

Исследование процессов обработки

УДК 621.923

А. В. Бурдин, П. Г. Матюха (г. Донецк)

Алмазное шлифование композиции VK8–сталь 45 с управлением режущей способностью круга электроэрозионным способом

Определены оптимальные механические и электрические режимы шлифования композиции VK8–сталь 45 с периодическим электроэрозионным воздействием на рабочую поверхность круга, обеспечивающие повышение производительности и снижение удельной себестоимости обработки по сравнению со шлифованием кругом, запрограммированным электроэрозионным способом.

Ключевые слова: режимы шлифования, композиция VK8–сталь 45.

Повышение производительности и снижение себестоимости обработки являются одними из важнейших задач производства, решение которых обеспечивает выпуск конкурентоспособной продукции.

В настоящее время в промышленности нашли широкое применение изделия, состоящие из компонентов различных материалов – резцы, ножи бумагорезальных машин, зубки рабочих органов угольных комбайнов и т. п. Как правило, рабочая часть таких изделий выполнена из труднообрабатываемых материалов, а корпус – из конструкционной стали. Сегодня обработку таких композиций осуществляют алмазно-искровым шлифованием кругами из синтетических алмазов на металлических связках [1–5], а оптимизацию режимов – с помощью многофакторного планирования эксперимента, которое является весьма трудоемким, к тому же применение полученных результатов ограничено областью проведенных исследований.

В [6] для оценки режущей способности круга в какой-либо момент обработки было введено новое понятие – текущая лимитированная режущая способность круга (ТЛРСК), которая представляет собой мгновенное значение режущей способности круга при шлифовании по упругой схеме с постоянной силой поджима образца к рабочей поверхности круга (РПК), удовлетворяющей лимитирующему техническому ограничению. В [7], используя это понятие, были найдены оптимальные режимы электроэрозионных воздействий (ЭЭВ) на РПК при алмазном шлифовании твердых сплавов, когда поддержание режущих свойств рабочей поверхности осуществляется периодическим

воздействием на РПК. При этом процесс шлифования с периодическим воздействием на РПК был представлен в виде чередующихся циклов, состоящих из периода шлифования без ЭЭВ и периода восстановления режущих свойств РПК с помощью ЭЭВ. Сведения о поиске оптимальных режимов с использованием ТЛРСК при шлифовании композиций в литературе отсутствуют.

Целью работы было определение оптимальных режимов алмазного шлифования композиции, состоящей из твердого сплава ВК8 и стали марки 45, с управлением режущей способностью круга с помощью периодического электроэрозионного воздействия с использованием текущей лимитированной режущей способности круга.

Шлифование композиции ВК8–сталь 45 осуществляли на модернизированном для ЭЭВ на РПК в автономной зоне станка мод. 3Г71 (рис. 1, а, б). В качестве источника технологического тока использовали генератор мод. ИТТ-35. Положительный полюс источника тока был подключен к шлифовальному кругу, отрицательный – к автономному электроду. Поджим образца к РПК осуществляли с помощью специального устройства [7]. Рабочей средой служил 0,3 %-ный водный раствор кальцинированной соды, подводимый в зону резания и автономную зону через соответствующие сопла.

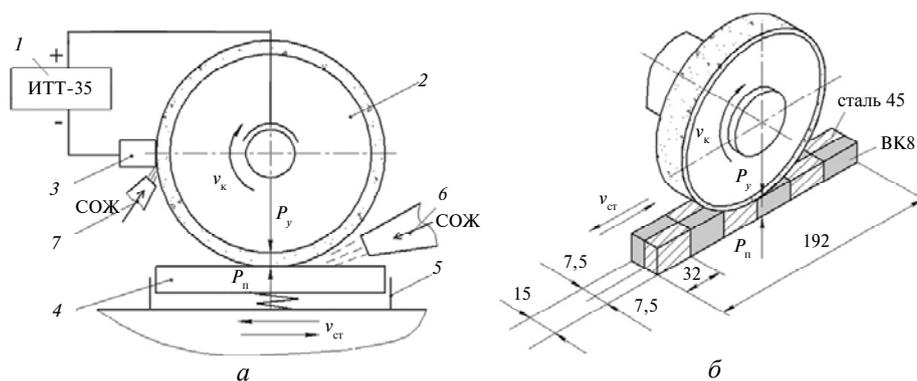


Рис. 1. Плоское врезное шлифование композиции материалов по упругой схеме с управляющими ЭЭВ на РПК в автономной зоне (а): 1 – источник технологического тока; 2 – шлифовальный круг; 3 – автономный электрод; 4 – образец; 5 – устройство поджима образца; 6, 7 – сопла; обрабатываемая поверхность образца с размерными параметрами (б).

При плоском врезном алмазном шлифовании по упругой схеме с периодическими ЭЭВ на РПК в автономной зоне следует различать механические и электроэрозионные режимы обработки. К механическим режимам относятся скорость круга, скорость стола и сила поджима образца к РПК, к режимам ЭЭВ – среднее напряжение на межэлектродном промежутке, средняя сила тока, промежуток времени между ЭЭВ и длительность ЭЭВ.

Механические режимы алмазного шлифования композиции ВК8–сталь 45 по упругой схеме определяли из условия обеспечения заданных параметров шероховатости обработанной поверхности путем нахождения соотношения скорости круга и скорости детали с учетом характеристик алмазносодержащего слоя в соответствии с методикой, изложенной в [7]. При врезном шлифовании образца, у которого рабочая часть выполнена из сплава ВК8, а корпус – из стали марки 45 кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80 100 М2-01 на станке 3Г71 со скоростью резания $v_k = 35$ м/с была рассчитана продольная скорость

стола $v_{ст} = 6$ м/мин, обеспечившая заданный параметр шероховатости $Ra = 0,63$ мкм.

Учитывая, что при шлифовании композиции ВК8–сталь 45 по упругой схеме одновременно обрабатываются различные материалы, силу поджима образца к РПК определяли по формуле [8]

$$P_{п} = P_{y.t.c} + P_{y.ст},$$

где $P_{y.t.c}$ – предельная радиальная сила резания твердого сплава, Н, ограниченная температурой окисления алмаза; $P_{y.ст}$ – радиальная сила резания, Н, возникающая при шлифовании стальной части на таких же режимах, как при обработке твердосплавной компоненты образца. При шлифовании образца заданных (см. рис. 1, б) размеров $P_{п}$ было равным 65 Н.

Для определения времени между ЭЭВ на РПК использовали временные зависимости ТЛРСК при шлифовании без электроэрозионных воздействий и при восстановления режущих свойств круга в процессе ЭЭВ на максимальных ($U_{ср} = 4,5$ В и $I_{ср} = 10$ А) электрических режимах, которые обеспечивает генератор ИТТ-35, а также зависимость расхода алмазов на разных этапах шлифовании без электроэрозионного воздействия на РПК и с таковым.

Зависимости ТЛРСК и расхода алмазов от времени шлифовании находили по экспериментальным данным, полученным после 1, 5, 10, 15, 30, 45, 60 мин шлифовании без ЭЭВ и после 2, 4, 6 и 8 мин шлифовании с восстановлением режущей способности РПК за счет ЭЭВ (рис. 2).

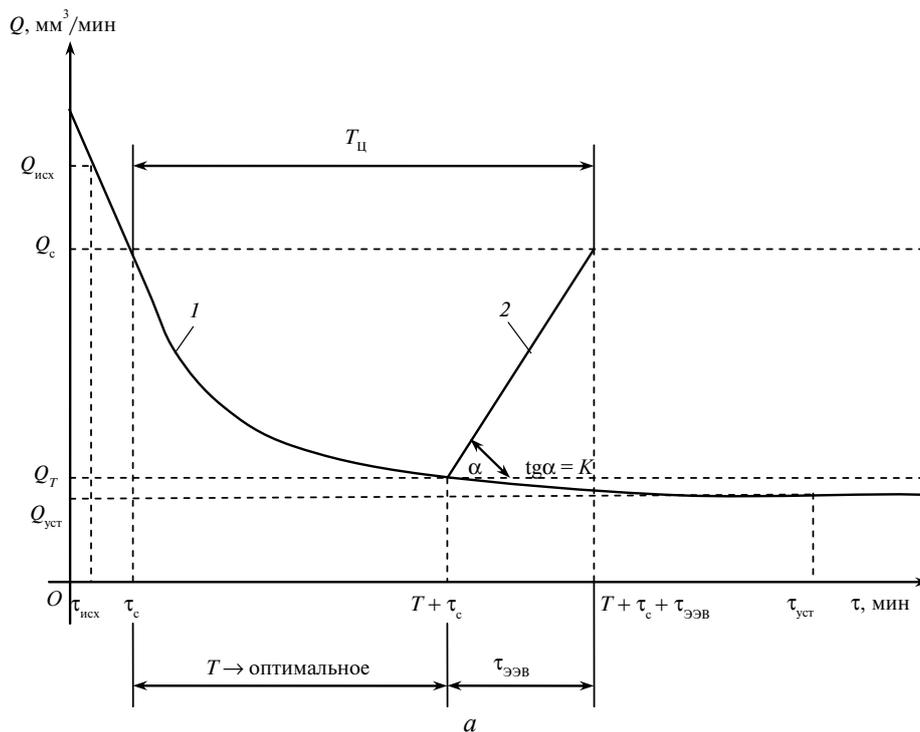


Рис. 2. Изменение ТЛРСК (а) и расхода алмазов (б) в течение цикла обработки “шлифование без ЭЭВ–шлифование с ЭЭВ”: уменьшение ТЛРСК (1) и расход алмазов $M_{шл}(\tau)$ (3) при шлифовании без ЭЭВ, восстановление режущих свойств РПК (2) и расход алмазов $M_{шл+ЭЭВ}(\tau)$ (4) при шлифовании с ЭЭВ; $\tau_{исх} = 1$ мин – время после начала шлифовании, при котором было выполнено первое измерение режущей способности РПК.

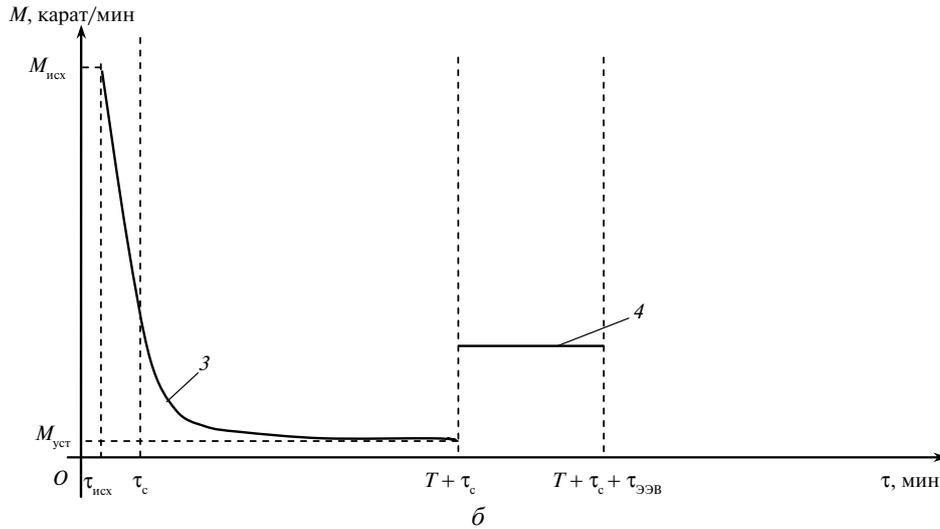


Рис. 2. (Продолжение).

При обработке без ЭЭВ найденные зависимости ТЛРСК – $Q_{\text{шл}}(\tau)$, мм³/мин (см. рис. 2, а, кривая 1), и расхода алмазов – $M_{\text{шл}}(\tau)$, карат/мин (см. рис. 2, б, кривая 3), имели экспоненциальный характер и их можно описать как

$$Q_{\text{шл}}(\tau) = 113 + 1015 \exp(-0,138(\tau-1)); \quad (1)$$

$$M_{\text{шл}}(\tau) = 0,02 + 1,04 \exp(-0,48(\tau-1)). \quad (2)$$

При восстановлении параметров РПК с помощью ЭЭВ зависимость ТЛРСК от времени ($Q_{\text{шл+ЭЭВ}}(\tau)$, мм³/мин) имеет вид (см. рис. 2, а, кривая 2)

$$Q_{\text{шл+ЭЭВ}}(\tau) = 90,3\tau + 113, \quad (3)$$

а расход алмазов ($M_{\text{шл+ЭЭВ}}(\tau)$, карат/мин) не зависит от времени обработки (см. рис. 2, б):

$$M_{\text{шл+ЭЭВ}}(\tau) = 0,287. \quad (4)$$

Время T между периодическим ЭЭВ на РПК определяли на ПЭВМ по специальной программе с помощью уравнений (1)–(4) в пределах цикла “шлифование без ЭЭВ–шлифование с ЭЭВ” с использованием критерия минимальной удельной себестоимости шлифования.

Удельная себестоимость шлифования одного цикла ($C_{\text{уд.ц}}$, грн/мм³) представляет собой отношение технологической себестоимости обработки $C_{\text{ц}}$ к количеству сошлифованного материала $V_{\text{м.ц}}$:

$$C_{\text{уд.ц}}(T) = \frac{C_{\text{ц}}(T)}{V_{\text{м.ц}}(T)}. \quad (5)$$

Технологическую себестоимость составляющих одного цикла шлифования определяли с учетом известных рекомендаций [9–14] по формуле

$$\begin{aligned} C_{\text{ц}}(T) = & (3_{\text{м}} + A_{\text{м}} + P_{\text{т.м}})(T + \tau_{\text{ЭЭВ}}) + \frac{\Pi_{\text{1кВтч}}}{60} \left(\frac{P_{\text{п}} k_{\text{а}} v_{\text{к}}}{\eta_{\text{г.л}} 10^3} + N_{\text{г}} + N_{\text{о}} \right) T + \\ & + \Pi_{\text{а}} \int_{\tau_{\text{с}}}^{\tau_{\text{с}}+T} [0,02 + 1,04 \exp(-0,48(\tau-1))] d\tau + \\ & + \frac{\Pi_{\text{1кВтч}}}{60} \left(\frac{P_{\text{п}} k_{\text{а}} v_{\text{к}}}{\eta_{\text{г.л}} 10^3} + N_{\text{г}} + N_{\text{о}} + \frac{U_{\text{ср}} I_{\text{ср}}}{10^3} \right) \tau_{\text{ЭЭВ}} + \Pi_{\text{а}} 0,287 \tau_{\text{ЭЭВ}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где Z_m – заработная плата станочника в минуту; A_m и $P_{т.м}$ – соответственно амортизация производственного оборудования и затраты на текущий ремонт и содержание оборудования, отнесенные к одной минуте; T – длительность периода шлифования без ЭЭВ, мин; $\Pi_{1кВтч}$ – стоимость одного киловатта электроэнергии; $\eta_{г.п}$ – КПД главного привода; N_g – мощность двигателя насоса гидропривода продольной подачи стола станка, кВт; N_o – мощность двигателя насоса подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания, кВт; $\tau_{ЭЭВ}$ – длительность периода шлифования с ЭЭВ, мин; k_a – коэффициент абразивного резания, представляющий собой отношение тангенциальной и радиальной составляющих силы резания; U_{cp} – среднее напряжение на межэлектродном промежутке в процессе ЭЭВ, В; I_{cp} – средняя сила тока ЭЭВ, А; Π_a – стоимость карата алмазов, грн/карат.

Длительность периода восстановления режущей способности круга с помощью ЭЭВ определяли (см. рис. 2) как

$$\tau_{ЭЭВ} = \frac{1}{K}(Q_c - Q_T), \quad (7)$$

где K – коэффициент при τ в уравнении (3), $\text{мм}^3/\text{мин}^2$; Q_c – режущая способность, соответствующая времени стабилизации τ_c , с которого целесообразно осуществлять обработку с периодическими ЭЭВ, $\text{мм}^3/\text{мин}$; Q_T – режущая способность, соответствующая моменту времени $T + \tau_c$, $\text{мм}^3/\text{мин}$; $Q_c - Q_T$ – диапазон изменения режущих свойств РПК в процессе обработки до начала ЭЭВ.

С учетом τ_c и $T + \tau_c$, подставленных в уравнение (1), значения режущей способности Q_c и Q_T можно определить по формулам

$$Q_c = 113 + 1015 \exp(-0,138(\tau_c - 1)); \quad (8)$$

$$Q_T = 113 + 1015 \exp(-0,138(T + \tau_c - 1)). \quad (9)$$

Длительность периода шлифования с ЭЭВ с учетом (7)–(9) определяется следующим выражением:

$$\tau_{ЭЭВ}(T) = \frac{1015[\exp(-0,138(\tau_c - 1)) - \exp(-0,138(T + \tau_c - 1))]}{90,3}. \quad (10)$$

Объем сошлифованного материала комбинированного образца за полный цикл “шлифование без ЭЭВ–шлифование с ЭЭВ” определяли по формуле

$$\begin{aligned} V_{\text{мц}}(T) = & 113T + \frac{1015}{0,138} [\exp(-0,138(\tau_c - 1)) - \exp(-0,138(T + \tau_c - 1))] + \\ & + \frac{1015}{2 \cdot 90,3} \{2 \cdot 113 [\exp(-0,138(\tau_c - 1)) - \exp(-0,138(T + \tau_c - 1))] + \\ & + 1015 [\exp(2(-0,138)(\tau_c - 1)) - \exp(2(-0,138)(T + \tau_c - 1))]\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Приравняв производную от удельной себестоимости цикла (5) нулю с учетом (6)–(11), найдем оптимальное время $T_{\text{опт}}$ между периодическим ЭЭВ, обеспечивающее минимум удельной себестоимости шлифования.

Как показали выполненные расчеты, оптимальное время между ЭЭВ оказалось равным 1 мин, время ЭЭВ на РПК – 1,45 мин, время цикла – 2,45 мин.

Таким образом, минимум удельной себестоимости шлифования композиции ВК8–сталь 45 по упругой схеме на плоскошлифовальном станке

мод. 3Г71 кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80 100 М2-01 при управлении режущей способностью с помощью периодического ЭЭВ на РПК обеспечивают механические ($v_k = 35$ м/с, $v_{ст} = 6$ м/мин, $P_n = 65$ Н) и электрические ($U_{ср} = 4,5$ В, $I_{ср} = 10$ А) режимы с периодичностью воздействий $T_{опт} = 1$ мин и длительностью $\tau_{ЭЭВ} = 1,45$ мин.

Проверка предложенной методики определения оптимального времени между ЭЭВ путем расчета на ПЭВМ была выполнена экспериментально при плоском врезном алмазном шлифовании композиции ВК8–сталь 45 по упругой схеме кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80 100 М2-01 на вышеприведенных оптимальных режимах. Длительность эксперимента, который включал четыре полных цикла “шлифование без ЭЭВ–шлифование с ЭЭВ”, составляла 11 мин. Полученные экспериментальные данные изменения режущей способности круга и расхода алмазов при шлифовании с ЭЭВ и без такового, приведены на рис. 3 вместе с рассчитанным на ПЭВМ изменением режущей способности круга.

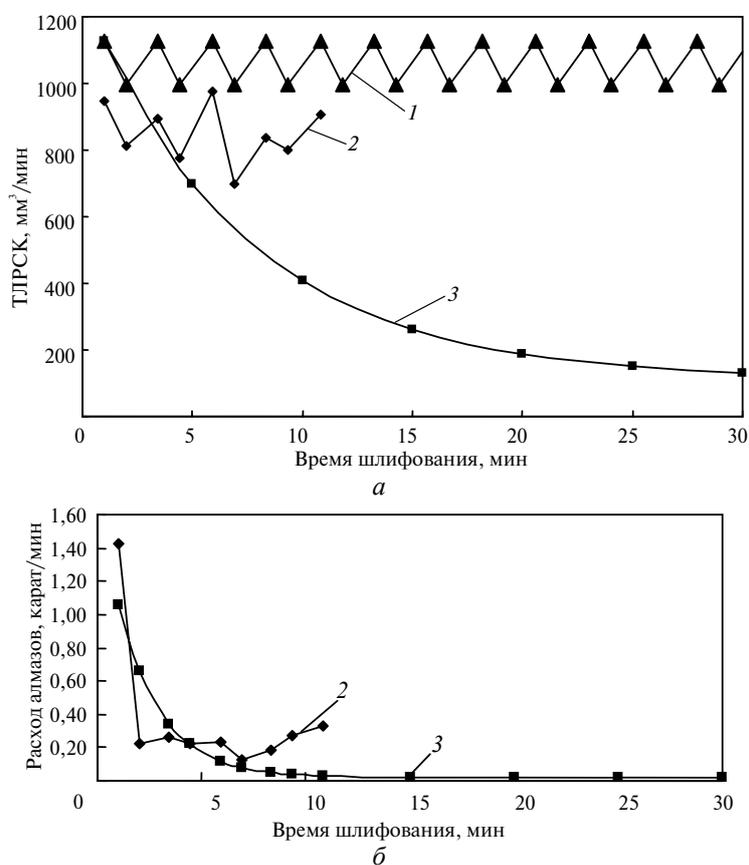


Рис. 3. Влияние времени шлифования на изменения ТЛРСК (а) и расхода алмазов (б): изменения ТЛРСК, полученное расчетом на ПЭВМ (1); изменения ТЛРСК и расхода алмазов, полученные экспериментально при шлифовании с периодическим ЭЭВ (2) и без ЭЭВ (3).

Как видно из рис. 3, периодическое ЭЭВ на РПК позволяет поддерживать режущую способность по данным расчета на ПЭВМ в пределах 1130–1000 мм³/мин, по данным эксперимента – в пределах 980–750 мм³/мин. При этом рассчитанные кривые изменения режущей способности и эксперимен-

тальные подобны друг другу. При шлифовании без ЭЭВ режущая способность круга уменьшается от 1130 до 117 мм³/мин после 30 мин обработки.

Используя данные рис. 3, была определена удельная себестоимость обработки при шлифовании композиции ВК8–сталь 45 без ЭЭВ на механических режимах ($v_k = 35$ м/с, $v_{ст} = 6$ м/мин, $P_n = 65$ Н), обеспечивших заданную шероховатость $Ra = 0,63$ мкм, и при шлифовании с периодическими ЭЭВ на оптимальных режимах: $v_k = 35$ м/с, $v_{ст} = 6$ м/мин, $P_n = 65$ Н, $U_{ср} = 4,5$ В, $I_{ср} = 10$ А, $T_{опт} = 1$ мин и $\tau_{ЭЭВ} = 1,45$ мин. Было установлено, что периодическое ЭЭВ на РПК в автономной зоне, при обеспечении заданных показателей качества обработки, снижает удельную себестоимость обработки по сравнению со шлифованием без ЭЭВ в 1,74 раза, а увеличивает производительность в 2,23 раза.

Удельная себестоимость и производительность при шлифовании с периодическим ЭЭВ, определенные экспериментально и полученные расчетным путем при моделировании на ПЭВМ, отличаются на 2 и 20 % соответственно, что подтверждает возможность поиска оптимальных режимов обработки по предложенной методике.

ВЫВОДЫ

Определение оптимальных режимов шлифования композиции твердого сплава и стали с периодическим ЭЭВ на РПК с использованием данных об изменении ТЛРСК и расхода алмазов в процессе шлифования без ЭЭВ и при восстановлении режущих свойств при периодическом ЭЭВ является эффективным.

Минимальная удельная себестоимость шлифования при плоском врезном шлифовании по упругой схеме с периодическим ЭЭВ на РПК образца из материалов ВК8–сталь 45 обеспечивается на режимах: механических – $v_k = 35$ м/с, $v_{ст} = 6$ м/мин, $P_n = 65$ Н, электрических – $U_{ср} = 4,5$ В, $I_{ср} = 10$ А, с оптимальным временем между ЭЭВ $T_{опт} = 1$ мин и оптимальной длительностью воздействия $\tau_{ЭЭВ} = 1,45$ мин.

Производительность шлифования с периодическим ЭЭВ на выше указанных режимах в 2,23 раза превышает производительность шлифования без ЭЭВ, удельная себестоимость обработки при этом снижается в 1,74 раза.

Визначено оптимальні механічні та електричні режими алмазного шліфування композиції ВК8–сталь 45 з періодичним електроерозійним впливом на робочу поверхню круга, що забезпечують збільшення продуктивності шліфування та зменшення питомої собівартості оброблення порівняно зі шліфуванням кругом, запровадленим електроерозійним способом.

Ключові слова: режими шліфування, композиція ВК8–сталь 45.

It was determinate optimal mechanical and electrical modes of grinding the composition hart metall–steel with periodical electroerosion dressing on working surface of wheel, which provide increased processing performance and reduced unit costs of processing compared with the grinding circle by spark dressing.

Keywords: modes of grinding, composition hart metall–steel.

1. Узунян М. Д., Малыхин В. В., Ходыкин А. В. Оптимизация процесса алмазно-искрового шлифования композиции твердый сплав – сталь // Резание и инструмент. – 1981. – Вып. 25. – С. 13–18.
2. Узунян М. Д., Малыхин В. В., Ходыкин А. В. Оптимизация процесса алмазно-искрового шлифования композиции безвольфрамовый твердый сплав–сталь // Там же. – 1982. – Вып. 28. – С. 33–36.

3. *Узунян М. Д., Краснощек Ю. С.* Высокопроизводительное шлифование безвольфрамовых твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1988. – 83 с.
4. *Узунян М. Д.* Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов. – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2003. – 359 с.
5. *Захаренко И. П., Шепелев А. А.* Алмазная заточка твердосплавного инструмента совместно со стальной державкой. – Киев: Наук. думка, 1976. – 220 с.
6. *Матюха П. Г., Стрелков В. Б., Полтавец В. В.* Определение режимов плоского шлифования твердых сплавов с использованием нового понятия о текущей лимитированной режущей способности круга // Сверхтв. материалы. – 2004. – № 3. – С. 67–73.
7. *Стрелков В. Б.* Повышение эффективности алмазного шлифования твердых сплавов за счет рационального использования режущих свойств круга: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Донецк, 2008. – 18 с.
8. *Матюха П. Г., Бурдин А. В.* Определение лимитированной силы поджима комбинированного образца к режущей поверхности круга при врезном шлифовании по упругой схеме // Резание и инструмент в технологических системах. – 2011. – Вып. 80. – С. 181–190.
9. *Третьяков Э. А., Андреев А. М., Игнатов Л. А. и др.* Экономика станкоинструментальной промышленности / Под общ. ред. Э. А. Третьякова. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
10. *Усов А. В.* Системы оптимального управления теплофизическими процессами при механической обработке // Сучасні технології у машинобудуванні: Зб. наук. ст. / За заг. ред. А. І. Грабченко. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2006. – Т. 2. – 488 с.
11. *Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования.* Минстанкопром СССР, ЭНИМС / Под ред. В. И. Клягина, Ф. С. Сабирова. – М.: Машиностроение, 1988. – 672 с.
12. *Середня* номінальна заробітна плата за видами економічної діяльності у 2011 році. – <http://donetskstat.gov.ua/statinform/dohodi6.php?dn=0111>
13. *Постанова* Національної комісії регулювання електроенергетики від 22 січня 2001 р. № 47; від 17 березня 2011 р. № 344; від 21 жовтня 2011 р. № 2025.
14. *Лившиц А. Л., Кравец А. Т., Рогачев И. С., Сосенко А. Б.* Электроимпульсная обработка металлов. – М.: Машиностроение, 1967. – 269 с.

Донецкий национальный технический ун-т

Поступила 19.01.12