

УДК 621.9.047.7.

**В. И. Лавриненко**<sup>1</sup>, докт. техн. наук; **О. О. Пасичный**<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
**А. М. Бровченко**<sup>1</sup>, инж.; **В. В. Смоквина**<sup>2</sup>, магистр

<sup>1</sup>*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,  
г. Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград,  
Украина*

### **РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ЛОКАЛИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕОБХОДИМОГО РЕЖУЩЕГО РЕЛЬЕФА КРУГА**

*In a paper new, modern systems program and an adaptive control are presented by process of creation of a cutting relief. Systems are developed on new element base taking into account scientific and engineering reachings*

Вопросам воздействия на рабочую поверхность кругов из сверхтвердых материалов с целью обеспечения их необходимой режущей способности, в особенности для кругов на металлических связках, в последние годы уделяется все большее внимание исследователей во всем мире, поскольку возрастают требования к режущей способности круга и изменяется структура рабочего слоя кругов, становясь более упорядоченной. Об этом свидетельствуют материалы 2-й Международной конференции в Риме (19–20 апреля 2007 г.) по промышленным алмазам («Алмаз в работе») [1].

Так, значительно, по сравнению с предыдущей Барселонской конференцией увеличилось количество статей, где обработка шлифования является комбинированной с дополнительным электрическим воздействием. Например, доклад К. Suzuki с соавторами из Nippon Institute of Technology, Miyashiro, Japan «The use of a floating graphite nozzle for supplying coolant during in-process electrodischarge dressing of metal bond diamond wheels», а также еще два доклада – Precise Profile Forming by Combining EDM and Grinding with a Same PCD Tool К. Suzuki<sup>1</sup>, S. Sano, W. Pan, M. Iwai, S. Ninomiya, T. Uematsu и Controlling coolant flow with a flexible metal sheet during in-process electrolytic dressing of metal bond diamond wheels. В целом это направление становится все более актуальным, о чем свидетельствует, например, доклад «In-telligent Monitoring Of ELID Grinding Process» I. D. Marinescu University of Toledo, Ohio, USA и др., доклад «Development of a new metal bond wheel named MB SPARK for the double disk grinding process» М. Tanaka, К. Fukushima, Н. Ohshita A.L.M.T. DIAMOND Corp, 1816–174, Kotaka–Kuroishi, Kato City HYOGO, JAPAN, а также доклад Session C – A New Application of PCD as a Very Low Wear Electrode Material for EDM коллектива авторов ВР главе с К. Suzuki из Nippon Institute of Technology, Miyashiro, Japan.

Что интересно нам из указанных докладов в направлении целей данной статьи? Во-первых, использование *PCD* как электродного материала, во-вторых, использование электроправки кругов для шлифования керамики кругами на металлических связках с привлечением электрохимического растворения, в-третьих, использование графитовых насадок для электроразрядного шлифования. Все эти методы, за исключением первого, который требует новых разработок, и были использованы нами для формирования необходимого режущего рельефа круга.

В процессе осуществления алмазно-абразивной обработки различных сплавов, а в особенности твердых и магнитных, кругами на металлической связке происходит «засаливание» рабочей поверхности, вследствие чего резко снижается их режущая способность, появляется вероятность образования на обработанной поверхности прижогов, сколов и микротрещин. «Засаливание» рабочей поверхности алмазных кругов происходит не только при осуществлении алмазного, но и алмазно-электрохимического шлифования (АЭХШ). Продолжительность высокоэффективной работы инструмента по данным результатов исследований, проведенных в НТУ «ХПИ» (г. Харьков), составляет всего несколько минут. Это является основной мотивацией осуществления непрерывной правки алмазных кругов. В КНТУ и ИСМ НАН Украины разработаны системы, позволяющие осуществлять как непрерывную правку инструмента, так и периодическую (циклическую) [2–5]. Например, схема алмазно-электрохимического циклического шлифования (АЭХЦШ), совмещенного с правкой круга током обратной полярности. Основанием для осуществления такого варианта являются данные о накоплении тепла на границах обрабатываемых деталей [6]. Возникновение высокого градиента температур на рабочих кромках пуансонов и матриц штампов, армированных твердым сплавом, существенно снижает их стойкость. Для предотвращения этого предложено детали шлифовать совместно с материалом, обладающим высокой теплопроводностью. Правка круга в этом случае производится в тот период, когда осуществляется обработка детали, исполняющей функцию теплоприемника. Технология АЭХШ, совмещенная с непрерывной правкой круга, предназначена для осуществления АЭХШ торцом круга на плоскошлифовальных станках. Правка в этом случае осуществляется как за счет электрохимического, так и механического воздействия на алмазный круг с помощью комбинированного электрода, который состоит из различных участков: участка с металлической составляющей, участка с абразивной составляющей и участка с гибкими электродами.

Итогом совместной работы ИСМ НАНУ и КНТУ явилась разработка технологии циклического алмазно-электрохимического шлифования [2]. Сравнительные испытания показали высокую эффективность АЭХЦШ (табл. 1).

Таблица 1. Показатели работоспособности алмазных кругов 12А2-45 150x10x3x32

АС6 125/100 М2-01 100 при различных методах алмазного электрошлифования твердого сплава ВК8

Процесс (источник технологического тока)	Производительность шлифования, мм <sup>3</sup> /мин	Относительный расход алмазов, мг/г	Эффективная мощность шлифования, кВт
АЭХШ – алмазно-электрохимический (ВАКГ 12/630)	700	3,7	1,1
АЭЭШ – алмазно-электроэрозионный (ШГИ-440)	700	1,8	1,1
АЭХЦШ – алмазно-электрохимический циклический (ВАКГ 12/630)	700	0,8	1,2
АЭЭШ – алмазно-электроэрозионный (ВАК 48/630)	700	1,8	1,9
Алмазное шлифование с электрохимической правкой в автономной зоне	700	1,4	1,6

Существуют как программные (с жесткой и гибкой программами), так и адаптивные схемы управления процессом шлифования. Принято считать [7], что управление по жесткой программе не может быть осуществлено при шлифовании, так как изменяющиеся параметры процесса соизмеримы по величине с припусками на шлифование. Основанием для такой точки зрения является то, что шлифование является финишной операцией, и в пределах этого цикла совмещается чистовое и черновое шлифование с высокими требованиями к точности и качеству обработки, а периодическая правка не может обеспечить стабильность процесса. Полагают, что трудность создания адаптивных систем связана с тем, что на процесс обработки влияет большое количество взаимосвязанных факторов: параметры заготовки, параметры режима резания, правка круга, обрабатываемый материал, режущая способность круга, СОЖ, характеристика технологической системы.

Наиболее часто при постоянной мощности шлифования автоматическое управление осуществляется путем регулирования подачи. При этом обеспечивается быстрый выход на номинальный режим. Однако регулирование мощности за счет увеличения скорости детали не обеспечивает, с одной стороны, отсутствия трещин, с другой стороны, – стабилизации глубины структурно-измененного слоя.

Часто в качестве исходного параметра для регулирования применяют радиальную составляющую силы резания, которая в процессе обработки регистрируется чувствительным прибором. Сила резания не может быть достаточно точным критерием, характеризующим истинное состояние режущего рельефа. Несмотря на то, что средние значения силы практически не изменяются, при биениях порядка 10–60 мкм амплитуда колебаний возрастает в 3–4 раза. Известен метод определения момента правки по величине амплитуды переменной составляющей резания.

Однако этот способ не обеспечивает высокую точность определения момента правки шлифовального круга в связи с существенным различием сил резания на различных этапах обработки. Определение момента для осуществления правки по амплитуде колебаний в системе СПИД не обеспечивает высокой точности в связи с различием интенсивности колебаний на различных этапах цикла шлифования при одной и той же степени снижения режущей способности круга.

В КНТУ разработана и опробована схема управления процессом правки круга током обратной полярности в зависимости от критической величины температуры на поверхности круга [3]. Схема управления процессом шлифования по величине критической температуры на поверхности круга представлена на рис 1.

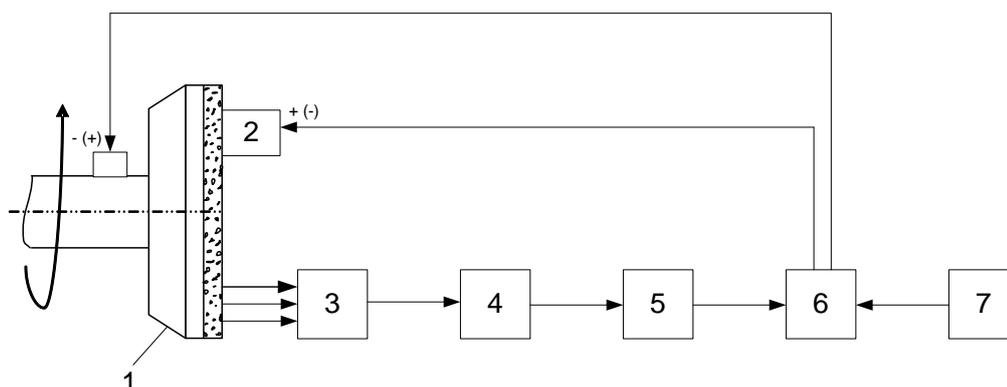


Рис. 1. Схема управления режущей способностью круга по величине критической температуры на поверхности круга : 1 – алмазный круг на металлической связке; 2 – деталь; 3- пирометр; 4 – усилитель; 5 – блок сравнения; 6 – блок переключения полярности; 7 – блок питания.

Схема устройства правки круга, которая осуществляется по сигналу индукционного датчика, представлена на рис. 2.

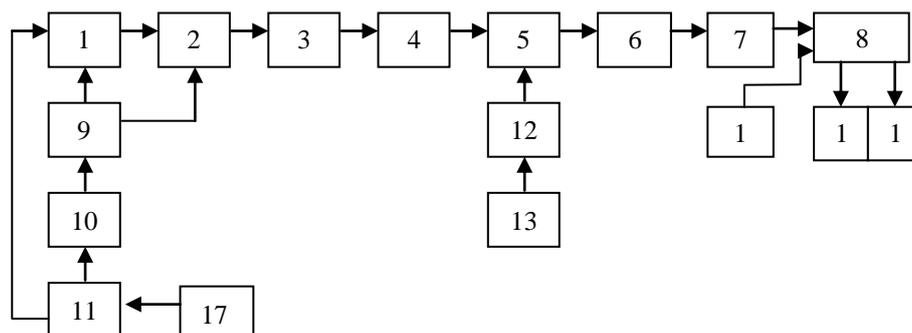


Рис. 2. Структурная схема устройства для контроля состояния режущей поверхности алмазных кругов: 1 – контур суммарный, 2 – сумматор, 3 – усилитель, 4 – детектор каскад, 5 – пороговое устройство, 6 – устройство управления, 7 – управляющее реле, 8 – блок исполнительного реле, 9 – контур круга, 10 – буферный каскад, 11 – генератор, 12 – задатчик вида материала, 13 – задатчик класса шероховатости, 15 – деталь, 17 – круг.

Устройство состоит из индукционного датчика, обмотка которого является составной частью колебательного контура с узкой полосой пропускания сигналов и высокой добротностью. Работа производится следующим образом. На колебательный контур подается сигнал радиочастоты высокой амплитуды, причем среднее значение частоты рабочего диапазона таково, что даже незначительное «засаливание» поверхности круга вызывает изменение индуктивности дат-

чика и соответственно изменение резонансной частоты колебательного контура. Питание колебательного контура, в цепь которого включена обмотка индуктивного датчика, производится от генератора спектра, который в данном случае используется как генератор тока. Чтобы максимально приблизить спектральную характеристику генератора к равномерной, на его выходе установлен ограничитель амплитуды, порог ограничения которого выбран равным максимальному значению амплитуды рабочего участка генератора спектра. Введение в схему ограничителя позволит использовать в качестве генератора спектра генератор большой мощности. Поскольку стабильность амплитуды входного сигнала генератора зависит не только от рабочей частоты, но и от изменения нагрузки, а в качестве нагрузки служит колебательный контур, то для предотвращения обратной паразитной связи вводится развязывающий каскад, выполненный по схеме эмиттерного повторителя с широкой полосой пропускания.

Для случая обработки высококоэрцитивных магнитных сплавов типа АЛНИКО и ТИКОНАЛЬ, имеющих склонность к трещинообразованию, разработана схема, позволяющая править круг по сигналу индукционного сигнала, характеризующего о начале интенсивного трещинообразования [5]. Сущность нового подхода состоит в том, что определение момента для осуществления правки по оценке состояния режущего рельефа устанавливается основании комплекса таких геометрических характеристик: закона распределения высоты выступающих зерен над уровнем связки, фактического количество работающих зерен, количество участков связки в дисперсии профиля; сечение выступающей части зерна над уровнем связки.

С учетом состояния режущей поверхности алмазных кругов разработаны различные системы как программного, так и адаптивного управления [4, 5]. Схема программного управления процессом формирования режущего профиля представлена на рис. 3.

Переключение полярности осуществляется при поступлении управляющего сигнала с мультивибратора, который генерирует прямоугольные импульсы. Выбор момента для осуществления правки осуществляется на основании данных статистического моделирования, полученных в результате профилирования режущего рельефа. Разработана структурная схема приспособления управления процессом АЭХШ, позволяющая реализовать 16 управляющих программ. Исключается инерционность работы за счет исключения контактной схемы переключения. Большой объем памяти позволяет более гибко варьировать параметрами задающих программ в зависимости от условий обработки; предусмотрена возможность использования различного вида датчиков (например, технического зрения) для перехода на адаптивное управление.



Рис. 3. Схема коммутационного приспособления для программного управления процессом циклического алмазно-электрохимического шлифования.

Приведенные выше способы воздействия на режущую поверхность круга и схемы их реализации важны для использования их при обработке кругами с упорядоченным режущим

слоем, когда может возникать необходимость в быстром и одновременном обновлении режущей поверхности круга для введения в работу нового ряда режущих зерен [9].

### **Литература**

1. 2<sup>nd</sup> International Industrial Diamond Conference: 19–20<sup>th</sup> April 2007, Rome, Italy // <http://www.diamondatwork.com>.
2. Бровченко А. М., Смоквина В. В. Анализ эффективности использования технических средств для оценки состояния абразивной поверхности круга // Збірка наукових праць КНТУ «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2005. – Вип. 16. – С. 180–183.
3. Лавриненко В. І. Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – К.: ІНМ НАНУ, 2000. – 23 с.
4. Патент України на корисну модель № 19942 В24В 49/00. Пристрій для керування правкою шліфувального круга / А. М. Бровченко, В. І. Лавріненко, В. В. Смоквина. – Опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
5. Бровченко А. М., Шалимов В. А., Прохвятилов С. Г. Управление режущей способностью алмазных кругов при алмазно-электрохимическом шлифовании // Збірка наук. праць КНТУ «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – 2003. – Вип. 13. – С. 236–241.
6. Декларацийний патент України на корисну модель № 3811 В 24В 47/00. Пристрій для керування різальною здатністю круга / А. М. Бровченко, С. І. Осадчий, І. П. Пономаренко, В. О. Шалімов, С. Г. Прохвятилов, В. В. Смоквина. – Опубл. 15.12.2004, Бюл. № 12.
7. Адаптивное управление станками / Под редакцией Б. С. Балакшина. – М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
8. Семко М. Ф., Узунян М. Д., Сизый Ю. А., Пивоваров М. С. Работоспособность алмазных кругов. – К.: Техніка, 1983. – 95 с.
9. Лавриненко В. И., Пасичный О. О., Сытник Б. В. К вопросу шлифования спеченным композитом с упорядоченными зернами алмаза // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях. Матер. VII Промышл. конф. с межд. Участием, п. Славское, Карпаты, 12–16 февраля 2007 г. – Киев: УИЦ «НТТ», 2007. – С. 440 – 442.

*Поступила 05.07.07.*