

УДК.621.9

ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОГО ИЗНОСА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ОБРАБОТКЕ КЕРАМИКИ

Микович Е.В., Гусев В.В. (кафедра МСМО, ФГБОУ ВО «ДонНТУ», г. Донецк)

Тел./Факс: +7 (856) 3086754; E-mail: zmikovich@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассмотрены методы определения предельного состояния износа круга при алмазном шлифовании, анализ их достоинств и недостатков, а также обзор перспективных направлений развития автоматизированных систем контроля состояния рабочей поверхности круга.*

***Ключевые слова:** алмазное шлифование, износ алмазного круга, системы контроля рабочей поверхности круга.*

Введение.

Алмазное шлифование является одним из наиболее перспективных и развивающихся методов обработки материалов с высокой твердостью и прочностью. Этот метод позволяет получать детали сложной конфигурации с высокой точностью размеров и формы, а также с низкой шероховатостью поверхности. Однако алмазное шлифование имеет ряд проблем, связанных с износом и стойкостью шлифовального круга, который состоит из алмазных зерен и связующего материала. Износ круга приводит к ухудшению режущей способности зерен, изменению профиля круга, загрязнению режущей поверхности продуктами резания и ухудшением качества поверхностного слоя, связанного с ростом силового и теплового воздействия на обрабатываемую поверхность. Для устранения этих негативных явлений необходимо проводить правку круга [1,2,3].

Для восстановления рабочих характеристик шлифовального круга используют различные методы правки с целью восстановления его режущих способностей и требуемой геометрии инструмента. Методы правки кругов на металлической связке по характеру воздействия на РПК делятся на: механические, химические, физические и комбинированные, при которых на круг действуют одновременно несколько видов направленного формообразования рельефа рабочей поверхности алмазных кругов. При правке круга достигается восстановление геометрического профиля круга и его режущей способности по разрушению припуска, удаляемого при обработке. При этом возникает задача определения критического состояния рабочей поверхности круга (РПК), при котором необходимо производить правку круга.

Основным параметром, характеризующим режущий рельеф и определяющим уровень режущей способности кругов, является высота выступания зерен над уровнем связки ΔR . В качестве дополнительных целесообразно принять количество зерен на единице длины профиля и относительную критическую глубину их заделки в связке круга. Одним из основных требований, обеспечивающих эффективность, является высокая режущая способность алмазных кругов. Стабильность процесса шлифования определяется постоянством выходных показателей обработки изделий в период всего времени работы. Она может обеспечиваться управлением режущим рельефом путем дозированного воздействия на связку круга в процессе шлифования [1,2].

Целью работы является анализ методов оценки состояния РПК при шлифовании технической керамики для разработки системы автоматического определения начала правки алмазного круга.

Основное содержание работы.

Методы определения износа круга при шлифовании можно классифицировать по различным критериям, таким как принцип действия, тип используемых сигналов, способ обработки и анализа сигналов, степень вмешательства в процесс шлифования. В данном реферате будут рассмотрены две основные классификации методов по принципу действия и типу используемых сигналов. По принципу действия методы автоматического определения износа круга при алмазном шлифовании можно разделить на две группы: прямые и косвенные.

Прямые методы автоматического определения износа круга. Это методы, которые основаны на непосредственном измерении параметров круга, таких как диаметр, профиль, параметры РПК, температура, которые изменяются в результате износа круга. Прямые методы позволяют получать точную и объективную информацию о состоянии и степени износа круга, однако они имеют ряд недостатков, таких как высокая стоимость и сложность оборудования, необходимость контакта с кругом или прерывания процесса шлифования для проведения измерений, влияние внешних факторов на точность измерений. Примерами прямых методов являются оптический (использование оптических датчиков или камер), акустический (использование микрофонов или ультразвуковых датчиков), электрический (использование электродов или индуктивных датчиков), термический (использование термопар или инфракрасных датчиков).

Среди прямых методов наиболее распространёнными являются оптические и контактные методы. Оптические методы используют видеокамеры, лазеры или другие источники света для получения изображения круга и его последующей обработки с помощью специального программного обеспечения. Фотоэлектрический метод измерения износа рабочего инструмента имеет ряд преимуществ: он является бесконтактным, простым в реализации и не требует специальной подготовки поверхности инструмента. Однако метод имеет и недостаток - невысокую точность измерений и позволяет измерить только линейный износ, но не характеризует состояние РПК.

Фотоэлектрический метод измерения износа рабочего инструмента имеет ряд преимуществ: он является бесконтактным, простым в реализации и не требует специальной подготовки поверхности инструмента. Однако метод имеет и недостатки: позволяет измерить только линейный износ, невысокая точность измерений связанную с наличием загрязнений и не характеризует состояние рабочей поверхности шлифовального круга, влияющего на качество обработанной поверхности.

Одним из наиболее распространенных оптических методов измерения параметров шлифовальных кругов является лазерная триангуляция. Принцип этого метода заключается в том, что лазерный диод излучает световой луч, который отражается от поверхности круга и попадает на позиционно-чувствительный детектор (ПЧД). По смещению светового пятна на ПЧД можно определить расстояние от детектора до круга. метод триангуляции не подходит для измерения объектов с неровной или зеркальной поверхностью, так как это может привести к искажению отраженного света. Также, метод триангуляции требует точного выравнивания лазера, детектора и объекта, что может быть сложно достичь в реальных условиях. К наиболее объективным оптическим методам относится современное лазерное сканирование с изучением 3D параметров топографии РПК [2].

Контактные методы используют датчики силы, давления или перемещения для физического взаимодействия с кругом и получения информации о его размерах. Наиболее хорошо известен и широко применяется для оценки параметров РПК метод профилографирования лопаточкой с выделением связки за счет ее токопроводности с дальнейшей стереологической реконструкции поверхности РПК. Стереологическая реконструкция профилограммы позволяет устранить недостаток метода, связанного с тем, что ощупывающий наконечник при своем прямолинейном перемещении не попадает на вершины большинства режущих кромок, а проходит по их боковым сторонам. [3].

Прямые контактные методы и оптическое лазерное сканирование позволяют получить наиболее объективную и полную информацию по состоянию РПК, но требуют остановки процесса резания и длительной обработки полученной информации. Фотоэлектрический оптическая лазерная триангуляция и пневматический методы как правило не обладают требуемой точности получения информации о текущем состоянии выходных показателей обработки изделий, что позволило бы определить критическое состояния РПК, при котором необходимо для обеспечения требуемого качества изделий производить правку круга.

Косвенные методы автоматического определения износа круга. Это методы, которые основаны на измерении параметров процесса шлифования, таких как сила резания, момент резания, вибрация, звук, ток и напряжение двигателя, которые зависят от состояния и степени износа круга. Косвенные методы позволяют получать оперативную и непрерывную информацию о состоянии и степени износа круга без контакта с кругом и без вмешательства в процесс шлифования, однако они имеют ряд недостатков, таких как низкая точность и чувствительность, необходимость калибровки и коррекции сигналов, влияние других факторов на параметры процесса шлифования. Примерами косвенных методов являются динамометрический (использование динамометра или силомера), вибрационный (использование акселерометра или виброметра), акустический (использование микрофона или датчика акустической эмиссии), электрический (использование амперметра или вольтметра).

Вибрационный метод измерения перемещений в технологической системе при вибрации используется емкостный метод, основанный на определении расстояния между кругом и датчиком. Он является бесконтактным методом оценки степени износа шлифовальных кругов, однако он имеет низкую точность и редко применяется на практике. Это связано с тем, что метод является косвенным и основан на сложной обработке результатов измерения, которая может давать значительные погрешности. Кроме того, метод не позволяет учитывать неравномерность износа по поверхности круга.

Акустические методы (акустико-эмиссионный и шумо-диагностический) являются косвенными и одновременно пассивными, что означает отсутствие внешнего источника энергии, осуществляющего воздействие на объект исследования. Этот метод основан на том, что акустический сигнал, излучаемый при контакте круга и обрабатываемого материала, зависит от степени износа круга. Аналоговый акустический сигнал, принимаемый микрофоном, подвергается оцифровке с помощью звуковой карты персонального компьютера, после чего проходит ряд математических преобразований, отделяющий частоты, производимые шлифовальным кругом от остального шума. Такой метод позволяет получать результат в реальном времени, однако для отсеивания большинства шумов для записи изначально необходимо записать шум работы станка, к

тому же частота колебаний круга будет зависеть не только от его износа, а также и от обрабатываемого материала и материала самого круга.

Электрический метод является одним из прямых косвенных методов автоматического определения износа круга в процессе шлифования при простоте реализации. Этот метод основан на том, что электрическое сопротивление рабочей поверхности круга зависит от степени его загрязнения. Этот метод имеет низкую точность измерения, зависящую от других факторов, влияющих на сопротивление круга, таких как температура, влажность, а также необходимость поддержания постоянного контакта между рабочей поверхностью круга и электродами, что может приводить к дополнительному износу или повреждению круга.

Метод измерения силы резания при шлифовании служат показателем износа алмазного круга. На начальных этапах исследований силу резания оценивали по мощности, потребляемой электродвигателем при шлифовании, с помощью ваттметра. Для прямого измерения составляющих сил можно применять динамометрические устройства.

Изменение состояния РПК приводит к экспоненциальному росту силы резания в 2-3 раза (в зависимости от физико-механических свойств керамики) в следствие снижения режущей способности круга. Изменение нормальной составляющей силы резания при алмазном плоском продольном врезном шлифовании керамики кругом единичной ширины с учетом их физико-механических свойств можно записать [4]

$$F_{ny} = A \left(\frac{k_{\phi} \cdot K_{1c}^4}{HV^3} \right)^{1.18} \cdot (b - \exp(-cQ)) \cdot V_d^{0,34} \cdot V_k^{-0,41} \cdot t^{0,79}, \quad (1)$$

где k_{ϕ} - постоянный коэффициент, зависящий от формы зерна; K_{1c} - трещиностойкость материала; HV - Твердость материала по Виккерсу; Q - объем удаленного материала, в $см^3$, V_d, V_k, t режимы резания; A, b, c - постоянные коэффициенты, учитывающие изменение состояние РПК и определяемые экспериментально.

Основным параметром, определяющим эксплуатационные свойства технической керамики, является прочность, которая кроме дефектов структуры зависит и от дефектов обработки. Плотность распределения дефектов обработки по размерам (полудлиной обработочных дефектов в поверхностном слое l_o) может быть описана упрощенным бета-распределением [4,5]

$$f(l_c) = \frac{r_o + 1}{l_{o\max}} \left(1 - \frac{l_o}{l_{o\max}}\right)^{r_o} \quad r_o \geq 0, \quad 0 \leq l_o \leq l_{o\max}, \quad (2)$$

где $l_{o\max}$ - максимальный размер полудлины трещин обработки, r_o - параметр трещиноватости дефектов обработки определяется значением нормальной составляющей силы резания при алмазном плоском продольном врезном шлифовании керамики приведенной к единице высоты круга (F_{ny}) и индексом хрупкости обрабатываемого материала (HV/K_{1c}) [5]

$$r_o = 6,9 \cdot F_{ny}^{-0,5+0,07 \cdot (HV/K_{1c})} \quad (3)$$

Чем больше r_o тем, вероятность формирования малых трещин выше.

Регламентируя радиальную составляющую силы резания, можно управлять состоянием дефектного слоя, т.е. определять такую эксплуатационную характеристику, как прочность изделия из керамики. Значение радиальной составляющей силы резания можно непосредственно ее измеряя в процессе обработки. Таким образом, радиальная

составляющая силы резания характеризует состояние режущей способности круга при обработке керамики.

Косвенные методы позволяют получать оперативную и непрерывную информацию о состоянии и степени износа круга без контакта с кругом и без вмешательства в процесс шлифования. Вибрационный, акустические и электрический методы, получая информацию в реальном времени, не позволяют учитывать неравномерность износа по поверхности круга, обладают низкой точностью измерения, зависящей от ряда факторов, не связанных с потерей кругом режущей способности. Измеряя напряжение или ток на двигателе можно получить быструю информацию о состоянии и степени износа круга, при этом имея низкую разрешающую способность системы измерения силы резания. Этим недостатком не обладает метод измерением силы резания динамометрическим устройством вблизи зоны резания.

По типу используемых сигналов методы автоматического определения износа круга при алмазном шлифовании можно разделить на четыре группы: аналоговые, цифровые, гибридные и интеллектуальные.

Аналоговые методы. Это методы, которые основаны на использовании аналоговых сигналов, таких как напряжение, ток, сопротивление, импеданс, частота, которые изменяются в зависимости от параметров круга или процесса шлифования. Аналоговые методы позволяют получать простую и быструю информацию о состоянии и степени износа круга, жертвуя разрешающей способностью. Примерами аналоговых методов являются измерение напряжения или тока на двигателе или датчике, измерение импеданса на датчике.

Цифровые методы. Это методы, которые основаны на использовании цифровых сигналов, таких как биты, байты, слова, коды, которые представляют параметры круга или процесса шлифования в дискретной форме. Цифровые методы позволяют получать точную и подробную информацию о состоянии и степени износа. Примерами цифровых методов являются оптический (использование оптического сканера или камеры), акустический (использование датчика акустической эмиссии или микрофона), термический (использование термопары или инфракрасного датчика).

Гибридные методы. Это методы, которые основаны на использовании комбинации аналоговых и цифровых сигналов, которые представляют параметры круга или процесса шлифования в смешанной форме. Гибридные методы позволяют получать комплексную и достоверную информацию о состоянии и степени износа круга. Примерами гибридных методов являются вибрационный (использование акселерометра или виброметра с аналогово-цифровым преобразователем), ультразвуковой (использование ультразвуковых датчиков с цифровым спектроанализатором).

Интеллектуальные методы. Это методы, которые основаны на использовании искусственного интеллекта, такого как экспертные системы, искусственные нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы, для обработки и анализа сигналов, представляющих параметры круга или процесса шлифования. Интеллектуальные методы позволяют получать адаптивную и оптимальную информацию о состоянии и степени износа. Примерами интеллектуальных методов являются нейронный (использование искусственных нейронных сетей для классификации или регрессии сигналов), экспертный (использование экспертных систем для правил или логических выводов из сигналов), нечеткий (использование нечеткой логики для обработки нечетких или неясных сигналов).

Несмотря на то, что аналоговые методы позволяют получать простую и быструю информацию о состоянии и степени износа круга, они не позволяют выполнить быстро

обработку полученной информации из зоны резания с помощью ПЭВМ, учесть изменение требований к условиям обработки при замене обрабатываемого материала или требований по качеству обрабатываемых изделий.

Поэтому, информацию, полученную о изменении силы резания в виде электрического сигнала, следует обрабатывать с помощью аналогово-цифрового преобразователя для его использования в системе управления с помощью компьютера, учитывая физико-механические характеристики обрабатываемого материала при определении предельного значения нормальной составляющей силы резания (зависимость 1). Это позволит в дальнейшем использовать интеллектуальные методы обработки информации для использования в системе управления процессом обработки заготовок и правки круга для обеспечения эксплуатационных характеристик изделий из керамики.

Выводы.

Одним из основных требований, обеспечивающих эффективность процесса шлифования керамики, является режущая способность алмазных кругов, при которой обеспечивается требуемое качество обработанной поверхности изделий. Как показал анализ методов оценки состояния рабочей поверхности алмазного круга, при шлифовании технической керамики наиболее подходит косвенный метод, основанный на измерении радиальной составляющей силы резания динамометрическим устройством. Данный метод оценки состояния режущей способности алмазного круга позволяет обеспечить такую важную эксплуатационную характеристику, как прочность изделия из керамики.

Информацию, полученную при измерении силы резания в виде электрического сигнала, следует обрабатывать с помощью аналогово-цифрового преобразователя для его использования в системе управления с помощью компьютера, что позволяет учитывать при определении предельного значения нормальной составляющей силы резания физико-механические характеристики обрабатываемого материала.

Список литературы: 1. Kramer D., Rehsteiner F., Schuhmacher B. ECD (Electrochemical In-Process Controlled Dressing), a New Method for Grinding of Modern High-Performance Cutting Materials to Highest Quality // *Cirp Annals - Manufacturing Technology*. 1999. Vol. 48, no 1. P. 265-268. DOI: 10.1016/S00078506(07) 63180- 2. Грабченко, А.И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: Учебное пособие / А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.А. Федорович. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364с. 3 Гусев, В.В. Управление режущей способностью алмазных кругов как фактор повышения эффективности шлифования изделий из керамики / В.В. Гусев, Л.П. Калафатова, А.Л. Медведев, Д.Ю. Семенюк // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Машинобудування і машинознавство»*. – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. – Вип. №8 (190). – С.35-43. 4. Гусев, В.В. Технические ограничения при алмазном шлифовании керамики / В.В. Гусев, Д.А. Моисеев // *Международный сборник научных трудов Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – Донецк: ДонНТУ, Вып. № 2 (53) 2016, С.35-42. 5. Гусев, В.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных требований к изделиям из конструкционной керамики / В.В. Гусев // *Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.* – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2007. – Вип.73. – С.55-62