

механической и физико-технической обработки» / Е.В. Набока. – Харьковский гос. политехнический ун-т. – X., 1998. – 25 с.

4. Мурашкин, С.В. Повышение эффективности процесса шлифования за счет правки шлифовальных кругов с применением ультразвуковых колебаний: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. тех. наук: спец. 05.03.01 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» / С.В. Мурашкин. – Тольятти, 2006. – 20 с.

5. Резников, А.Н. Теплофизика резания / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.

6. Лапаев, Ю.А. Исследование процесса шлифования при ультразвуковых колебаниях алмазного круга / Ю.А. Лапаев, М.В. Щичилин, К.В. Соколов // Физические основы промышленного применения ультразвука. – Л.: ЛДНТП, 1970. – 42 с.

7. Мышов, М.С. Влияние ультразвука на процесс шлифования / М.С. Мышов, А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, Инженер, 2007. – Вып 8. – С. 70 – 72.

8. Кумабэ Д. Вибрационное резание / Д. Кумабэ; пер. с япон. С.Л. Масленникова. – М.: Машиностроение, 1985. – 423 с.

Надійшла до редакції 04.04. 2011

© А.Н. Шпилька, Н.Н. Шпилька

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ

*Проведен анализ современного состояния проблемы применения ультразвуковых колебаний при шлифовальной обработке, и доказана его высокая продуктивность.*

**Ключевые слова:** ультразвуковое шлифование, наложение ультразвука, колебания, режущий инструмент, факторы процесса шлифования.

## INVESTIGATION THE INFLUENCE OF ULTRASONIC OSCILLATION ON GRINDING PROCESS

*The existing problem of application of ultrasonic vibrations to grinding materials was analyzed and its high productivity was proved.*

**Keywords:** ultrasonic grinding, ultrasonic application, oscillation, cutting tool, factors of grinding process.

УДК 621.923

**И.Н. Пыжов, д.т.н., доц.**

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

**Н.Д. Жолткевич, д.т.н., с.н.с., Б.О. Коробко, к.т.н., доц., А.В. Васильев, к.т.н., доц.**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССУ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ АЛМАЗНЫХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ КРУГОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

*Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с возможностью повышения эффективности комбинированных процессов шлифования на базе комплексного подхода к явлениям, происходящим в зонах шлифования и управления режущим рельефом алмазных кругов.*

***Ключевые слова:** алмазные токопроводящие круги, зона шлифования, управление режущим рельефом круга, сила тока в цепи управления.*

**Постановка проблемы.** Практика использования комбинированных процессов шлифования показала, что значения их выходных показателей зависят не только от условий обработки, но во многом определяются схемами их конкретного применения, а также конструктивными параметрами автономного электрода (катода), являющегося основным элементом устройства для управления рельефом кругов. В связи с этим, необходимы исследования, направленные на установление областей и условий наиболее эффективного использования этих процессов.

**Анализ последних исследований с выделением не решенных ранее частей общей проблемы.** К настоящему времени вопросы повышения эффективности комбинированных процессов алмазного шлифования кругами на токопроводящих (металлических) связках достаточно изучены [1, 2, 3]. Анализ литературных источников показал, что уже предложен ряд схем для практической реализации таких процессов, причем большинство из них предполагает введение дополнительной электрофизико-химической энергии непосредственно в зону шлифования. А это существенно ограничивает их возможности, т.к. обработке могут быть подвергнуты только материалы, которые являются проводниками электрического тока [4]. Подвод же энергии только к алмазному кругу в автономной зоне [1, 3] также не всегда экономически оправдан, поскольку в некоторых случаях (например, в условиях образования большого количества стружки) это зачастую не позволяет реализовать потенциально высокие возможности процесса.

Как известно из теории электрохимической обработки, степень соответствия между формой детали и инструмента возрастает с уменьшением величины межэлектродного зазора (МЭЗ). Естественно, при этом требуются специальные проработки в плане обеспечения условий надежного заполнения МЭЗ токопроводящей жидкостью и автоматизации процесса правки круга, т.к. даже незначительные изменения зазора могут существенно повлиять на точность обработки, качество обработанной поверхности и другие исходные показатели процесса шлифования. Особенно сильно профиль круга искажается в случае обработки сверхтвердых материалов на основе алмаза. Важной задачей при использовании электрохимического воздействия на рабочую поверхность круга (РПК) является создание, поддержание и контроль равновесного МЭЗ. Отмеченные вопросы до сих пор являются недостаточно проработанными.

В связи с этим необходим комплексный подход к процессу управления, который позволил бы поддерживать неизменным исходный (заданный) профиль и режущий рельеф РПК на протяжении всего периода работы круга.

**Цель исследования.** Целью настоящей работы является повышение эффективности комбинированных процессов шлифования на базе комплексного подхода к явлениям, происходящим в зонах шлифования и управления режущим рельефом алмазных кругов.

**Изложение основного материала исследования.** Процесс алмазного шлифования поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) кругами на прочных металлических связках с управлением их режущим рельефом изучался в основном при использовании «упругой» схемы, т.е. с регламентированным усилием прижима образца к кругу. В то же время установлено, что именно при шлифовании по «жесткой» схеме, которая, как известно, является основной в производственных условиях, возникают значительные трудности, связанные с применением кругов на металлических связках. Эти трудности связаны в первую очередь с выбором способа удаления связки круга, поскольку при обработке по «жесткой» схеме силовая и тепловая напряженность процесса существенным образом зависит от состояния режущего рельефа круга.

Как уже отмечалось, необходимость непрерывного принудительного удаления связки круга диктуется чрезвычайно высокой интенсивностью износа алмазных зерен в процессе шлифования PSTM. Это предьявляет такое важное требование к способу удаления связки, как возможность регулирования его скорости в широких пределах. Ее верхний предел должен быть не меньше максимально возможной интенсивности износа алмазных зерен, поскольку для нормальной работы круга необходимо, чтобы скорость удаления связки ( $V_{\dot{n}a}$ ) находилась в соответствии с интенсивностью износа зерен ( $V_{\dot{\zeta}}$ ) [1, 3].

Интенсивность износа зерен зависит как от высоты их выступания над уровнем связки, так и количества зерен в контакте с PSTM. Можно предположить, что если в начале обработки  $V_{\dot{n}a} > V_{\dot{\zeta}}$ , то будет наблюдаться увеличение высоты зерен (а, следовательно, и уменьшение их числа в контакте) до такого значения, пока по причине постепенного возрастания  $V_{\dot{\zeta}}$  не будет соблюдено равенство этих скоростей, т.е.  $V_{\dot{n}a} = V_{\dot{\zeta}}$ . Силы резания и давление в контакте при этом должны уменьшаться. Если же  $V_{\dot{n}a}$  станет меньше, чем  $V_{\dot{\zeta}}$ , то следствием этого явится уменьшение высоты зерен (увеличение их количества в контакте), которое будет происходить до тех пор, пока отмеченные выше скорости не сравняются.

Однако такой процесс должен сопровождаться ростом силовой и тепловой напряженности. При определенном значении скорости  $V_{\dot{n}a}$  обрабатываемый PSTM может войти в контакт со связкой, а процесс шлифования в этом случае будет сопровождаться частичным самозатачиванием круга. Его доля определится величиной скорости  $V_{\dot{n}a}$ . Наибольшие значения сил будут наблюдаться при полном отсутствии целенаправленного принудительного удаления связки, когда круг будет полностью работать в режиме естественного самозатачивания, чего нельзя допускать на практике.

Проведенные исследования по выбору способа удаления связки круга для случая обработки PSTM показали, что в условиях «жесткой» схемы шлифования единственно эффективными являются способы, основанные на электрохимическом удалении связки круга. При этом обязательным условием является наличие автономного правящего электрода (катода) [3]. Это позволяет обеспечивать на практике самые высокие (из всех известных способов) значения интенсивности принудительного удаления металлической связки.

Управление режущим рельефом кругов, которое основано на использовании электрофизико-химического воздействия, может осуществляться путем подвода электрической энергии непосредственно в зону шлифования, только к кругу в автономной зоне или одновременно в обе зоны. При этом могут использоваться один

или два источника питания. Чтобы осуществить разный уровень регулирования величины силы тока в цепях шлифования и автономного управления, в дополнение к известным были предложены оригинальные электрические схемы (рис. 1), [5].

Они позволяют осуществлять электроалмазное шлифование с одновременным управлением режущим рельефом алмазных токопроводящих кругов в автономной зоне (комбинированная обработка), используя один источник питания, причем переменного тока. Это дает возможность не только упростить процесс управления, но и сделать его более экономичным.

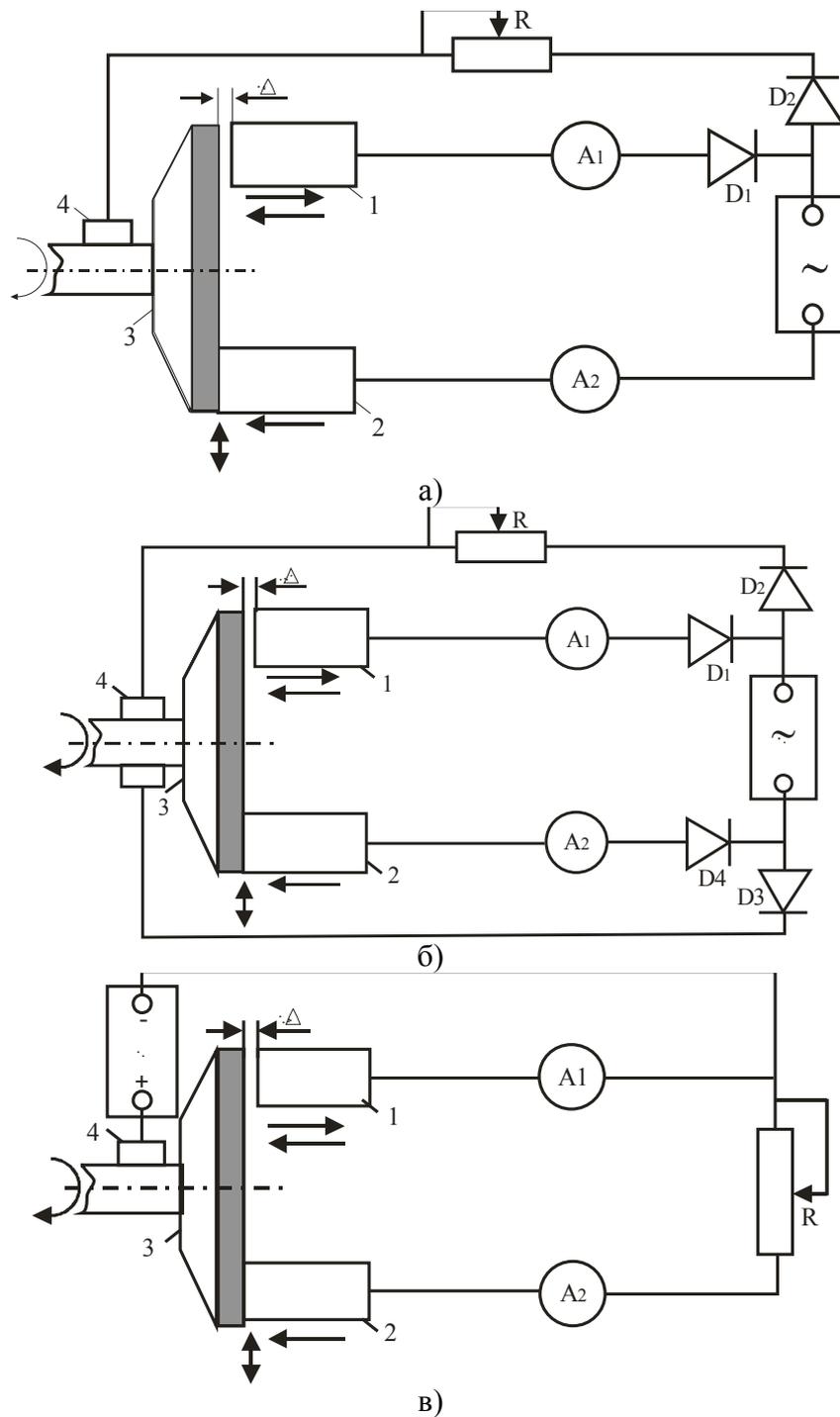


Рисунок 1 – Комбинированные схемы алмазного шлифования с использованием источника переменного (а, б) и постоянного (в) тока:

1 – автономный катод; 2 – обрабатываемая деталь;  
3 – алмазный круг; 4 – токосъемник

Согласно схеме, представленной на рис. 1, а, используется источник переменного тока, причем импульсы прямой полярности реализуются для цепей шлифования и управления, а импульсы тока обратной полярности – только для обработки. Создание двух электрических цепей, которые работают параллельно друг другу, позволяет осуществить дополнительную регулировку силы тока в цепи обработки за счет изменения ее активного сопротивления  $R$ .

Независимое регулирование в обеих цепях можно осуществить путем использования импульсов тока прямой полярности только для цепи управления режущим рельефом, а обратной полярности – только для цепи шлифования (рис. 1, б). В этом случае, как и в предыдущем, используется источник переменного тока. Регулирование силы тока в цепи управления производится путем изменения величины межэлектродного зазора (МЭЗ,  $\Delta$ ), а в цепи обработки – изменением ее активного сопротивления  $R$ .

Возможно и параллельное подключение цепей обработки и управления к одному и тому же источнику постоянного тока (рис. 1, в).

Рассмотренные схемы комбинированного шлифования являются широкоуниверсальными и могут быть успешно использованы при обработке ассортимента инструментальных и конструкционных материалов – от сверхмягких (например, медь) до сверхтвердых (например, алмаз). Способы эффективны как при обработке проводников электрического тока, так и диэлектриков, что особенно важно на практике.

Одним из существенных недостатков электрохимического способа управления режущим рельефом кругов в автономной зоне является сравнительно невысокая точность поддержания заданного профиля круга, искажение которого влияет на такие выходные показатели процесса, как размерная точность обработанных деталей, удельный расход алмазов круга и процент брака деталей. Установлено, что основная роль в формировании профиля кругов принадлежит явлениям, происходящим в МЭЗ [6]. В связи с этим был проведен анализ параметров, ответственных за точность поддержания исходного профиля алмазных торцовых кругов (рис. 2).

Геометрия МЭЗ определяется формой рабочих поверхностей автономного катода и круга. Предположим, что в начале обработки рабочие поверхности катода и круга параллельны друг другу, а зона управления на катоде ограничена дугами максимальной и минимальной окружностей и параллельными прямыми  $\hat{A}\hat{A}$  и  $\hat{A}_1\hat{A}_1$  (рис. 2, а). В этом случае угол контакта  $\beta_1$  (угол между радиус-векторами, проведенными из центра круга в точки, лежащие симметрично на прямых  $\hat{A}\hat{A}$  и  $\hat{A}_1\hat{A}_1$ ) уменьшается по мере удаления этих точек от центра круга. При этом каждая точка, лежащая на рабочей поверхности круга, проходит в МЭЗ одинаковый путь независимо от величины ее удаления от центра вращения круга, так как  $\hat{A}\hat{A}_1 = \hat{A}\hat{A}_1$ . Экспериментально установлено, что рабочая поверхность круга приобретает при этом конусность (угол  $\alpha_1$ ), вследствие которой величина МЭЗ уменьшается по мере движения по радиусу от центра круга (рис. 2, б).

Такое явление обусловлено различием скоростей движений точек круга, расположенных на разных расстояниях от его центра. В результате этого изменяется время их пребывания в зоне управления.

Если рабочая поверхность катода будет ограничена дугами максимальной и минимальной окружностей и прямыми  $\tilde{A}\tilde{N}$  и  $\tilde{A}_1\tilde{N}_1$ , перпендикулярными соответственно прямым  $\hat{A}\hat{A}$  и  $\hat{A}_1\hat{A}_1$ , то угол  $\beta_3$  увеличивается по мере удаления точек, лежащих на прямых  $\tilde{A}\tilde{N}$  и  $\tilde{A}_1\tilde{N}_1$ , от центра круга. Следовательно, возрастает путь, проходимый точками рабочей поверхности круга в пределах МЭЗ, так как  $\tilde{N}\tilde{N}_1 > \hat{A}\hat{A}_1$ .

На рабочей поверхности круга образуется обратная конусность (угол  $\alpha_2$ , рис. 2, в).

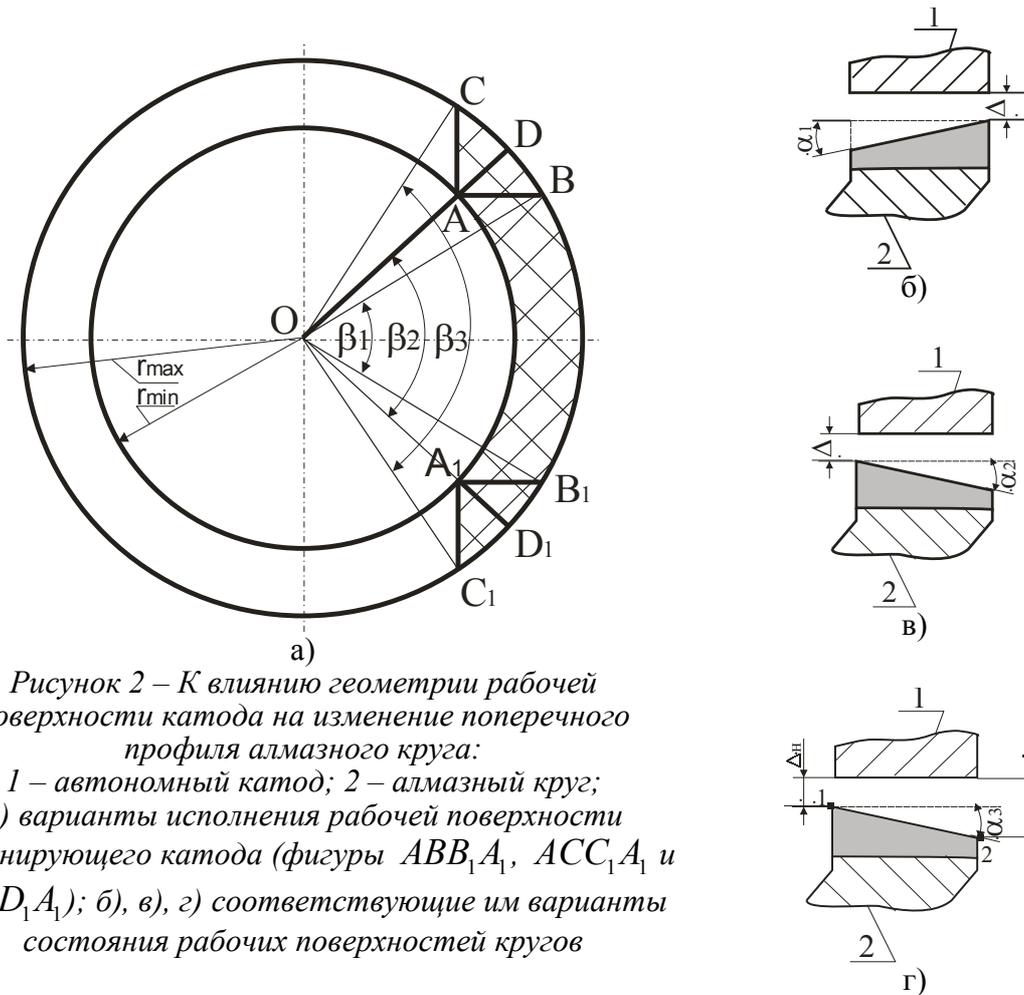


Рисунок 2 – К влиянию геометрии рабочей поверхности катода на изменение поперечного профиля алмазного круга:  
 1 – автономный катод; 2 – алмазный круг;  
 а) варианты исполнения рабочей поверхности доминирующего катода (фигуры  $ABB_1A_1$ ,  $ACC_1A_1$  и  $ADD_1A_1$ ); б), в), г) соответствующие им варианты состояния рабочих поверхностей кругов

Причиной этого является непропорциональное увеличение пути, проходимого точками круга в МЭЗ, росту скорости их движения. Для обеспечения равного линейного съема материала связки при неизменной плотности тока по ширине МЭЗ необходимо, чтобы время прохождения каждой точкой рабочей поверхности круга через МЭЗ было неизменным. Такое условие возможно, если угол  $\beta_2$  не меняется по мере удаления точек от центра круга (рис. 2, а). При этом рабочая поверхность катода будет ограничена дугами максимальной и минимальной окружностей и прямыми  $AD$  и  $A_1D_1$ , являющимися продолжением радиус-векторов, проведенных из центра окружности в точки  $D$  и  $D_1$ .

В этом случае соотношение длин дуг можно выразить следующей формулой:

$$DD_1 = AA_1 \cdot \frac{r_{\max}}{r_{\min}}. \quad (1)$$

Однако исследования показали, что и в таком случае не наблюдается изменение исходного профиля круга (рис. 2, г;  $0 < \alpha_3 < \alpha_2$ ). Это объясняется тем, что электролит при движении по ширине рабочей поверхности круга (от точки 1 к точке 2, рис. 2, г) нагревается, и его температура увеличивается. Поскольку с повышением температуры электролита растет его электропроводность, что нарушает равновесность МЭЗ, увеличивается плотность тока [7], а следовательно, и интенсивность растворения связки круга.

Необходимость устранения конусности рабочей поверхности круга диктуется отрицательными явлениями, которые она вызывает (рис. 3).

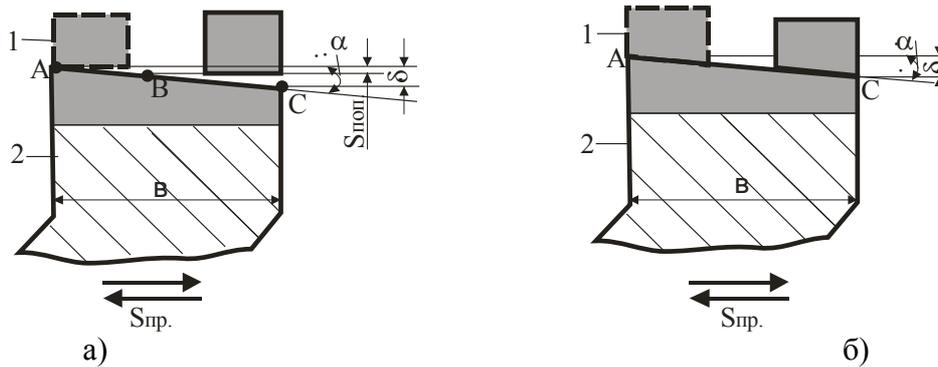


Рисунок 3 – Схема взаимодействия обрабатываемого материала с рабочей конусной поверхностью круга при шлифовании по «жесткой» (а) и «упругой» (б) схемам:  
1 – обрабатываемый материал; 2 – алмазный круг

Так, например, при работе по «жесткой» схеме (с фиксированной поперечной подачей  $S_{\text{пр}}$  за пределами рабочей поверхности круга) наблюдается значительное увеличение удельного расхода алмазов круга. Поскольку в процессе участвует лишь часть рабочей поверхности круга ( $AA'$ ), что объясняется превышением перепада  $\delta$  высоты круга на входе и выходе из рабочей зоны над величиной поперечной подачи (т. е.  $\delta > S_{\text{пр}}$ , рис. 3, а). Так, например, при шлифовании сверхтвердых материалов на основе алмаза и плотных модификаций нитрида бора  $S_{\text{пр}} = 0,005 - 0,1$  мм/дв. ход, в то время как  $\delta > 0,005 - 0,8$  мм. В результате этого алмазные зерна удаляются с части круга  $BC$ , не участвуя в резании, а зерна на второй его части ( $AB$ ) претерпевают повышенные нагрузки. Это может привести к потере режущей способности круга, а значит, и к ухудшению качества обработанной поверхности.

В случае использования «упругой» схемы шлифования, когда обрабатываемый материал не выходит за пределы рабочей поверхности круга (осцилляция круга в продольном направлении меньше, чем ширина  $B$  его рабочей поверхности), значительно снижается размерная точность изделий (рис. 3, б).

На рис.1 показаны профили кругов в установившемся состоянии, когда образовавшаяся конусность практически не изменяется, т.е.  $\alpha = \text{const}$ . Однако такое состояние круг приобретает не сразу после начала процесса шлифования и управления, а лишь по истечении определенного времени. При этом угол  $\alpha$  постепенно увеличивается до своего установившегося значения. Увеличение угла  $\alpha$  прекращается в тот момент времени, когда за счет изменения величины МЭЗ по ширине  $B$  рабочей поверхности круга будет скомпенсировано изменение интенсивности линейного съема связки, вызванной изменением диаметра (скорости вращения) круга и температуры электролита по ширине его рабочей поверхности. Если рабочей поверхности катода придать профиль, обратный установившемуся в процессе управления профилю круга, то последний (при условии, что сила тока в цепи управления, а следовательно, и величина МЭЗ остались неизменными) будет иметь исходное состояние на протяжении всего времени обработки.

Наиболее целесообразным вариантом следует считать такой, когда изменением длины пути, проходимого точками, лежащими на рабочей поверхности круга, заранее скомпенсировано влияние, вызываемое увеличением диаметра круга (рабочая поверхность катода ограничена дугами  $AA_1$  и  $DD_1$  и радиус-векторами  $OD$  и  $OD_1$ , рис. 2, г).

Поскольку в этом случае точность профиля круга будет зависеть в основном от неравномерности плотности тока по ширине МЭЗ, вызванной изменением температуры электролита, то создаются реальные предпосылки для теоретического расчета необходимого профиля катода.

Как известно [7], электропроводность электролита линейно зависит от его температуры, т. е. можно записать

$$\Delta_e = \Delta_i \cdot [1 + j(T_e - \dot{O}_i)], \quad (2)$$

где  $\Delta_i$  и  $\Delta_e$  – соответственно начальная и конечная величины МЭЗ;  $j$  – температурный коэффициент электропроводности электролита;  $\dot{O}_i$ ,  $T_e$  – температура электролита соответственно на входе в МЭЗ и выходе из него.

Отсюда можно определить значение угла  $\alpha$

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta_e - \Delta_i}{r_{\max} - r_{\min}} = \arctg \frac{[\Delta_i \cdot [1 + j(T_e - \dot{O}_i)] - \Delta_i]}{r_{\max} - r_{\min}} = \arctg \frac{\Delta_i \cdot j(T_e - \dot{O}_i)}{r_{\max} - r_{\min}}, \quad (3)$$

где  $r_{\max}$ ,  $r_{\min}$  – соответственно максимальный и минимальный диаметры круга.

Установив рабочую поверхность катода под углом  $\alpha$ , который определен по приведенной выше формуле, можно практически полностью устранить изменение профиля круга в процессе шлифования с непрерывным электрохимическим управлением его режущим рельефом, поскольку МЭЗ по ширине круга будет равновесным.

На точность поперечного профиля круга оказывают влияние и погрешности взаимного расположения круга и катода, которые неизбежны при снятии катода или замене круга, а также при перемещении катода по направляющим.

На рис. 4 представлена конструкция автономного катода, дающая возможность компенсировать погрешности взаимной установки круга и катода. Рабочая поверхность катода выполнена в виде двух одинаковых, механически и электрически связанных частей, расположенных симметрично над диаметрально противоположными сторонами круга. Уменьшение МЭЗ в одной его части, вызванное указанными выше погрешностями, приводит к увеличению его в другой части, что позволяет сохранить суммарную величину зазора в любой точке МЭЗ постоянной. Так как изменение величины МЭЗ, вызванное погрешностями взаимного расположения катода и круга, обычно не превышает сотые доли миллиметра, можно считать зависимость силы тока в цепи зазора линейной.

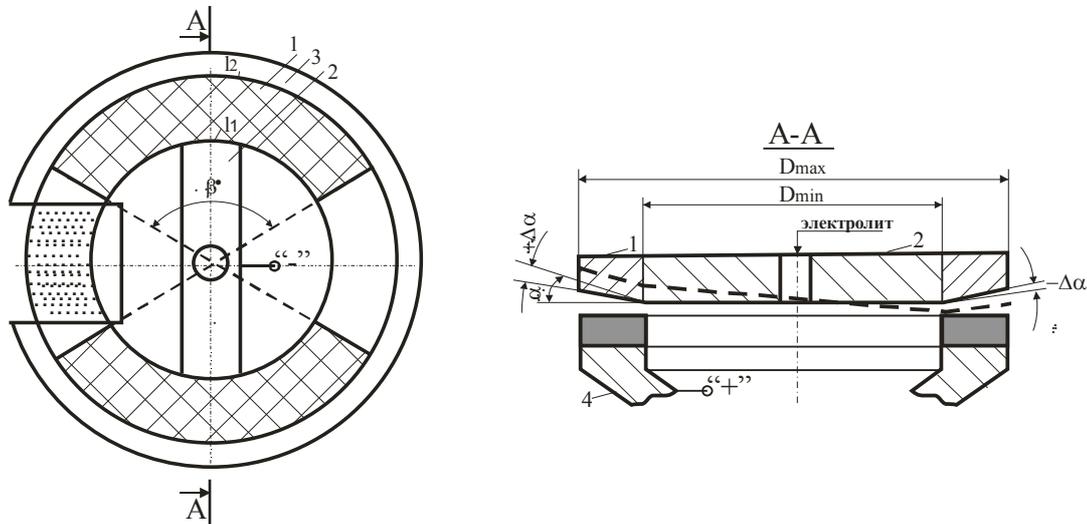


Рисунок 4 – Схема взаимодействия обрабатываемого материала с рабочей поверхностью автономного катода при шлифовании по «жесткой» (а) и «упругой» (б) схемам: 1 – обрабатываемый материал; 2 – алмазный круг

Учитывая тот факт, что в большинстве случаев электролит подается на вращающийся круг методом полива и попадает в межэлектродный зазор за счет действия центробежных сил, степень заполнения им МЭЗ будет зависеть от величины последнего. Чем меньше  $\Delta$ , тем труднее электролиту попадать в МЭЗ. В связи с этим верхнее значение интенсивности удаления связки круга значительно ограничивается возможностью возникновения электрического пробоя зазора и появления электрической дуги, причиной чего является локальный перегрев электролита в каком-либо промежутке МЭЗ и образование парогазовой полости, резко повышающей электрическое сопротивление межэлектродного промежутка [8]. Устранить указанный недостаток можно путем использования предложенного

устройства (рис. 5) для управления режущим рельефом кругов, в котором рабочая поверхность автономного катода 1, состоящего из двух частей, выполнена в виде конуса с углом при вершине  $180^\circ - 2\alpha$  ( $\alpha \leq 3^\circ$ ), основание которого обращено к алмазному кругу.

Угол  $\alpha$  выбирается таким, чтобы величина зазора между катодом 1 и кругом 4 на входе превышала его значение на выходе на величину 0,1 – 0,15 мм, что обеспечивает хороший доступ электролита на входе в МЭЗ. Поскольку  $\Delta_k < \Delta_n$ , то одновременно несколько затрудняется его выход из МЭЗ, что создает благоприятные предпосылки для большего заполнения межэлектродного промежутка электролитом, а значит, существенного повышения плотности технологического тока в цепи управления.

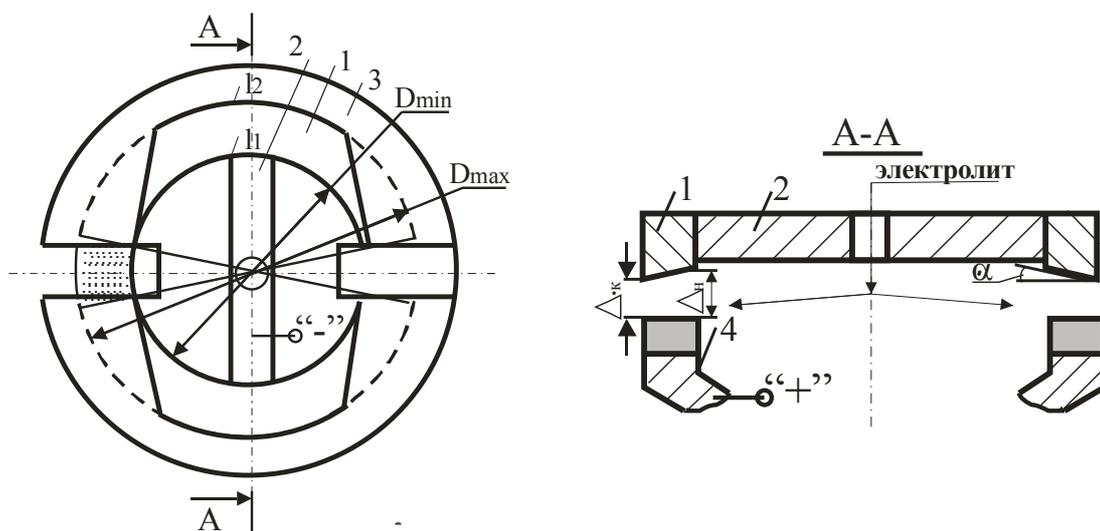


Рисунок 5 – Конструкция автономного катода, обеспечивающая стабилизацию исходного профиля круга: 1 – автономный катод; 2 – пластина; 3 – корпус катода; 4 – алмазный круг

Поскольку в этом случае создать равновесный зазор по ширине рабочей поверхности круга рассмотренным выше приемом не представляется возможным, то предложено осуществлять этот процесс путем изменения протяженности зоны управления (за счет изменения соотношения длин дуг  $l_1$  и  $l_2$ , ограничивающих рабочую поверхность катода). Экспериментально установлено, что зависимость электрического сопротивления МЭЗ от величины последнего ( $\Delta$ ) в общем случае не линейна и может быть описана полиномом степени  $n$

$$R_{\Delta i} = A_0 + A_1 \cdot \Delta i + A_1 \cdot \Delta_i^2 + \dots + A_n \cdot \Delta_i^n, \quad (4)$$

где  $A_0 \dots A_n$  – постоянные коэффициенты полинома, определяемые экспериментально.

Приняв длину одного основания трапеции, например  $l_1$ , постоянной, можно определить величину  $l_{2i}$  изменяющегося второго основания с учетом ширины рабочей поверхности алмазного круга

$$l_{2i} = \frac{l_1 \cdot r_i \cdot (A_0 + A_1 \cdot \Delta_{ei} + A_1 \cdot \Delta_{ei}^2 + \dots + A_n \cdot \Delta_{ei}^n)}{r_{\min} \cdot (A_0 + A_1 \cdot \Delta_{ii} + A_1 \cdot \Delta_{ii}^2 + \dots + A_n \cdot \Delta_{ii}^n) \cdot (1 + j(T_e - \dot{O}_i))}, \quad (5)$$

где  $\Delta_{ei} = \Delta_i + (r_i - r_{\min}) \cdot \operatorname{tg} \alpha$ .

Для практической реализации комбинированных процессов шлифования с автономным управлением режущим рельефом кругов имеет принципиально важное значение вопрос обеспечения стабилизации управляющего воздействия на рабочую поверхность круга [1]. Одним из возможных вариантов решения этой задачи может быть устройство, представленное на рис. 6.

Интенсивность (скорость) растворения связки круга, а следовательно, и восстановления его режущих свойств задается величиной силы тока в цепи управления

(цепь: минус источника питания 3, катод 5, алмазный круг 1, токоъемник 4, плюс источника питания 3). Регулирование силы тока при неизменном напряжении источника питания осуществляется величиной межэлектродного зазора  $\Delta$  (в результате чего изменяется его электрическое сопротивление). Подвод катода 5 к кругу 1 или отвод от него (в зависимости от величины силы тока в цепи управления) происходит автоматически с помощью механизма перемещения 6 катода 5. Для этого в составе отмеченного механизма имеется реверсивный конденсаторный электродвигатель 7, который в свою очередь управляется блоком автоматики 8. Основными элементами этого блока являются источник стабилизированного напряжения 9, блок сравнения 10, электронный усилитель 11.

Информация о величине силы тока в цепи управления снимается с шунта сопротивлением  $R$  в виде падения напряжения, значение которого зависит от силы тока. Это напряжение сравнивается в блоке сравнения 10 со стабилизированным напряжением источника 9. Результирующий сигнал усиливается электронным усилителем и поступает на реверсивный электродвигатель 7. В зависимости от полярности такого сигнала двигатель 7 будет либо подводить катод 5 к кругу 1, либо отводить от него. При этом происходит изменение величины МЭЗ ( $\Delta$ ), а значит, и силы тока в цепи управления.

Практика использования разработанных устройств подтвердила необходимость их применения и показала высокую надежность работы. Так, например, при шлифовании сверхтвердого нитрида бора композит 10 (условия обработки: круг 12A2-45°150x10x3x32 AC6 100/80 A1 M2-01 50 %;  $V_e=20$  м/с;  $S_{i\delta}=3$  м/мин;  $S_{iir}=0,2$  мм/дв. ход;  $I=50$  А) за счет поддержания исходного профиля круга в неизменном состоянии удалось дополнительно снизить давление в контакте ( $P_i$ ) примерно в 3 раза, брак по трещинам обрабатываемых изделий на 2 %, а удельный расход алмазов круга ( $q$ ) примерно в 1,5 раза (табл. 1), что в конечном итоге снизило удельную себестоимость процесса ( $C_{\text{дд}}$ ) в 3,5 раза.

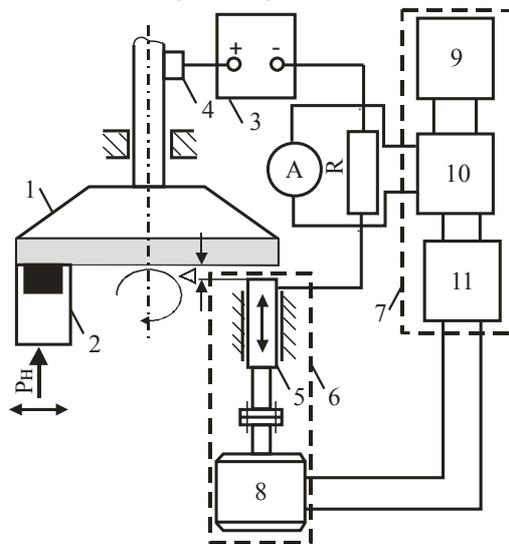


Рисунок 6 – Принципиальная схема комбинированного процесса шлифования с автоматической стабилизацией силы тока в цепи управления: 1 – алмазный круг; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – источник постоянного тока; 4 – токоъемник; 5 – автономный катод; 6 – механизм перемещения катода; 7 – блок автоматики; 8 – реверсивный электродвигатель; 9 – источник стабилизированного напряжения; 10 – блок сравнения; 11 – электронный усилитель

Таблица – Влияние угла профиля круга на исходные показатели обработки

Угол $\alpha, ^\circ$	Исходные показатели обработки		
	$P_i$ , МПа	$q$ , мг/мм <sup>3</sup>	$C_{\text{дд}}$ , коп/мм <sup>3</sup>
5°	8,0	0,45	5,05
0,2°	2,5	0,30	1,45

**Выводы и перспективы дальнейших исследований в этом направлении.** Таким образом, на основании изложенного можно сделать вывод, что правильным

выбором схемы комбинированного процесса шлифования и профиля рабочей поверхности катода в сочетании с автоматической стабилизацией силы тока в цепи управления можно значительно повысить эффективность процесса алмазного шлифования в целом. В дальнейшем представляет определенный интерес решение задачи управления режущей способностью алмазных кругов, имеющих большую ширину рабочей поверхности.

#### Литература

1. Грабченко, А.И. *Расширение технологических возможностей алмазного шлифования* / А.И. Грабченко. – Харьков: Вища шк., 1985. – 184 с.
2. *Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні: підручник для студентів вищих навчальних закладів* / А.И. Грабченко, М.В. Везуб, Ю.М. Внуков та ін.; за ред. А.И. Грабченка. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 451 с.
3. Семко, М.Ф. *Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов* / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, М.Г. Ходоревский. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с.
4. Белявцев, Н.И. *Комбинированное шлифование безвольфрамовых твердых сплавов* / Н.И. Белявцев, М.Д. Узунян. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 169 с.
5. Грабченко, А.И. *Особенности управления режущим рельефом алмазных кругов при шлифовании пластичных материалов* / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, В.Л. Доброскок // *Резание и инструмент: респ. межвед. научн.- техн. сб.* – Харьков, 1986. – Вып.35. – с. 57–63.
6. *Обеспечение равновесного зазора при автономном управлении режущим рельефом алмазных кругов* / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, В.А. Федорович, В.А. Баргуз // *Прогрессивные технологические процессы, оборудование и инструмент: темат. сб. науч. тр.* – Харьков: ХАИ, 1987. – С. 59–64.
7. Де-Барр А. *Электрохимическая обработка* / Де-Барр А., Оливер Д.А.; пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1973. – 184 с.
8. *Основы повышения точности электрохимического формообразования* / Ю.Н. Петров, Г.Н. Корчагин, Г.Н. Зайдман и др.: под ред. И.И. Мороза. – Кишинев: Штиинца, 1977. – 152 с.

Надійшла до редакції 18.01. 2010

© І.М. Пижов, М.Д. Жолткевич, Б.О. Коробко, А.В. Васильєв

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ АЛМАЗНИХ СТРУМОПРОВІДНИХ КРУГІВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ СПОСОБОМ

*Розглянуто деякі питання, пов'язані з можливістю підвищення ефективності комбінованих процесів шлифування на базі комплексного підходу до явищ, які мають місце у зонах шлифування та керування різальним рельєфом алмазних кругів.*

**Ключові слова:** алмазні струмопровідні круги, зона шлифування, керування різальним рельєфом круга, сила струму в ланцюгу керування.

## PACKAGE APPROACH TO THE CONTROL FLOW OF THE ELECTRICALLY CONDUCTIVE DIAMOND WHEELS' ACTING FACE BY MEANS OF CHEMICAL-ELECTRIC METHOD

*The authors of the article dwell on some issues, which are related to the possibility of effectiveness increasing of the grinding combined processes on the basis of a comprehensive approach to the phenomena, occurring in the grinding area and management of cutting topography of diamond wheels.*

**The keywords:** electrically conductive diamond wheel, grinding area, management of cutting topography of diamond wheels, current intensity in the drive circuit.