

Экспериментальная установка для алмазного шлифования с применением непрерывной электрохимической правки шлифовального круга

03, март 2014

DOI: 10.7463/0314.0699920

Шавва М. А.¹, Захаревич Е. М.²

УДК 65.07

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

²Россия, Москва, ОАО "ВНИИИНСТРУМЕНТ"

katapu@mail.ru

resurs.t@gmail.com

Введение

Наиболее эффективным методом финишной обработки деталей из труднообрабатываемых металлов и сплавов является шлифование алмазными шлифовальными кругами. Применение алмазных кругов обеспечивает значительный рост производительности труда, снижение затрат и повышение эффективности производства при достижении высоких эксплуатационных свойств обработанных поверхностей [1].

При шлифовании происходит износ рабочей поверхности алмазного круга, который отрицательно влияет на режущую способность алмазных зерен и в зависимости от условий шлифования может происходить по различным механизмам [2]. Износ алмазного круга приводит к искажению его формы и снижению режущих свойств. Вместе с тем, правка алмазных кругов является технологически сложной и трудоемкой операцией.

Правка шлифовального круга – это операция по обработке рабочей поверхности абразивного инструмента с целью восстановления абразивной способности инструмента и (или) его геометрии [3]. Методы правки можно классифицировать по различным признакам:

- по виду источников технологической энергии – способы, использующие импульсные источники технологического тока, источники постоянного или переменного тока;

- по расположению зоны ввода технологической энергии: в зону резания, в автономную зону, комбинированно – и в зону резания и в автономную зону;
- по направленности воздействий: воздействующие на связку, зерно;
- по соотношению времени шлифования и управляющих воздействий: способы с непрерывным либо периодическим воздействием [4].

В классификации методов правки алмазных шлифовальных кругов по виду энергии, используемой для воздействия на поверхность круга, выделены следующие методы:

- Механический (правка шлифованием, обкатыванием и др.);
- Химический;
- Электрофизический (правка электроэрозией);
- Электромеханический (электро-контактная правка);
- Электрохимический.

Механический метод включает в себя: правку шлифованием, правку обкатыванием, накатку, правку абразивными брусками, абразивно-жидкостную правку с применением ультразвука и т.д. [5]. Большинство этих способов универсальны и имеют высокую производительность. Однако механический метод зачастую не способен обеспечить достаточную точность профиля (в случае профильного шлифования). Кроме того, наблюдается слишком большой размерный износ алмазного круга после правки.

Электрофизический метод, в частности правка электроэрозией, способен обеспечить необходимую точность. Для осуществления правки требуется правящий инструмент (электрод), достаточно простой в конструктивном исполнении. Суть метода состоит в вырывании частиц материала круга с поверхности абразивного инструмента импульсным током. Это приводит к оплавлению поверхности абразивного круга, что снижает эксплуатационные характеристики поверхностей деталей после шлифования.

Аналогичные недостатки имеют место при использовании электро-контактной правки.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что правка алмазного шлифовального круга должна соответствовать следующим критериям:

- размерный износ круга после правки должен быть минимальным;
- правка должна обеспечивать максимальную точность профиля круга;
- в процессе правки не допускается повреждение абразивных зерен;
- правка должна протекать непосредственно на шлифовальном станке (без переноса на специальное оборудование);
- процесс правки должен обладать высокой производительностью.

Максимальная производительность достигается в том случае, когда правка круга производится на рабочем месте (на шлифовальном станке) непрерывно, т.е. одновременно с выполнением рабочей операции.

1. Электрохимический метод правки алмазного шлифовального круга

В последнее время большое распространение получил электрохимический метод правки алмазных шлифовальных кругов. Данный метод в наибольшей степени соответствует всем перечисленным в предыдущей главе критериям. Из рисунка 1 следует, что электрохимический метод правки состоит из



Рис. 1. Классификация электрохимических методов правки шлифовальных кругов анодно-механической правки и непосредственно электрохимической (электролитической) правки.

При электрохимической правке зерно не «выламывается», под действием правящего инструмента и не испытывает на себе физических воздействий. После правки на поверхности шлифовального круга оказываются не поврежденные режущие зерна. Режущие кромки на зернах получены не в результате скалывания, а в результате химического взаимодействия связки круга с электролитом. Следовательно, зерна менее склонны к последующему растрескиванию и объемному разрушению.

Для электрохимической правки в качестве межэлектродной среды используют электролит. Процесс правки заключается в том, что в результате электролиза металлическая связка алмазоносного слоя растворяется, обнажая алмазные зерна, которые при контакте с электродом-инструментом выпадают. В качестве правящего инструмента могут быть использованы диски из меди, стали 45 и шлифовальные круги из карбида кремния на металлической связке. Интенсивность съема алмазоносного слоя возрастает с повышением напряжения на электродах. Оптимальное напряжение составляет 12...15В, свыше которого возникает искрение и ухудшение качества обработки [6,7].

На основе традиционной электрохимической правки появились новые разновидности правки, такие как: непрерывная электролитическая правка (ELID) и непрерывная электрохимическая правка (ECD). Рассмотрим сущность этих видов.

В работе [8] приведен механизм непрерывной электролитической правки. Для обеспечения непрерывной электролитической правки круга необходимо три составляющих: источник энергии, шлифовальный круг на металлической связке и электрод. Обычно электрод изготавливается из меди или графита. Между шлифовальным кругом и электродом устанавливают зазор, равный 0,1...0,3 мм, в который подают смазочно-охлаждающую жидкость, которая выполняет также роль электролита. В течение нескольких минут после подачи электрического тока материал связки (главным образом железо Fe) удаляется с поверхности круга посредством электролиза. Ионы железа формируют гидроксиды – $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Далее гидроксиды распадаются на оксиды, образуя изолирующий слой.

Последовательность действий при осуществлении правки ELID показана на рисунке 2, рисунок заимствован из работы [8].

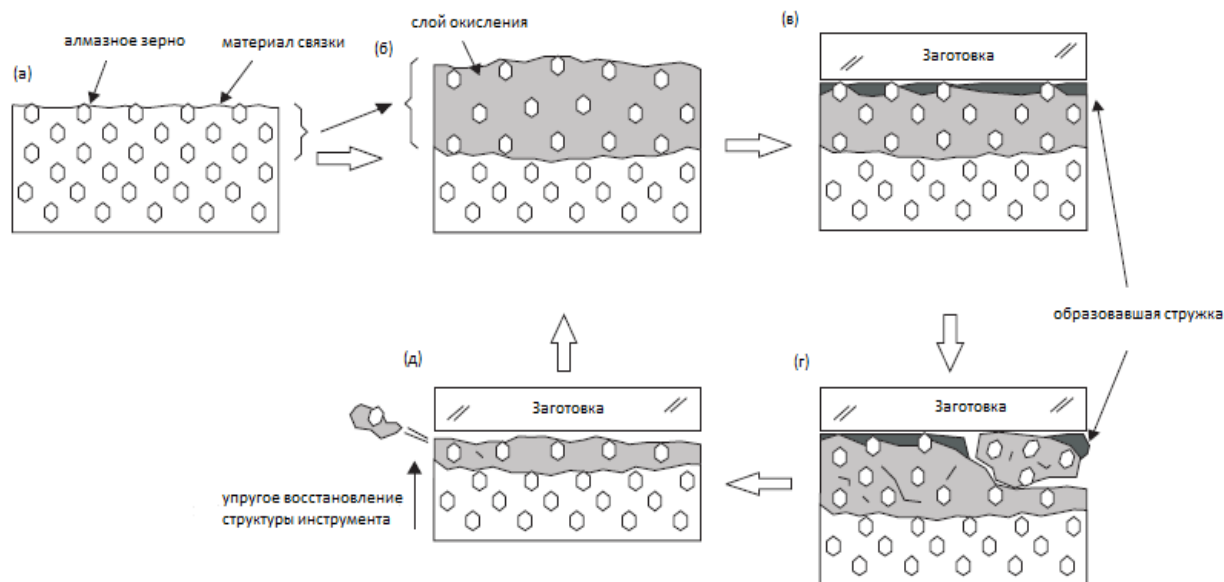


Рис. 2. Изменение поверхности круга во время шлифования с непрерывной электролитической правкой: (а) – после правки; (б) – увеличение слоя окисления при подаче тока правки; (в) – работа круга; (г) – конец цикла скалывания; (д) – распространение трещин и начало скалывания.

Итак, как видно из рисунка 2, после долгой работы круга материал связки и зерна на поверхности шлифовального выравниваются. Для того чтобы шлифовальные зерна выступали из поверхности круга необходима предварительная электролитическая правка. После предварительной правки, появляется изолирующий слой, состоящий из окисленного материала связки. Этот слой уменьшает электрическую проводимость поверхности шлифовального круга и предотвращает чрезмерный расход материала связки круга, в итоге процесс становится более выгодным с экономической точки зрения. С другой стороны изолирующий слой, являясь более мягким, чем обрабатываемый материал и алмазные зерна, выполняет функцию полировки обрабатываемой поверхности. Это значительно снижает шероховатость поверхности заготовки, обработанной ELID-способом. Во время шлифования изолирующий слой разрушается. Проводимость круга возрастает, и цикл правки начинается заново. [9]

Для обеспечения ELID-правки на станке на шпиндель шлифовального круга торца круга необходимо монтировать электрод. С помощью специального устройства в зазор между электродом и кругом подают электролит. Круг и электрод подключены к источнику энергии. Круг является анодом, а электрод катодом. В начале процесса, как было сказано выше, проводится предварительная электролитическая правка, направленная на образование специального изолирующего слоя.

Процесс непрерывной электрохимической правки в свою очередь также базируется на электрохимической металлической диссоциации. В результате появления электрического потенциала между шлифовальным кругом (анод) и медным электродом (катод), ток течет сквозь охлаждающую жидкость, которая разбивает металлическую связку на ионы и превращает их в оксиды и гидроксиды.

На первом этапе происходит предварительная правка шлифовального круга. На втором этапе начинается непрерывная электрохимическая правка, в течение которого происходит «вымывание» связки и «оголение» абразивного зерна. При этом вылет зерна увеличивается с 15-20% от среднего диаметра зерна до 100-120%. Далее зерна вступают в работу и под действием сил резания покидают шлифовальный круг, открывая последующие слои зерен. Цикл правки начинается заново. Таким образом, стабильные условия шлифования и острота абразивного инструмента могут быть зафиксированы на длительный период [1].

Для адаптации ECD-технологии на обычный шлифовальный станок монтируется медный электрод. Площадь поверхности медного электрода составляет примерно 1/6 площади шлифовального круга и фиксируется на оси с зазором 0.3 мм от поверхности шлифовального круга. В этот зазор вводится синтетическая охлаждающая жидкость, доставленная через тангенциальные и осевые канавки, выполненные в электроде. Источник тока связан с обкладками на поверхности шлифовального круга, который является положительным полюсом (анодом) и с отрицательным полюсом (катодом).

Процесс шлифования заготовки протекает с левой стороны от чашки круга. Для контроля сил резания в процессе используется система мониторинга. Она измеряет значение нормальной силы пьезоэлектрическим датчиком силы, в то время как тангенциальная сила измеряется потребляемой мощностью двигателя шпинделя. Процесс электрохимической правки контролируется электрическим током и напряжением [1].

В рамках исследования процесса непрерывной электрохимической правки проведено сравнение времени правки (производительности процесса) и ее качества (процент выступа зерна из связки относительно среднего диаметра зерна) с другими технологиями непрерывной правки. Полученные данные приведены в таблице 1, заимствованной из работы [1].

Таблица 1.

Качество и длительность различных видов правки.

Технология правки	Вылет зерна, % от $d_{ср.}$	Время предварительной правки, мин
Правка бруском	30-35	84
Электроэрозионная правка	45-50	104
ELID правка	50-60	30
ECD правка	100-120	6-10

Электрохимическая правка алмазных шлифовальных кругов обладает неоспоримыми преимуществами перед остальными способами правки. Она обеспечивает максимальную производительность, позволяет непрерывно контролировать процессы в зоне резания, легко осуществима адаптация данной технологии для обычного шлифовального станка [1].

2. Стенд для осуществления алмазного шлифования с применением непрерывной электрохимической правкой шлифовального круга.

На базе предприятия ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» был разработан технологический стенд, позволяющий осуществлять непрерывную электрохимическую правку алмазных шлифовальных кругов. Схема стенда приведена на рисунке 3.

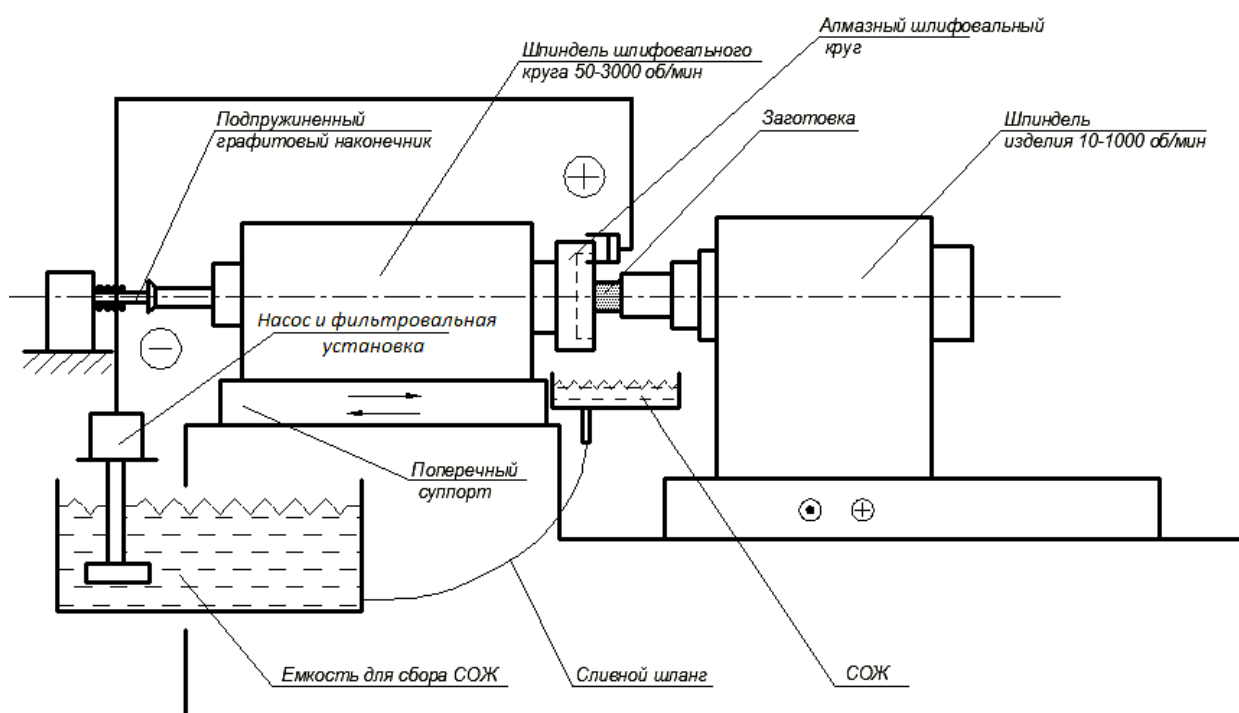


Рис. 3. Схема экспериментального стенда.

Стенд выполнен на основе прецизионного шлифовального станка. Шпиндель шлифовального круга установлен на поперечном суппорте. Перемещение суппорта осуществляется по линейным направляющим. Частота вращения круга достигает трех тысяч оборотов в минуту.

Шпиндель заготовки установлен на продольном суппорте. Частота вращения шпинделя заготовки достигает тысячи оборотов в минуту.

На рисунке 4 приведена модель экспериментального стенда.

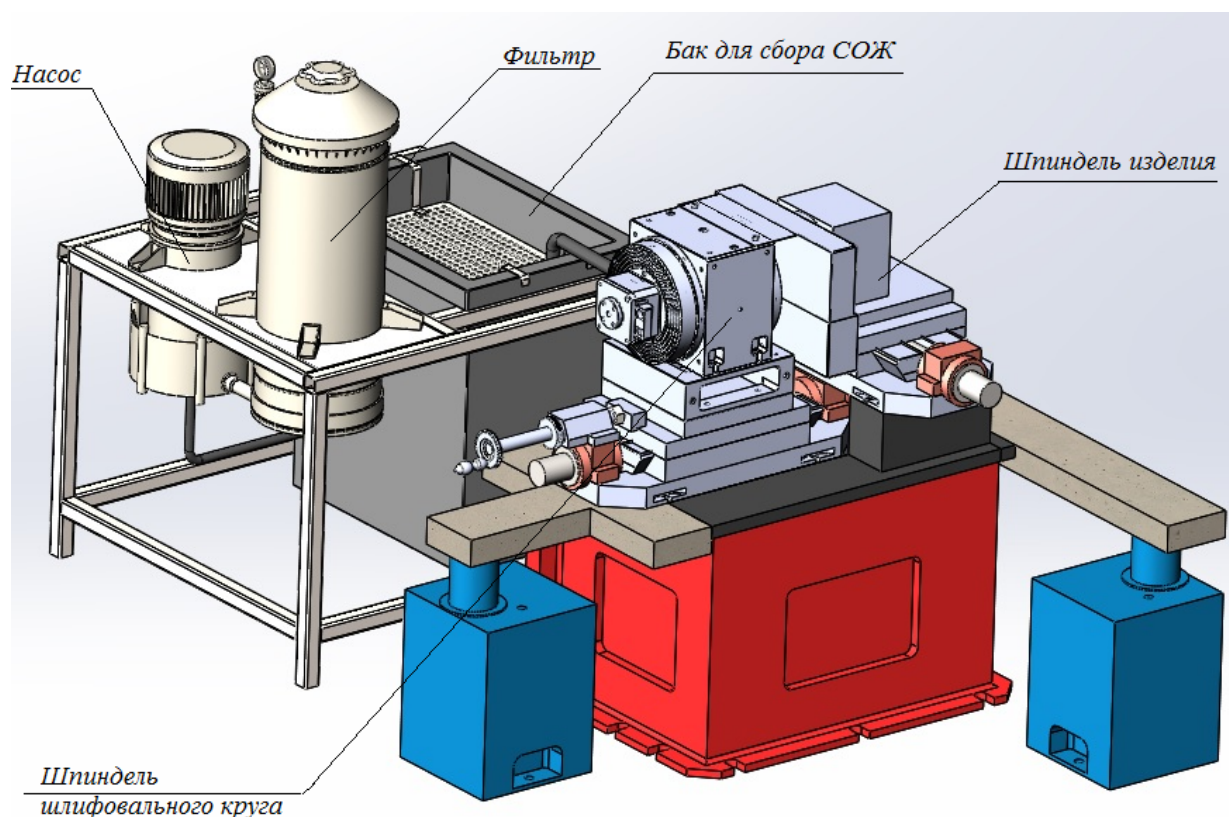


Рис. 4. Модель экспериментального стенда.

На стенде используется алмазный круг прямоугольной формы на медной связке. Зернистость шлифовального круга составляет 8 мкм.

Для осуществления ECD-правки на шпиндель шлифовального круга монтируется электрод с медными обкладками. Электрод монтируется таким образом, что между ним и кругом образуется зазор равный 0.3 мм. Данный зазор будет заполнен синтетической смазочно-охлаждающей технической средой, которая помимо своих непосредственных функций должна исполнять роль электролита.

Электрод в данной схеме является анодом, круг - катодом. Оба они присоединены к постоянному источнику тока. При подключении источника в межэлектродном зазоре начинается процесс электролиза, в результате которого ионы металла, находящиеся в связке вступают в реакцию с компонентами жидкости, образуя гидроксиды. Поскольку жидкость непрерывно циркулирует в зазоре, образовавшиеся гидроксиды уносятся из зоны резания, не затрудняя процесс шлифования.

Таким образом, связка шлифовального круга непрерывно размывается. Абразивные зерна имеют выступ из связки составляющий примерно 100% от среднего диаметра зерна. Отработав определенный период времени, зерна изнашиваются, сила резания начинает превосходить силу, удерживающую их в связке, они вымываются СОТС или выламываются в процессе резания. После вылета изношенных зерен, их место занимает следующий слой, который появляется впоследствии размыва связки. Новые зерна имеют целостную, не поврежденную механическими воздействиями режущую кромку, которая не склонна к трещинам.

Жидкость, находящаяся в зазоре постоянно циркулирует. Покидая зону резания, она попадает в специальное корыто для сбора СОТС. После чего по сливному шлангу она поступает в фильтровальную установку. Там использованная СОТС проходит несколько этапов очистки от шлама, стружки и других нежелательных примесей. После фильтрации электролит передается в насос, который в свою очередь связан с электродом, и жидкость вновь попадает в межэлектродный зазор.

Интенсивность электролиза, а, следовательно, и расход алмазных зерен и связки регулируется за счет изменения значений подаваемого тока и напряжения.

На данный момент стенд полностью смоделирован, по нему проведены все конструкторские работы, изготовлены комплектующие. Полностью завершен монтаж стенда. Собранный стенд представлен на рисунке 5. В дальнейшем будут проводиться испытания по отработке режимов ECD-правки.



Рис. 5. Экспериментальный стенд в собранном состоянии.

Заключение

Благодаря ECD-правке возможно поддерживать постоянный вылет зерна из связки, при этом изношенные режущие кромки не вступают в работу, что значительно увеличило бы силу резания. При ECD-правке значение силы резания колеблется в малых пределах, оставаясь практически постоянным длительный период времени. Это положительно сказывается на качестве обрабатываемой поверхности, позволяя достигнуть меньших значений шероховатости и значительно увеличить точность формы заготовки.

Несмотря на то, что технология непрерывной электрохимической правки шлифовального круга позволяет увеличить стойкость режущего инструмента в десятки раз, для улучшения точности профиля круга и повышения его режущей способности, необходимо проводить промежуточные правки. Частоту промежуточных правок, как и режимы подачи тока и напряжения необходимо определить экспериментально.

Непрерывная электрохимическая правка позволяет повысить производительность процесса шлифования. Благодаря непрерывному контролю процесса возможно поддержание стабильных силовых параметров в зоне резания, что в свою очередь улучшает качество обрабатываемой поверхности.

При таком большом вылете пространство между алмазными зернами образуют своеобразную стружечную канавку. В ней скапливаются: стружка, продукты работы круга и т.д.

Благодаря сбору стружки алмазный круг долгое время не «засаливается» и на обрабатываемой поверхности отсутствуют «прижоги», вызываемые трением стружки о деталь.

Большой вылет зерна помимо всего прочего позволяет кругу работать на более низких поперечных подачах. При соблюдении особой кинематики резания, данный фактор может позволить снимать стружку 1..2 нм. Данные условия резания близки к так называемому «пластичному» режиму резания.

Дальнейшие исследования будут направлены на проведение экспериментов по отработке режимов непрерывной электрохимической правки алмазного шлифовального круга с целью повышения производительности и качества шлифования поверхностей из труднообрабатываемых материалов.

Список литературы

1. Kramer D., Rehsteiner F., Schuhmacher B. ECD (Electrochemical In-Process Controlled Dressing), a New Method for Grinding of Modern High-Performance Cutting Materials to Highest Quality // *Cirp Annals - Manufacturing Technology*. 1999. Vol. 48, no 1. P. 265-268. DOI: [10.1016/S0007-8506\(07\)63180-1](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63180-1)
2. Попов С.А. Шлифовальные работы. М.: Высшая школа, 1987. 383 с.
3. Романов В.Ф., Авакян В.В. Технология алмазной правки шлифовальных кругов. М.: Машиностроение, 1980. 118 с.
4. Матюха П.Г., Полтавец В.В. Алмазное шлифование с электроэрозионными управляющими действиями на рабочую поверхность круга. Донецк: ДонНТУ, 2006. 164 с.
5. Дубовик Н.П., Мендельсон В.С. Устройства для правки шлифовальных кругов алмазными инструментами. Киев: Наукова думка, 1982. 128 с.
6. Кащук В.А., Верещагин А.Б. Справочник шлифовальщика. М.: Машиностроение, 1988. 480 с.
7. Палей М.М., Дибнер Л.Г., Флид М.Д. Технология шлифования и заточки режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1988. 288 с.
8. Rahman M., Senthil K. A., Lim H.S., Fatima K. Nano finish grinding of brittle materials using electrolytic in-process dressing (ELID) technique // *Sadhana. Academy Proceedings in Engineering Sciences*. 2003. vol. 28, Spec. Iss. on Frontiers in Materials Science, Part 1. P. 957-974.

9. Rahman M., Senthil K.A., Biswas I. A Review of Electrolytic In-Process Dressing (ELID) Grinding // Key Engineering Materials. 2009. Vol. 404. P. 45-59. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.404.45

Experimental Setup for Diamond Grinding Using Electrochemical In-Process Controlled Dressing (ECD) of Grinding Wheel

03, March 2014

DOI: **10.7463/0314.0699920**M.A. Shavva¹, E.M. Zaharevich²¹Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation²Russian Research & Development Tooling Institute "VNIIINSTRUMENT"katapu@mail.ru
resurs.t@gmail.com

The most effective method for finish machining of hard-metals and alloys is to use the diamond grinding wheels for grinding. An application of diamond wheels significantly increases the employee output, reduces costs, and raises manufacturing efficiency with achieving the high performance properties of treated surfaces.

During grinding a working surface of diamond wheel wears out. It adversely affects the cutting capability of the diamond grains, and depending on the grinding conditions can occur through different mechanisms. Wear of diamond wheel causes distortion of its shape and reduces cutting properties. However, dressing of diamond wheels is a complicated and time-consuming operation in terms of manufacturing technique.

Methods to make dressing of diamond grinding wheel have different types of classification. Classification of dressing methods by the type of energy used is as follows: mechanical, chemical, electro-physical, electromechanical, and electrochemical. All these methods have their advantages and disadvantages.

Electrochemical method of dressing is the most productive and efficient. Electrochemical method comprises anode-mechanical dressing and electrochemical (electrolytic) one. The paper presents the electrochemical in-process dressing (ECD) and the electrolytic in-process dressing (ELID).

The source of energy, grinding a wheel with metal bond, and an electrode are necessary for providing ELID. The ELID consists of several stages. The first stage is preliminary electrolytic dressing of diamond wheel. The electrolyte is placed into the gap between the wheel and electrode. The bond of the

wheel is oxidized. An insulating layer is formed. It reduces an electrical conductivity of the wheel and controls consumption of diamond grains, as well as polishes the surface of the work piece. Further, the insulating layer is destroyed. The cycle of dressing begins anew.

The ECD proceeds in the same way as ELID. However during the ECD-process there is no insulating layer formed. The oxides are washed out by electrolyte flow. The method provides a constant escape of abrasive grain. The grain escape reaches 100-120% of average diameter.

Adaptation of ECD on conventional grinding machine is performed. For this, the copper electrode is mounted to the grinding wheel. The electrolyte circulates in the gap between the wheel and electrode. The control system for the normal and tangential forces of process is also used during the adaptation.

The enterprise VNIINSTRUMENT has designed a special experimental stand for diamond grinding. At this stand the ECD-dressing of diamond wheel with metal bond is implemented. This machine consists of a longitudinal support and a cross slide. Spindle of grinding wheel is set on the longitudinal support. A rotating speed of this spindle is about 50-3000 rev/min. A spindle of work piece is set on the cross slide. A rotating speed of this spindle is about 10-1000 rev/min.

The copper electrode is mounted on the spindle of grinding wheel. An area of electrode surface is 1/3 of the wheel area. The gap between the grinding wheel and electrode is about 0.3 mm. The electrolyte is placed in the gap.

The electrode is anode and the grinding wheel is cathode. Wheel and electrode are connected to the direct current source. When switching on the power source, the process of electrolysis begins. A bond of the wheel is oxidized and washed out. Waste of dressing is carried away with electrolyte.

The electrolyte leaves the zone of cutting. Next, the liquid gets into a special trough. Thereafter, the electrolyte enters the filter unit to have three steps of purification. The purified liquid is supplied to the pump, and then again enters the cutting zone.

ECD provides a large escape abrasive grain out of bond. It ensures that the cutting force is constant. The constant cutting force ensures the surface finish consistency, decreased surface roughness, and improved accuracy of work piece form.

Due to ECD, space for chips is formed between diamond grains. This allows the grinding wheel to avoid loading.

The stand solves the problem of electrolyte purification. This helps to avoid burn marks and defects during grinding. A maximum efficiency of process may be achieved by adjusting the modes of wheel dressing.

The ECD allows the use of nontraditional methods of grinding, including ductile mode grinding. However, for this it is necessary to apply the special kinematic scheme of grinding.

Publications with keywords: [diamond grinding](#), [dressing of grinding wheel](#), [electrochemical in-process controlled dressing](#)

Publications with words: [diamond grinding](#), [dressing of grinding wheel](#), [electrochemical in-process controlled dressing](#)

References

1. Kramer D., Rehsteiner F., Schuhmacher B. ECD (Electrochemical In-Process Controlled Dressing), a New Method for Grinding of Modern High-Performance Cutting Materials to Highest Quality. *Cirp Annals - Manufacturing Technology*, 1999, vol. 48, no 1, pp. 265-268. DOI: [10.1016/S0007-8506\(07\)63180-1](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63180-1)
2. Popov S.A. *Shlifoval'nye raboty* [Grinding Works]. Moscow, Vysshaya shkola, 1987. 383 p. (in Russian).
3. Romanov V.F., Avakyan V.V. *Tekhnologiya almaznoy pravki shlifoval'nykh krugov* [Technology of Diamond Dressing of Grinding Wheel]. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 118 p. (in Russian).
4. Matyukha P.G., Poltavets V.V. *Almaznoe shlifovanie s elektroerozionnymi upravlyayushchimi deystviyami na rabochuyu poverkhnost' kruga* [Diamond Grinding with EDM Control Actions on Working Surface of Grinding Wheel]. Donetsk, DonNTU Publ., 2006. 164 p. (in Ukrainian).
5. Dubovik N.P., Mendel'son V.S. *Ustroystva dlya pravki shlifoval'nykh krugov almaznymi instrumentami* [Devices for Dressing of Grinding Wheel by Diamond Tools]. Kiev, Naukova dumka, 1982. 128 p. (in Russian).
6. Kashchuk V.A., Vereshchagin A.B. *Spravochnik shlifoval'shchika* [Grinder's Handbook]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 480 p. (in Russian).
7. Paley M.M., Dibner L.G., Flid M.D. *Tekhnologiya shlifovaniya i zatochki rezhushchego instrumenta* [Technology of Grinding and Sharpening of Cutting Tools]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 288 p. (in Russian).
8. Rahman M., Senthil K.A., Lim H.S., Fatima K. Nano finish grinding of brittle materials using electrolytic in-process dressing (ELID) technique. *Sadhana. Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 2003, vol. 28, spec. iss. *Frontiers in Materials Science*, part 1, pp. 957-974.
9. Rahman M., Senthil K.A., Biswas I. A Review of Electrolytic In-Process Dressing (ELID) Grinding. *Key Engineering Materials*, 2009, vol. 404, pp. 45-59. DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.404.45](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.404.45)