

**ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ УПРАВЛЯЕМОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ШЛИФОВАНИЯ  
КРУГАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНСТРУМЕНТА**

**Полтавец В.В.**

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

**Введение**

В настоящее время шлифовальные круги из сверхтвердых материалов (СТМ), среди которых наиболее распространены алмаз и материалы на основе кубического нитрида бора (эльбор, кубонит, гексанит, боразон), широко применяются при шлифовании нескольких групп труднообрабатываемых материалов:

- сложнолегированных сталей с HRC 55 и выше;
- твердых сплавов;
- композиций конструкционных сталей с труднообрабатываемыми материалами,

в частности, с твердыми сплавами.

В группу сложнолегированных сталей высокой твердости включают инструментальные легированные стали, быстрорежущие и штамповые стали, а также специальные жаропрочные и нержавеющей стали на основе никеля, кобальта, молибдена и вольфрама [1].

Обработка указанных материалов кругами из СТМ характеризуется высокой интенсивностью и изменчивостью во времени параметров физико-механических, физико-химических и теплофизических процессов в зоне резания. Это приводит к непрерывному изменению состояния технологической системы шлифования и, соответственно, к изменению мгновенных значений показателей, характеризующих процесс функционирования данной системы. Такое изменение неизбежно находит отражение либо в снижении производительности процесса, либо в ухудшении показателей качества обработанной поверхности или поверхностного слоя обработанной детали.

Главной задачей управления технологической системой механической обработки является обеспечение невыхода значений управляемых параметров процесса за пределы допустимой области в пространстве состояний. Пространство состояний в процессе функционирования технологической системы механической обработки включает 4 группы параметров [2]:

- физико-механические свойства обрабатываемого материала;
- технические характеристики металлообрабатывающего оборудования;
- режимы обработки;
- характеристики инструмента.

Первые две группы параметров в большинстве случаев выбираются до начала обработки, в процессе обработки не управляются и в системах стабилизации качества практически не используются.

Наибольшей степенью управляемости характеризуются режимные параметры процесса обработки, которые чаще всего выступают в качестве субъекта управления при механической обработке.

Характеристики инструмента в общем случае относятся к управляемым параметрам, но степень управляемости ими сильно зависит от периода времени, когда

осуществляются управляющие воздействия. Таких периодов можно выделить два: предварительная подготовка инструмента к обработке и собственно процесс обработки.

При лезвийной обработке характеристики инструмента могут быть отнесены к малоуправляемым или частично управляемым параметрам, так как осуществление управляющих воздействий для изменения или стабилизации характеристик инструмента одновременно с процессом обработки трудно реализуемо на практике.

Значительно большие возможности для повышения степени управляемости свойствами инструмента открывает алмазно-абразивное шлифование. Для кругов из СТМ эффективное использование возможно лишь при условии предварительной подготовки (правки) их рабочей поверхности применительно к требованиям данной шлифовальной операции [1]. Такая подготовка представляет собой управление параметрами инструмента до начала обработки.

В процессе шлифования управление характеристиками инструмента сводится к поддержанию требуемой режущей способности шлифовального круга с использованием в ходе процесса обработки совмещения во времени воздействий на обрабатываемую деталь и на обрабатывающий инструмент (шлифовальный круг).

Целью данной работы является систематизация методов управления характеристиками кругов из СТМ в процессе обработки и выявление на этой основе перспектив повышения степени управляемости технологической системой шлифования кругами из указанных материалов.

### **Основная часть**

Наибольшую стойкость кругов из сверхтвёрдых материалов обеспечивают металлические связки – в 5-10 раз более стойкие, чем органические. Металлические связки превосходят также полимерные и керамические связки прочностью, пластичностью, абразивоудержанием и теплопроводностью [3]. В связи с этим задача управления режущей способностью круга в течение его периода стойкости особенно актуальна для кругов из СТМ на металлической связке.

Методы управления характеристиками шлифовального инструмента в процессе обработки разделяются по характеру воздействия на:

- механические;
- электрохимические;
- электрофизические.

Механические воздействия на шлифовальный круг из СТМ могут осуществляться алмазными карандашами, свободным абразивом, гибкими щетками из полимерных материалов с алмазным напылением и специальными устройствами для активизации рабочей поверхности кругов. Эти воздействия преимущественно используются для алмазных шлифовальных кругов, у зёрен которых и при правке, и в процессе обработки формируются контактные площадки на задних поверхностях. В результате высокоскоростного ударного взаимодействия алмазного зерна с активизирующим элементом на площадках контакта происходят микроразрушения и значительно увеличивается развитость микрорельефа.

При взаимодействии рабочей поверхности круга (РПК) с алмазными карандашами и гибкими щетками с напылением микроразрушения на поверхностях алмазных зёрен происходят вследствие того, что твердости контактирующих объектов одинаковы или близки. В специальных устройствах для активизации алмазных зёрен используют те естественные явления, которые сопровождают процессы шлифования и правки, например, нагрев контактных поверхностей, адгезионное схватывание алмаза и металла, а также вибрацию за счет автоколебаний или вынужденных колебаний [4, 5].

При механических воздействиях с наложением вибрационных полей (рис. 1) природа активизации режущих кромок алмазного зерна связана с тем, что при колебаниях контактирующих тел резко изменяются нормальные и касательные напряжения, а также фактические глубины и силы резания. После активизации алмазных зерен с использованием энергии автоколебаний или наложения внешних вибрационных полей не происходит растрескивания и сколов на зернах и в то же время существенно развивается их микрорельеф [4].

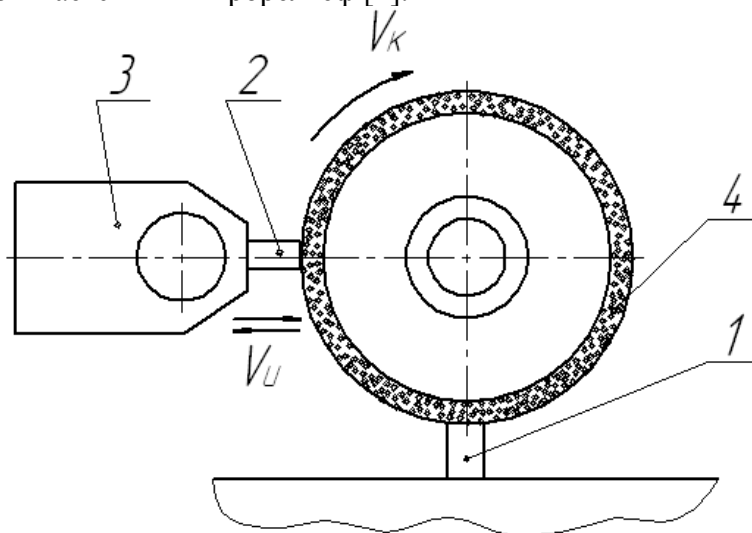


Рис. 1. Активизация рабочей поверхности алмазного шлифовального круга металлическим инструментом, совершающим колебательные движения [4]:  
 1 – обрабатываемая заготовка, 2 – активизирующий инструмент,  
 3 – упругий элемент или вибратор, 4 – шлифовальный круг

К тому же виду механических управляющих воздействий можно отнести и разработанный в ИСМ НАН Украины им. В.Н. Бакуля метод интенсификации процессов шлифования на базе использования направленной гармонизации вибраций от динамической нагрузки и прецессионного перемещения шлифовального инструмента для удвоения производительности процесса механической обработки без повышения мощности станка на основе управляемой кинематики контактирования шлифовального круга с изделием [6].

Объектом управления в случае механических воздействий на РПК с применением алмазов или специального инструмента с наложением вибраций является зерно СТМ. Связка управляющим воздействиям или вообще не подвергается, или подвергается незначительно по сравнению с зёрнами.

Напротив, для обеспечения заданной величины выступания зёрен СТМ над связкой используют механические воздействия свободным абразивом, который может подаваться к рабочей поверхности круга всухую, в виде абразивной суспензии или в составе правящего инструмента, корпус которого играет роль притира.

Воздействия на РПК потоком свободных абразивных частиц имеют низкую эффективность, так как процесс характеризуется низкой управляемостью и большим расходом абразивного материала. Более эффективным является воздействие на круг с использованием притира [7]. Сущность этого способа заключается в следующем:

К вращающемуся шлифовальному кругу подводят до касания притир, продольная ось которого наклонена под углом  $\alpha$  в пределах от 20 до 60° к вектору

скорости круга в точке касания его с притиром. Притиру задают возвратно-поступательное движение вдоль образующей инструмента. В зону контакта круга с притиром подают свободный абразив, который захватывается шлифовальным кругом и затормаживается или шаржируется в притире. Путем перекачивания по поверхности контакта в направлении вектора скорости свободный абразив вышлифовывает материал притира и связки шлифовального инструмента. В результате формируется рабочий зазор между кругом и притиром, который автоматический поддерживается на определенном уровне путем назначения соответствующей подачи притира в процессе воздействий.

Интенсивность шлифования связки круга и материала притира определяется размером подаваемых абразивных частиц и величиной зазора между инструментом и притиром. Свободный абразив берут размером, равным 0,6-0,9 размера зерен СТМ, и подают его в виде суспензии, которая содержит в себе глину и воду в следующем отношении компонентов масс: абразив – 46,0-50,0 %; глина – 23,0-27,0 %; вода – остальное.

Способ механических воздействий свободным абразивом с притиром характеризуется хорошей управляемостью, относительно меньшим расходом абразивного материала и требует небольших затрат энергии. Объектом управления является преимущественно связка, воздействие на зёрна СТМ незначительно. Вместе с тем при данном способе воздействий абразивные зерна неизбежно будут попадать на обработанную поверхность заготовки и шаржироваться в неё. В этом состоит главное ограничение метода механических управляющих воздействий свободным абразивом.

Для повышения режущей способности шлифовальных кругов из СТМ на металлических связках хорошо зарекомендовали себя методы, основанные на использовании электрохимических и электрофизических процессов.

Электрохимические методы управляющих воздействий, которые достаточно просто могут быть реализованы при предварительной подготовке шлифовального инструмента к работе, имеют ряд существенных ограничений для использования в процессе обработки:

- сложность изоляции зоны обработки заготовки от зоны управляющих воздействий на шлифовальный круг;
- неизбежное загрязнение рабочей жидкости продуктами обработки;
- необходимость учитывать взаимодействие рабочей жидкости с обработанной поверхностью;
- недопустимость использования агрессивных электролитов при шлифовании многих видов материалов и др.

Объектом управления в случае электрохимических воздействий на РПК является связка, так как зерна алмаза и кубического нитрида бора не принимают участия в электрохимических процессах.

Перечисленные ограничивающие факторы и обусловленные ими трудности технической реализации электрохимических управляющих воздействий на РПК в процессе обработки не дают возможность высоко оценивать перспективность электрохимических методов в повышении управляемости режущей способностью шлифовальных кругов из СТМ на металлической связке.

Среди электрофизических методов воздействий на РПК нашли применение анодно-механическая, алмазно-катодная, электроконтактная и электроэрозионная обработка. Анодно-механические и алмазно-катодные процессы требуют применения электролитов, вследствие чего они имеют те же ограничения и сложности

использования для осуществления управляющих воздействий в процессе обработки, что и электрохимические процессы [4].

Электроконтактный метод воздействий основывается на использовании вращающегося гибкого электрода, который для обеспечения высокой плотности тока выполняется в виде круговой щетки, набранной из проволочных, радиально расположенных, гибких элементов (рис. 2). Эти элементы способны проникать в межзеренное пространство и взаимодействовать со связкой круга как механически, так и электрофизически, обуславливая возникновение электрических разрядов в процессе прерывистого электрического контакта с материалом связки [4].

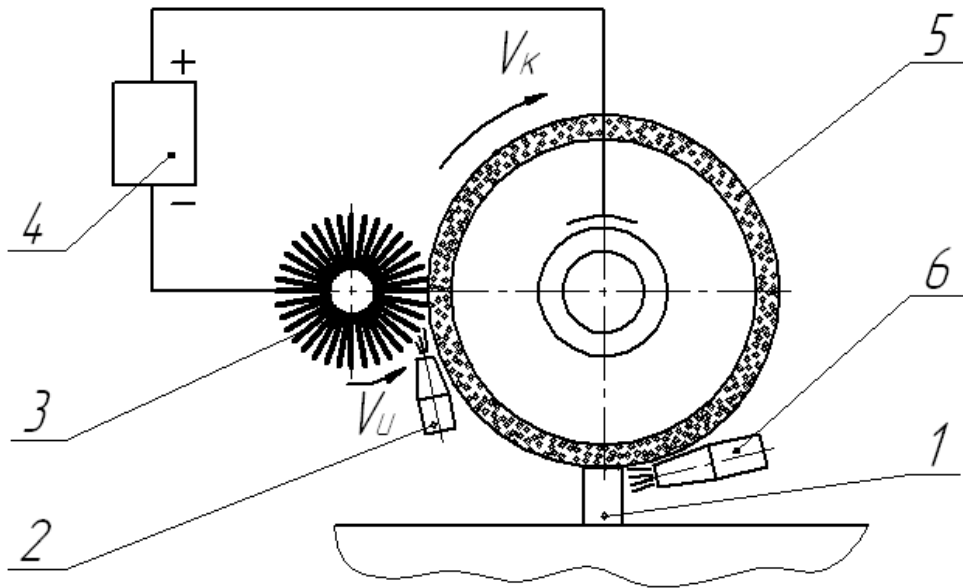


Рис. 2. Плоское шлифование с электроконтактными управляющими воздействиями на РПК с помощью круглой щетки из гибких элементов

1 – обрабатываемая заготовка, 2 – сопло для подачи рабочей среды в межэлектродный промежуток, 3 – вращающаяся щетка из гибких электродов, 4 – источник технологического тока, 5 – шлифовальный круг, 6 – сопло для подачи рабочей среды в зону резания

Диаметр проволочных электродов выбирается таким образом, чтобы они свободно проникали в межзеренное пространство для контактирования со связкой круга. Оптимальная разность линейных скоростей шлифовального круга и правящей щетки составляет 0,1-1, 0 м/с. Механическое воздействие проволочек и доступ СОЖ в зону воздействий обеспечивают надежное удаление шлама с РПК и высокую термическую стойкость электродов при большой плотности тока. Управляющие воздействия проводятся при напряжениях от 5 до 60 В и плотности тока от 5 до 600 А/см<sup>2</sup>. Широкий диапазон электрических параметров процесса позволяет использовать в качестве рабочей среды не электролиты, а обычные СОЖ.

Электроэрозионные методы воздействий (рис. 3) показали свою высокую эффективность при поддержании режущей способности кругов из СТМ на металлической связке в процессе обработки [8]. Это обусловлено специфическими особенностями электроэрозионного процесса, среди которых можно выделить несколько наиболее значимых:

- наличие зазора между поверхностями круга и электрода-инструмента, что позволяет осуществлять воздействия с минимальным усилием подачи электрода и незначительным его износом;
- высокая избирательность и дискретность воздействий;
- термический характер электрической эрозии позволяет применять метод для токопроводных связок с различными физико-механическими свойствами.

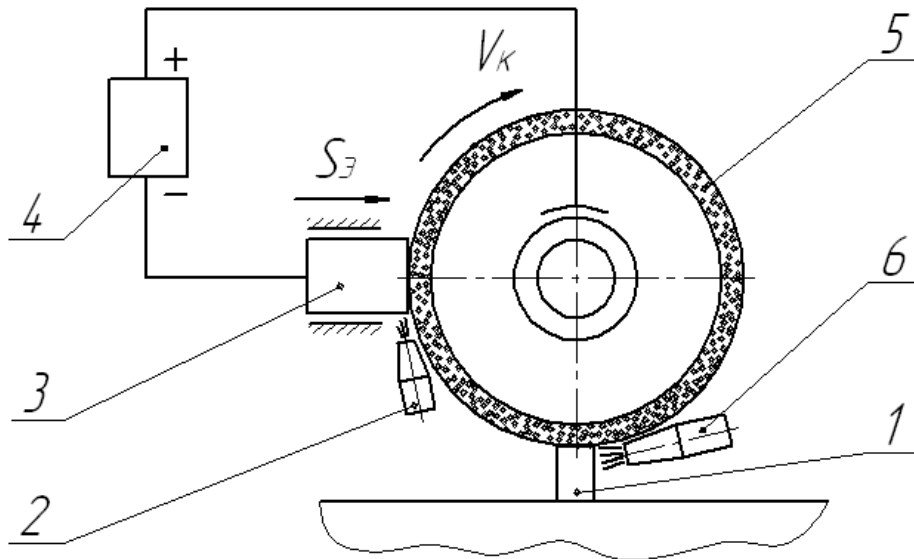


Рис. 3. Плоское шлифование с электроэрозионными управляющими воздействиями на РПК с помощью электрода-инструмента в автономной зоне

- 1 – обрабатываемая заготовка, 2 – сопло для подачи рабочей среды в межэлектродный промежуток, 3 – электрод-инструмент, 4 – источник технологического тока, 5 – шлифовальный круг, 6 – сопло для подачи рабочей среды в зону резания

Объектом управления в электрофизических методах является токопроводная связка. Вместе с тем экспериментально установлено, что при электроэрозионной обработке могут возникать условия, когда на поверхности нетокопроводного алмазного зерна создаётся электропроводный слой из продуктов пиролиза рабочей среды и обрабатываемого материала [4] или же формируются токопроводные мостики из элементов стружки между связкой и слоем обрабатываемого материала на контактных площадках зерен [9].

Такие условия приводят к термохимическому воздействию электрической эрозии на зерна СТМ [10] и инициированию электрического разряда непосредственно на зерно. Вследствие этого при использовании электроэрозионных процессов управляющим воздействиям подвергаются, кроме материала связки, также и зерна сверхтвёрдого материала.

Результаты анализа рассмотренных методов реализации управляющих воздействий на рабочую поверхность шлифовальных кругов из СТМ в процессе обработки с целью выделения в них управляемых элементов структуры круга и относительной оценки сложности технической реализации сведём в табл. 1.

Таблица 1. Объекты управления и показатели сложности реализации методов управляющих воздействий на шлифовальные круги из СТМ с металлической связкой

Методы управляющих воздействий	Объекты управления		Сложность технической реализации (относит. показатель)
	Зерна СТМ	Связка круга	
Механические:			
Инструментом без наложения вибраций	+	–	Низкая
Инструментом с наложением вибраций	+	–	Средняя
Свободным абразивом	+	+	Средняя
Электрохимические	–	+	Высокая
Электрофизические методы:			
Анодно-механический	–	+	Высокая
Алмазно-катодный	–	+	Высокая
Электроконтактный	–	+	Средняя
Электроэрозионный	+	+	Средняя

### Выводы

1. Управляющие воздействия на шлифовальный инструмент из СТМ могут быть направлены на оба компонента его структуры: на зерна и на связку. Механические методы воздействий в основном направлены на зерна СТМ, методы с использованием свободного абразива и электрохимические – на связку, электрофизические могут воздействовать на оба компонента.

2. Если объектом управления является зерно СТМ, то наибольшую интенсивность обеспечивают управляющие воздействия, связанные с механическим воздействием на зерно, или механические воздействия с наложением колебаний.

3. Если объектом управления является связка, то для шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов на металлической токопроводящей связке наиболее эффективными являются воздействия с использованием электрической энергии или комбинации электрической энергии с другими её видами.

4. Управление характеристиками инструмента электроэрозионным методом обладает наибольшим потенциалом для повышения степени управляемости технологической системой шлифования кругами из СТМ на металлической связке.

**Список литературы:** 1. Зубарев Ю.М., Приемывшев А.В. Эффективность применения при шлифовании кругов из кубического нитрида бора // Сучасні технології у машинобудуванні: Зб. наукових статей/ За заг. ред. А.І. Грабченка. – Том 1. – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – С. 93-98. 2. Усов А.В. Системы оптимального управления теплофизическими процессами при механической обработке // Сучасні технології у машинобудуванні: Зб. наукових статей/ За заг. ред. А.І. Грабченка. – Том 2. – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – С. 262-273. 3. Галицкий В.Н., Курищук А.В., Муровский В.А. Алмазно-абразивный инструмент на металлических связках для обработки твердого сплава и стали. – Киев: Наукова думка, 1986. – 144 с. 4. Прогрессивные методы правки абразивных кругов / В.Н. Малышев, В.И. Пилинский, Г.Г. Покладий и др. – К.: Техніка, 1985. – 112 с. 5. Стефаненков П.Н. Исследование и разработка способа нанесения регулярного рельефа на поверхность шлифовального круга при правке за счет возбуждения автоколебаний правящего инструмента: Автореф. дис.... канд. техн. наук:

05.02.08 / Одес. политехн. ин-т. – Одесса, 1982. – 16 с. **6.** Алмазно-абразивные инструменты – основа высоких технологий инструментального производства/ И.В. Новиков, А.А. Шепелев, В.И. Лавриненко // Сучасні технології у машинобудуванні: Зб. наукових статей/ За заг. ред. А.І. Грабченка. – Том 2. – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – С. 90-102. **7.** Бурмистров В.В., Хроменко А.Д., Гомон В.М., Дубовик В.Н. Способ правки шлифовального инструмента свободным абразивом. А. с. СССР № 967784, кл. В 24 В53/013. Донецкий политехнический институт, 1931. – Оpubл. 1982. Бюл. № 39. **8.** Матюха П.Г., Полтавец В.В. Алмазне шліфування з електроерозійними керуючими діями на робочу поверхню круга. – Донецьк ДонНТУ, 2006. – 164 с. **9.** Пахалин Ю.А. Алмазное контактно-эрозионное шлифование. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 178 с. **10.** Дорофеев В.Д. Основы профильной алмазно-абразивной обработки. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1983. – 186 с.

**ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ КЕРОВАНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ СИСТЕМОЮ  
ШЛІФУВАННЯ КРУГАМИ ІЗ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ  
ЗА РАХУНОК ДІЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНСТРУМЕНТУ**

Полтавец В.В.

Виконано аналіз методів керування характеристиками шліфувальних кругів із надтвердих матеріалів у процесі оброблення. Розглянуто об'єкти керування і складність технічної реалізації механічних, електрохімічних і електрофізичних методів керування діями на робочу поверхню шліфувального круга. Виявлено, що керування характеристиками інструмента електроерозійним методом має найбільший потенціал для підвищення ступеня керованості технологічною системою шліфування.

**ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ УПРАВЛЯЕМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМОЙ ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНСТРУМЕНТА**

Полтавец В.В.

Выполнен анализ методов управления характеристиками шлифовальных кругов из сверхтвердых материалов в процессе обработки. Рассмотрены объекты управления и сложность технической реализации механических, электрохимических и электрофизических методов управляющих воздействий на рабочую поверхность шлифовального круга. Выявлено, что управление характеристиками инструмента электроэрозионным методом обладает наибольшим потенциалом для повышения степени управляемости технологической системой шлифования.

**INCREASE OF DEGREE OF CONTROLLABILITY OF TECHNOLOGICAL  
SYSTEM OF GRINDING BY WHEELS FROM SUPERFIRM MATERIALS  
AT THE EXPENSE OF ACTIONS ON TOOL CHARACTERISTICS**

Poltavets V.V.

The analysis of methods of control of characteristics of grinding wheels from superfirm materials in machining process is made. Objects of control and complexity of technical realization of mechanical, electrochemical and electrophysical methods of control actions on wheel working surface are considered. It is revealed that control of tool characteristics by means spark erosive method possesses the greatest potential for increase of degree of controllability of technological system of grinding.

*Рецензент: д.т.н., доц. Гусев В.В.*