

Разработка аналитической модели устойчивого во времени процесса алмазного шлифования

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Гуцаленко Ю.Г.

В работе приведена аналитическая модель и определены оптимальные условия осуществления устойчивого во времени процесса алмазного шлифования

В роботі наведено аналітичну модель та визначені оптимальні умови здійснення стійкого в часі процесу алмазного шліфування

Алмазные круги на металлических связках располагают большими потенциальными возможностями в плане повышения производительности обработки и снижения расхода алмаза. Однако, при шлифовании быстро теряют режущую способность вследствие затупления и засаливания, работают нестабильно [1, 2]. Поэтому для обеспечения высокой режущей способности алмазного круга на металлической связке в процессе шлифования необходимо реализовать условие его равномерного во времени износа.

Цель работы - разработка аналитической модели устойчивого во времени процесса алмазного шлифования и определения оптимальных условий его осуществления.

Для этого рассмотрим физическую сущность данного условия, используя расчетную схему, приведенную на рис. 1 [3]. Принятые обозначения: $V'_{дет}$ - скорость обрабатываемой детали, м/с; x - величина линейного износа зерна, м; H - максимальная глубина внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга, отсчитывая ее от вершины исходного (неизношенного) максимально выступающего над уровнем связки зерна, м; $H_{max} = (1 - \eta) \cdot H$ - максимальная (вероятностная) толщина среза, м; $\eta = x / H$ - безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления зерна ($\eta \rightarrow 0$ - для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ - для затупленного зерна); b - максимальная высота выступания зерен над уровнем связки круга, м; Δ - толщина слоя межзеренного пространства круга, заполняемого стружками, м; 2γ - угол при вершине конусообразного режущего зерна; $V_{кр}$ - скорость круга, м/с.

Пусть связка круга с течением времени обработки изнашивается со скоростью $V_{св}$. Это может быть обусловлено работой круга в режиме самозатачивания или за счет применения непрерывной механической или электроэрозионной (электрохимической) правки алмазного круга. Тогда, для выполнения условия равномерного во времени износа круга величина $(b - H)$ должна оставаться постоянной. Это будет достигаться в том случае, если каждая точка уровня H , определяющая максимальную глубину внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга, будет перемещаться в вертикальном направлении с постоянной скоростью $V_{св}$, а параметры x , H и b будут оставаться постоянными с течением времени обработки. Скорость движения обрабатываемого

прямолинейного образца по нормали к рабочей поверхности круга при этом будет равна ($V'_{дет} + V_{св}$).

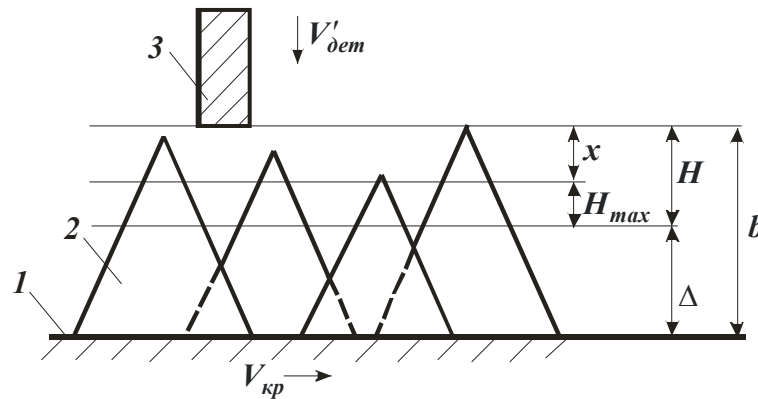


Рис. 1. Расчетная схема параметров шлифования: 1 – связка круга; 2 – зерно; 3 – обрабатываемый образец.

Тогда время контакта режущего зерна с обрабатываемым материалом до момента его выпадения из связки круга определится:

$$\tau_{св} = \frac{H}{V_{св}}. \quad (1)$$

За это время режущее зерно изнашивается на величину x , т.е. время износа зерна равно

$$\tau_{зер} = \frac{x}{V_{зер}}, \quad (2)$$

где $V_{зер}$ - средняя скорость износа зерна круга, м/с.

Из условия $\tau_{св} = \tau_{зер}$ получим:

$$V_{св} = V_{зер} \cdot \frac{H}{x} = \frac{V_{зер}}{\eta} \quad \text{или} \quad \frac{V_{зер}}{V_{св}} = \eta. \quad (3)$$

Таким образом, получена аналитическая зависимость, увязывающая параметры $V_{св}$ и $V_{зер}$.

В теории шлифования принято считать, что условием стабилизации во времени процесса шлифования является равенство скоростей износа зерен и связки круга $V_{св} = V_{зер}$. В действительности, как следует из зависимости (3), стабилизировать процесс шлифования можно при условии $V_{св} > V_{зер}$ ($0 < \eta < 1$). При условии $V_{св} = V_{зер}$ ($\eta = 1$) процесс резания при шлифовании неосуществим. Исключением является лишь процесс шлифования синтетических сверхтвердых материалов, когда практически отсутствует внедрение зерен алмазного круга в обрабатываемый материал и $x \rightarrow H$, т.е. $\eta \rightarrow 1$.

Необходимо отметить, что скорость износа зерна $V_{зер}$ зависит от величины его линейного износа x . В работе [4] показано, что с увеличением величины x скорость износа зерна $V_{зер}$ уменьшается. При этом безразмерный коэффициент $\eta = x/H$ увеличивается (при выполнении условия $H = const$). По сути,

скорость износа зерна $V_{зep}$ определяется зависимостью $V_{зep} = f(1/\eta)$. Это ведет к еще более интенсивному уменьшению скорости износа связки $V_{св}$ с увеличением безразмерного коэффициента η в соответствии с зависимостью (3). Следовательно, величина x оказывает противоположное влияние на параметры $V_{зep}$ и η . Это не нарушает закономерности изменения скорости износа связки $V_{св}$ от безразмерного коэффициента η , а лишь усиливает интенсивность изменения $V_{св}$ от η . Этим доказано, что скорость износа связки круга $V_{св}$ вполне однозначно определяется безразмерным коэффициентом η и наоборот. Уменьшить скорость износа связки $V_{св}$ можно увеличением безразмерного коэффициента η , рис. 2,а.

Проведем анализ характера изменения параметров $H, H_{max}, x = H - H_{max}$ и производительности обработки Q в связи с изменением параметров $V_{св}$ и η . Данные параметры описываются следующими зависимостями [3]:

$$H = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot b \cdot V'_{дет}}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} (1 - \eta^2)}},$$

$$H_{max} = (1 - \eta) \cdot H,$$

$$Q = V'_{дет} \cdot F = \frac{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta) \cdot F}{9 \cdot b} \cdot \left(\frac{P_{y1}}{2 \cdot \sigma_{сж}}\right)^{1,5},$$

где k - поверхностная концентрация зерен круга, шт/м²; F - площадь поперечного сечения обрабатываемого образца, м²; $\sigma_{сж}$ - предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м²; P_{y1} - радиальная составляющая силы резания, действующей на зерно, Н.

Как следует из рис. 2, уменьшение безразмерного коэффициента η вследствие увеличения скорости износа связки $V_{св}$ ведет к уменьшению параметра H (до значения H_0), к увеличению параметра H_{max} (от нуля до значения H_0), к уменьшению параметра $x \rightarrow 0$ и увеличению производительности обработки Q . Значение H_0 равно значению параметра H при $\eta=0$:

$$H_0 = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot b \cdot V'_{дет}}{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}}}.$$

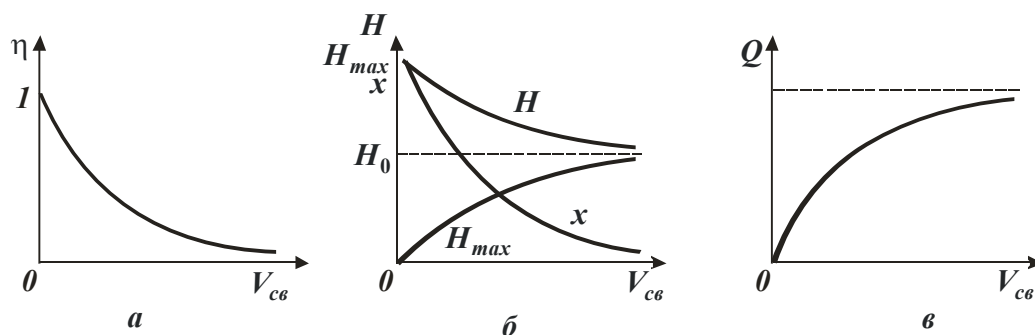


Рис. 2. Характер изменения безразмерного коэффициента η и параметров H, H_{max}, x, Q с изменением скорости износа связки круга $V_{св}$.



Рис. 3. Структурная схема, показывающая влияние скорости износа связки круга $V_{св}$ на основные параметры шлифования.

Таким образом показано, что увеличение скорости износа связки круга $V_{св}$ (например, за счет механического, электроэрозионного или электрохимического воздействия на рабочую поверхность алмазного круга) приводит к уменьшению безразмерного коэффициента η , а через него – всех основных параметров шлифования, рис. 3.

При обычном алмазном шлифовании скорость износа связки круга $V_{св}$ обусловлена интенсивностью ее трения с обрабатываемым материалом (продуктами обработки), а при алмазно-искровом шлифовании – интенсивностью электроэрозионного (ударно-термического) разрушения металлической связки круга вследствие действия возникающих электрических разрядов в зоне резания. Очевидно, с увеличением электроэрозионного воздействия на металлическую связку круга будет увеличиваться ее скорость износа и соответственно производительность обработки. Как будет показано ниже, именно этим фактором объясняется основной эффект алмазно-искрового шлифования.

Проведем теоретический анализ путей повышения производительности обработки при алмазном шлифовании изделий из высокопрочных пластичных материалов с учетом разделения максимальной высоты выступания зерен над уровнем связки b на три составляющие, равные соответственно величине линейного износа максимально выступающего над уровнем связки зерна x , максимальной толщине среза H_{max} и толщине слоя Δ , заполняемого образующимися стружками и другими продуктами обработки (рис. 1):

$$b = \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot Q}{m \cdot V_{кр} \cdot B \cdot (1 - \eta^2)}} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{t}} + \frac{Q}{V_{кр} \cdot B} \cdot \xi, \quad (4)$$

где $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$ - производительность обработки, м³/с; B - ширина круга, м; $V_{дет}$ - скорость детали при круглом наружном (внутреннем и плоском) шлифовании, м/с; t - глубина шлифования, м; \bar{X} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен круга; $\rho = 1/R_{кр} + 1/R_{дет}$; $R_{кр}$, $R_{дет}$ - соответственно радиусы круга и детали, м; ξ - коэффициент, учитывающий степень заполнения стружкой межзеренного пространства круга ($\xi > 1$).

Первое слагаемое в правой части уравнения (4) определяет глубину внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга H , а второе – высоту межзеренного пространства круга, заполняемого стружкой Δ . По мере затупления зерен (увеличения безразмерного коэффициента $\eta \rightarrow 0$) при условии $b = const$ первое слагаемое увеличивается, а второе уменьшается.

Безразмерный коэффициент ξ зависит от обрабатываемого материала. При обработке твердых сплавов и других хрупких материалов $\xi \approx 1$. При обработке пластичных материалов $\xi > 1$. Очевидно, при определенных условиях безразмерный коэффициент ξ может принимать относительно большие значения, тогда второе слагаемое уравнения (4) примет значение, близкое к величине b . В этом случае процесс шлифования практически неосуществим. Этим, собственно, и объясняется низкая эффективность алмазного шлифования высокопрочных сталей, наплавов и других пластичных материалов, когда образуются длинные стружки, полностью заполняющие межзеренное пространство алмазного круга и практически исключают участие зерен в резании.

Для эффективного ведения процесса шлифования необходимо уменьшить безразмерный коэффициент ξ , например, за счет применения алмазно-искрового шлифования, обеспечивающего частичное сгорание стружек.

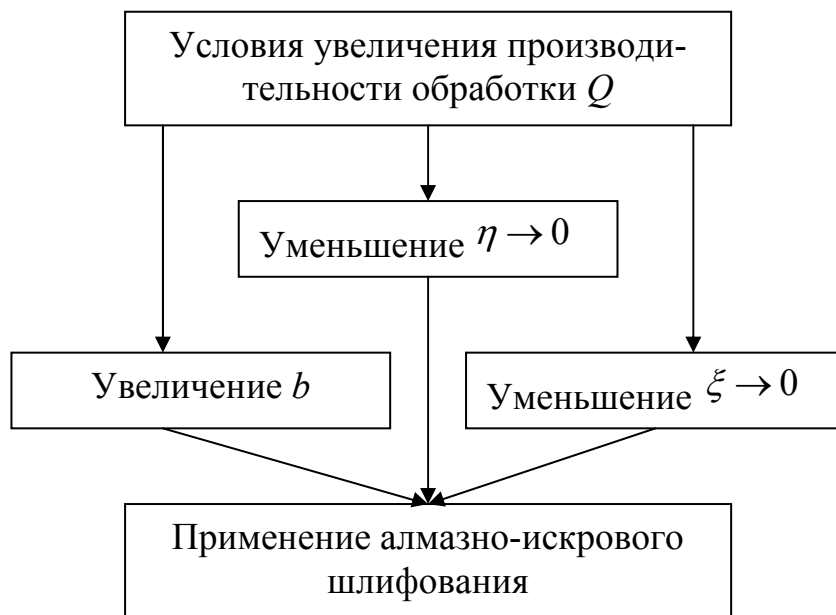


Рис. 4. Структурная схема условий увеличения производительности обработки Q .

Наибольшее влияние на производительность обработки Q оказывает безразмерный коэффициент η , т.к. при условии $\eta \rightarrow 1$ первое слагаемое уравнения (4) стремится к бесконечности.

Из этого следует, что основным условием существенного увеличения производительности обработки необходимо рассматривать обеспечение высокой остроты режущих зерен. При этом необходимо добиваться увеличенного выступания зерен над уровнем связки (увеличения b) и

увеличенного выступания зерен над уровнем связки (увеличения b) и

уменьшения коэффициента ξ . Эффективным техническим решением данной задачи является применение метода алмазно-искрового шлифования. За счет возбуждения в зоне резания электрических разрядов происходит термическое разрушение поверхностных слоев металлической связки алмазного круга и частичное сгорание (испарение) образующихся стружек обрабатываемого металла или сплава. В результате осуществляется целенаправленное принудительное удаление затупившихся зёрен, обеспечиваются основные условия повышения производительности обработки Q (рис. 4): уменьшаются безразмерные коэффициенты η и ξ , увеличивается параметр b .

Установим аналитическую зависимость, увязывающую скорость износа связки круга $V_{св}$ с удельным расходом алмаза q . Предположим, что за определенное время шлифования τ произошел полный износ алмазосодержащего слоя круга толщиной S . Масса алмазного порошка, находящегося в этом алмазосодержащем слое круга, равна $m_a = \rho_a \cdot V_a$, где ρ_a - плотность алмаза, кг/м³; V_a - объем алмазосодержащего слоя круга, занимаемый алмазным порошком

$$V_a = \pi \cdot D_{кр} \cdot B \cdot S \cdot \alpha, \quad (5)$$

$D_{кр}$, B - соответственно диаметр и ширина алмазного круга, м; α - коэффициент, учитывающий плотность связки в зависимости от концентрации алмазных зёрен в круге [5].

За время τ с обрабатываемого изделия будет снят материал массой $m_m = \rho_m \cdot V_m$, где ρ_m - плотность обрабатываемого материала, кг/м³; V_m - объем снятого материала

$$V_m = Q \cdot \tau, \quad (6)$$

Q - производительность обработки, м³/с.

Удельный расход алмаза q с учетом зависимостей (5) и (6) определится

$$q = \frac{m_a}{m_m} = \frac{\rho_a}{\rho_m} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot B \cdot \alpha}{Q} \cdot V_{св}. \quad (7)$$

В данной зависимости принято, что отношение S/τ равно скорости износа связки круга $V_{св}$, которая определяется зависимостью (3). Тогда, подставляя зависимость (3) в зависимость (7), имеем

$$q = \frac{\rho_a}{\rho_m} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot B \cdot \alpha}{Q} \cdot \frac{V_{зеп}}{\eta}. \quad (8)$$

Проведем анализ удельного расхода алмаза q с учетом изменения безразмерного коэффициента η , определяемого из уравнения (4). Для этого разрешим уравнение (4) относительно η , принимая для упрощения расчетов приближенную зависимость: $(1 - \eta^2) \approx (1 - \eta)$, тогда

$$\eta = 1 - \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot Q}{m \cdot V_{кр} \cdot B} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{t}} \cdot \frac{1}{\left(b - \frac{Q \cdot \xi}{V_{кр} \cdot B}\right)^3}. \quad (9)$$

Как следует из зависимости (9), с увеличением производительности обработки Q безразмерный коэффициент η уменьшается. Таким образом, получена аналитическая зависимость, в явном виде связывающая производительность обработки Q и безразмерный коэффициент η .

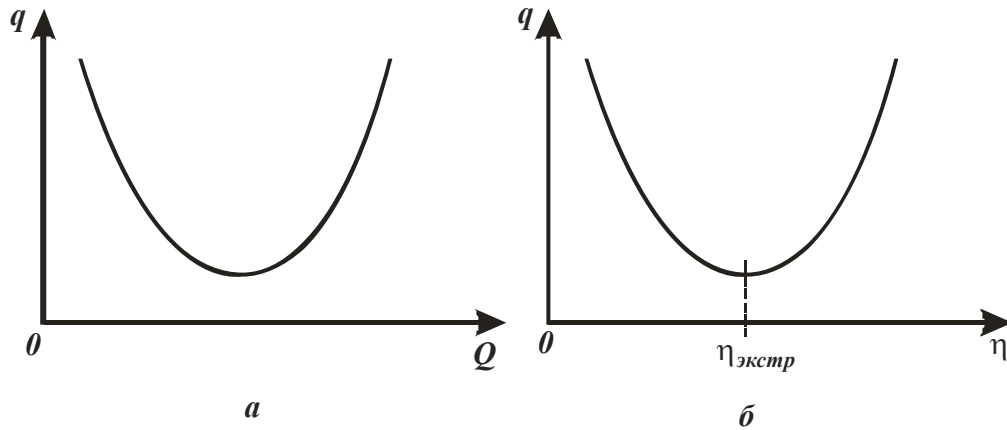


Рис. 5. Зависимости удельного расхода алмаза q от производительности обработки Q (а) и безразмерного коэффициента η (б).

Проведем анализ зависимости (7) для определения удельного расхода алмаза q с учетом зависимости (9). Для этого подставим зависимость (9) в (7):

$$q = \frac{\rho_a}{\rho_m} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot B \cdot \alpha}{Q} \cdot \frac{V_{зер}}{\left[1 - \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot Q}{m \cdot V_{кр} \cdot B} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{t}} \cdot \frac{1}{\left(b - \frac{Q \cdot \xi}{V_{кр} \cdot B} \right)^3} \right]} \quad (10)$$

С увеличением производительности обработки Q удельный расход алмаза q первоначально уменьшается, затем увеличивается, проходя точку минимума, рис. 5. Проведем исследование функции удельного расхода алмаза q на экстремум. Для этого упростим зависимость (9), принимая в первом приближении $\left(b - \frac{Q \cdot \xi}{V_{кр} \cdot B} \right) \approx b$. Тогда зависимость (9), разрешенная относительно производительности обработки Q , примет вид

$$Q = \frac{m \cdot V_{кр} \cdot B \cdot b^3 \cdot (1 - \eta)}{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3} \cdot \sqrt{\frac{t}{\rho}} \quad (11)$$

Определим удельный расход алмаза q , для чего подставим зависимость (11) в зависимость (7)

$$q = \frac{\rho_a}{\rho_m} \cdot \frac{630 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^3 \cdot D_{кр} \cdot \alpha \cdot V_{зер}}{m \cdot V_{кр} \cdot b^3} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{t}} \cdot \frac{1}{\eta \cdot (1 - \eta)} \quad (12)$$

Как следует из зависимости (12), с увеличением безразмерного коэффициента η удельный расход алмаза q проходит точку экстремума. Для определения экстремального значения $\eta_{экстр}$ про дифференцируем функцию q по безразмерному коэффициенту η и полученное выражение приравняем к нулю:

$$q'_\eta = \frac{-(1-2\eta)}{\eta^2 \cdot (1-\eta)^2} = 0, \quad \text{откуда} \quad \eta_{экстр} = 0,5. \quad (13)$$

Таким образом установлено, что в точке экстремума функции q безразмерный коэффициент η принимает значение 0,5. Подставляя в зависимость (11) это значение, можно определить экстремальное значение производительности обработки Q .

Докажем, что в точке экстремума функция q принимает минимальное (а не максимальное) значение. Для этого возьмем вторую производную от функции q по безразмерному коэффициенту η :

$$q''_\eta = \frac{\eta \cdot (1-\eta) + (1-2\eta) \cdot (1-\eta) - (1-2\eta) \cdot \eta}{\eta^4 \cdot (1-\eta)^4}. \quad (14)$$

Подставляя в зависимость (14) экстремальное значение безразмерного коэффициента $\eta_{экстр} = 0,5$, видим, что вторая производная q''_η принимает положительное значение. Следовательно, в точке экстремума удельный расход алмаза q принимает минимальное значение, что и требовалось доказать.

Определим технологическую себестоимость обработки C , для чего воспользуемся расчетной зависимостью, приведенной в работе [6]:

$$C = a_1 \cdot q + \frac{a_2}{Q \cdot \rho_m}. \quad (15)$$

где a_1 - стоимость алмаза в круге, коп/мг; a_2 - зарплата рабочего, коп/с; q - удельный расход алмаза, мг/г; Q - производительность обработки, м³/с; ρ_m - плотность обрабатываемого материала, г/м³.

Зависимость (15) содержит два слагаемых. С увеличением производительности обработки Q первое слагаемое (удельный расход алмаза q) изменяется по экстремальной зависимости (рис. 5), а второе слагаемое уменьшается. Очевидно, технологическая себестоимость обработки C также будет изменяться по экстремальной зависимости, проходя точку минимума. Однако, экстремальные значения производительности обработки Q для минимумов удельного расхода алмаза q и технологической себестоимости обработки C будут различны.

Для определения экстремального значения Q , соответствующего минимуму технологической себестоимости обработки C , про дифференцируем функцию C по параметру Q и полученное выражение приравняем нулю

$$a_1 \cdot q'_Q - \frac{a_2}{\rho_m} \cdot \frac{1}{Q^2} = 0. \quad (16)$$

Первая производная q'_Q в точке минимума удельного расхода алмаза q (рис. 5) равна нулю. Исходя из уравнения (16), выполняется условие $q'_Q > 0$. Следовательно, точка минимума технологической себестоимости обработки C расположена на восходящей (правой) ветви экстремальной зависимости $q-Q$, т.е. смещена в область больших значений производительности обработки Q , рис. 6. Показанные на рисунке значения Q_1 и Q_2 определяют экстремальные значения производительности обработки в точках минимума удельного расхода алмаза q и технологической себестоимости обработки C .

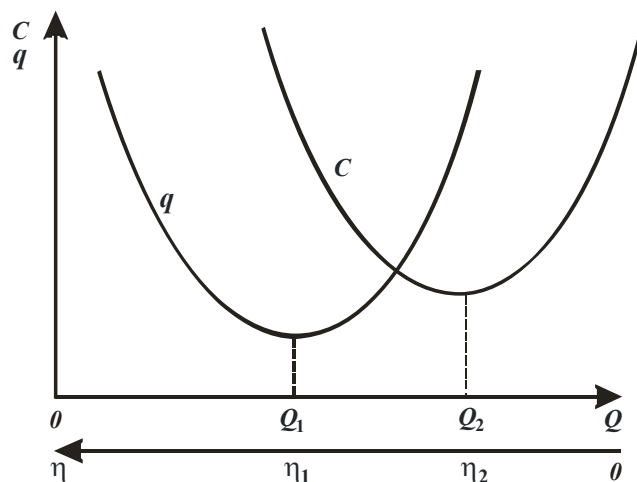


Рис. 6. Зависимости удельного расхода алмаза q и технологической себестоимости C от производительности обработки Q и безразмерного коэффициента η .

Производительность обработки Q является функцией от безразмерного коэффициента η и определяется зависимостью (9). С уменьшением безразмерного коэффициента η производительность обработки Q увеличивается. Следовательно, минимум технологической себестоимости обработки C достигается при меньших значениях безразмерного коэффициента η по сравнению с минимумом удельного расхода алмаза q , рис. 6. Показанные на рис. 6 значения η_1 и η_2 определяют экстремальные значения безразмерного коэффициента η в точках минимума удельного расхода алмаза q и технологической себестоимости обработки C . В данном случае справедливо условие $\eta_1 > \eta_2$.

Проведенные экспериментальные исследования алмазно-искрового шлифования наплавочного материала 3Х2В8 подтвердили экстремальный характер изменения технологической себестоимости обработки C от электрического параметра – напряжения U , рис. 7. При изменении напряжения U до определенного значения наблюдается уменьшение технологической себестоимости обработки C . При дальнейшем увеличении напряжения U происходит рост технологической себестоимости обработки C в связи с уменьшением безразмерного коэффициента η и интенсивным выпадением режущих зерен из связки алмазного круга. Чем прочнее металлическая связка круга, тем больше значение

напряжения U , при котором наблюдается увеличение технологической себестоимости обработки. Наибольшее экстремальное значение напряжения U имеет место для металлической связки М2-01.

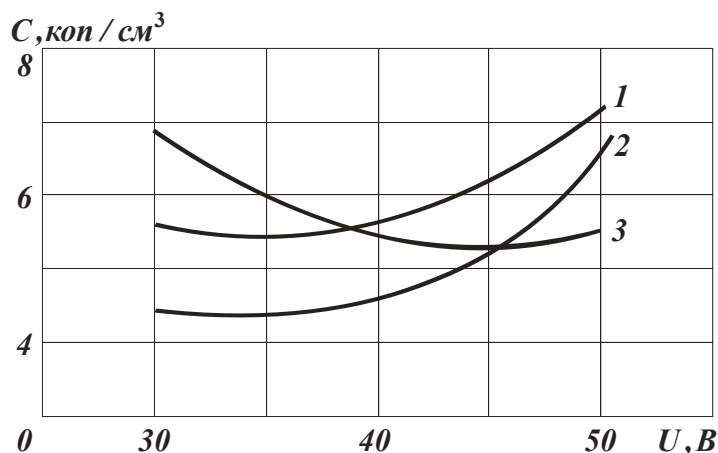


Рис. 7. Зависимости технологической себестоимости обработки C от напряжения U при алмазно-искровом шлифовании алмазными кругами на связках М2-09 (1), М1-10 (2) и М2-01 (3).

При этом экспериментально установлено, что производительность обработки Q с увеличением напряжения U увеличивается, а удельный расход алмаза q изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума. Экстремальные значения напряжения U , соответствующие точкам минимума технологической себестоимости обработки C и удельного расхода алмаза q , не совпадают. Минимум технологической себестоимости обработки C достигается при большем значении U . Это согласуется с приведенным выше теоретическим решением.

Таким образом, теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены закономерности изменения технологической себестоимости обработки, показана связь технологической себестоимости с производительностью обработки, удельным расходом алмаза и безразмерным коэффициентом η . Установлено, что безразмерный коэффициент η оказывает определяющее влияние на формирование технологической себестоимости обработки.

Проведем теоретический анализ безразмерного коэффициента η с учетом известного соотношения a_z / R , определяющего условия стружкообразования при микрорезании отдельным зерном (где $a_z = H_{max}$ - толщина среза, м; R - радиус округления вершины зерна). Для этого представим безразмерный коэффициент η в виде:

$$\eta = \frac{x}{H} = \frac{x}{x + H_{max}} = \frac{1}{1 + \frac{H_{max}}{x}}. \quad (17)$$

Используя расчетную схему, приведенную на рис. 8, получим тригонометрическое соотношение:

$$\frac{x}{x+R} = \sin \gamma, \quad \text{откуда} \quad x = \frac{R}{\left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1\right)}. \quad (18)$$

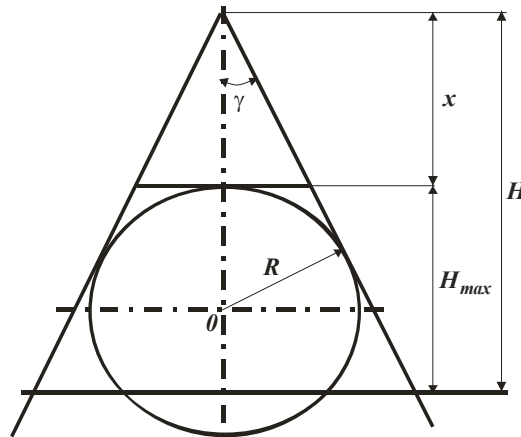


Рис. 8. Расчетная схема.

Подставляя зависимость (18) в зависимость (17), имеем

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\sin \gamma} - 1\right) \cdot \frac{a_z}{R}}. \quad (19)$$

Как следует из зависимости (19), с увеличением соотношения a_z / R безразмерный коэффициент η уменьшается.

По данным проф. Крагельского И.В., для осуществления процесса микро-резания необходимо выполнить условие $a_z / R > 0,04$. Исходя из зависимости (19), это соответствует изменению безразмерного коэффициента η в пределах 0,13...0,91, табл. 1. Чем больше соотношение a_z / R , т.е. чем интенсивнее процесс стружкообразования при шлифовании, тем меньше значения безразмерного коэффициента η и больше производительность обработки Q , исходя из уравнения (4).

Таблица 1

Расчетные значения η

γ , град	a_z / R					
	0,04	0,01	0,2	0,3	0,5	1,0
45	0,91	0,805	0,67	0,58	0,45	0,29
60	0,78	0,6	0,43	0,33	0,23	0,13

Наибольшему значению $\eta=0,91$ (при $\gamma=45^\circ$) соответствует наименьшее значение $a_z / R=0,04$. Такое же значение η получено экспериментально при шлифовании алмазными зернами с искусственно созданными на них площад-

ками. При этом, по данным Дитиненко С.А. [7], удалось уменьшить шероховатость обработки до значения $R_a=0,1$ мкм. Начальное значение параметра R_a (при $\eta=0$) составляло 2,0 мкм, т.е. шероховатость обработки уменьшилась более чем в 10 раз.

Установленная связь безразмерного коэффициента η и соотношения a_z / R позволяет оценить возможности осуществления процесса микрорезания при шлифовании для конкретных значений η , полученных, например, исходя из минимума технологической себестоимости обработки (как это показано во втором разделе) или из условия обеспечения заданной шероховатости и т.д.

Иными словами, установленные по какому-либо критерию оптимальные значения безразмерного коэффициента η необходимо проверить с точки зрения выполнения условия $a_z / R > 0,04$. Поскольку при невыполнении данного условия процесс микрорезания неосуществим, необходимо корректировать установленные значения η .

Таким образом, в работе разработана аналитическая модель и проведен анализ параметров устойчивого во времени процесса алмазного шлифования, определены технологические возможности повышения его эффективности.

Список литературы:

1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Харьк. гос. техн. ун-т. - Харьков, 1995. – 56 с.
2. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. – К.: Техніка, 1980. – 212 с.
3. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: Автореф. дис....докт. техн. наук: 05.03.01 / Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с.
4. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. –184 с.
5. Кашук В.А., Мелехин А.Д., Бармин Б.П. Справочник заточника. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.
6. Израилович М.Я. Оптимизация процессов механической обработки алмазным и твердосплавным инструментом. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 44 с.
7. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Технология и теория прецизионной обработки твердосплавных инструментов алмазными кругами на металлических связках // Труды 8-й Межд. научн.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 34-39.
8. Новиков Ф.В., Гуцаленко Ю.Г. Формирование рабочей поверхности алмазного круга в процессе шлифования // Вісник НТУ “ХП” Збірник наукових праць. Тем. вип.: Технології в машинобудуванні. –2002. - № 9, т. 10. – С. 115-120.