

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.025

Электроалмазная обработка высокопрочных материалов с нанесением защитных покрытий

А.С. Янюшкин^{1,а}, В.Ю. Попов^{1,б}, О.И. Медведева^{1,с}, С.В. Ковалевский^{2,д}, Д.А. Рычков^{1,е}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

²Донбасская государственная машиностроительная академия, ул. Шкадинова 72, Краматорск, Украина

^аyanyushkin@brstu.ru, ^бberkutoff@rambler.ru, ^сmokgluvas@mail.ru, ^дjane.mishura@inbox.ru, ^еdielektrik84@mail.ru

Статья поступила 14.05.2013, принята 24.08.2013

В статье рассмотрены вопросы практического применения комбинированного электроалмазного шлифования. Сущность этого метода заключается в том, что в схему электроалмазного шлифования подключается дополнительная цепь с обратной полярностью. В этом случае происходит непрерывная электрохимическая правка круга одновременно с растворением и механическим съемом обрабатываемого материала. В этих условиях круги на металлической связке работают в режиме самозатачивания с минимальным расходом круга. Расширение технологических возможностей шлифовального оборудования и эффективная комбинированная электроалмазная обработка высокопрочных материалов возможны за счет гальванического осаждения антифрикционных и антикоррозионных пленок на поверхностях алмазного круга и обрабатываемой детали. В этих условиях облегчается процесс резания, что способствует повышению производительности и качества обработанных поверхностей деталей. Применение метода обеспечивает работу алмазных кругов в режиме самозатачивания и гарантирует постоянство его геометрической формы, что ведет к отсутствию дефектного слоя на обрабатываемой поверхности и увеличивает период стойкости режущего инструмента.

Ключевые слова: электроалмазная обработка, высокопрочные материалы, алмазные круги, пассивирующая пленка.

Electrodiamond machining of high-strength materials with applying protective finish

A.S. Yanyushkin^{1,а}, V.Yu. Popov^{1,б}, O.I. Medvedeva^{1,с}, S.V. Kovalevsky^{2,д}, D.A. Rychkov^{1,е}

¹Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

²Donbass State Engineering Academy, 72 Shkadinova st., Kramatorsk, Ukraine

^аyanyushkin@brstu.ru, ^бberkutoff@rambler.ru, ^сmokgluvas@mail.ru, ^дjane.mishura@inbox.ru, ^еdielektrik84@mail.ru

Received 14.05.2013, accepted 24.08.2013

The issues of practical application of the combined electrodiamond grinding are examined in the article. The essence of this method lies in the fact that the electrodiamond grinding scheme is connected with the additional reverse polarity circuit. In this case, there is a continuous electrochemical trimming of the wheel along with dissolution and mechanical removal of the material. Under these conditions, the metal-bonded wheels operate in the self-sharpening mode with a minimum flow rate. Enhancement of technological capabilities of grinding equipment and efficient combined electrodiamond machining of high-strength materials are practicable due to the electrochemical deposition of anti-friction and anticorrosive films on the surfaces of the diamond wheel and the workpiece to be processed. Under these conditions, the process of cutting becomes easier and results in increasing productivity and quality of the machined parts surfaces. The technique's application provides the diamond wheels grinding in the self-sharpening mode and ensures the constancy of its geometric form, which leads to the defective layer absence on the machined surface and increases the cutting power period.

Keywords: electrodiamond machining, high-strength materials, diamond wheels, passivating film.

Введение

Улучшение качества и сохранение физико-механических свойств обработанной поверхности за счет антикоррозийной защиты, повышение производительности за счет снижения диссипации энергии, расходуемой на трение, при обработке поверхности деталей машин абразивным кругом имеют важное значение в области машиностроительных технологий [1].

Эти задачи могут быть решены при помощи устройства электроалмазной обработки деталей машин с непрерывной правкой круга [2, 3], включающего правящий электрод, установленный вне зоны обработки и подключенный совместно с кругом к источнику переменного тока, выполненного в виде трансформатора, содержащего три вторичные обмотки, начала которых соединены между собой в общей точке. Свободные

концы обмоток посредством управляемых тиристорных выпрямителей присоединены соответственно к обрабатываемой детали и дополнительному электроду положительным полюсом, погруженным в электролитическую ванну, а к правящему электроду – отрицательным полюсом.

Такое соединение элементов расширяет технологические возможности модернизированного оборудования за счет гальванического осаждения антифрикционных и антикоррозионных пленок на поверхностях круга и обрабатываемой детали.

Элементы модернизации оборудования под электроалмазную обработку

Наиболее близким по технической сущности решением поставленной задачи может служить предложенное нами устройство для комбинированной электроалмазной обработки с одновременной правкой

круга, содержащее трансформатор переменного тока. Один вывод средней точки этого устройства подключен к кругу через токосъемник, а другие три вывода – через управляемые тиристорные выпрямители. Первый с помощью специального устройства для непрерывной правки круга образует электрическую цепь правки круга, второй образует электрическую цепь анодного растворения обрабатываемой детали, третий – электрическую цепь катодного осаждения антифрикционных пленок на круг.

Все управляемые тиристорные выпрямители имеют блоки управления и независимую регулировку от 0 до определенного максимума. Контуры электрических цепей сблокированы с основными технологическими движениями шлифовального станка и работают независимо друг от друга. В зазоры между анодом и катодом электрических цепей подается электролит (рис. 1).

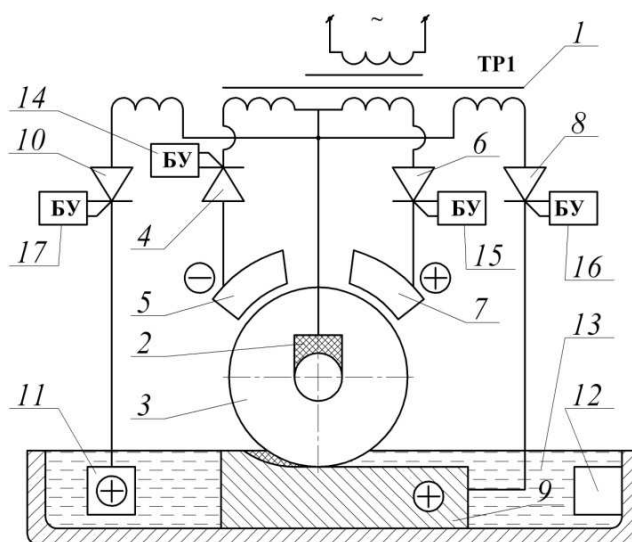


Рис. 1. Схема устройства для комбинированной электроалмазной обработки с осаждением окисных пленок на поверхностях круга и обрабатываемого изделия

Устройство состоит из трансформатора переменного тока 1, вывод средней точки которого через токосъемник 2 подключен к кругу 3, а другие четыре вывода: первый – через тиристор 4 с помощью специального устройства для непрерывной правки круга 5 образует электрическую цепь правки круга, второй через тиристор 6 с помощью специального катода 7 образует электрическую цепь катодного осаждения пленок на круг, третий через тиристор 8 образует электрическую цепь анодного растворения обрабатываемой детали 9, четвертый через тиристор 10 с помощью специального анода 11, погруженного в неэлектропроводную термостатированную с помощью специального устройства 12 ванну с электролитом 13 образует цепь катодного осаждения пленок на обрабатываемую деталь. Тиристоры управляются блоками управления (БУ) 14, 15, 16 и 17, они имеют независимую регулировку от 0 до определенного максимума. Контуры всех электрических цепей замыкаются через токосъемник на круг и работают в разнополярных направлениях, сблокированы с основными технологическими движениями шлифовального станка и работают независимо друг от друга. В

зазоры между анодом и катодом электрических цепей подается электролит.

Устройство работает следующим образом. При включении шлифовального станка шлифовальный круг 3 приходит во вращение и может работать независимо. При включении трансформатора 1 электрический ток вторичных обмоток подается с общей точки трансформатора на токосъемник 2, а со свободных концов обмоток – на тиристоры 4, 6, 8 и 10 в цепи правки круга, анодного растворения обрабатываемой детали и катодного осаждения пленок на круг и обрабатываемую деталь. Цепь правки круга включается через тиристор 4, специальное устройство 5 и замыкается на поверхность круга 3 через электролит, который подается в зазор между кругом и специальным устройством для правки. Таким образом, в цепи правки круга устройство для правки является отрицательным полюсом (катод), а круг – положительным (анод). Оптимальная плотность тока правки круга устанавливается блоком управления 14. Цепь анодного растворения обрабатываемой поверхности изделия – тиристор 8, обрабатываемая деталь 9, работает аналогичным образом, но на токе обратной по-

лярности, т. е. обрабатываемая деталь 9 – положительный полюс цепи (анод), а поверхность круга 3 – отрицательной (катод). Оптимальное значение плотности тока травления обрабатываемого изделия при работе устанавливается блоком управления 16. Цепь катодного осаждения пленок предназначена для укрепления абразивных зерен, предотвращения процесса засаливания и нанесения твердых смазок на поверхность алмазного круга. Электрод осаждаемого материала 7 в этой цепи через тиристор 6 подключается к положительному полюсу (анод), а алмазный круг – к отрицательному (катод). Цепь катодного осаждения пленок на обрабатываемую деталь – тиристор 10, специальный анод 11, электролитическая ванна с электролитом. Оптимальное значение плотности тока осаждения пленок на обрабатываемое изделие при работе устанавливается блоком управления 17 и температурой электролита, устанавливаемой блоком термостатирования 12.

Электрические цепи могут работать отдельно, в различных сочетаниях, т. е. при закрытом тиристоре 4 работают только цепи анодного растворения обрабатываемой детали, а также катодного осаждения пленок и твердых смазок. Такой режим работы экономически целесообразен при работе с кругами на прочных металлических связках (типа МО4, МО16, МВ, МО13Э и др.), при обработке, например, твердых сплавов, металллокерамических и наноупрочненных материалов, т. к. в этих условиях абразивные круги способны работать в режиме самозатачивания.

При закрытом тиристоре 8 работает только цепь непрерывной правки круга и катодного осаждения пленок и твердых смазок. Такой режим работы эффективен для кругов на металлических связках при обработке вязких материалов: сталей, цветных металлов и др., а также неэлектропроводных материалов: стекла, керамики и др. Отдельная и независимая работа данных цепей также целесообразна для предварительной правки новых алмазных кругов.

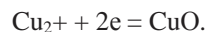
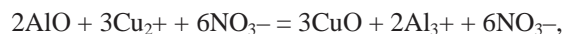
При закрытых тиристорах 6 и 10, работает только цепь анодного растворения обрабатываемой детали и непрерывной правки круга. Такой режим работы эффективен при работе с различными кругами на металлических связках, работающих в режиме самозатачивания при небольших электрических режимах.

Таким образом, применение предлагаемого устройства позволяет значительно расширить технологические возможности оборудования, т. к. имеется возможность независимой работы цепей непрерывной правки круга, цепи анодного растворения обрабатываемой поверхности детали и катодного осаждения твердых смазок на поверхность круга и пленок на поверхность детали при одновременном повышении производительности и качества обрабатываемой детали и снижении расхода алмазных кругов.

Методика нанесения пассивирующей пленки

Применение электролита [4] подтверждает теоретическую и экспериментальную часть работы и сделанные выводы. Окислительно-восстановительные реакции в этих условиях могут быть представлены таким образом, что на поверхности круга возможен

разряд ионов малоактивных металлов (Cu_2^+ ; Al_3^+ ; Zn_2^+ и др.), поступающих в поток электролита растворяющегося анода – круга при его правке. В результате этого возможен перенос продуктов анодного растворения на обрабатываемую поверхность согласно реакции, например:

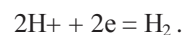


С этой целью иногда в электролит специально добавляют $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ для катодного осаждения меди.

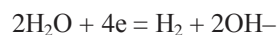
При добавке в электролит солей электроположительных металлов CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, NiNO_3 , AgNO_3 , $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ и др. вся обработанная поверхность покрывается тонким слоем этого металла.

Коррозионные явления (анодное растворение, образование гальванических пар) в каждый момент ограничены от обрабатываемого материала тонким поверхностным слоем металла, поэтому они не нарушают структуры более глубоких слоев, а также необрабатываемые поверхности.

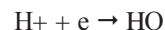
Рассмотрим случай с отрицательным электродом. В этом случае на отрицательном электроде восстанавливаются положительные ионы из раствора, и в первую очередь с наиболее электроположительным электродным электрохимическим потенциалом ϵ_0 . В результате: 1) выделяется водород в кислой среде по реакции:



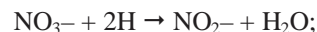
В нейтральной среде реакция происходит по схеме:



Водород частично может выделяться в атомарном состоянии и растворяться в связке круга:



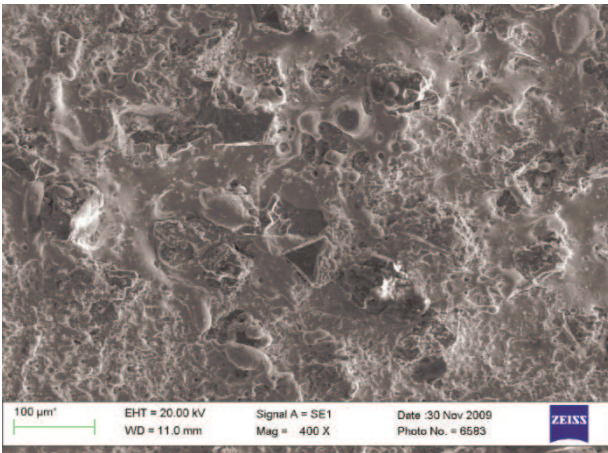
и может частично окисляться электролитом:



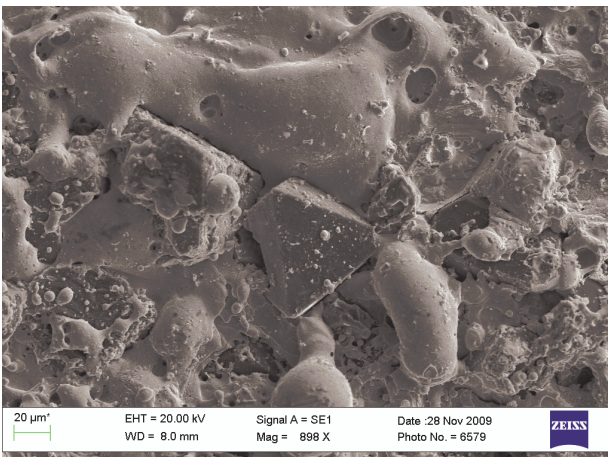
2) восстанавливаются ионы металлов из электролита на поверхности круга:



Ионы электроположительного металла могут осаждаться и на катоде, которым является шлифовальный круг, но с него, как с анода, металл будет переходить в виде иона в раствор, как и продукты засаливания. Вид поверхности алмазного круга с наличием пассивирующей пленки и ее спектра показан на рис. 2 и 3.



а) ×400



б) ×900

Рис. 2. Поверхность круга АС6 80/63 М2-01 100 % с наличием пассивирующей пленки

Результаты и обсуждение

Пленочная теория о соединении материалов в твердой фазе основана на предположении, что образование соединений возможно при сближении ювенильных поверхностей на расстояние межатомного взаимодействия. При этом соединение образуется в результате

схватывания, представляющего бездиффузионный процесс объединения кристаллических решеток алмазного зерна и связки круга. В рассматриваемой системе происходит обмен атомами между областями, следствием чего является перемещение границы. Очевидно, что скорость перемещения и, соответственно, скорость роста зерен определяется скоростью направленного переноса атомов через границу между зернами, которая, в свою очередь, зависит от частоты перекоков атомов в прямом и обратном направлении.

Чем пленка мягче, тем больше она растекается в процессе деформации и увеличения площади контактирующих поверхностей [5]. Твердые пленки растрескиваются без увеличения их поверхности и дают возможность выхода на контактную поверхность ионов и электронов металла. Поэтому важно знать характеристики образованного слоя на поверхности алмазного круга. Пленка является защитной, если имеет достаточное сцепление с поверхностью и высокую коррозионную стойкость [6]. Кроме этого, она должна обладать достаточной эластичностью или высокой скоростью образования. По мере утолщения слоя пленки действие ориентационных сил на поверхности ослабевает, и она стремится принять стабильную в данных условиях структуру. Вследствие того, что в атомных слоях формируется неоднородность по химическому составу, содержание составляющих пассивирующей пленки падает в направлении к обрабатываемой поверхности.

Если пленка обладает высокой вязкостью или низкой скоростью образования и достаточной жесткостью, то она разрушается при внешнем воздействии и может являться твердой смазкой. Этот факт может быть полезным, так как, являясь новообразованием, пленка оказывается доставленной к месту взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов. Но для того, чтобы токи правки и травления работали эффективно, в нашем случае пленка должна обладать электропроводностью.

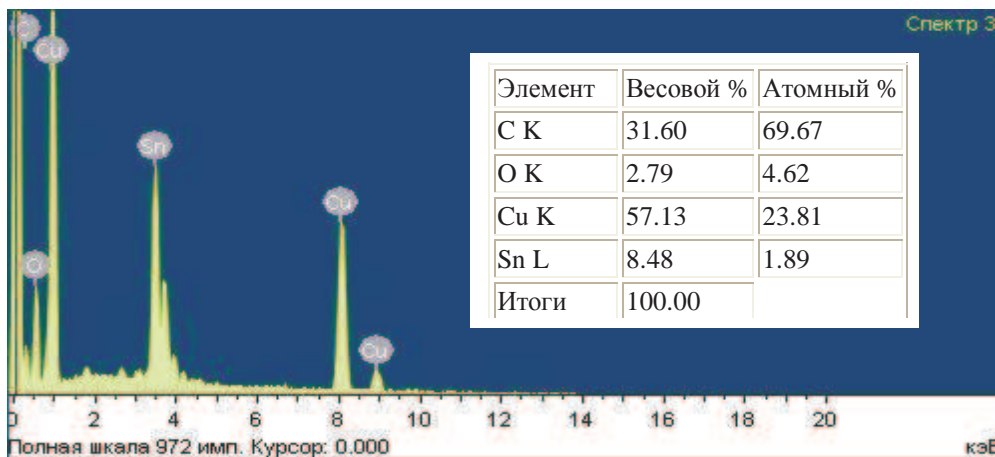


Рис. 3. Спектр пассивирующей пленки

Разрушение окисной пленки влечет за собой появление такого влияния, как коррозия. Коррозия часто возникает на совершенно гладкой поверхности и носит точечный, местный характер. В остальной части пленка устойчива к внешним воздействиям. Данный процесс можно объяснить наличием вышедших на поверхность дефектов, таких, как вакансии, дислокации, блуждающие атомы. При этом в области взаимодействия имеются ионы-активаторы, являющиеся причиной появления солей, окислов и карбидов. Кроме того, пленки из металлов, в отличие от окисных, электропроводны, поэтому они не мешают протеканию электрохимических процессов на обрабатываемом материале.

Заключение

Наиболее устойчивой фазой на дифрактограммах спектрального и рентгеноструктурного анализов является алюминий. Поэтому окисление именно Al является наиболее важным с практической точки зрения. Легкая окисляемость Al приводит к образованию на поверхности алмазного (шлифовального) круга плотной тугоплавкой пленки оксида алюминия Al_2O_3 . Плотность этой пленки составляет $3,6 \text{ г/см}^3$, а температура плавления – более $2000 \text{ }^\circ\text{C}$, что делает ее устойчивой как к химическим, так и деформационным взаимодействиям в зоне затачивания [7].

Расчеты энергии адгезии контактного взаимодействия подтвердили полное отсутствие физико-химических связей инструментального и обрабатываемого материала при комбинированном методе затачивания.

Литература

1. Янюшкин А.С., Медведева О.И., Янюшкин С.А., Попов В.Ю. Физико-химическое взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов при комбинированном электрохимическом шлифовании // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 1. С. 183-190.
2. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А., Попов В.Ю., Сурьев А.А., Архипов П.В., Лосев Е.Д., Яковец А.В., Черемных А.С. Конструкция катода для правки круга при комбинированной электроалмазной обработке: пат. Рос. Федерация. № 2446039; заявл. 25.03.2010; опубл. 27.03.2012. Бюл. № 9.
3. Янюшкин А.С., Попов В.Ю., Янюшкин Р.А. 3. Элементы модернизации станков шлифовальной группы под процессы электроал-

мазной обработки. // Труды Братского государственного технического университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2000. С. 189-191.

4. Янюшкин А.С., Попов В.Ю., Васильев Е.В., Попов А.Ю. Комбинированная электроалмазная обработка инструментальных сталей: моногр. Братск, 2009. 228 с.
5. Янюшкин А.С., Шоркин В.С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании: моногр. М.: Машиностроение-1, 2004. 230 с.
6. Янюшкин А.С., Сафонов С.О., Торопов В.А., Стебеньков Ю.Н., Лосева Н.Р., Ереско Т.Т., Баранов А.Н., Лобанов Д.В., Попов В.Ю., Сурьев А.А., Якимов С.А., Лосев А.Б., Федоров Б.В. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств: монгр. Братск: БрГУ, 2006. 302 с.
7. Янюшкин А.С., Лосев А.Б., Якимов С.А., Попов В.Ю. Роль температуры при затачивании инструментов алмазными кругами на металлической связке // Metallurgiya i mashinostroeniye: ежекварт. спец. информ. бюл. 2006. № 1. С. 49-53.

References

1. Yanyushkin A.S., Medvedeva O.I., Yanyushkin S.A., Popov, V.Y. Physicochemical interaction of tool and work materials under the combined electrochemical grinding // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki. 2012. T. 1. S. 183-190.
2. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Ryчков D.A., Popov V.Yu., Sur'yev A.A., Arkhipov P.V., Losev E.D., Yakovets A.V., Cheremnykh A.S. Cathode design for wheel dressing under the combined electro-diamond treatment: pat. Ros.Federatsiya. № 2446039, zayavl. 25.03.2010, opubl. 27.03.2012, Byul.№ 9.
3. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu., Yanyushkin R.A. Modernizing elements of grinding machines for the electro-diamond treatment processes // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki. 2000. S.189-191.
4. Yanyushkin A.S., Popov V.Yu., Vasil'yev E.V., Popov A.Yu. The combined electric diamond grinding of tool steel: monogr. Bratsk, 2009. 228 s.
5. Yanyushkin A.S., Shorkin V.S. Contact processes under electro-diamond grinding: monogr. M.: Mashinostroeniye, 2004. 230 s.
6. Yanyushkin A.S., Safonov S.O., Toropov V.A., Steben'kov Yu.N., Loseva N.R., Eresko T.T., Baranov A.N., Lobanov D.V., Popov V.Yu., Sur'yev A.A., Yakimov S.A., Losev A.B., Fedorov B.V. The improvement of the mechanical engineering production methods: monogr. Bratsk, 2006. 302 s.
7. Yanyushkin A.S., Losev A.B., Yakimov S.A., Popov V.Yu. The temperature role in sharpening tools by means of diamond wheels on a metal key ring // Metallurgiya and mashinostroeniye: ezhekvert. spets. inform. byul. 2006. № 1. S. 49-53.