

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



МАТЕРИАЛЫ
4-й студенческой научно-технической конференции
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ»
28 октября 2020 года

Донецк 2020

УДК 621.6-9

Материалы 4-й студенческой научно-технической конференции «Инновационные технологии и оборудование в машиностроении» 28 октября 2020 г. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2020. – 31 с.

Редакционная коллегия:

Гусев В.В., Молчанов А.Д., Полтавец В.В., Цокур В.П.

Издание включает материалы студенческой научно-технической конференции по следующим направлениям: создание и применение прогрессивных технологий и технологических систем; информационные технологии; механизация и автоматизация производственных процессов; управление качеством, метрология, сертификация; моделирование и расчеты сложных технических систем.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет инженерной механики и машиностроения

ул. Артема, 58, г. Донецк,

тел.: (062) 301-07-15

E-mail: msmo@fimm.donntu.org

www: <http://kmsmo.fimm.donntu.org/sbornik-nauchnyh-trudov>

© ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

© ДОННТУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Водясов К.Н., Гусев В.В. Анализ систем автоматического контроля рабочей поверхности алмазного шлифовального круга.....	4
Дуленко Н.Д., Полтавец В.В. Математические основы описания кинематики элементов системы твердых тел с малыми деформациями	13
Закиров А.А., Гусев В.В. Система автоматического управления режущей способностью алмазного шлифовального круга на базе станка 3762	17
Матвеенков Д.Е., Молчанов А.Д. Формирование качественных показателей поверхностного слоя триботехнической керамики	23
Поздняков Е.В., Цокур В.П. Исследование шлифования титановых сплавов алмазными кругами на металлической связке	26
Рыбалко Е.А., Молчанов А.Д. Определение параметров разновысотности зерен алмазного круга при шлифовании оксидной керамики	29

УДК 621.9.23

АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Водясов К. Н., Гусев В.В.
(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** В статье рассмотрены методы контроля линейного износа, состояния рабочей поверхности алмазного шлифовального круга, а также рассмотрена конструкция устройства для контроля состояния рабочей его поверхности. Описаны конструктивная и электрическая схемы устройства, а так же их принцип действия.*

***Ключевые слова:** профилографирование, алмазный круг, схема, рабочая поверхность круга, шлифование, износ, датчик, лазер, диод, триангуляция*

Введение

Технологический процесс шлифования является одним из широко распространенных в машиностроении. Так, в отечественном машиностроении доля шлифовальных станков составляет 12 %, а в автомобилестроении – до 25 %. Алмазное шлифование является наиболее эффективным способом съема материала припуска в керамических заготовках вследствие их высокой твердости. К шлифовальному кругу, как к режущему инструменту, предъявляются большие требования в отношении поддержания остроты режущих кромок и сохранения требуемой формы профиля круга. Если прочность закрепления абразивных зерен в инструменте ниже прочности самих зерен, то изнашивание происходит за счет выкрашивания зерен, а круг работает в режиме самозатачивания. Самозатачиванием называют свойство круга сохранять работоспособность вследствие образования новых режущих кромок в процессе обработки. Если прочность абразивных зерен окажется ниже прочности их закрепления в шлифовальном круге, то изнашивание происходит частично за счет хрупкого разрушения и скалывания зерен, а частично — в результате их истирания обрабатываемым материалом. Такое изнашивание носит название затупления круга и заключается в образовании площадок износа на поверхности абразивных зерен и уменьшении режущей способности инструмента, что проявляется в увеличении силы резания до двух раз. Кроме того, неравномерный износ круга приводит к изменению его профиля.

Нестабильность рабочих характеристик шлифовального круга, изменение их во время обработки заготовок приводит к изменению качества поверхности слоя детали. Поэтому возникает необходимость в правке шлифовального круга.

Цель работы и задачи исследования. Анализ методов измерения степени износа алмазного шлифовального круга при обработке деталей.

Основное содержание работы.

Для восстановления режущей способности шлифовальных кругов, их геометрической формы и микропрофиля рабочей поверхности периодически производят правку, т. е. приводят круг в работоспособное состояние. Существует большое количество методов измерения степени износа шлифовального круга, которые рассмотрены ниже.

Косвенный способ измерения степени износа алмазных шлифовальных кругов путем измерения силы резания.

Силы резания при шлифовании влияют на качество обработанной поверхности,

а также по уровню сил можно оценить степень износа алмазного круга и своевременно прибегнуть к восстановлению его режущих свойств.

Экспериментальное определение величины и характера изменения сил резания при шлифовании производилось многими исследователями с применением различных измерительных средств. На первых этапах исследовательских работ определяли силу резания через измерения мощности, развиваемую электродвигателем при шлифовании с помощью ваттметра.

Величину тангенциальной составляющей силы резания определяют расчетным путем [1]:

$$P_z = \frac{9,8 \cdot 75 N_э}{0,736 v_{кр}} \approx 988 \frac{N_э}{v_{кр}} \text{ Н,}$$

где $N_э$ – эффективная мощность в кВт, развиваемая на шпинделе; $v_{кр}$ – окружная скорость круга, м/с.

Рассматриваемый метод прост, но не позволяет измерить составляющие силы резания, и не точен, так как определяет полную мощность, включая и потери на трение в механизмах станка.

Для непосредственного измерения составляющих сил можно использовать динамометрические устройства. Динамометр может быть изготовлен в виде упругой муфты с плоскими радиально-расположенными пружинами [1]. Можно так же использовались проволочные датчики сопротивления, установленные на двух центрах (переднем и заднем) станка. Два динамометрических центра позволяют фиксировать силу резания в процессе шлифования при любом положении шлифовального круга относительно обрабатываемой детали. Однако, данный метод применим только при установке детали в центрах.

Способ бесконтактного измерения степени износа алмазных шлифовальных кругов путем измерения вибрации шлифовального круга [2].

При изменении состояния рабочей поверхности круга возникают вибрации, вызванные как вибрациями непосредственно самого шлифовального круга, так и механизмами станка.

Перемещение в технологической системе при возникновении вибрации основаны на измерении расстояния между шлифовальным кругом и датчиком емкостным методом. Схема измерения показана на рис. 1. Емкостной датчик образован металлической пластиной 1 с устройством 2 для измерения начального зазора Δ и поверхностью шлифовального круга 3, которую предварительно смачивают электропроводной жидкостью. В качестве электропроводной жидкости используют эмульсию или водопроводную воду. При измерении шлифовальный круг приводят во вращение. В качестве привода используют либо специальный стенд (при установке шлифовального круга на оправку), либо привод станка (при измерении непосредственно на шпинделе станка). При наличии относительных колебаний между поверхностью круга и пластиной 1 изменяется величина зазора Δ , что приводит к изменению емкости зазора между пластиной 1 и влажной поверхностью шлифовального круга 3. Изменение емкости с помощью специального усилителя 4 преобразуется в электрический сигнал, который записывается регистрирующим прибором 5 (рис.1).

Это способ является бесконтактным способом измерения степени износа шлифовальных кругов и почти не находит практического применения, так как имеет низкую точность измерения. Данный метод является косвенным принципом измерения

степени износа круга, отличающийся сложностью обработки результатов измерения и значительными погрешностями, не позволяет оценить неравномерность износа. Неточность в измерении вызваны зависимостью зазора от состояния жидкости, которая неконтролируемо меняется.

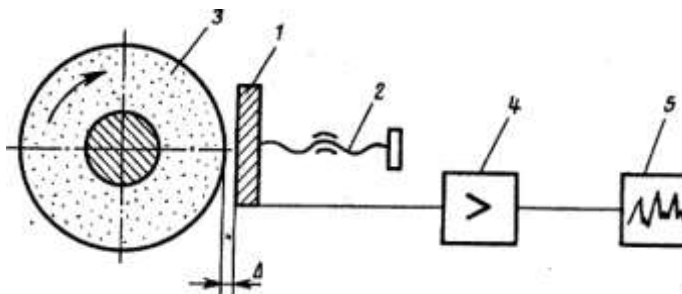


Рис. 1. Схема измерений вибраций шлифовального круга

Фотоэлектрический метод бесконтактного измерения степени износа шлифовального круга [3].

На рис. 2 изображена принципиальная схема измерительного устройства при измерении степени износа алмазно-абразивного круга.

Фотоэлектрическое устройство для бесконтактного измерения степени износа рабочего инструмента содержит оптико-электронный блок, включающий в себя два осветителя 1, объектив 2, полевую диафрагму 3, конденсатор 4, два фотоприемника 5 и блок 6 сравнения; регистратор, выполненный в виде стрелочного индикатора 7, и два светоотражающих элемента 8 и 9, выполненные в виде пластин.

Светоотражающие элементы 8 и 9 закреплены на боковой поверхности круга 10, причем элемент 8 размещен в зоне износа, а элемент 9 – вне ее.

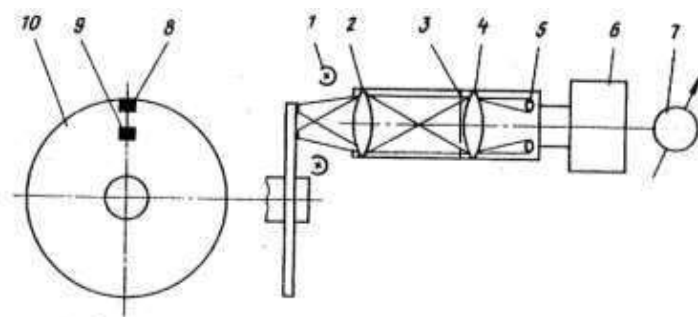


Рис. 2. Фотоэлектрическое устройство для бесконтактного измерения степени износа шлифовального круга

Устройство работает следующим образом: перед началом измерений схема настраивается таким образом, чтобы на выходе блока 6 сравнения сигнала не было, то есть показание индикатора 7 было нулевым. По мере износа круга 10 с уменьшением его размеров уменьшается и площадь отражающего элемента 8, поскольку он размещен по краю круга. При этом сигнал, который считывается фотоприемником, регистрирующим величину потока элемента 8, уменьшается, а сигнал, полученный другим фотоприемником от базового отражающего элемента 9, остается неизменным. Баланс схемы нарушается, на выходе блока 6 сравнения появляется выходное напряжение, по вели-

чине которого и судят о снижении износа алмазно-абразивного круга 10.

Фотоэлектрический метод является бесконтактным методом, прост в реализации, но главный недостаток – относительно небольшая точность. В качестве излучателя светового потока используется поверхность рабочего инструмента. Для повышения точности измерения степени износа инструментов, с низкой отражательной способностью устройство снабжено двумя отражающими световой поток элементами, один из которых размещен в зоне износа, а второй – вне ее и является базовым.

Рассматриваемый метод позволяет определить только линейный износ, но не характеризует состояние рабочей поверхности шлифовального круга.

Пневматический метод бесконтактного измерения степени износа шлифовального круга [4].

Известен способ бесконтактного измерения степени износа алмазных шлифовальных кругов с помощью пневматического датчика. Предлагаемый метод заключается в том, что к торцу шлифовального круга подводится сопло, через которое подается воздух под давлением, расход подводимого воздуха определяют за счет разности показаний дилномера пневматического датчика. В качестве измерительной базы принимают рабочую поверхность алмазного шлифовального круга. Это позволяет повысить точность измерения износа шлифовального круга в процессе работы.

Оптический метод измерения степени износа шлифовального круга [5, 6].

Большинство оптических методов основаны на лазерной триангуляции. Основные элементы установки: лазерный диод и позиционно-чувствительный детектор (ПЧД) с усилителем и двумя линзами (рис. 3). Датчик крепится на двух осях блока шагового привода с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном к поверхности шлифовального круга и в осевом направлении. Данный метод позволяет проводить измерения при скорости круга до 300 м/с. Так же возможно определить радиальное биение.

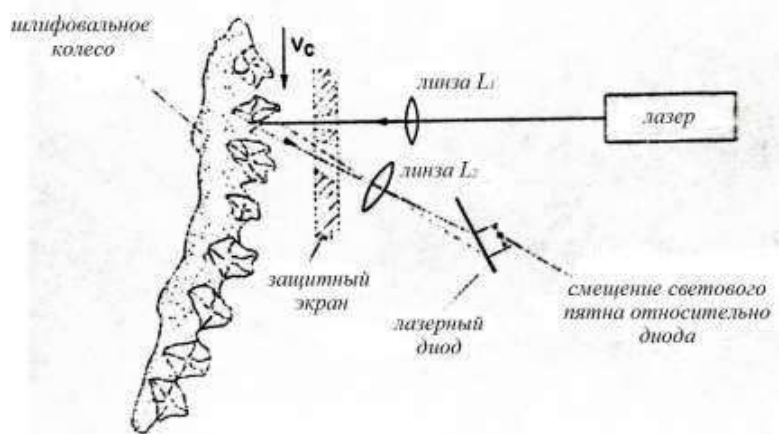


Рис. 3 .Оптическая установка для измерения степени износа шлифовального круга

Метод профилографирования. Данный метод относится к экспериментальному определению характеристик рабочей поверхности круга. Линейный износ круга измеряется с помощью специального стационарного приспособления в 6 фиксированных точках по периферии и в трех точках вдоль образующей круга с точностью $\pm 0,001$ мм. Измерение диаметра шлифовальных кругов менее 50 мм в процессе его работы производили микрометрами с погрешностью $\pm 0,004$ мм. Характер износа алмазных зерен

исследуется по фотографиям, полученным на металлографическом микроскопе ММР с увеличением 200х - 500х.

Вывод. Таким образом, к наиболее перспективным относится оптический метод определения характеристики рабочей поверхности круга. Однако, в связи с отсутствием материальной базы и программного обеспечения для обработки результата сканирования практическое применение данного метода затруднено. С информативной точки зрения оптическому методу наиболее соответствует метод профилографирования. С помощью данного метода можно оценивать такие изменения на рабочей поверхности как: число зерен на единицу рабочей поверхности, плотность распределения вершин зерен, высоту рабочего слоя, состояние вершин алмазных зерен. Для автоматизации процесса правки пригоден так же и косвенный метод определения износа круга через измерения составляющих силы резания.

Анализ устройства построенного на базе профилограф-профилометра. На кафедре «Мехатронные системы машиностроительного оборудования» ДОННТУ было разработано специальное устройство для записи режущего профиля алмазного круга на металлической связке с выделением зерен из общего рельефа круга (рис. 4). Оно построено на базе профилографа-профилометра 4, электронного блока 3 и приспособления 2. Информация выводится на ленту самопишущего прибора профилографа-профилометра 5. На приспособлении 2 располагается датчик профилографа-профилометра, который регистрирует колебания коромысла с лопаточкой, перемещающегося в соответствии с изменением профиля круга.

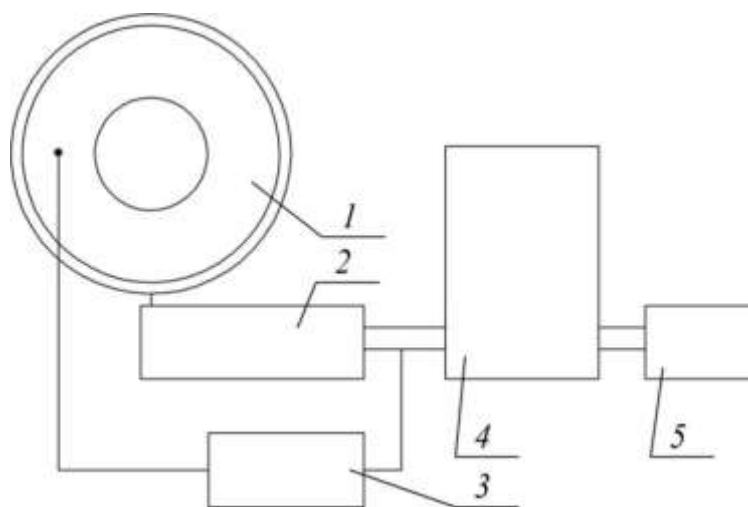


Рис. 4 Структурная схема устройства для записи режущего профиля алмазного круга

Здесь же располагается привод вращения круга, состоящий из малооборотного двигателя, блока редукции и приводного капролонового ролика. При помощи пониженной редукции достигается очень малая частота вращения алмазного круга – 1 оборот за 10 часов для круга диаметром 200 мм, соответствующая линейной скорости перемещения, равной 1 мм/мин. Такая скорость трассировки круга соответствует скоростям протяжки датчика, применяемым при профилографировании поверхности детали.

Перед записью профиля рабочей поверхности круга производилась тарировка всего измерительного устройства. Для этого использовалась микрометрическая скоба с

ценой деления 2 мкм. Длина профилограммы составляла не менее 15-20 мм рабочей поверхности круга.

Привод вращения круга имеет возможность смещения в вертикальном направлении, что позволяет его использовать для различных размеров алмазных кругов. В качестве контактирующего элемента применяется лопаточка, выполненная из закаленной стали. Толщина ее составляет 0,05 мм, а ширина варьировалась в пределах от 0,1 до 0,7 мм в зависимости от зернистости круга и задач исследований. Запись алмазных зерен воспроизводит изображение набора частиц, находящихся в пересекаемой плоскости шупа, в искаженном виде. Профилограмма поверхности круга является плоскостью ортогональных проекций всех элементов структуры, содержащихся в объеме, отсекаемом краями шупа. Анализ получаемого рельефа круга по профилограмме требует применения методов стереологической реконструкции поверхности, которая аналогична анализу структуры фольги при электронной микроскопии.

Недостатком этого метода является возможность осуществления измерения только при отсутствии процесса резания и скорости круга 0,01 м/с. Исследование положения алмазных зерен РПК проводят на измерительном комплексе, который позволяет регистрировать рельеф рабочей поверхности кругов на металлической связке методом профилографирования с последующей регистрацией данных на ПЭВМ. Измерительный комплекс включает: устройство для закрепления шлифовального круга с узлом его вращения, комплект приборов профилометра-профилографа (устройство для профилографирования и блок усиления), компьютер, оборудованный преобразователем аналогового сигнала в дискретный, и дисплей (рис. 5), и позволяет регистрировать рельеф рабочей поверхности кругов на металлической связке с выделением рельефа зерен и связки. Принципиальная схема комплекса представлена на рис. 6.

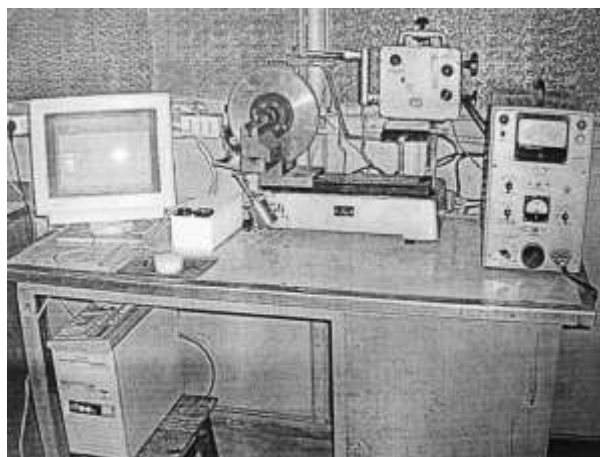


Рис. 5. Общий вид комплекса для регистрации рельефа режущей поверхности алмазного круга на металлической связке

Измерительный комплекс работает следующим образом. При вращении круга 9 ощупывающая игла 3 огибает профиль рабочей поверхности круга, осуществляя колебания коромыслом 2 относительно оси качания. Эти колебания воспринимаются датчиком 1, сигнал от которого поступает на входной порт компьютера 4 через блок согласования и преобразователь 6 непрерывного электрического сигнала в дискретный.

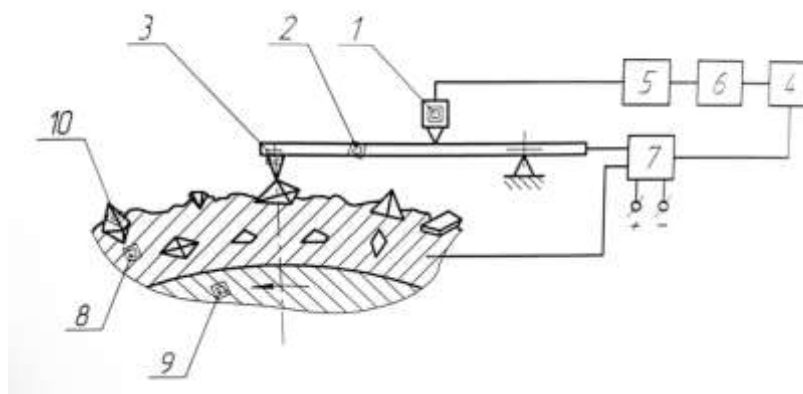


Рис. 6. Схема устройства для регистрации рельефа режущей поверхности алмазных кругов на металлической связке

Когда осязающая игла 3 находится на алмазном зерне 10, сигнал от датчика поступает на блок согласования 5, где он уменьшается до уровня в 0 ... 5 В, затем он попадает в преобразователя 6, в котором непрерывный электрический сигнал от датчика превращается в дискретный, а затем на порт компьютера 4. Одновременно на этот же порт поступает сигнал от ключевого элемента 7, который придает сигнала соответствующий алмазному зерну код «1». На дисплее компьютера отображается рельеф алмазного зерна соответствующим цветом или толстой линией (рис. 7).

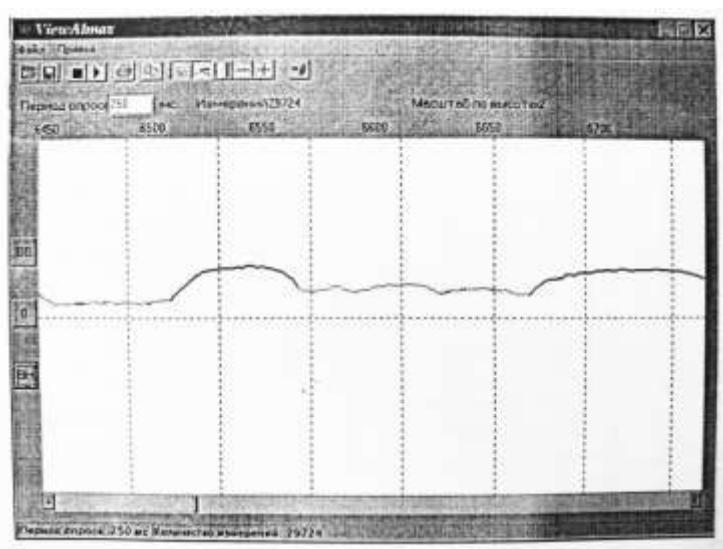


Рис. 7. Окно программы для регистрации параметров РПК с фрагментом профилограммы рельефа алмазных зерен (жирная линия) и рельефа связки (тонкая линия)

При сходе осязающей иглы 3 из зерна 10 она попадает на токопроводящую связку 8 и сигнал от датчика продолжает поступать на порт компьютера через блок согласования 5 и преобразователь 6 непрерывного электрического сигнала в дискретный. В это же время на порт компьютера через ключевой элемент 7 поступает сигнал, соответствующий металлической связке, с кодом «0».

На дисплее компьютера отображается рельеф металлической связки соответствующим цветом или тонкой линией (см. рис. 7).

Таким образом, профилограмма содержит информацию о параметрах РПК.

Для преобразования аналоговых сигналов величиной $0 \dots +5 \text{ В}$ в цифровые коды для записи в ПЭВМ используется многофункциональное устройство NVL08. Выходной дифференциальный сигнал электронного блока профилографа величиной несколько вольт имеет уровень относительно земли около $140 \dots 170 \text{ В}$. Для согласования его с входом NVL08 было изготовлено устройство, схема которого показана на рис. 8.

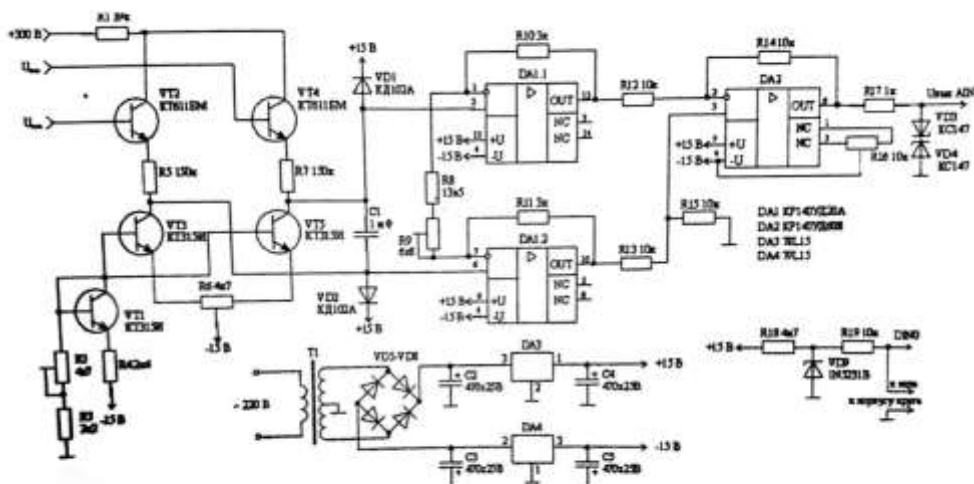


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема согласующего устройства

На транзисторах VT1 - VT5 собрана схема, которая снижает входное напряжение. Транзисторы VT3, VT4, базы которых подключаются к выходам электронного блока профилографа, служат повторителями напряжения, не безобразят работу электронного блока (входной ток составляет десятки микроампер). Транзистор VT1 с резисторами R2 и R4 служит для задания токов транзисторов VT3 и VT5. Эти транзисторы работают в режиме источников тока и обеспечивают совместно с резисторами R5 и R7 смещение синфазного сигнала от высокого ($140 \dots 170 \text{ В}$) до примерно нулевого уровня с небольшим уменьшением полезного (дифференциального) сигнала. Резистор R6 служит для установки нуля на выходе схемы. На операционных усилителях DA1.1, DA1.2, DA2 реализуется вычитание сигналов преобразования дифференциального сигнала в заземленный сигнал требуемой величины (Регулирование осуществляется резистором R9). Для ограничения сигнала на входах DA1.1 и DA1.2 установлены диоды VD1 и VD2. Резистор R17 и стабилитроны VD3 и VD4 служат для ограничения напряжения на входе NVL08 до 5 В . Устройство на элементах R18, R19 и VD9 выдает сигнал, равный единице, когда игла находится на алмазе, и равный нулю, когда игла касается связки.

Для управления запуском аналого-цифрового преобразователя (АЦП) устройства NVL08 и предварительной обработки результатов измерений разработано программное обеспечение, позволяющее проводить запуск АЦП через заданные промежутки времени и запоминать результаты измерений высоты алмазных зерен и связки вдоль линии исследования.

Заключение

Изготовленное устройство для автоматизации записи параметров рабочей поверхности алмазного круга к ПЭВМ позволяет кардинально снизить трудоемкость исследований параметров РПК.

Рельеф РПК оценивали следующими параметрами: разновысотностью зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстоянием между зернами на рабочей поверхности круга и величиной выступления зерен из связки.

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. /Теория шлифования материалов / Е.Н.Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 2. Авторское свидетельство № 444632. СССР. Способ бесконтактного измерения вибраций шлифовального круга/ Болотов Б.Е., Трубников В.В. – №1897640/258; заяв. 28.03.73; опуб. 30.09.75. 3. Авторское свидетельство № 448366. СССР. Фотоэлектрическое устройство для бесконтактного измерения степени износа рабочего инструмента / Ронталь Г.Д., Ивашев Ф.Д., Френкель Ш.Т., Вогман Г.А. – № 1696795/25-28; заяв. 17.09.71; опуб. 30.10.74, Бюл. №40. 4. Авторское свидетельство № 236026. СССР. Способ бесконтактного измерения степени износа алмазных шлифовальных кругов / Мамедов Д.М., Лятифов Ф. Д., Тренин А.П., Садыхов А.И. - №1053461/25-8 ;заяв. 14.11.66 ;опуб. 24.01.69, Бюл. № 6. 5. Toenshoff, H. K., Karpuschewski, B., Werner,F., 1993, Fast Sensor System for Diagnosis of Grinding Wheel and Workpiece, 5th Intern. Grinding Conf., Cincinnati, Ohio, USA. 6. Toenshoff, H.K., Karpuschewski, B., Hinkenhuis, H.: Regent, C., 1997, Potentiale der Uberwachung und Regelung von Schleifprozessen. VDS-Fachtagung Schleif-technik im Wettbewerb., 09-10. Oct., Aachen. 7. Гусев В.В. К определению микрогеометрии рабочей поверхности шлифовального круга в статике / В.В. Гусев, А.Д. Молчанов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Випуск 10. «Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Фізичні та комп'ютерні технології». – Харків: ХДТУСГ. – 2002. – С. 379-384.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПИСАНИЯ КИНЕМАТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С МАЛЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

Дуленко Н.Д., Полтавец В.В.
(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрены математические зависимости, составляющие основу построения твердотельных моделей механических систем, позволяющих исследовать их кинематику. Полученные математические зависимости базируются на применении методов дифференциальной геометрии и матричной алгебры.

Ключевые слова: система координат, матрица поворота, шарнир, скорость

В современном машиностроении широко распространены цанговые зажимные механизмы. Эти механизмы являются одним из важных узлов современного технологического оборудования, работающего с заготовками из различных конструкционных материалов. Важным техническим преимуществом цанговых механизмов является простота конструктивной реализации, так как для закрепления заготовки требуется лишь одно поступательное движение зажимной цанги.

По своей физической природе цанговый механизм представляет собой систему твердых тел, перемещения которых незначительны, но присутствуют малые деформации практически всех элементов системы.

Опишем математические основы построения твердотельных моделей механических систем, позволяющих исследовать их кинематику [1].

Рассмотрим движение механической системы относительно выбранной инерциальной системы координат, которую назовем *базовой* и обозначим СК0. Положение *i*-го тела механической системы относительно СК0 однозначно определяется системой координат СК_{*i*}, жестко связанной с телом. Начало отсчета СК_{*i*} может выбираться произвольно. Обозначим его O_i и назовем *полюсом*. Для единообразия СК0 поставим в соответствии фиктивное *базовое тело* 0 (рис.1).

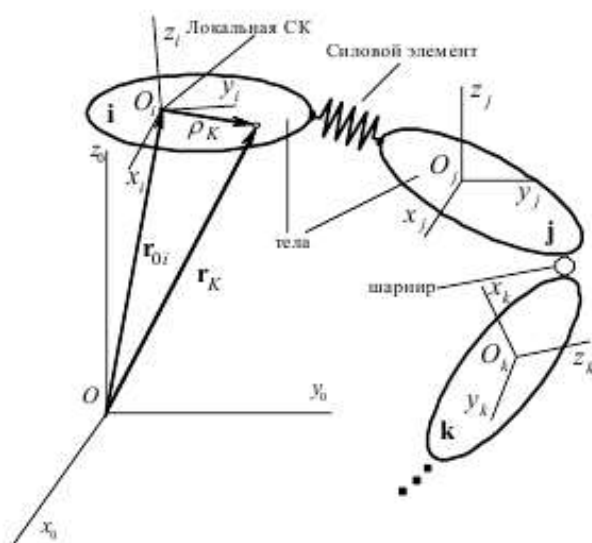


Рис. 1. Механическая система связанных абсолютно твердых тел

Ориентация СК i относительно СК0 определяется матрицей поворота (*направляющих косинусов*) \mathbf{A}_{0i} размером 3×3 . Она может быть задана последовательностью трех элементарных поворотов, посредством которых СК0 совмещается с СК i , если начала отсчета обеих СК совпадают. Для удобства вместо обозначения осей x, y, z будем использовать 1, 2, 3. Тогда \mathbf{A}_{0i} определяется выбором последовательности осей поворотов:

$$a_1, a_2, a_3, a_k \in [1, 2, 3], a_k \neq a_{k+1},$$

и значением углов $\varphi_{1i}, \varphi_{2i}, \varphi_{3i}$, называемых *углами ориентации*. Комбинируя номера осей поворотов, можно выбрать 12 корректных вариантов задания матрицы. Наиболее распространенными среди них являются углы Эйлера (3-1-3) и углы Крылова (Кардано) (1-2-3).

Приведем некоторые соотношения, отражающие свойства матриц поворота, которые будут использоваться далее, в последующих математических преобразованиях и подстановках:

– преобразование матричных представлений векторов при переходе от СК j к СК i :

$$\mathbf{x}^{(i)} = \mathbf{A}_{ij} \mathbf{x}^{(j)},$$

где \mathbf{x} – любой вектор в трехмерном пространстве, верхний индекс в скобках здесь и далее означает систему координат, в которой представлен вектор;

– матрица поворота при переходе от СК i к СК j равна транспонированной матрице обратного перехода, т.е.

$$\mathbf{A}_{ij} = \mathbf{A}^m_{ji}.$$

Таким образом, положение i -го тела относительно СК0 задается радиус-вектором начала отсчета СК i \mathbf{r}_{0i} (см. рис. 1) и матрицей поворота \mathbf{A}_{0i} . Аналогично определяется положение i -го тела относительно любой СК j .

Для описания кинематики механической системы вводится понятие *шарнир*, который в общем случае трактуется как способ описания относительного движения некоторого тела j системы относительно тела i . Далее будем говорить, что шарнир *соединяет* или *связывает* пару тел i и j , одним из которых может быть базовое тело 0. Каждому шарниру соответствует набор локальных шарнирных координат \mathbf{q}_{ij} . Размер вектора \mathbf{q}_{ij} зависит от типа шарнира и равен минимальному числу координат, необходимых для описания конкретного типа связи. Модели механических систем могут быть построены с использованием шарниров двух типов: *нормального* и *контактного*.

Шарнир нормального типа, соединяющий тела i, j , может быть представлен как последовательность элементарных преобразований (сдвигов или поворотов), посредством которых осуществляется переход от СК i к СК j при любом относительном положении пары тел, допускаемом данным шарниром.

С помощью шарниров контактного типа моделируется относительное движение двух тел, имеющих единственную точку контакта, которая может перемещаться по их поверхностям. В общем случае относительное положение тел в контактном шарнире невозможно описать в элементарных функциях.

Структура механической системы описывается в терминах теории графов [2]. Вершины графа соответствуют телам системы, а ребра – шарнирам. Рассматриваются только связные графы. При отсутствии такого свойства вводятся фиктивные шарниры, которые не ограничивают относительного движения связываемых ими тел.

По своей структуре механические системы делятся на два класса в соответствии с наличием в их составе *замкнутых кинематических цепей*. Системы, не содержащие

замкнутых цепей, имеют *структуру дерева*, соответствующий им граф является *деревом*. Системам с замкнутыми кинематическими цепями соответствуют графы с *циклами*. Существует принципиальная разница в описании кинематики систем указанных структур.

Перенумеруем тела и шарниры механической системы в произвольном порядке. Объединим все локальные шарнирные координаты в один вектор-столбец $\mathbf{q} = [\mathbf{q}_{ij}]$, расположив их в порядке нумерации шарниров. Шарнирные координаты \mathbf{q} механической системы со структурой дерева являются обобщенными координатами, то есть они независимы и однозначно определяют кинематические характеристики системы. В случае систем с замкнутыми кинематическими цепями набор координат \mathbf{q} избыточен, что приводит к необходимости добавления уравнений связей.

Поскольку в качестве обобщенных координат рассматриваются шарнирные координаты, приведем соотношения локальной кинематики в шарнире, на основе которых строится описание глобальной кинематики системы.

Соотношения локальной кинематики шарнира описывают движения тела j , относительно тела i .

Положение СК j относительно СК i задается радиус-вектором начала отсчета \mathbf{r}_{ij} и матрицей поворота \mathbf{A}_{ij} :

$$\mathbf{r}_{ij}^{(i)} = \mathbf{r}_{ij}^{(j)}(\mathbf{q}_{ij}, t), \quad \mathbf{A}_{ij} = \mathbf{A}_{ij}(\mathbf{q}_{ij}, t). \quad (1)$$

Конкретный вид выражений (1) определяется типом шарнира.

Соотношение для относительной линейной скорости получим дифференцированием первого из соотношений (1) по времени:

$$\mathbf{v}_{ij}^{(i)} = \dot{\mathbf{r}}_{ij}^{(i)} = \sum_m \frac{\partial \mathbf{r}_{ij}^{(i)}}{\partial q_{ij,m}} \dot{q}_{ij,m} + \frac{\partial \mathbf{r}_{ij}^{(i)}}{\partial t}, \quad (2)$$

где \mathbf{v}_{ij} – скорость начала отсчета СК j относительно СК i , суммирование распространяется по всем координатам в шарнире.

Введя обозначения

$$\mathbf{d}_{ij,m}^{(i)} = \partial \mathbf{r}_{ij}^{(i)} / \partial q_{ij,m}, \quad \mathbf{v}_{ij}^{\prime(i)} = \partial \mathbf{r}_{ij}^{(i)} / \partial t$$

и расположив $\mathbf{d}_{ij,m}$ по столбцам матрицы \mathbf{D}_{ij} , выражению (2) можно придать следующий вид:

$$\mathbf{v}_{ij}^{(i)} = \mathbf{D}_{ij}^{(i)} \dot{\mathbf{q}}_{ij} + \mathbf{v}_{ij}^{\prime(i)}. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что \mathbf{D}_{ij} является матрицей Якоби.

Выражение для относительной угловой скорости получим, рассмотрев соотношения для скорости произвольной точки K тела j , положение которой задается вектором \mathbf{p}_k , постоянным в системе координат j . Тогда в СК i положение точки K задается следующим соотношением:

$$\mathbf{r}_k^{(i)} = \mathbf{r}_{ij} + \mathbf{A}_{ij} \mathbf{p}_k^{(j)}. \quad (4)$$

Дифференцируя выражение (4) по времени, получим скорость точки K в СК i :

$$\mathbf{v}_k^{(i)} = \dot{\mathbf{r}}_k^{(i)} = \mathbf{v}_{ij} + \dot{\mathbf{A}}_{ij} \mathbf{A}_{ji} \mathbf{p}_k^{(j)}. \quad (5)$$

Кососимметрическая матрица $\mathbf{A}_{ij} \dot{\mathbf{A}}_{ji}$, появившаяся в соотношении (5) в результате этой операции, определяет угловую скорость тела j относительно тела i .

Введем обозначение $\omega^{ij} = \mathbf{A}_{ij}\mathbf{A}_{ji}$. Вектор угловой скорости строится по кососимметрической матрице ω^{ij} в соответствии со следующим правилом:

$$\tilde{\omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_3 & \omega_2 \\ \omega_3 & 0 & -\omega_1 \\ -\omega_2 & \omega_1 & 0 \end{bmatrix},$$

где нижние индексы опущены для удобства записи. Заметим, что $\omega^{ij} \rho_k^{(i)}$ определяет векторное произведение $\omega_{ij} \times \rho_k$. Это правило распространяется на любые векторы в трехмерном пространстве.

Запишем выражение угловой скорости в виде:

$$\tilde{\omega}_{ij}^{(i)} = \sum_m \frac{\partial \mathbf{A}_{ij}}{\partial q_{ij,m}} \mathbf{A}_{ji} \dot{q}_{ij,m} + \frac{\partial \mathbf{A}_{ij}}{\partial t} \mathbf{A}_{ji},$$

где матрицы $\frac{\partial \mathbf{A}_{ij}}{\partial q_{ij,m}} \mathbf{A}_{ji}$, $\frac{\partial \mathbf{A}_{ij}}{\partial t} \mathbf{A}_{ji}$ кососимметрические. Введя для этих матриц обозначения $\tilde{\mathbf{b}}_{ij,m}^{(i)}$, $\tilde{\omega}_{ij}^{\prime(i)}$ соответственно и переходя к векторам, соотношение для относительной угловой скорости в СК i перепишем в следующем виде:

$$\omega_{ij}^{(i)} = \mathbf{B}_{ij}^{(i)} \dot{\mathbf{q}}_{ij} + \omega_{ij}^{\prime(i)}, \quad (6)$$

где по столбцам матрицы \mathbf{B}_{ij} расположены векторы-столбцы $\mathbf{b}_{ij,m}$.

Важно отметить, что, если выражения (1) не содержат время t в явном виде (склерономная связь), то векторы-столбцы из выражений (3) и (6) – $\mathbf{v}^{(i)}_{ij}$ и $\omega^{(i)}_{ij}$ соответственно – отсутствуют.

Приведенные выражения для линейных и угловых скоростей (2)-(3) и (5)-(6) соответственно являются математической основой для моделирования кинематики системы взаимодействующих абсолютно твердых тел в современных CAD-системах.

Список литературы: 1. Погорелов, Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел / Д.Ю. Погорелов. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2008. – 108 с. **2.** Свами, М. Графы, сети, алгоритмы / М. Свами, К. Тхуласираман. – М.: Мир, 1984. – 455 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА БАЗЕ СТАНКА 3762

Закиров А.А., Гусев В.В.

(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. В статье рассмотрена конструкция устройства для воздействия на рабочую поверхность алмазного шлифовального круга свободным абразивом для поддержания его режущих свойств и система управления этим устройством при обработке технической керамики. Описана конструктивная и электрическая схема устройства, а так же их принцип действия.

Ключевые слова: алмазный круг, рабочая поверхность круга, система управления

Введение. Развитие техники и прогресс в области машиностроения связан с расширением использования изделий из твердых сплавов, технической керамики, ферритов и других труднообрабатываемых материалов, для обработки которых широко используются алмазные круги из природных и синтетических алмазов. Обойтись без механической обработки при изготовлении высокоточных деталей невозможно.

Использование алмазных кругов при обработке рассматриваемых материалов является довольно сложным и дорогостоящим процессом, требующим грамотного обращения с алмазным инструментом. Для обеспечения качества изделий необходимо при их обработке поддерживать режущую способность алмазных кругов на заданном уровне. Это достигается за счет управления режущей способностью алмазных шлифовальных кругов. Все эти способы направлены на исправление геометрии инструмента, который подвергается правке, и создание необходимого микропрофиля рабочей поверхности круга (РПК). На кафедре «Мехатронные системы машиностроительного оборудования» ДОННТУ разработан способ правки кругов свободным абразивом. Он относится к механическому способу управления режущей способностью. Этот метод отличается, по сравнению с другими механическими методами правки, более мягким воздействием на алмазные зерна круга и большей избирательностью при удалении связки круга. Рассмотрим структуру исследовательского стенда на базе заточного станка 3762, который используется для исследования обрабатываемости неметаллических материалов: технической керамики. Целью работы является разработка системы управления состоянием рабочей поверхности алмазного шлифовального круга.

Основное содержание работы. Стенд на базе станка 3762 предназначен для исследования обрабатываемости хрупких неметаллических материалов и позволяет реализовать управление рабочей поверхностью алмазных шлифовальных кругов свободным абразивом.

На рис. 1 изображен станок 3762, на котором показаны: 1 – панель управления станком; 2 – панель управления устройством для правки, которая обеспечивает подвод и обратное движение устройства, а именно притира и абразивного бруска; панель управления частотой вращения шпинделя станка 3 (а именно для повышения или понижения числа оборотов); 4 – панель управления гидроблоком станка; 5 – преобразователь частоты ДАНФОСС VLT MICRO DRIVE FC51; 6 – шпиндель станка, на который устанавливается абразивный круг; 7 – механизм подачи притира с абразивным бруском, в состав которого входят: электромотор с редуктором 9, приводной винт с направляю-

щей втулкой, корпус крепления притира и абразивного бруска 13. Специальное устройство для определения режущей способности после правки 11 установлено на стол станка 3672.

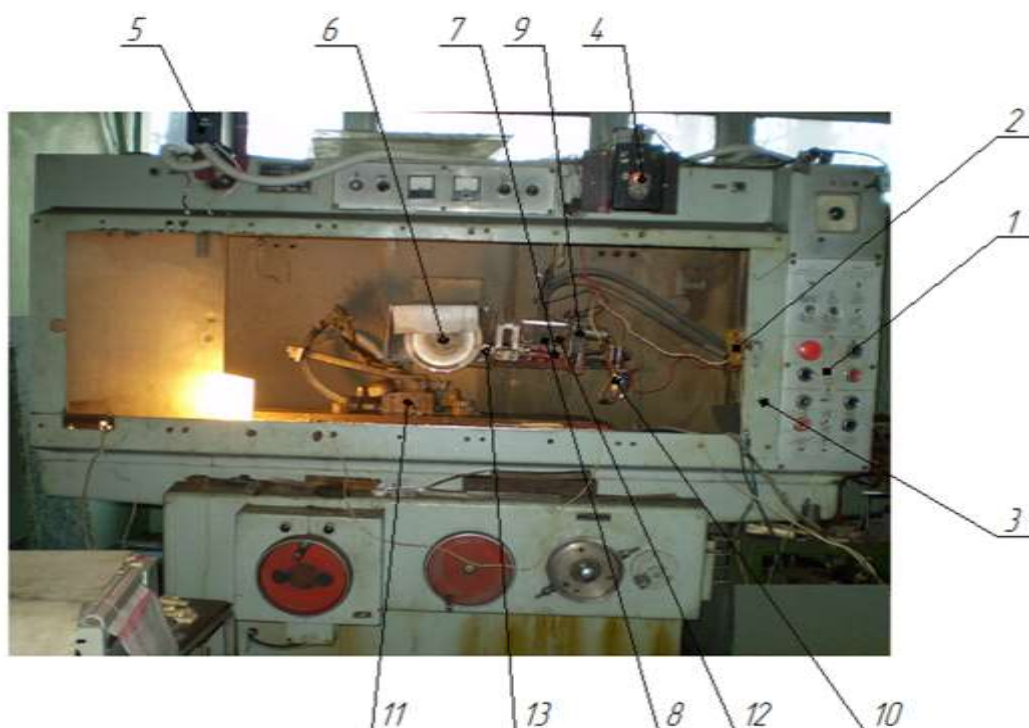


Рис. 1. Общий вид станда для исследования обрабатываемости хрупких неметаллических материалов с возможностью восстановления режущей способности алмазного шлифовального круга свободным абразивом

Устройство для правки алмазных кругов свободным абразивом включает следующие основные узлы:

- 1) механизм подачи притира;
- 2) дополнительную гидравлическую систему для осуществления возвратно поступательного движения притира относительно образующей шлифовального круга;
- 3) механизм для подачи абразивного бруска в рабочую зону;
- 4) систему автоматического управления, включающую быстрое движение вперед, рабочий ход, включение подачи абразива в зону правки и быстрый отвод назад.

Кроме основных узлов и механизмов, необходимы и вспомогательные устройства контроля за состоянием РПК и его износом.

Механизм подачи притира служит для обеспечения необходимых у притира движений относительно шлифовального круга с заданной скоростью. Он состоит из механизма подачи притира в радиальном направлении, движение которого осуществляется электродвигателем постоянного тока через редуктор, и механизма осуществляющего осцилляционные движения относительно образующей круга, которые осуществляются гидросистемой станка через дополнительно установленную гидропанель.

Гидропанель включает в себя два золотниковых распределителя, два дросселя, кран, резиновые шланги и соединительные трубопроводы. Так же на гидропанели расположен кран, при помощи которого осуществляется необходимое регулирование скорости подачи абразивного бруска в зону правки.

Система управления – это один из главных элементов всего станда, так как с ее помощью осуществляется полуавтоматическое управление процессом правки. Устройство подачи притира, электродвигатель и гидروпанель выполняют команды системы управления.

Система управления состоит из концевых бесконтактных выключателей, установленных с целью ограничения перемещения притира вдоль ширины круга и концевых контактных микровыключателей, которые ограничивают движение притира в радиальном направлении. Кроме того, есть пульт управления, который осуществляет регулирование работы устройства для правки алмазных кругов свободным абразивом.

Перед началом работы на устройстве необходимо установить заранее изготовленный абразивный брусок в отверстие в притире, проверить герметичность соединений гидравлических элементов и исправность электрической цепи. Работа на устройстве для правки алмазных кругов осуществляется в такой последовательности. При включении гидравлической системы станка, на котором размещается установка, масло доходит до смонтированной гидروпанели. Через двухпозиционный золотниковый гидрораспределитель Г77-11 масло начинает заполнять одну из полостей гидроцилиндра и начинается выдвигание абразивного бруска. Для недопущения самостоятельного перемещения абразивного бруска (штока гидроцилиндра) при включении гидросистемы предусмотрен кран, при открытии/закрытии которого масло приходит/неприходит в гидроцилиндр. Шток гидроцилиндра отводят в крайнее правое положение для установки абразивного бруска. Когда брусок установлен в притире, переключателем изменяют направление движения штока на выдвигание (в крайнее левое положение) и одновременно перекрывают подачу масла в гидроцилиндр. Устройство подачи притира в рабочую зону готово к работе. Управление работой гидравлического привода осуществляется электрической схемой, которая приведена на рис. 2. Работа гидропривода механизма правки начинается при включении гидропривода станка (включение насоса станка), после этого система осцилляции включается тумблером ВК1, который подает питание 24В постоянного тока, о чем сигнализирует лампа Л3.

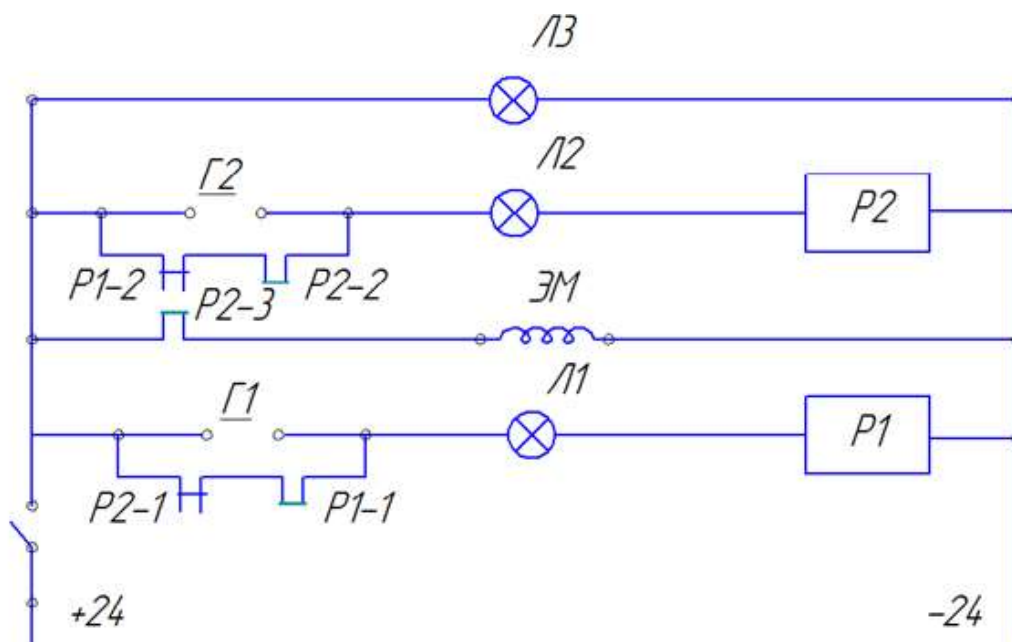


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема управления осцилляционным движением притира

При включении насоса масло через золотник управления Р3, который под действием пружины находится в левом положении, масло поступает в цилиндр Ц1 и перемещает его влево. При подходе упора, закрепленного на цилиндре к бесконтактному переключателю Г2 он нажимает на контакты и обеспечивает питание на реле Р2 и сигнальную лампу Л2, показывая что перемещение цилиндра вправо включено. Реле Р2 замыкает свой контакт Р2-2 и шунтирует контакты переключателя Г2. Кроме этого реле Р2 замыкает контакты Р2-3, в результате чего срабатывает электромагнит ЭМ1, который перемещает золотник Р3 (см. рис. 2) в правое положение. Теперь масло от насоса будет поступать в правую полость цилиндра и перемещать его вправо. При достижении упором бесконтактного переключателя Г1 он замкнет свои контакты и обеспечит подачу питания на реле Р1 и лампу Л3, что сигнализирует про включение движения цилиндра влево. Реле замыкает контакт Р1-1 и шунтирует контакты переключателя Г1. Кроме того реле Р1 размыкает контакт Р1-2. При этом контакты Р2-2 и Р2-3 размыкаются, а контакт Р2-1 замыкается. В результате этого электромагнит ЭМ1 обесточивается и пружина золотника Р3 (см. рис. 2) возвращает золотник в левое положение, что приведет к реверсу перемещения цилиндра Ц1, так как масло будет поступать в его левую полость. Цикл возвратно-поступательного движения завершен. В дальнейшем цикл будет повторяться.

Система автоматического управления.

При правке выполняются четыре основных функциональных движения:

- 1) вперед;
- 2) рабочий ход;
- 3) подача абразива;
- 4) быстрый отвод назад.

В качестве входных параметров используется информация о состоянии управляющих элементов (датчиков), а в качестве выходных параметров выступают функциональные действия. Для удобства входные и выходные данные сведены в табл. 1.

Таблица 1. Входные и выходные параметры системы управления процессом правки

Входные параметры		Выходные параметры	
x1	П	y1	Вперед
x2	1ПВ	y2	Рабочий ход
x3	2ПВ	y3	Подача абразива
x4	3ПВ	y4	Назад
x5	4ПВ	y5	Неисправность

Блок схема работы механизма правки приведена на рис. 3, а граф автомата Мура показан на рис. 4.

Для определения числа элементов памяти используем следующую зависимость:

$$K = \lceil \log_2 R \rceil,$$

где R – число состояний управляющего автомата.

При $R = 8$ число элементов памяти будет равно $K = 3$. Таким образом, для реализации схемы системы управления процессом правки необходимо три триггера.

Эффективность правки свободным абразивом зависит от окружной скорости круга и ее отношения к скорости подачи притира. Для изменения частоты вращения шпинделя станка было предложено использовать устройство частотного регулирования ДАНФОСС VLT MICRO DRIVE FC51. Тарирование системы проводили с помощью

мультиметра DT-5807. Частоту вращения алмазного шлифовального круга определяли с помощью тахометра ИО-11.

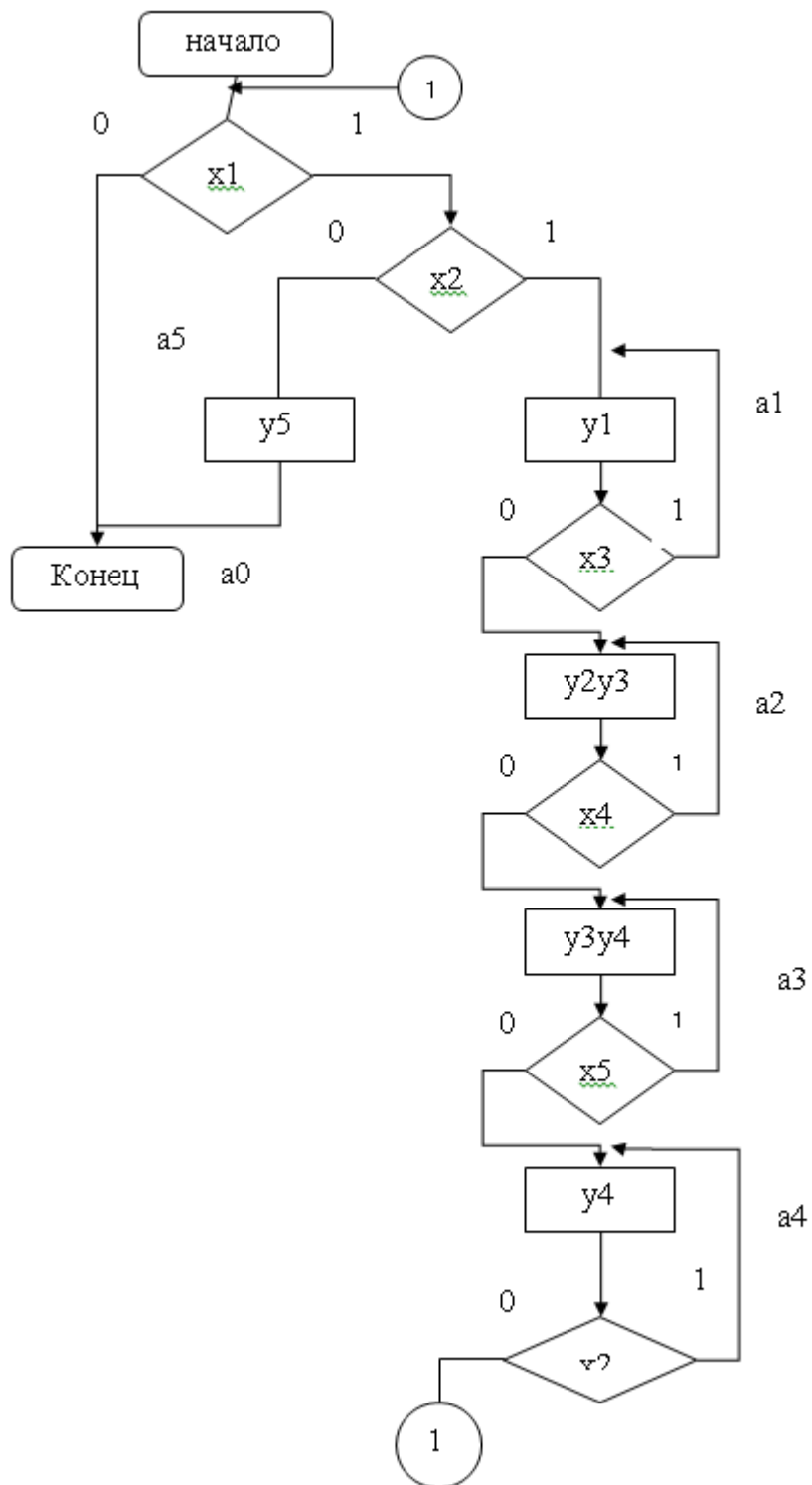


Рис. 3. Блок схема работы механизма правки

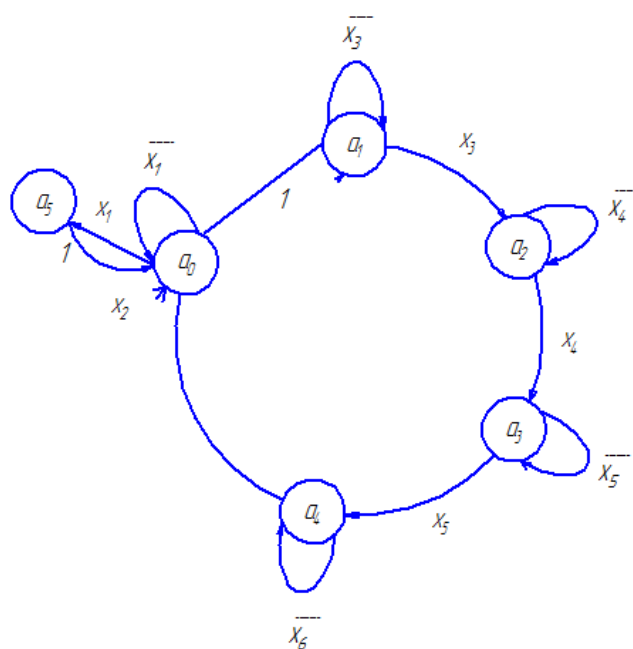


Рис. 4. Граф автомата Мура

Заключение

1. При шлифовании образцов из конструкционной керамики возникла необходимость в исследовательском стенде, который был создан на базе заточного станка модели 3672. Модернизация станка предусматривала проектирование и изготовление устройств, которые позволяют поддерживать режущую способность алмазных кругов путем правки их рабочей поверхности свободным абразивом. Перед началом эксперимента обрабатываемая заготовка закреплялась на специальном динамометрическом столе, установленном на столе станка. Механизм подачи притира состоит из механизма перемещения притира в радиальном направлении и механизма перемещения по ширине круга.

2. Разработана система автоматического управления процессом правки рабочей поверхности алмазных шлифовальных кругов.

3. Для изменения частоты вращения шпинделя станка при правке было предложено использовать устройство частотного регулирования ДАНФОСС VLT MICRO DRIVE FC51, что позволяет повысить производительность процесса восстановления режущей способности алмазным кругом свободным абразивом.

Список литературы: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391с. 2. Центр абразив – правка шлифовальных кругов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.abrasive.ru/lib/teachfull.php?binn_rubrik_pl_catelems7=425 3. Методические указания к выполнению расчетной работы по курсу «Системы автоматического управления металлорежущих станков» (для студентов специальности 7.090203 «Металлорежущие станки») /Сост. Гусев В.В., Молчанов А.Д. – Донецк: ДОННТУ. – 2002. – 23 с.

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ

Матвеев Д.Е., Молчанов А.Д.
(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

Аннотация. Проведенные исследования позволяют на этапе механической обработки триботехнической минералокерамики создавать профиль рабочей поверхности, близкий к равновесному, что значительно сокращает этап приработки пары трения и улучшает триботехнические показатели.

Ключевые слова: керамика, параметры качества, триботехника, профиль, износ

Использование в узлах трения конструкционной керамики, связанное с ее уникальным комплексом свойств, позволяет увеличить срок службы, повысить температурный режим, работать в условиях абразивного загрязнения. Практическое применение триботехнической керамики затрудняется отсутствием рекомендаций по их изготовлению и эксплуатации, полученных на основе экспериментальных результатов их работы.

Вследствие высокого коэффициента трения одноименной пары трения из керамики, была выбрана керамика на основе Al_2O_3 (твердость $H_{100} = 1540$ кгс/мм) и стальной вал из закаленной стали 45 (HRC₃ 50-52). Моделирование работы подшипникового керамического узла проводилось по обратной схеме (неподвижный вал) при ограниченном режиме смазывания.

При неизменных эксплуатационных нагрузках в подвижных узлах одним их важнейших факторов оказывающих влияние на силы трения является точность и качество поверхностного слоя деталей входящих в пару трения [1]. Получение оптимального рабочего рельефа во всех случаях связано с исходным технологическим рельефом. Желательно на этапе технологического формирования свойств поверхностных слоев, исходя из возможности рассмотрения технологий обработки и эксплуатации как единого процесса [2], обеспечить геометрические характеристики пары трения, близкие к равновесным. Определение равновесного состояния поверхностных слоев было определено экспериментально при отношении длины подшипника к внутреннему диаметру равному единице ($\varnothing 35$ мм), относительном диаметральном зазоре 0,003 мм, скорости скольжения $V = 1,2$ м/с, давлении $p = 1,0$ МПа.

Рабочая поверхность керамической втулки была получена при алмазном шлифовании на внутришлифовальном станке. Исходный рабочий рельеф (рис. 1а и 2а) после механической обработки стального вала и керамической втулки был одинаков и составил $R_a = 0,8-1,0$ мкм.

Внешнее трение связано с процессом разрушения: износа поверхностного слоя деталей, вызывает трансформацию его состояния. В процессе работы фрикционной пары происходит приработка и формирование равновесного профиля, который был одинаков для обоих контртел и находился в пределах $R_a = 0,15-0,25$ мкм (рис. 1б и 2б). Отдельные углубления свидетельствуют о наличии пор в поверхностном слое керамики (исходная пористость керамики $\Pi = 9,2\%$). Следует отметить различную скорость изменения микрорельефа трущихся поверхностей. Скорость изменения профиля стального вала опережала изменение профиля керамической втулки в 4 раза, что можно объяснить различными физико-механическими свойствами трущихся контртел.

Таким образом, на этапе механической обработки необходимо стремиться создавать профиль, близкий к равновесному, что значительно сокращает этап приработки пары трения и уменьшает износ. Так как формирование рельефного слоя закаленных сталей хорошо известно, желательно изучить его формирование при алмазной обработке керамики. С этой целью были проведены экспериментальные исследования влияния режимов резания и зернистости кругов на шероховатость поверхности при внутреннем шлифовании.

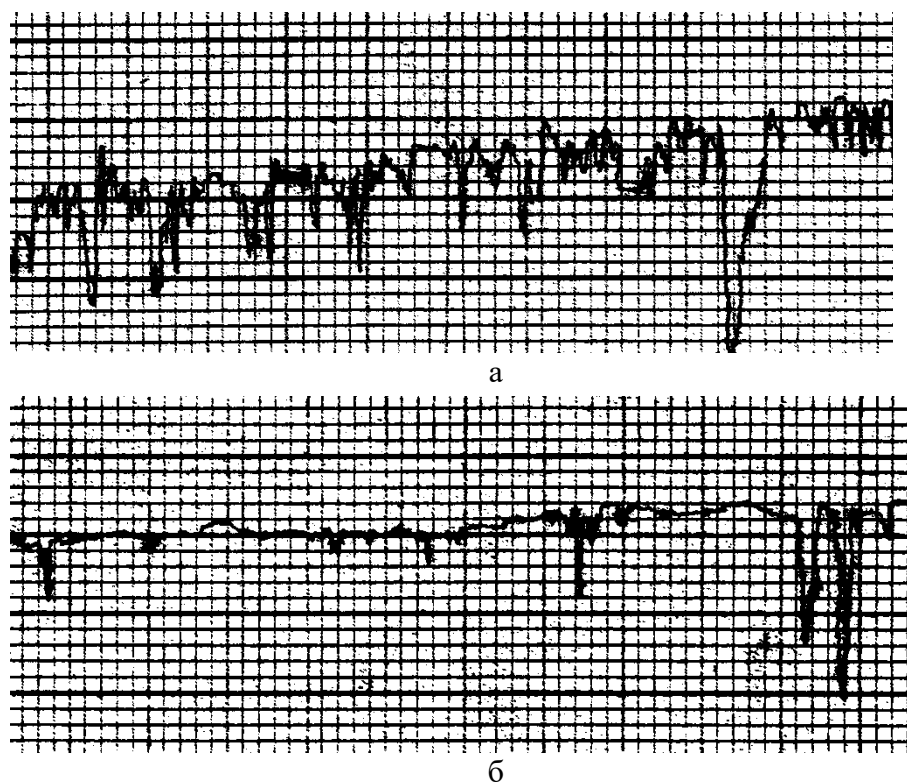


Рис 1. Микрорельеф керамического вкладыша – исходный (а) и установившийся (б). Вертикальное увеличение $\times 1000$, горизонтальное увеличение $\times 20$

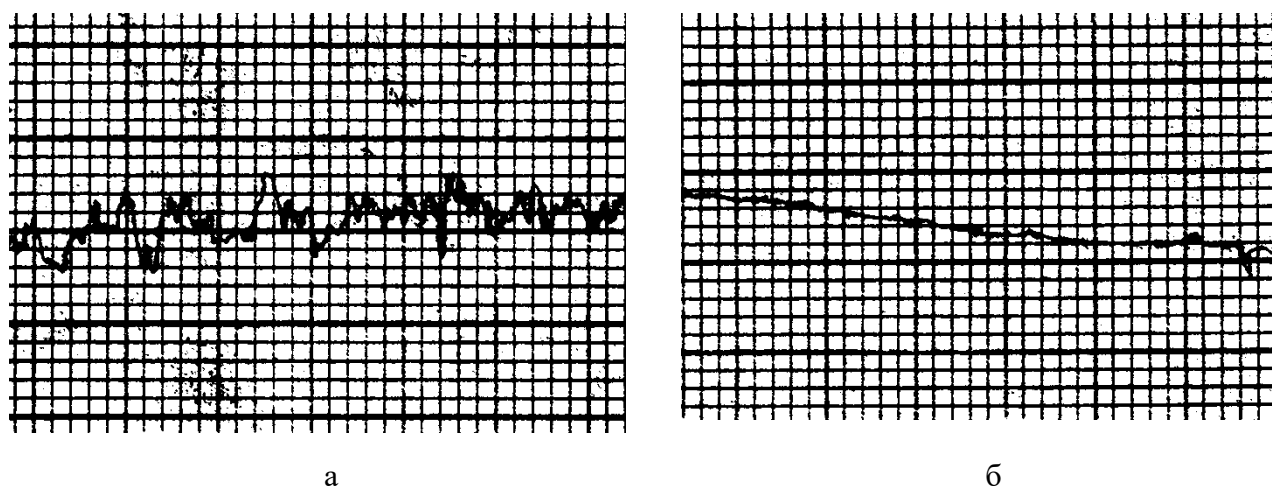


Рис 2. Микрорельеф стального вала – исходный (а) и установившийся (б). Вертикальное увеличение $\times 1000$, горизонтальное увеличение $\times 20$

Используя планирование эксперимента, была получена регрессионная зависимость высоты микронеровности от скорости детали (от 15 до 65 м/мин), продольной подачи (от 0,5 до 3,5 м/мин) и зернистости круга (от 125/100 до 315/250):

$$R_z = \frac{0,755 \times S^{0,279} \times d^{0,455}}{V^{0,104}},$$

где R_z – параметр шероховатости, мкм; S – подача инструмента, мм/с; d – зернистость алмазного круга (средняя), мкм; V – скорость обрабатываемой детали, м/мин.

Глубина обработки, как показали проведенные эксперименты, не оказывала значимого влияния на изменения шероховатости поверхности, поэтому регрессионная модель и не учитывает этого фактора. Анализ полученной зависимости показывает, что наиболее существенно на высоту микрорельефа оказывает влияние зернистость круга и подача. В тоже время для обеспечения заданного качества требуется введение финишной операции обработки, т.к. алмазное шлифование не может обеспечить требуемую шероховатость. Разработанные методы обработки эластичным инструментом позволили обеспечить требуемое качество рабочей поверхности минералокерамики.

Полученные экспериментальные зависимости позволили разработать технологический процесс, обеспечивающий получение высоты микрорельефа 0,2 мкм.

Список литературы: 1. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с. 2. Суслов А.Г. Совершенствование существующих и создание новых технологий и инструментов исходя из функционального назначения обрабатываемых поверхностей / А.Г.Суслов // Прогрессивные технологии машиностроения и современность: Сб. трудов междунар. научно-техн. конф. Севастополь, 1997. – Донецк: ДонГТУ, 1997. – С. 238-240.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛИФОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

Поздняков Е.В., Цокур В.П.

(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** Для исследования процесса шлифования титанового сплава ВТ14 алмазными кругами на связке М2-01 был использован источник технологического тока ИТТ-35, динамометр УДМ-100 и осциллограф Н117. Приведены графики изменения сил резания в течение времени.*

***Ключевые слова:** шлифование, титановый сплав, алмазный круг, электроэрозионная правка, динамометр, силы резания*

Введение

Титановые сплавы благодаря стойкости против коррозии, легкости и прочности находят применение в авиационной, космической технике, в отдельных случаях незаменимы в химической и медицинской промышленности [1]. Получение заданного качества обработанной поверхности изделия можно достичь только на оптимальных сочетаниях режимов резания, охлаждающих жидкостей и характеристик режущего инструмента. При финишной обработке деталей из титановых сплавов рекомендуют применять алмазное шлифование с различными методами восстановления режущей способности круга [2], так как при других видах абразива в зоне резания возникают высокие температуры [3], налипание сплава на зерна [2] и повышенный износ шлифовального круга [3].

Температура аллотропического превращения титана составляет 882°C. В титановых сплавах алюминий, кислород, азот повышают температуру полиморфного превращения и называются α -стабилизаторами, а молибден, ванадий, марганец, хром, железо понижают температуру полиморфного превращения и называются β -стабилизаторами. В зависимости от количества стабилизаторов температура полиморфного превращения может быть ниже 500°C. При температуре выше 500°C титановые сплавы интенсивно поглощают водород, который приводит к водородной хрупкости. Изменяется фазовый состав поверхностного слоя детали, что снижает его эксплуатационные характеристики. Поэтому исследование влияния продолжительности шлифования на силы резания и режущую способность алмазного круга является актуальной задачей.

Основное содержание и результаты работы

Исследование влияния продолжительности шлифования титанового сплава ВТ14 алмазным кругом на силы резания проводили на плоскошлифовальном станке модели 3Г71, модернизированном для электроэрозионной правки алмазных кругов на металлической связке. Целью работы является определение сил резания после правки, после 15 и 60 минут работы шлифовальным кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01. Круг перед установкой статически балансировали на ножах. Для измерений сил резания использовали динамометр УДМ-100, четырехканальный усилитель ТА-5 и осциллограф Н117. Режимы резания: скорость резания – 35 м/с, продольная подача – 6 м/мин,

глубина резания – 0,015 мм. Электроэрозионную правку круга перед экспериментом осуществляли на медном электроде с использованием источника технологического тока ИТТ-35 на следующих режимах: напряжение холостого хода 55В, поперечная и вертикальная подача ручная для обеспечения силы тока 7...8 А. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовали 0,3 %-й раствор кальцинированной соды в воде. Перед каждым экспериментом для удаления следов предыдущего эксперимента с рабочей поверхности круга (РПК) удаляли алмазозносный слой высотой 0,04 мм.

После электроэрозионной правки РПК представляет собой поверхность с развитым рельефом, сформированным выступающими из металлической связки алмазными зернами, на которых отсутствуют налипсы обрабатываемого материала (рис. 1).

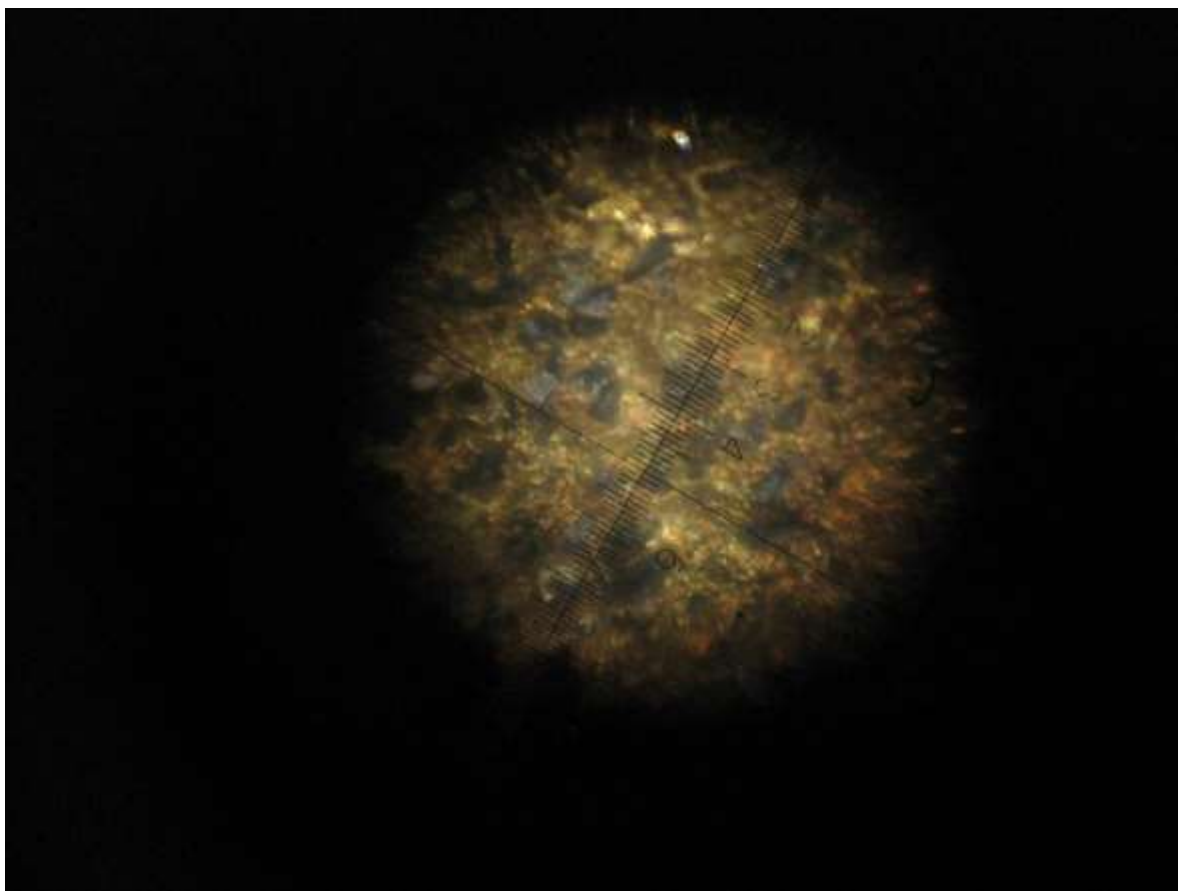


Рис. 1. РПК после правки электроэрозионным способом

В начальный момент после правки в течении первых 15 мин шлифования осуществляется интенсивное удаление наиболее выступающих из связки зерен, что приводит к снижению их разновысотности.

Кроме того, в это же время на вершинах контактирующих зерен начинают образовываться площадки, субмикрорельефы которых заполняет обрабатываемый материал. К налипшему обрабатываемому материалу, который заполняет субмикронеровности поверхности зерен, привариваются стружки. В это время контактные площадки увеличиваются в размерах, начинается образование площадок на других зернах, которые вследствие разновысотности вначале участия в обработке не принимали. В зоне резания происходят сложные физико-химические процессы, останавливающие рост сил резания и приводящие к увеличению длительности шлифования без необходимости прав-

ки круга (рис. 2). При этом выполняется условие самозатачивания круга, что обеспечивает низкую стоимость обработки, а правка нужна для обеспечения геометрической точности профиля круга.

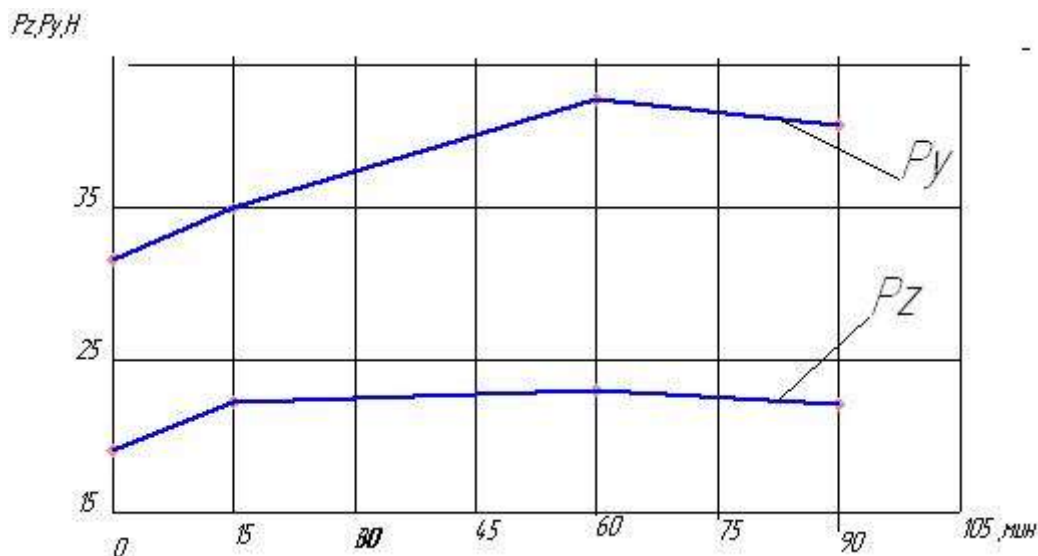


Рис. 2. Зависимость силы резания при шлифовании титанового сплава VT14 от продолжительности обработки

Выводы

Приведенные результаты экспериментов показывают, что после электроэрозионной правки на технологическом источнике ИТТ-35 обработка титанового сплава VT14 на режимах: скорость резания – 35 м/с, продольная подача – 6 м/мин, глубина резания – 0,015 мм, может продолжаться до 90 мин без необходимости дополнительной правки для поддержания режущих свойств РПК. Это указывает на то, что сочетание принятых режимов предварительной правки и режимов резания позволяет увеличить в несколько раз стойкость круга.

Список литературы: 1. Исследование в технологии механической обработке / А.Е. Древаль, С.Г. Васильев, Д.В. Виноградов, О.В. Маликов // Электронный журнал МВТУ им. Баумана. – 2014. – № 12. – С. 22-28. 2. Федоров Д.Г. Шлифование титановых сплавов. Краткий литературный обзор / Д.Г. Федоров, Д.В. Евдокимов, А.Л. Пластин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 20. № 1, 2018. – С. 129-132. 3. Кременецкий Л.П. Процесс глубинного шлифования титановых сплавов кругами из карбида кремния // Л.П. Кременецкий, Н.Д. Сердюков, А.П. Буренина. – ФГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», 2016. – С. 114-117.

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗНОВЫСОТНОСТИ ЗЕРЕН АЛМАЗНОГО КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ

Рыбалко Е.А., Молчанов А.Д.
(кафедра МСМО, ДОННТУ, г. Донецк, ДНР)

***Аннотация.** Разработаны метод и устройство записи режущего профиля алмазного круга с выделением зерен из общего рельефа круга, что позволяет определить уровень связки от наиболее выступающего зерна и установить глубину резания, при которой возможно контактирование связки с обрабатываемым материалом.*

***Ключевые слова:** алмазное шлифование, процесс обработки, разнорельефность зёрен, режущий профиль*

К наиболее значимым факторам, оказывающим влияние на формирование поверхностного слоя при алмазном шлифовании, можно отнести режимные факторы (скорость круга, скорость детали или подача инструмента, глубина резания), жесткость системы СПИД и характеристики алмазного круга [1-3]. Наибольшее влияние на формирование шероховатости при алмазной обработке керамики оказывают характеристики алмазного круга [2]. Если большинство этих показателей – зернистость, связка, концентрация, марка алмазов, регламентированы и являются паспортными данными круга, то разнорельефность зерен не определена. В то же время, исследования, проведенные по алмазной обработке сталей и твердых сплавов показали, насколько значимым оказывается параметр разнорельефности зерен алмазного круга для определения параметров шероховатости.

Существуют различные методы получения информации о характере распределения зерен по высоте [4]:

- профилографирование рельефа круга;
- царапание наклонной полированной пластины подвижным или вращающимся кругом с последующим измерением полученных царапин;
- получение точечных отпечатков вершин режущих кромок путем прокатывания круга по пластине, имеющей тонкий слой пластичного материала;
- измерение тепловых импульсов от каждой режущей кромки круга с помощью термопары;
- непосредственное наблюдение за режущими кромками с помощью оптического или сканирующего электронного микроскопа;
- получение профиля рельефа круга путем изготовления шлифа поперечного сечения.

Наибольшее распространение получили первые два метода: профилографирование и царапание наклонной полированной пластинки. Последний метод отличается большой трудоемкостью и малым объемом информации, поэтому используется редко. Остальные методы служат для определения количества режущих кромок на заданном уровне. Однако, все эти методы имеют недостаток – они не учитывают распределение зерен относительно связки и оперируют суммарным профилем «зерна – связка». Существуют работы, в которых метод профилографирования реализован с выделением зерен из общего рельефа. Однако в них уровень связки не учитывается, хотя часто последняя

бывает расположена выше отдельных зерен и может участвовать в процессе резания.

Для решения задачи записи режущего профиля алмазного круга с выделением зерен из общего рельефа круга на металлической связке было разработано специальное устройство (рис. 1). Оно построено на базе профилограф-профилометра 4, электронного блока 3 и приспособления 2. Информация выводится на ленту самопишущего прибора профилографа-профилометра 5.

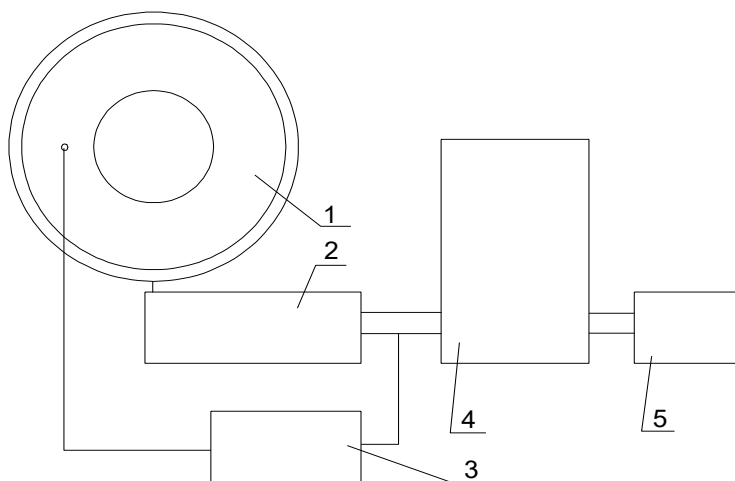


Рис.1. Структурная схема устройства для записи режущего профиля алмазного круга: 1 – алмазный круг; 2 – приспособление; 3 – устройство для выделения рельефа алмазных зерен; 4 – профилограф-профилометр; 5 – записывающий прибор профилографа-профилометра

Приспособление 2 спроектировано и изготовлено на базе конструкции, описанной в работе [5]. На приспособлении 2 располагается датчик профилографа-профилометра, который регистрирует колебания коромысла с лопаточкой, регистрирующей изменения профиля круга. Здесь же располагается привод круга, состоящий из малооборотного двигателя, блока редукции и приводного капролонового ролика. При помощи пониженной редукции достигается очень малая частота вращения алмазного круга – 1 оборот за 10 часов (для круга диаметром 200 мм), соответствующая линейной скорости перемещения, равной 1 мм/мин. Такая скорость трассировки круга соответствует скоростям, применяемым при профилографировании. Привод круга имеет возможность перемещения в вертикальном направлении, что позволяет его использовать для различных размеров алмазных кругов. В качестве контактирующего элемента применяется лопаточка, выполненная из закаленной стали. Толщина ее составляет 0,08 мм, ширина колеблется от 0,4 до 0,7 мм для кругов различной зернистости. Такое решение позволяет избежать систематической погрешности, присущей вышеперечисленным методам профилографирования круга, вызванной тем, что ощупывающая игла при своем прямолинейном перемещении не попадает на вершины большинства режущих кромок, а проходит по их боковым сторонам [4]. Приспособление имеет привод продольного (относительно датчика) перемещения, что дает возможность без переустановки приспособления произвести запись нескольких сечений круга. С помощью приспособления можно производить запись режущего профиля круга непосредственно на станке, без необходимости снятия круга. Это позволяет оперативно производить запись профиля круга, без внесения дополнительных погрешностей, которые обусловлены снятием-установкой круга на шпиндельную оправку станка.

Разработанный электронный блок позволяет выделять алмазные зерна из общего рельефа круга. Принцип действия прибора основан на том, что алмазные зерна являются диэлектрическими элементами, в то время как связка круга электрическим проводником. Электронный блок настроен так (по электрическим параметрам), что при замыкании цепи на выходе блока формируется шумовой сигнал, дающий при подаче в цепь профилографа смещение оригинального сигнала. Один вывод устройства подключен к кругу (алмазный круг на металлической связке), второй согласован с выходным каскадом профилографа-профилометра, отвечающего за запись профиля на самописце. Величину смещения исходного сигнала можно регулировать переменным сопротивлением. Режущие зерна круга расположены сверху, уровень связки смещен вниз на 24 мм. Данное представление профиля алмазного круга позволяет построить гистограмму распределения зерен по высоте (рис. 2) и произвести их статистическую обработку. В то же время можно определить уровень связки от наиболее выступающего зерна и определить глубину резания, при которой возможно контактирование связки с обрабатываемым материалом.

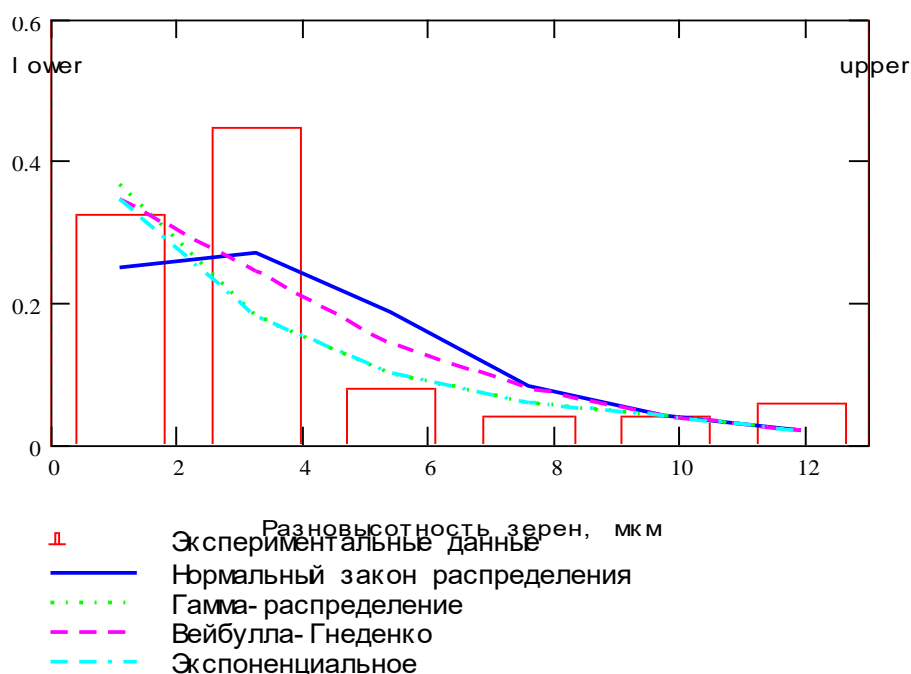


Рис.2. Характер распределения разновысотности зерен алмазного круга 1А1 200х20х32 АС6 125/100 – 4 – М2-01 после шлифования керамики на основе оксида алюминия

Список литературы: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с. 2. Алмазная обработка технической керамики / Д.Б. Ваксер, В.А. Иванов и др. – Л.: Машиностроение, 1976. – 160 с. 3. Скоростная алмазная обработка деталей из технической керамики. Под ред. З.И. Кремня. – Л.: Машиностроение, 1984. – 131 с. 4. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование / Л.Н. Филимонов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с. 5. Матюха П.Г. Теоретические и экспериментальные исследования кинематики процесса и рельефа круга при алмазно-искровом шлифовании. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / МВТУ – М., 1981. – 23 с.