

УДК 621.923

В. В. Гусев д-р техн. наук, проф., **Д. А. Моисеев**, соискатель
Донецкий национальный технический университет, ДНР
Тел. / Факс: +38 (062) 3010807; E-mail: mc@mech.dgtu.donetsk.ua

ИЗНОС АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ОБРАБОТКЕ КЕРАМИКИ

В статье приведен анализ удельного расхода алмаза при обработке ситалла. В работе приведена зависимость, позволяющая определить среднее сечение среза обрабатываемого материала на зерне для любой точки контакта заготовки с инструментом. При сечениях среза не превышающих критического значения удельный расход алмаза линейно зависит от производительности обработки и определяется преимущественно абразивным износом вершин алмазного зерна с последующим их усталостным разрушением. С увеличением интенсивности обработки керамики механизм разрушения зерен круга приводит к резкому росту удельного расхода алмаза за счет интенсификации разрушения алмазных зерен и вырыву их из связи. Необходимо при выборе режима обработки керамики учитывать величину средних сечений среза обрабатываемого материала на алмазном зерне, что позволит повысить эффективность шлифования.

Ключевые слова: керамика, алмазный круг, износ шлифовального круга

V. V. Gusev, D. A. Moiseev

WEAR OF A DIAMOND GRINDING WHEEL WHEN MACHINING CERAMICS

The article provides an analysis of the specific consumption of diamond in the processing of ceramics. When sections of the cut are not exceeding the critical value, the specific consumption of diamond linearly depends on the processing performance and is determined mainly by abrasive wear of the tops of the diamond grain with their subsequent fatigue failure. With an increase in the intensity of processing of ceramics, the mechanism of destruction of grains of a circle leads to a sharp increase in the specific consumption of diamond due to the intensification of the destruction of diamond grains and to tear them out of the bond.

Keywords: ceramics, diamond wheel, wear of diamond wheel

1. Введение.

Алмазное шлифование является наиболее эффективным способом съема материала припуска в керамических заготовках вследствие их высокой твердости. Основными требованиями, предъявляемыми на стадии производства к этим деталям, является обеспечение требований по точности обработки и микрорельефу поверхностного слоя, которые определяются состоянием рабочей поверхности круга (РПК). Процессы, происходящие на РПК, оказывают влияние на качество поверхностного слоя и точность обрабатываемых изделий [1,2]. В процессе работы РПК претерпевает изменения вследствие износа алмазных зерен и связки круг, что происходит с разной интенсивностью [3,4]. На величину износа единичных алмазных зерен влияет совокупность различных факторов. По степени управляемости эти факторы можно разделить на такие категории:

1. Управляемые. К этой категории относятся факторы, на которые непосредственно влияет система управления процессом резания. К этой категории относятся режимы резания, состав СОТС и другие.

2. Условно-неуправляемые. К этой категории относятся факторы, на которые не распространяется воздействие системы управления процессом резания. К ним относятся состояние поверхностного слоя заготовки, характеристики алмазного инструмента и другие. Воздействие на эти параметры возможно вне пределов технологической системы.

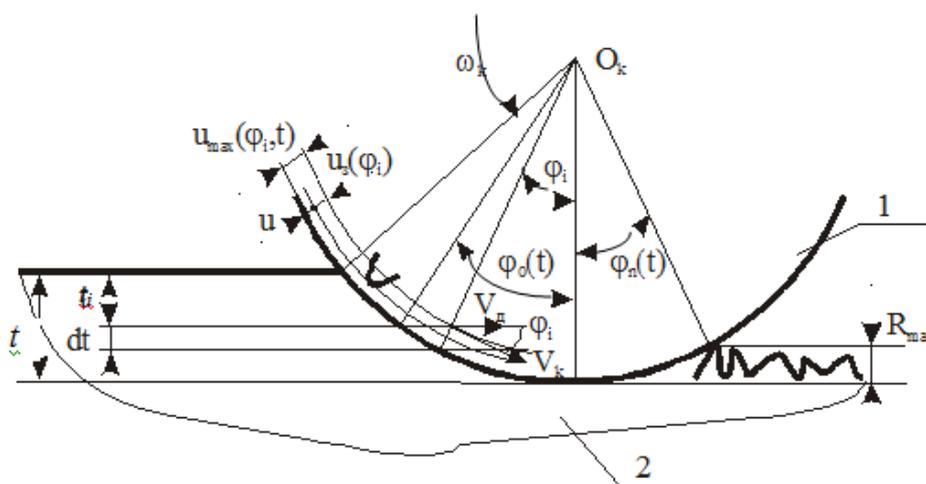
3. Случайные. Могут возникать в процессе работы. Сюда относятся вынужденные колебания технологической системы, характеристики окружающей среды и другое.

Вышеперечисленные факторы суммарно оказывают влияние на величину срезаемого слоя заготовки алмазным зерном, на среднее сечение среза обрабатываемого материала, приходящееся на единичное зерно. При этом среднее сечение среза является управляемой величиной за счет изменения режимов резания.

Целью работы является исследование факторов, влияющих на среднее сечение среза обрабатываемого материала на алмазных зернах, и износ алмазного круга.

2. Основное содержание и результаты работы.

При исследовании удельного расхода алмазного инструмента удобно, когда его износ по высоте круга равномерный этого можно добиться при применении плоского врезного шлифования с шириной образцов из ситалла АС-418 равных высоте круга IAI 200x20x32 AI-315/250-4-M2-01. Микротвердость образцов из ситалла АС-418 составляла 8,5 ГПа. Удельный расход алмазов, определяемый методом линейного износа периферии круга, определяли согласно ГОСТ 16181-82. В качестве охлаждающей жидкости выбрана вода. Перед проведением каждого эксперимента производили правку круга электроэрозионным методом до восстановления его прямолинейности и постоянства исходного состояния РПК. Схема плоского врезного шлифования и ее параметры представлены на рисунке 1



Средние сечения обрабатываемого материала x 10⁻³ мм²

Рисунок 1. Схема плоского врезного шлифования периферией.

Зерна шлифовального круга начинают взаимодействовать с обрабатываемым материалом при значении угла $\varphi = \varphi_0$ и продолжают за границей, определяемой характеристической линией шлифовального круга в пределах рельефного слоя (высотой микронеровностей R_z) до значения угла φ_n , которое можно определить, пользуясь теоремой косинусов для схемы плоского шлифования. Для схемы плоского врезного шлифования (см. рис.1) текущая предельная глубина внедрения в обрабатываемый материал зерна, расположенного на глубине u рабочей поверхности и при угловом его положении φ_i в зоне резания, определяется по зависимости

$$u_{max}(\varphi_i, u) = \frac{[(R - u) \cdot [\cos(\varphi_i) - 1] + t - t_j]}{\cos(\varphi_i)}, \tag{1}$$

где t_j – текущее значение глубины резания.

Для определения средних сечений среза обрабатываемого материала, приходящихся на единичное алмазное зерно, была использована методика предложенная в работе [5]. При этом совокупность всех зерен на абразивной поверхности инструмента рассматривали как случайное поле. Рабочую поверхность круга принимали однородной в различных направлениях. Число зерен на единице рабочей поверхности круга n_3 принимали постоянным для всей ее глубины Δu от наиболее выступающего зерна до связки, для различных состояний РПК. Распределение же вершин зерен по высоте u рабочей поверхности круга является неравномерным и адекватно описывается плотностью распределения Вейбулла $f(u)$. При описании формы зерна в поперечном сечении

использовали параболическую зависимость $b_3 = C_b \cdot u^{m_3} = C_b \left(u_{\max}(\varphi_i, t_j) - u \right)^{m_3}$,

где показатель степени $m_3 = 0,51$. Изменяя коэффициент C_b от 14 до 23 можно учесть изменение формы зерна в процессе износа.

Суммарная ширина зерен $b_{i,i+1}$, проходящих через боковое сечение dt элементарного объема заготовки (см. рис. 1), на участке траектории длиной, ограниченной углами φ_i и φ_{i+1} , определяется интегралом

$$b_{i,i+1}(\varphi_i, t_j) = \int_{\varphi_i(t_j)}^{\varphi_{i+1}(t_j)} \frac{V_k}{V_d} n_3 \left[\int_0^{u_{\max}(\varphi, t_j)} f(u) \cdot b_3(u) \cdot (\cos(\varphi) + \sin(\varphi)) \cdot (R - t + t_j) d\varphi \right], \quad (2)$$

где V_k и V_d соответственно линейные скорости круга и заготовки соответственно.

Полученная величина $b_{i,i+1}(t_j)$ характеризует векторное поле шлифовального круга, определяет его возможности по удалению материала припуска заготовки [6]. Поток материала заготовки является векторной величиной, переменной во времени и в пространстве. Направление перемещения определяется однозначно вектором скорости для каждой точки пространства $\vec{V}_d = \vec{\omega}_d \cdot r\{t_j, \varphi_i\}$. Скалярная характеристика поля материала определяется вероятностью неудаления материала $P(\varphi_i, t_j)$ [6]

$$P(\varphi_i, t_j) = \exp \left(- \frac{\sum b(\varphi_i, t_j)}{L} \right), \quad (3)$$

где $\sum b(\varphi_i, t_j)$ - суммарная ширина всех единичных зерен, прошедших через базовый участок L на уровне радиальной координаты t_j , отсчитываемой от поверхности заготовки, с угловым расположением сечения φ_i .

Суммарная площадь материала f_Σ , удаляемого зернами в радиальном сечении заготовки, определяется суммированием сечений среза по всей глубине рабочей зоны. Для схемы плоского врезного шлифования

$$f_\Sigma(t_j) = \int_0^{u_{\max}(\varphi, t_j)} P(\varphi, t_j) \cdot f(u) \cdot C_b \cdot \left(u_{\max}(\varphi, t_j) - u \right)^m \cdot \cos(\varphi) du d\varphi \dots (4)$$

Наибольшие суммарные сечения среза материала припуска приходятся на начало рабочей зоны у поверхности заготовки. Затем они постепенно снижаются к обработанной поверхности. Среднее сечение среза на зерне \bar{f}_3 определится для любой точки контакта по зависимости:

$$\bar{f}_3(t_j) = \frac{\int_{\varphi_0}^{\varphi_n} \int_0^{u_{max}(t_j)} P(\varphi, t_j) \cdot f(u) \cdot C_b \cdot (u_{max}(\varphi, t_j) - u)^m \cdot [\cos(\varphi + \gamma) + \sin(\varphi + \gamma)] dudy}{\frac{V_k}{V_d} n_z \int_{\varphi_0}^{\varphi_n} \int_0^{u_{max}(\varphi, t_j)} f(u) \cdot P(\varphi, t_j) \cdot [\cos(\varphi + \gamma) + \sin(\varphi + \gamma)] \cdot (r - t_j) dudy}$$

Используя полученную зависимость, можно определить среднее значение сечения среза обрабатываемого материала на зерне вдоль дуги контакта. Изменяя значения

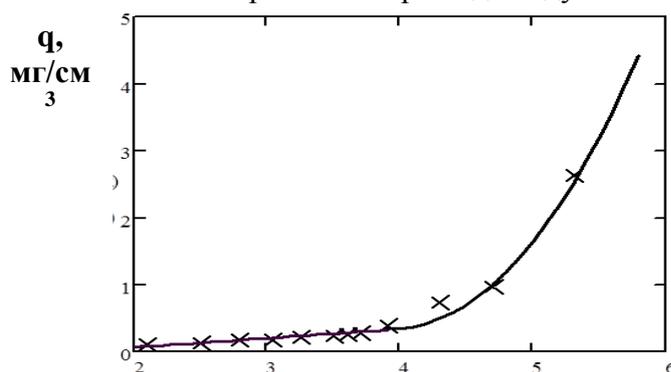


Рисунок 2. Величина удельного расхода алмаза q в мг/см^3 в зависимости от средних значений сечений среза на зерне круга IAI 200x20x32 AI-315/250-4-M2-01 при обработке ситалла AC-418.

скоростей заготовки и круга можно обеспечить съем припуска с различными средними сечениями среза на зерне вдоль дуги контакта круга с заготовкой. Это позволило провести исследование влияния среднего сечения среза обрабатываемого материала на алмазном зерне на удельный расход алмаза q (в мг/см^3) при обработке ситалла AC-418. Результаты исследования приведены на рисунке 2.

Аппроксимация экспериментальных значений, на рисунке показанных квадратиками, показала возможность их описать с помощью метода наименьших квадратов двумя сопряженными линиями. Прямолинейным участком при средних сечениях среза обрабатываемого материала на алмазном зерне менее $4 \times 10^{-3} \text{мм}^2$ и параболическим участком при больших значениях. Это свидетельствует о действии преимущественно разных механизмов разрушения алмазных зерен при обработке ситалла с различными значениями средних сечений среза обрабатываемого материала на алмазном зерне. При небольших значениях средних сечений среза обрабатываемого материала износ круга происходит в результате преимущественно абразивного износа вершина алмазном зерне с последующим их усталостным разрушением (рис. 3а). На микрофотографии отчетливо видны бороздки, появившиеся в результате такого механизма воздействия материала на разогретую поверхность площадок износа. На задней поверхности алмаза возникают значительные нормальные напряжения, которые вызывают растрескивание поверхностных слоев алмаза с образованием своеобразной мозаики. На поверхности зерна также виден износ с явно выраженными сколами части алмазного зерна. При увеличении средних сечений среза обрабатываемого материала преимущественным меха-

низмом разрушения становится разрушение зерен сколом (рис. 3 б) или их вырыв из связки круга.

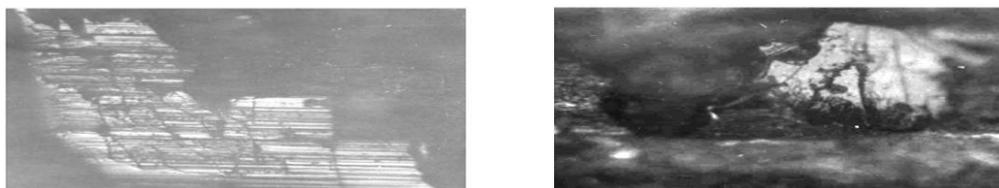


Рисунок 3. Алмазные зерна при шлифовании ситалла АС – 418 кругом 1А1 200х32х10х3 А 315/250 – 4 – М1: а) алмазное зерно с площадкой износа при увеличении х500 раз; б) алмазное зерно со сколотой вершиной при увеличении х200 раз.

3. Заключение.

Таким образом, удельный расход алмазов при обработке керамики зависит от условия работы алмазных зерен при удалении материала припуска, которое прежде всего зависит от среднего сечения среза обрабатываемого материала, приходящееся на единичное зерно. При сечениях среза превышающих критическое значение механизм износа меняется от преимущественно абразивного износа вершин на алмазном зерне с последующим их усталостным разрушением к разрушению зерен сколом или их даже полному удалению из связки круга. Для уменьшения удельного расхода алмаза при обработке керамики необходимо выбирать режимы обработки таким образом, чтобы средние сечения среза обрабатываемого материала, приходящееся на единичное зерно не превышали критических значений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гусев, В. В. Влияние состояния алмазного круга на качество поверхностного слоя изделий из керамики / В. В. Гусев // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2002. – Вип. №12. – С. 234 – 241.
2. Ваксер, Д. Б. Алмазная обработка технической керамики / Д. Б. Ваксер, В. Д. Иванов, Н. В. Никитенков и др.. – Л.: Машиностроение, 1976. – 543 с.
3. Пташников, В. С. Физическая и нормативная твердость абразивных инструментов из высокотвердых и сверхтвердых материалов. Часть 1. Физическая твердость абразивных инструментов / В. С. Пташников // Сверхтвердые материалы. – 2004. – №4. – С. 75-88.
4. Гусев, В. В. Исследование механизма износа металлической связки алмазных кругов при обработке технической керамики / В. В. Гусев, Д. А. Моисеев // Вестник современных технологий. Сборник научных трудов. – Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2016. – №2(2). – С. 30-35.
5. Гусев, В. В. О распределении параметров срезов при глубинном круглом шлифовании периферией круга / В. В. Гусев // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – Вып.65.–С. 37-46.
6. Новоселов, Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке: Монография / Ю. К. Новоселов. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 304 с.

Поступила в редколлегию 12.05.2019 г.