

УДК 621.923

Д-р техн. наук В. В. Гусев, д-р техн. наук Л. П. Калафатова, А. Л. Медведев

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИКИ

В статье рассмотрены закономерности изменения режущей способности алмазных абразивных кругов при шлифовании технической керамики и при их правке полусвязанным абразивом. Скорость восстановления режущей способности определяется интенсивностью линейного износа шлифовального круга при правке, которая зависит от режима процесса правки.

Ключевые слова: *техническая керамика, шлифование, износ алмазных кругов, правка полусвязанным абразивом, режим правки, режущая способность инструмента.*

Введение

В настоящее время изделия из технической керамики (ТК) применяются практически во всех отраслях промышленности. В аэрокосмической технике, например, для производства обтекателей ракет используют такие виды материалов как кварцевая и алюмосиликатная керамика, ситаллы – разновидность стеклокерамики. Из различных видов керамики также производят: тигли, муфели под электропечи, футеровки индукционных печей, лабораторную термостойкую и коррозионностойкую посуду, изоляторы, высоковольтные предохранители, износостойчивые элементы машин, узлы трения, мелющие тела, режущие инструменты и т. д. В связи с разнообразием изделий требования, предъявляемые к их эксплуатационным характеристикам, также различны. Это, прежде всего, устойчивость к большим нагрузкам, износостойчивость, высокие прочностные характеристики, стойкость к резким перепадам температур (вплоть до термоудара), высокие требования по аэродинамике и т. д.

Техническая керамика относится к категории труднообрабатываемых хрупких неметаллических материалов и механически обрабатывается преимущественно алмазным шлифованием. Технологические процессы механической обработки изделий из ТК предусматривают выполнение большого объема получистовых и чистовых операций – алмазного шлифования, полирования, алмазной доводки. Продолжительность финишных операций зависит от глубины и структуры дефектного слоя, который образуется на предыдущих технологических операциях и переходах и должен быть сведен к минимуму в готовом изделии, так как его наличие ухудшает эксплуатационные характеристики изделий. Таким об-

разом, эффективность процессов механической обработки ТК связана с повышением производительности черновых операций, при условии обеспечения дефектного слоя такой глубины и структуры, которые гарантируют минимальную продолжительность финишных операций.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований [1] свидетельствуют о том, что при абразивной обработке хрупких материалов, такие параметры дефектности обработанной поверхности как размеры, плотность, глубина проникновения дефектов, большие поверхностные напряжения в значительной степени определяются уровнем и направлением силового воздействия на материал при резании. Важным фактором, влияющим на ситуацию в зоне резания, является состояние рабочей поверхности алмазных кругов и их режущая способность, которая постоянно меняется во время обработки ТК [1, 2]. Так, например, при черновом шлифовании ситаллов алмазные круги через 5–10 минут эксплуатации практически теряют свою режущую способность, что связано с повышенными твердостью и прочностью обрабатываемого материала.

Состояние рабочей поверхности алмазных кругов (РПК) определяется геометрической формой вершин зерен и плотностью их распределения по глубине рабочего слоя инструмента. Износ зерен при обработке изделий из керамики и затупление кругов сопровождается значительным ростом сил резания, особенно радиальной составляющей, которая может возрастать в 2–4 раза по сравнению с работой острым кругом. При этом увеличивается дефектность поверхностного слоя обрабатываемых изделий. Таким образом, при достижении силой резания (ее нормальной составляющей) предельного значения, определяемого

из условий обеспечения требуемых параметров качества поверхностного слоя изделий, необходимо осуществлять управляющее воздействие на рабочую поверхность круга, восстанавливая его режущую способность, т. е. производить правку инструмента.

Вопросам правки алмазных шлифовальных кругов посвящено значительное количество исследований [3, 4]. В данное время наиболее известны следующие основные способы правки: электроэрозионные, электрохимические способы, основанные на электрическом и электрохимическом влиянии на связку алмазных кругов, способы механической правки кругов. Несмотря на общепризнанные достоинства электроэрозионного способа правки, необходимо отметить и присущие ему недостатки. К ним относятся: обязательная модернизация технологического оборудования, сложность реализации в производственных условиях, большие энергозатраты, сложность при соблюдении правил техники безопасности в условиях повышенной влажности в зоне работы станочника и наличия в ней же источника электрических разрядов большой силы тока, невозможность использования способа для кругов на неметаллической связке.

Альтернативой электроэрозионному способу правки являются многочисленные механические способы правки, определяемые многообразием операций механического воздействия правящего инструмента на алмазный инструмент. Все эти способы направлены на исправление геометрии инструмента, который подвергается правке, и создание необходимого микропрофиля рабочей поверхности круга (РПК).

На кафедре металлорежущих станков и инструментов ДонНТУ был разработан новый способ правки алмазных шлифовальных кругов (ШК) — правка полусвязанным и свободным абразивом [5]. Главным отличием такой правки является целенаправленное внешнее воздействие абразивных зерен на связку ШК, осуществляющих как удаление изношенных и высвобождение острых алмазных зерен на режущей поверхности круга, так и исправление геометрии (макропрофиля) кругов. При этом увеличение развитости микропрофиля инструмента приводит к благоприятному перераспределению давлений на режущих зернах и, как следствие, уменьшению дефектности обработанной поверхности.

Целью настоящего исследования является определение основных закономерностей изменения режущей способности алмазных шлифовальных кругов при правке полусвязанным абразивом.

Методика исследований

Для исследований использовался алмазный круг 1A1200x76x10250/200 A2-4-M2-01, подвер-

гавшийся периодической правке полусвязанным абразивом [5], с использованием специального устройства для правки. Правка осуществлялась следующим образом [6]. К шлифовальному кругу, который вращается на рабочей скорости, подводят до соприкосновения чугунный притир, повторяющий профиль правящегося круга. Притиру придается возвратно-поступательное движение вдоль образующей инструмента со скоростью 0,015–0,0175 мм/с. В зону контакта инструмента и притира подается абразив в полусвязанном состоянии — в виде бруска, состоящего из 70 % абразива и 30 % гипса, который, разрушаясь под воздействием ШК, попадает в контакт между притиром и РПК. В качестве правящего абразива использовался карбид кремния зеленого F 60 (размер зерна 250–315 мкм). Интенсивность вышлифовывания связки инструмента и материала притира определяется размером абразивных частиц, объемом подаваемого абразива и величиной зазора между инструментом и притиром. В свою очередь, зазор в процессе правки формируется автоматически при заданных значениях подачи притира, скорости вращения ШК и условий подачи абразива.

Для оценки изменений в состоянии РПК при правке производились измерения режущей способности круга W и его радиального износа ΔL . Режущая способность ШК измерялась при реализации упругой схемы шлифования, путем поджатия образца из ситалла АС-370 ($K_{1c} = 2,1 \pm 0,1$ МПа·м^{1/2}) к поверхности ШК с постоянным усилием 41,5 Н.

Измерения радиального износа ШК производились в 6-ти точках при помощи специального приспособления по разработанной методике [6]. Погрешность определения величины радиального износа не превышала 3 мкм.

При проведении экспериментальных исследований изучалось изменение режущей способности ШК W и его радиального износа ΔL в зависимости от времени правки τ (с интервалом 60–120 с) при определенных скоростях подачи притира и абразивного бруска.

Обсуждение результатов

Степень износа алмазного абразивного инструмента при шлифовании керамики и уровень режущей способности РПК в значительной степени зависят от объема удаленного (сошлифованного) материала. На рис. 1 приведена зависимость линейного износа ΔL алмазного круга от объема сошлифованного материала V при обработке образцов ситалла АС-370.

Как видно из представленного графика, при увеличении объема технической керамики V , удаленного с поверхности заготовки шлифовальным кругом, возрастает его линейный износ. При этом,

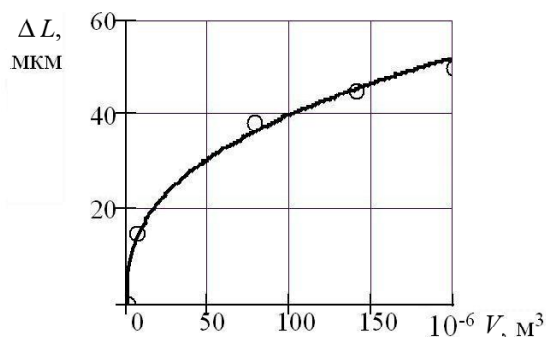


Рис. 1. Зависимость линейного износа круга ΔL от объема удаленного материала V

зависимость износа шлифовального круга от объема удаленного материала имеет нелинейный характер, который адекватно может быть описан степенной зависимостью. В начальный период работы круга ($V = 50 \dots 100 \text{ м}^3$) интенсивность износа наибольшая. Это связано с активным разрушением зерен наиболее выступающих из связки, на которые приходятся максимальные сечения единичного среза обрабатываемого материала, что сопровождается возникновением максимальных сил резания.

При работе алмазного круга имеют место четыре вида процессов, оказывающих влияние на его работоспособность и состояние РПК: истирание зерен об обрабатываемую поверхность с образованием площадок износа; хрупкое разрушение зерен микроскалыванием; вырывание зерен из связки; вышлифовывание связки стружкой, которая совместно с СОТС образует абразивный поток. С увеличением объема удаленного кругом обрабатываемого материала уменьшается глубина РПК, распределение вершин зерен по высоте рабочей поверхности изменяется и приобретает правостороннюю асимметрию, площадки износа на поверхности зерен возрастают [6]. Все это приводит к увеличению составляющих силы резания.

Режущая способность ШК уменьшается (рис. 2, а). Нормальная составляющая силы резания P_y возрастает быстрее тангенциальной P_z , что приводит к уменьшению коэффициента абразивного резания $K_a = \frac{P_z}{P_y}$ (рис. 2, б). Рост нормальной составляющей силы резания сопровождается увеличением доли крупных дефектов в формируемом при шлифовании поверхностном слое материала [2, 6], что отрицательно сказывается на качестве изделий и их прочностных характеристиках.

Для восстановления режущей способности алмазного ШК был использован метод правки полусвязанным абразивом. Как показали иссле-

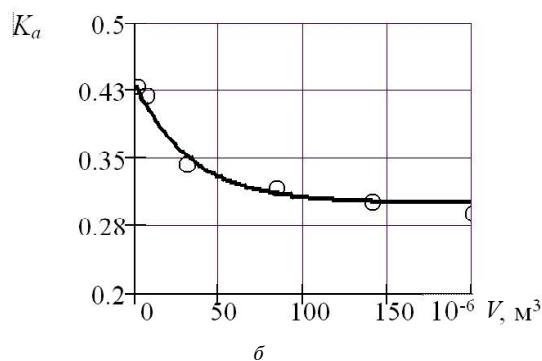
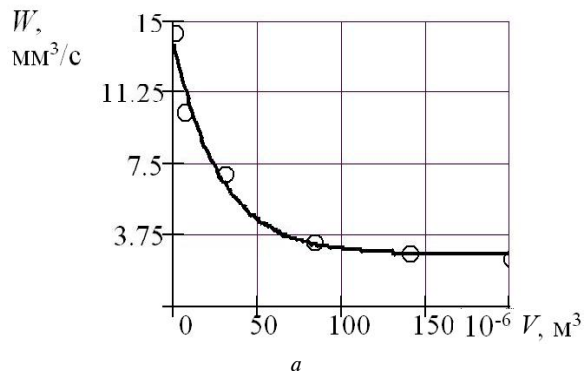


Рис. 2. Влияние объема удаленного материала припуска V на изменение режущей способности алмазного круга W (а) и изменение коэффициента абразивного резания K_a (б)

дования, при правке износ круга, сопровождающий процесс правки, адекватно описывается линейной зависимостью (рис. 3, а) при неизменной скорости подачи притира и абразивной суспензии. На рисунке пунктирной линией показаны границы доверительного интервала при уровне значимости 0,1.

По мере удаления алмазоносного слоя режущая способность ШК возрастает (рис. 3, б), достигая предельного значения W_{np} при времени правки (τ_1 или τ_2), зависящего от начального значения режущей способности круга перед правкой W_n , обусловленного степенью его износа.

Изменение режущей способности круга от времени правки может быть адекватно описано следующей зависимостью:

$$W(\tau) = \frac{1}{a \cdot \exp(-b\tau - c)} + \frac{1}{W_{np}}, \quad (1)$$

где a — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала и характеристики инструмента, определяет нижнюю границу режущей способности ШК при принятых условиях обработки;

b — коэффициент, зависящий от технологического регламента правки, определяет интенсивность правки;

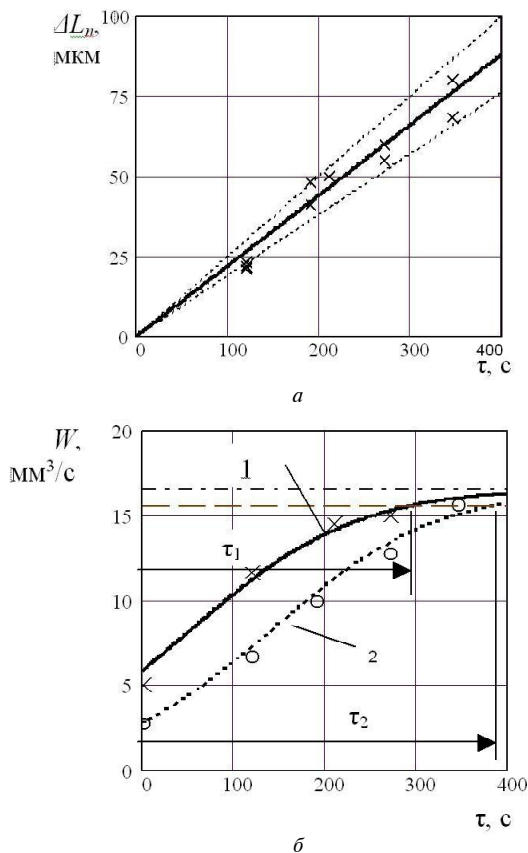


Рис. 3. Влияние времени правки τ свободным абразивом на: а – линейный износ ΔL_n круга при правке; б – полученную режущую способность круга при его различной режущей способности W_n перед правкой: 1 – $W_n = 5 \text{ мм}^3/\text{с}$; 2 – $W_n = 2,75 \text{ мм}^3/\text{с}$

c – коэффициент, зависящий от исходного состояния РПК перед правкой (степени его износа), определяет длительность времени правки, необходимую для достижения кругом предельной режущей способности;

W_{np} – предельная режущая способность круга при принятых условиях ее определения, зависящая от характеристики круга и физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Параметры a, b, c, W_{np} определяются экспериментальным путем для конкретных условий обработки и правки.

Предельная режущая способность используемого ШК при обработке ситалла АС-370 и среднем давлении 0,4 МПа на площади контакта обрабатываемого образца с кругом (штрихпунктирная горизонтальная линия на рис. 3, б) составляет $W_{np} = 16,4 \text{ мм}^3/\text{с}$. Примем в качестве критерия, ограничивающего продолжительность правки, время достижения режущей способности круга значения $0,95 W_{np}$ (на рис. 3, б горизонтальная штриховая линия). Назовем это значение граничным значением режущей способности круга.

Таким образом, необходимо найти рациональный период времени между правками шлифовального круга при обработке технической керамики. Представим график, описывающий изменение режущей способности круга за исследуемое время обработки при шлифовании с периодическими воздействиями на РПК (правка свободным абразивом), осуществляемыми одновременно с обработкой детали, как чередование определенных периодов (рис. 4).

Промежуток времени $0 - \tau_1$ представляет собой длительность работы предварительно заправленного круга T' до начала правки свободным абразивом с целью восстановления режущей способности РПК. Он содержит период приработки $0 - \tau_{np}$, характеризующий быстрой потерей режущей способности за счет выпадения из связки наиболее выступающих зерен, и период 1 длительностью $\tau_{np} - \tau_1$. В этот период режущая способность круга продолжает уменьшаться, но с меньшей интенсивностью.

Изменения текущей режущей способности круга $W_1(\tau)$ в периоды 1 и 3 на промежутках $0 - \tau_1, \tau_2 - \tau_3$ описываются экспоненциальной зависимостью:

$$W_1(\tau) = W_{рац} + \Delta W \cdot \exp(-\beta_9 \cdot \tau), \quad (2)$$

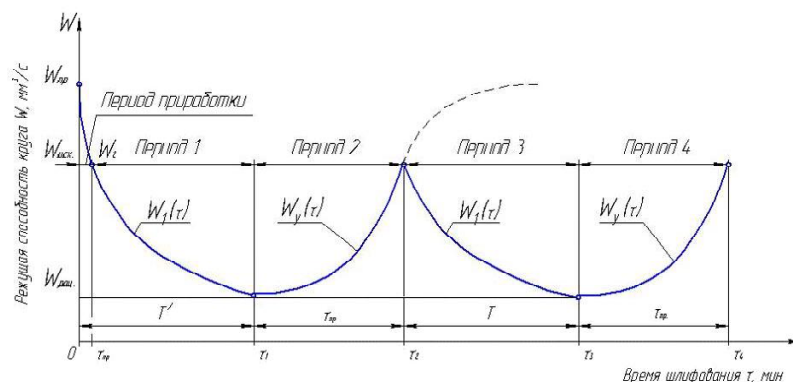


Рис. 4. Изменение режущей способности круга при шлифовании с периодическим управляющим воздействием свободного абразива на РПК

где $W_{рац}$ – рациональная режущая способность круга, мм³/мин, представляющая собой предельно допустимое, с точки зрения обеспечения заданного качества и точности формируемой поверхности изделия, значение режущей способности РПК;

ΔW – амплитуда снижения режущей способности круга, мм³/мин; $\Delta W = W_{исх} - W_{рац}$,

где $W_{исх}$ – исходная режущая способность круга, мм³/мин;

β_9 – эмпирический коэффициент, 1/мин;

τ – продолжительность шлифования, мин.

В промежутки времени $\tau_1 - \tau_2$ и $\tau_3 - \tau_4$ (периоды 2 и 4) режущая способность РПК увеличивается в результате воздействия на нее свободного абразива, что представлено зависимостью (1).

В качестве критерия выбора условий периодического воздействия на РПК может быть использована удельная себестоимость обработки $C_{уд}$, представляющая собой отношение себестоимости процесса шлифования $C_{шл}$ к количеству материала припуска V_m , удаленного с обрабатываемой заготовки за это же время:

$$C_{уд} = \frac{C_{шл}}{V_m}. \quad (3)$$

В структуру $C_{шл}$, помимо прочих расходов, входят затраты на правку и расход алмазного инструмента, сопровождающий процесс управления режущей способностью РПК.

Эффективность предложенного способа может быть подтверждена следующим примером. Применение описанного способа правки, в сочетании с конструкцией устройства для его реализации, при шлифовании многогранных неперегачиваемых пластин из минералокерамики кругами на бакелитовой связке позволило при минимальном расходе алмазонаосного слоя инструмента увеличить количество пластин, выпускаемых между правками, по сравнению со способом правки кругов алмазными брусками на 50 %, при улучшении качества обрабатываемой поверхности в 1,5 раза и минимальных дополнительных затратах.

Выводы

Высокоэффективные способы правки алмазного инструмента при шлифовании труднообрабатываемых материалов являются неотъемлемой частью технологического процесса их обработки.

В качестве такого способа правки, при шлифовании кругами с различными типами связок, может быть эффективно использован способ на основе применения свободного или полусвязанного абразива. Этот способ позволяет интенсифицировать процесс правки с минимальной затратой абразивного материала. Благодаря направленному и более щадящему воздействию абразивного порошка на режущие алмазные зерна, подаваемого в определенную зону контакта притира и круга, этот метод более продуктивен и эффективен по сравнению с другими видами правки абразивными инструментами и более универсален по сравнению с электроэрозионным способом правки, так как может быть использован для правки алмазных кругов на любой связке. Необходимы дальнейшие исследования по выбору рациональных условий правки, выбору скоростей подачи притира и абразивного бруска.

Список литературы

1. Калафатова Л. П. Особливості механічної обробки виробів із крихких неметалевих матеріалів / Л. П. Калафатова // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. 5 : в 2-х ч. – Ч. 1. – С. 72–87.
2. Гусев В. В. Обеспечение эксплуатационных характеристик изделий из конструкционной керамики на стадии их производства / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова // Сучасні технології у машинобудуванні: зб. наук. стат. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2006. – Т. 2. – С. 334–346.
3. Чачин В.Н. Профилирование алмазных шлифовальных кругов / В. Н. Чачин, В. Д. Дорофеев – Минск : Наука и техника, 1974. – 160 с.
4. Пахалин Ю. А. Алмазное контактно-эрозионное шлифование / Ю. А. Пахалин. – Л., Машиностроение, 1985. – 178 с.
5. Деклараційний патент на корисну модель 3838 UA, 7 B24B53/00 Спосіб правки абразивного інструмента / Калафатова Л.П., Поїзд С.А., Шевченко В.А. (Україна) – №2004032137/К ; заявл. 23.03.04 ; опубл. 15.12.04, Бюл. №12.
6. Гусев В. В. Закономерности изменения режущей способности алмазных шлифовальных кругов при правке свободным и полусвязанным абразивом / В. В. Гусев, А. Л. Медведев // Наукові праці ДонНТУ. Сер. Машинобудування і машинознавство : зб. наук. пр. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – Вип. 6 (154). – С. 41–48.

Поступила в редакцію 30.06.2011

Гусєв В.В., Калафатова Л.П., Медведєв А.Л. Керування різальною здатністю алмазних кругів як фактор підвищення ефективності шліфування виробів з кераміки

У статті розглянуті закономірності зміни різальної здатності алмазних абразивних кругів при шліфуванні технічної кераміки і при їх правці напівв'язаним абразивом. Швидкість відновлення різальної здатності відзначається інтенсивністю лінійного зносу шліфувального круга під час правлення, яка залежить від режиму процесу правлення.

Ключові слова: *технічна кераміка, шліфування, знос алмазних кругів, правлення напівв'язаним абразивом, режим правлення, різальна здатність інструменту.*

Gusev V., Kalafatova L., Medvedev A. Management of cutting capacity of diamond wheels as a factor in increasing the efficiency of grinding ceramics products

The article describes the patterns of change in the cutting ability of diamond abrasive wheels during grinding of technical ceramics and for their dressing by semifree abrasive. The rate of reduction of cutting ability is determined by the intensity of linear wear of the grinding wheel with the dressing, which depends on the mode of dressing.

Key words: *technical ceramics, grinding, wear of diamond wheels, dressing by semifree abrasive, mode of dressing, cutting capacity of the tool.*