКОВ Ф.В., НОВИКОВ Г.В., ДИТИНЕНКО С.А., ПОЛЯНСКИЙ В.И.**

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ШЛИФОВАНИЯ И ЗАТОЧКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ**

В работе показано, что для эффективного осуществления процесса шлифования алмазными кругами на металлической связке M1-01 твердосплавных инструментов необходимо использовать периодическую электроэрозионную правку, обеспечивающую восстановление режущей способности алмазного круга. Это улучшает экологию производства. При шлифовании алмазными кругами на более прочной металлической связке M2-01 необходимо использовать электроэрозионное шлифование, так как в противном случае круг быстро засаливается и теряет режущую способность, в особенности при обработке наплавочных материалов и сталей. Разработаны практические рекомендации по эффективному осуществлению многопроходного и глубинного электроэрозионного шлифования.

**Ключевые слова:** электроэрозионное шлифование, электроэрозионная правка, электрические разряды, алмазный круг на металлической связке, экологически безопасные технологии

В роботі показано, що для ефективного здійснення процесу шліфування алмазними кругами на металевій зв'язці M1-01 твердосплавних інструментів необхідно використовувати періодичну електроерозійну правку, яка забезпечує відновлення ріжучої здатності алмазного круга. Це покращує екологію виробництва. При шліфуванні алмазними кругами на більш міцній металевій зв'язці M2-01 необхідно використовувати електроерозійне шліфування, так як в протилежному випадку круг швидко засалюється і втрачає ріжучу здатність, особливо при обробці наплавлювальних матеріалів і сталей. Розроблено практичні рекомендації щодо ефективного здійснення багатопрохідного і глибинного електроерозійного шліфування.

**Ключові слова:** електроерозійне шліфування, електроерозійна правка, електричні розряди, алмазний круг на металевій зв'язці, екологічно безпечні технології

The results of experimental studies of diamond EDM grinding and sharpening carbide tools in terms of improved technology and environmental performance of processing and replacing harmful to the health of workers diamond electrochemical grinding. It is shown that the effective implementation of the process of grinding diamond wheels Metal bond M1-01 must use periodic electroerosion editing, providing the ability to restore the cutting diamond wheel. This improves the production environment. When grinding with diamond wheels to a more durable metal bond M2-01 must be constantly introduced into the cutting area of additional electrical energy in the form of electrical discharges, ie, use spark erosion grinding, and in fact, to carry out continuous editing electroerosion diamond wheel. Otherwise, skive Metal bond quickly loses salted and cutting ability, especially in the processing of plastic materials - surfacing materials and steels. As a result, this leads to the production of environmental deterioration due to the action in the cutting zone a constant source of intense sparks caused by an electric discharge. optimum electrical parameters of the process of the current source is therefore identified and developed practical recommendations for effective implementation of multi-pass and creep feed grinding with diamond wheels, operating in electron-troerozionnogo grinding mode and providing a decrease harmful influence on the working-grinder

**Keywords:** spark erosion grinding, EDM dressing, electrical discharges, diamond grinding wheel Metal bond, environmentally friendly technologies

**Введение.** Совершенствование технологии заточки твердосплавных инструментов является актуальной задачей машиностроения, поскольку это связано с обеспечением высококачественной обработки режущих лезвий инструментов, повышением производительности и снижением себестоимости обработки. Традиционно съём основной части припуска при заточке твердосплавного инструмента производится абразивными кругами, а окончательной формирование обрабатываемой поверхности – абразивными или алмазными кругами. Несомненно, применение алмазных кругов позволяет добиться более качественной обработки, однако из-за их высокой стоимости увеличивается себестоимость обработки, что снижает эффективность их применения. Для снижения расхода алмазов и соответственно себестоимости обработки вместо алмазных кругов на органических и керамических связках применяются алмазные круги на более прочных металлических связках, работающие в режиме электрохимического шлифования. Это значительно расширяет технологические возможности высококачественной заточки твердосплавных инструментов, вместе с тем, ухудшает условия труда рабочего, так как обработка производится с использованием сильных электролитов, обеспечивающих химическое растворение металлической связки алмазного круга и

обрабатываемого материала, а это отрицательно отражается на здоровье рабочего. В связи с этим, разработан и получил применение эффективный метод электроэрозионного шлифования (алмазно-искрового шлифования) алмазными кругами на металлических связках, который основан на введении в зону резания дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов и не требует применения вредных для здоровья рабочего электролитов – обработка производится с применением обычной технической воды. В результате действия электрических разрядов в зоне резания происходит термическое разрушение металлической связки алмазного круга и обрабатываемого материала, что обеспечивает постоянное поддержание на рабочей поверхности круга развитого режущего рельефа и соответственно его высокой режущей способности. Это приводит к снижению сил и температуры резания, повышению качества и производительности обработки.

Таким образом, метод алмазного электроэрозионного шлифования в отличие от метода алмазного электрохимического шлифования является более экологически безопасным, обеспечивающим высокие технико-экономические показатели обработки. Он получил применение при обработке материалов повышенной твердости, в особенности на операциях

заточки твердосплавных инструментов. Вместе с тем, в процессе обработки в зоне резания наблюдается интенсивное искрение и появление запаха ионизированного газа, что ухудшает экологические показатели обработки. Это требует установления вентиляционных устройств и периодического подвода электрической энергии в зону резания с целью восстановления режущей способности алмазного круга. В связи с этим важно оценить влияние периодичности подвода электрической энергии в зону резания на технологические и экологические показатели обработки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проблеме алмазного электроэрозионного шлифования посвящены работы [1–3], в которых приведены оптимальные условия осуществления процесса для различных схем шлифования, включая заточку твердосплавных инструментов. Установлено, что при непрерывном подводе в зону резания дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов обеспечиваются требуемые параметры качества обработки твердосплавных инструментов. При периодическом подводе в зону резания дополнительной электрической энергии эффективность процесса снижается [4, 5]. Поэтому настоящая работа посвящена изысканию новых технологических возможностей алмазного электроэрозионного шлифования с точки зрения повышения производительности и качества обработки – исключения прижогов, микротрещин и микросколов, которые обычно имеют место при шлифовании вследствие потери режущей способности алмазного круга.

**Цель работы** – определение условий повышения технологических и экологических показателей обработки при алмазном электроэрозионном шлифовании и заточке твердосплавных инструментов.

**Изложение основного материала.** Экспериментальные исследования алмазного электроэрозионного шлифования твердосплавных инструментов (фрез, разверток, зенкеров и других) производились на круглошлифовальном станке после его модернизации: электроизоляции шпинделя круга и подключения источника технологического тока. Обработка производилась алмазным кругом на металлической связке 1A1 300x25x5 AC6 125/100 4 M1-01. В качестве источника технологического тока использовался специальный генератор импульсов повышенной мощности (до 4 кВт), а в качестве рабочей среды использованы простые по составу безвредные технологические жидкости (1...3 %-й раствор соды).

Первоначально в течение 20 минут произведено вскрытие алмазоносного слоя алмазного круга и устранено его биение. При этом положительный полюс источника технологического тока подключался к щетке на круге, а отрицательный полюс – к корпусу задней бабки шлифовального станка.

Установлено, что шлифование вновь запропавленным алмазным кругом с отключенным источником технологического тока обеспечивает высокопроизводительный съем припуска и шероховатость обработанной поверхности на уровне 7 – 8 классов чистоты. Через 30 – 40 минут работы круга необходимо производить его электроэрозионную правку (т.е. подводить

электрическую энергию в зону резания) в течение 1 – 5 минут с разрядным током 20 – 40 А. Для обеспечения 9 класса чистоты необходимо после электроэрозионной правки произвести затупление алмазных зерен круга, используя алмазный карандаш типа «Славутич» или алмазный резец. Этим обеспечивается эффективность применения алмазных кругов на металлических связках на операциях предварительного и окончательного шлифования.

Установлено, что после шлифования (с отключенным источником технологического тока) на обрабатываемой поверхности отсутствуют следы прижогов и микротрещин, однако имеют место отдельные микросколы режущей кромки твердосплавной пластины инструмента, что, несомненно, снижает качество обработки. Основным путем их устранения следует рассматривать повышение режущей способности алмазного круга за счет осуществления более частой его электроэрозионной правки.

Необходимо отметить, что при шлифовании с непрерывно включенным источником технологического тока и обеспечении высокой режущей способности алмазного круга, микросколы на режущей кромке твердосплавной пластины инструмента фактически отсутствуют. Однако данный вариант обработки приводит к повышенному износу алмазного круга и, как отмечалось выше, ухудшает экологию производства.

Такая же закономерность наблюдалась и на операции заточки твердосплавного инструмента алмазным кругом на металлической связке 12A2–45<sup>0</sup> 150x10x3x32 AC6 125/100 4 M1-01. При постоянно включенном источнике технологического тока микросколы на режущей кромке твердосплавной пластины инструмента фактически отсутствуют, а при периодическом включении источника технологического тока в процессе шлифования – появляются вследствие затупления алмазного круга. Более частая правка круга фактически исключает появление микросколов.

Таким образом, доказано противоположное влияние частоты включения источника технологического тока на экологию производства и качество обработанных поверхностей. Чем чаще алмазный круг подвергается электроэрозионной правке, тем меньше вероятность появления микросколов на режущей кромке твердосплавной пластины инструмента, но тем хуже экологические условия обработки. Поэтому при предварительном шлифовании электроэрозионную правку алмазного круга целесообразно производить через 30 – 40 минут его работы, а при окончательном шлифовании – чаще.

Очевидно, с точки зрения улучшения экологии производства на операциях окончательного шлифования целесообразно использовать алмазные круги на более мягких связках (органических и керамических), которые работают в режиме самозатачивания, не требуют правки и обеспечивают более высокие показатели качества обработки, чем алмазные круги на металлических связках [5]. Следовательно, алмазные круги на металлических связках эффективно использовать лишь на операциях предварительного шлифования в режиме периодической электроэрозионной правки.

Таким образом, на основе проведенных экспериментальных исследований обоснованы рациональные условия использования алмазных кругов на металлических связках, работающих в режиме периодической электроэрозионной правки.

Для практической реализации предварительного круглого наружного продольного шлифования алмазными кругами на металлических связках целесообразно использовать схему многопроходного шлифования, осуществляемую со скоростью вращения круга 25 – 30 м/с; скоростью вращения детали 20 – 60 м/мин; скоростью продольной подачи 10 – 20 мм/об. при высоте круга 25 мм; скоростью поперечной подачи 0,1 мм/ход. При круглом врезном шлифовании скорость поперечной подачи необходимо устанавливать до 6 мм/мин.

Для практической реализации круглого наружного глубинного шлифования скорость вращения детали необходимо устанавливать в пределах 0,5 – 5 м/мин; скорость продольной подачи 0,02 – 0,2 м/мин; глубину шлифования – до 1 мм на проход. При этом скорость вращения детали необходимо уменьшать за счет применения на станке редуктора. Теоретически и экспериментально установлено, что использование глубинного шлифования позволяет увеличить производительность обработки до 5 раз при одновременном уменьшении износа круга и улучшении качества обработанной поверхности (главным образом уменьшения шероховатости поверхности).

При электроэрозионном шлифовании целесообразно использовать алмазные круги диаметром 300 – 400 мм и высотой 20 – 40 мм зернистостью 100/80 и ниже (с целью уменьшения шероховатости поверхности), концентрацией зерен 50 – 100 % на медно-алюминиевой (металлической) связке М1-01. Применение алмазных кругов на медно-оловянистых связках М2-01 при обработке твердых сплавов, высокопрочных наплавов и сталей возможно лишь в условиях непрерывного интенсивного электроэрозионного воздействия на них (т.е. в условиях электроэрозионного шлифования), поскольку эти круги быстро засаливаются и теряют режущую способность.

Наглядным тому примером может быть процесс круглого наружного глубинного электроэрозионного шлифования деталей с высокопрочными покрытиями алмазными кругами на металлической связке М2-01 с зернистостью 160/125...250/200 и 100 %-й концентрацией, т.е., по сути, в условиях непрерывной электроэрозионной правки [5].

Экспериментально установлено, что процесс высокопроизводительного глубинного шлифования покрытия ПГ-10Н-01 твердостью HRC 60...62 может быть реализован лишь при непрерывном дополнительном электроэрозионном воздействии на алмазный круг на металлической связке, который в данном случае интенсивно засаливается и требует постоянной правки. При этом установлено значительное влияние силы тока  $I_{cp}$  (электроимпульсного генератора) при электроэрозионном шлифовании на режущую способность алмазного круга и производительность обработ-

ки  $Q_{0y}$  для заданного значения максимальной толщины среза  $a_{z_{max}} = 15$  мкм и скорости круга  $V_{кр} = 28$  м/с (рис. 1).

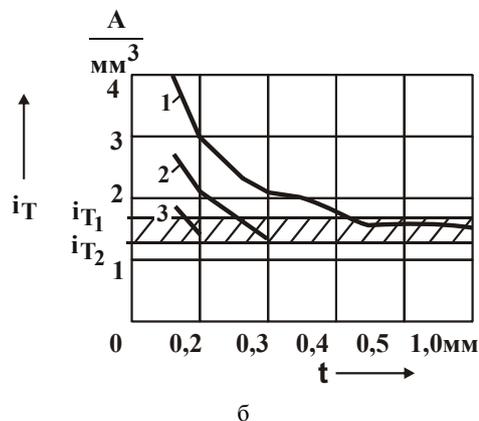
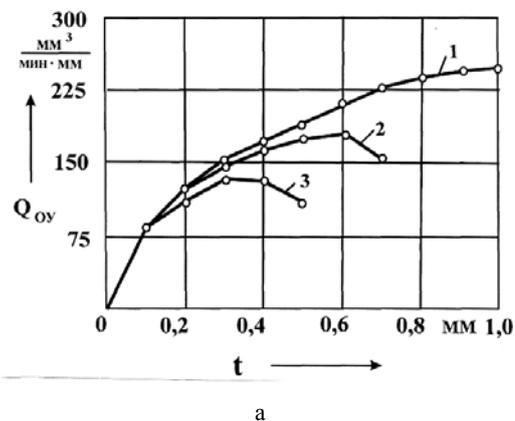


Рис. 1 – Зависимость производительности обработки  $Q_{0y}$  (а) и концентрации тока  $i_T$  (б) от глубины шлифования  $t$ :

1 -  $I_{cp} = 75$  А; 2 -  $I_{cp} = 48$  А; 3 -  $I_{cp} = 34$  А;

обрабатываемый материал – покрытие ПГ-10Н-01; алмазный круг - АС6 250/200 4 М2-01

Доказано, что для каждого значения производительности обработки существует вполне конкретное значение силы тока, определяемое оптимальным значением концентрации тока  $i_T$  (равным отношению силы тока к площади контакта круга с деталью), которое в широком диапазоне изменения глубин шлифования ( $t = 0,1-1,0$  мм) принимает значения  $i_T = 1,3-1,5$  А/мм<sup>2</sup>. Несоблюдение такого условия приводит к увеличению в 2 – 5 раз относительного расхода алмазов (в случае превышения силой тока оптимальных значений этой величины, рис. 2) или к значительному снижению производительности обработки и последующему прекращению процесса шлифования из-за интенсивного засаливания режущей поверхности круга (в случае, когда величина силы тока меньше оптимального значения).

Так установлено, что при силе тока  $I_{cp} = 48$  А обеспечивается полное устранение засаливания круга и соблюдение примерного равенства скоростей эрозионного разрушения металлической связки круга и линейного износа зерен при шлифовании с производи-

тельностью обработки, равной  $Q_{0y}=1400 \text{ мм}^3/\text{мин}$  (скорость детали  $V_{дет}=0,4 \text{ м/мин}$ ; глубина шлифования  $t=0,5 \text{ мм}$ ). С увеличением глубины шлифования наблюдается интенсивное засаливание круга, и ведение процесса в таких условиях становится нецелесообразным. В случае уменьшения глубины шлифования, начиная со значений  $t=0,35 \text{ мм}$ , наоборот, обеспечивается полное устранение засаливания круга, однако имеет место чрезвычайно высокий износ круга, который при дальнейшем уменьшении глубины шлифования резко возрастает.

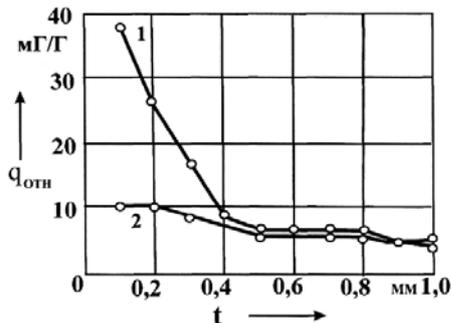


Рис. 2 – Зависимость относительного расхода алмаза от глубины шлифования: 1 –  $I_{cp}=68 \text{ А}$ ; 2 –  $i_T=1,4 \text{ А/мм}^2$ ; обрабатываемый материал – покрытие ПГ-10Н-01; алмазный круг – АС6 250/200 4 М2-01;  $V_{кр}=28 \text{ м/с}$

На основе выполненных экспериментальных исследований установлено существование предельной площади контакта  $S_k$  круга с деталью, при которой эффективно введение в зону резания дополнительной энергии в виде электрических разрядов. Показано, что реализация глубинного круглого наружного шлифования деталей с высокопрочными покрытиями стала возможной благодаря обработке относительно “узкой” поверхности фаски клапана, составляющей  $l_{дет}=6-8 \text{ мм}$ , т.к. увеличение ширины шлифования сопряжено с повышением величины импульсного тока, выше  $I_{cp}=80 \text{ А}$ , и отрицательным воздействием электроэрозионных процессов на качество обработанной поверхности.

Таким образом обоснованы условия эффективно-го применения глубинного алмазного электроэрозионного шлифования, реализующего оптимальные (механические) режимы шлифования. Оптимальные характеристики импульсного тока следующие: частота следования импульсов  $f=1-3 \text{ кГц}$  и скважность  $q_u=1,9-2,5$ . В качестве высокочастотного электроимпульсного генератора рекомендуется использовать генератор ШГИ-80х 2-88 М с  $I_{ном}=80 \text{ А}$ ,  $f=1-88 \text{ кГц}$ ,  $q_u=1,1-8,1$ .

Проведены также экспериментальные исследования глубинного электроэрозионного шлифования крупногабаритными алмазными кругами диаметром 500 мм и высотой 25 мм. Установлено, что значительное увеличение площади режущей поверхности круга положительно влияет на стабильность процесса шли-

фования, обеспечивает повышение параметров качества и точности обработанной поверхности.

**Выводы.** В работе приведены результаты экспериментальных исследований алмазного электроэрозионного шлифования и заточки твердосплавных инструментов. Показано, что для эффективного осуществления процесса шлифования алмазными кругами на металлической связке М1-01 необходимо использовать периодическую электроэрозионную правку, обеспечивающую восстановление режущей способности алмазного круга. Это улучшает экологию производства. При шлифовании алмазными кругами на более прочной металлической связке М2-01 необходимо использовать электроэрозионное шлифование, по сути, осуществляя непрерывную электроэрозионную правку круга, так как в противном случае круг быстро засаливается и теряет режущую способность, в особенности при обработке наплавочных материалов и сталей. Разработаны практические рекомендации по эффективному осуществлению многопроходного и глубинного шлифования алмазными кругами, работающими в режиме электроэрозионного шлифования.

#### Список литературы:

1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / Н.К. Беззубенко. – Харьков, 1995. – 56 с.
2. Пахалин Ю.А. Алмазное контактно-эрозионное шлифование / Ю.А. Пахалин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 178 с.
3. Мalykhin В.В. Повышение эффективности шлифования вольфрамсодержащих твердых сплавов совместно со сталью алмазными кругами: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Мalykhin В.В. – Харьков, 1985. – 266 с.
4. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Новиков Г.В. – Харьков, 1989. – 210 с.
5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 4. “Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов”. – 802 с.

#### References (transliterated)

1. Bezzubenko N.K. Povyshenie effektivnosti almaznogo shlifovaniya putem vvedeniya v zonu obrabotki dopolnitelnoy energii v forme elektricheskikh razryadov: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk: spets. 05.03.01 “Protsestry mekhanicheskoy obrabotki, stanki i instrumenty” / N.K. Bezzubenko. – Kharkov, 1995. – 56 s.
2. Pakhalin Yu.A. Almaznaya kontaktno-erozionnoe shlifovanie / Yu.A. Pakhalin. – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1985. – 178 s.
3. Malykhin V.V. Povyshenie effektivnosti shlifovaniya volframosoderzhashikh tverdykh splavov so stal'yu almaznymi krugami: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.03.01 / Malykhin V.V. – Kharkov, 1985. – 266 s.
4. Novikov G.V. Povyshenie effektivnosti almazno-iskrovogo shlifovaniya detaley s vysokoprothnymi pokrytiyami: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.08 / Novikov G.V. – Kharkov, 1989. – 210 s.
5. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya / Pod obsh. red. F.V. Novikova i A.V. Yakimova. – V 10 tomakh. – Odessa: ONPU, – T. 4. “Teoriya abrazivnoy i almazno-abrazivnoy obrabotki materialov”. – 802 s.