

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, проф.

(Харьковский национальный экономический университет)

Андилахай В.А.

(Приазовский государственный технический университет)

In-process in theory the basic terms of diminishing of power-hungryness of treatment are reasonable at polishing

Шлифование из всех видов механической обработки характеризуется наибольшей энергоемкостью, что предопределяет его повышенную тепловую напряженность и образование на обрабатываемых поверхностях температурных дефектов. Многочисленными работами доказано, что основным источником высокой энергоемкости обработки при шлифовании является трение связки круга с обрабатываемым материалом [1, 2]. Чтобы уменьшить его интенсивность, разработаны эффективные технологические средства, состоящие в применении прогрессивных методов правки круга и его импрегнации (термообработке), использовании твердых смазок и других технологических сред в зоне резания, создании кругов с прерывистой рабочей поверхностью и т.д. Вместе с тем, проблема снижения энергоемкости обработки в полной мере не решена и требует дальнейших исследований, особенной в плане аналитического описания энергоемкости обработки при шлифовании, что позволит научно обоснованно подойти к определению условий ее уменьшения. Поэтому целью настоящей работы является теоретическое обоснование условий уменьшения энергоемкости обработки при шлифовании.

В работе [3] приведены аналитические зависимости для определения коэффициента шлифования $K_{ш}$ и условного напряжения резания σ (энергоемкости обработки) при шлифовании:

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{P_{zp} + P_{zmp}}{P_{yp} + P_{ymp}} = K_{шp} \cdot \left(1 - \frac{P_{ymp}}{P_y}\right) + f \cdot \frac{P_{ymp}}{P_y}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_{mp} = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{шp}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{ymp}} - 1\right)}, \quad (2)$$

где P_{zp} , P_{yp} – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания в зоне стружкообразования, Н; P_{zmp} , P_{ymp} – тангенциальная и радиальная составляющие силы трения обрабатываемого материала со связкой круга, Н; $K_{шp} = P_{zp} / P_{yp}$; $f = P_{zmp} / P_{ymp}$ – коэффициент трения; $\sigma_p = P_{zp} / S_{сум}$,

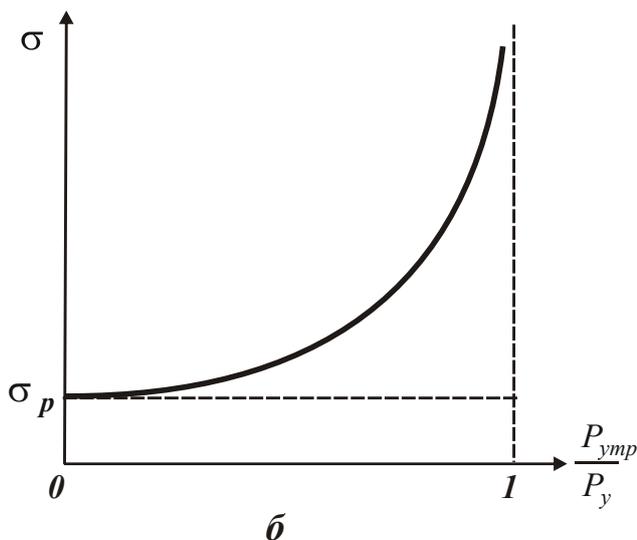
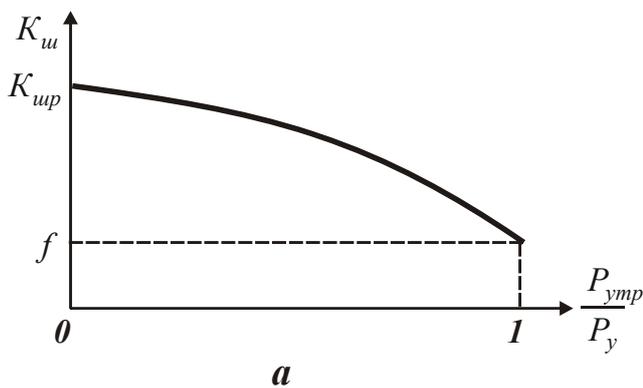


Рис. 1. Зависимости $K_{uи}$ (а) и σ (б) от $P_{умр} / P_y$.

$\sigma_{тр} = P_{змп} / S_{сум}$ – составляющие условного напряжения резания, обусловленные процессами резания и трения обрабатываемого материала со связкой круга, Н/м^2 ; $S_{сум} = Q / V_{кр}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м^2 ; Q – производительность обработки, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с .

Как видно, параметры $K_{uи}$ и σ обусловлены соотношением $P_{умр} / P_y$ (рис. 1). С его увеличением от 0 до 1 параметр σ неограниченно увеличивается. Это свидетельствует о преобладании в общем энергетическом балансе процесса шлифования доли энергии трения связки круга с обрабатываемым материалом, которая, как установлено экспериментально, при алмазном шлифовании может превышать долю энергии резания зернами круга до 100 раз. Полученное теоретическое решение согласуется с известными экспериментальными данными.

С учетом зависимостей (1) и (2) определим соотношение $\sigma / K_{uи}$:

$$\frac{\sigma}{K_{uи}} = \frac{\sigma_p \cdot \left[1 + \frac{f}{K_{uир}} \cdot \frac{\left(\frac{P_{умр}}{P_y} \right)}{\left(1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)} \right]}{\left[K_{uир} \cdot \left(1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right) + f \cdot \frac{P_{умр}}{P_y} \right]} = \frac{\sigma_p}{K_{uир}} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)}. \quad (3)$$

Графически зависимость (3) показана на рис. 2, из которого следует, что с увеличением соотношения $P_{умр} / P_y$ от 0 до 1 соотношение $\sigma / K_{uи}$ увеличивается от значения $\sigma_p / K_{uир}$ до бесконечности. Следовательно, наличие трения связки круга с обрабатываемым материалом при шлифовании приводит к существенному увеличению соотношения $\sigma / K_{uи}$ и соответственно силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. Поэтому основным путем уменьшения соотношения $\sigma / K_{uи}$ является уменьшение $P_{умр} / P_y \rightarrow 0$ (табл. 1), т.к. уменьше-

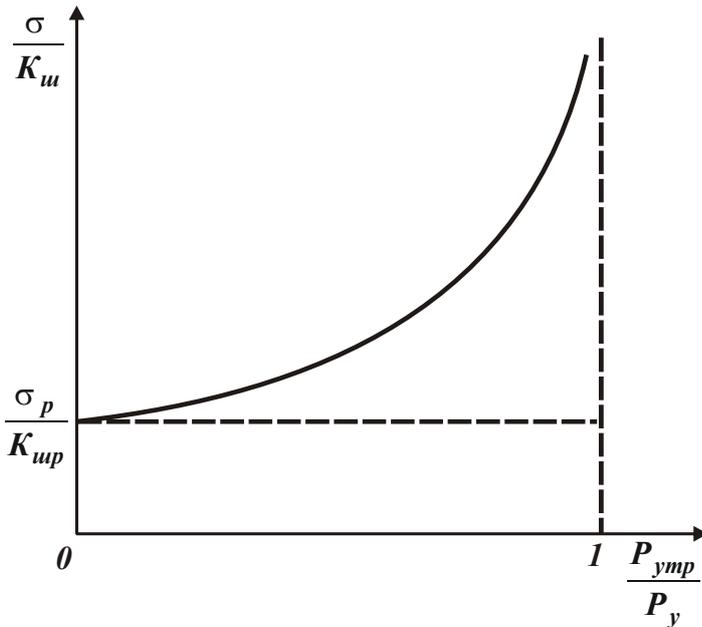


Рис. 2. Зависимость σ / K_u от $P_{умр} / P_y$.

определить соотношение $P_{умр} / P_y$ и таким образом оценить долю энергии трения связки круга с обрабатываемым материалом в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

ние $\sigma_p / K_{умр}$ (за счет повышения остроты режущих зерен круга) не приводит к столь существенному уменьшению σ / K_u .

В отличие от зависимостей (1) и (2), зависимость (3) не содержит параметр f , что позволяет более просто и однозначно оценить энергетический уровень процесса шлифования. Располагая экспериментальными значениями $\sigma_p / K_{умр}$ и σ / K_u в начальный и текущий моменты шлифования, по зависимости (3) не сложно определить

Таблица 1

Расчетные значения безразмерной величины $1 / \left(1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)$

$\frac{P_{умр}}{P_y}$	0	0,25	0,5	0,75	1,0
$1 / \left(1 - \frac{P_{умр}}{P_y} \right)$	1	1,33	2,0	4,0	∞

Преобразуем зависимость (2) с учетом следующего выражения: $P_y = P_{ур} + P_{умр} = c \cdot y_1 + c \cdot y_2$, учитывающего как процесс трения связки круга с обрабатываемым материалом, так и процесс резания зернами круга. Здесь величины y_1 и y_2 определяют упругие перемещения, образующиеся в технологической системе под действием составляющих силы резания $P_{ур}, P_{умр}$, а c – жесткость технологической системы, Н/м. При этом суммарное упругое перемещение равно $y = y_1 + y_2$.

Предположим, что на первом проходе круга $y = t - t_\phi$, где t, t_ϕ – соответственно номинальная и фактическая глубины шлифования, м. Фактическая глубина шлифования обусловлена прочностными свойствами рабочей поверхности круга. Тогда $y_1 = \alpha \cdot (t - t_\phi)$; $y_2 = (1 - \alpha) \cdot (t - t_\phi)$, где $\alpha = 0 \dots 1$ – безразмерная величина.

Будем считать, что на втором проходе круга $y = 2 \cdot (t - t_\phi)$. Тогда $y_1 = \alpha \cdot (t - t_\phi)$; $y_2 = (1 - \alpha) \cdot (t - t_\phi) + (t - t_\phi) = (2 - \alpha) \cdot (t - t_\phi)$.

На n -м проходе круга $y = n \cdot (t - t_\phi)$. Тогда $y_1 = \alpha \cdot (t - t_\phi)$; $y_2 = (1 - \alpha) \cdot (t - t_\phi) + (n - 1) \cdot (t - t_\phi) = (n - \alpha) \cdot (t - t_\phi)$.

Соотношение $\frac{P_{ymp}}{P_y} = \frac{y_2}{y_1 + y_2} = 1 - \frac{\alpha}{n}$. Следовательно, с увеличением n

данное соотношение увеличивается фактически от 0 до 1, что соответствует реальным условиям шлифования. Тогда

$$\frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{ymp}} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{y_1 + y_2}{y_2} - 1\right)} = \frac{y_2}{y_1} = \frac{n}{\alpha} - 1. \quad (4)$$

Соответственно зависимость (2) примет вид

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{ур}} \cdot \left(\frac{n}{\alpha} - 1\right). \quad (5)$$

Как видно, с увеличением n энергоемкость обработки σ увеличивается.

При условии $\left(\frac{n}{\alpha} - 1\right) > \frac{K_{ур}}{f}$ второе слагаемое зависимости (2), обусловленное трением связки круга с обрабатываемым материалом, больше первого слагаемого. Преобразуем составляющую энергоемкости обработки σ_p [4]:

$$\sigma_p = \frac{P_{zp} \cdot V_{кр}}{Q_\phi} = \frac{K_{ур} \cdot P_{ур} \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дем} \cdot t_\phi} = \frac{K_{ур} \cdot c \cdot y_1 \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дем} \cdot t_\phi} = \frac{K_{ур} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot \alpha}{H \cdot V_{дем}} \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1\right), \quad (6)$$

где $Q_\phi = H \cdot V_{дем} \cdot t_\phi$ – фактическая производительность обработки, м³/с; H – ширина шлифования, м; $V_{дем}$ – скорость детали, м/с.

Подставляя зависимость (6) в (5), имеем

$$\sigma = \sigma_p + \frac{c \cdot f \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дем}} \cdot (n - \alpha) \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1\right). \quad (7)$$

Второе слагаемое зависимости (7) равно величине σ_{mp} . С увеличением n энергоемкость обработки σ неограниченно увеличивается. Следовательно, основными путями уменьшения σ являются обеспечение примерного равенства значений t_ϕ и t , а также исключение влияния n на σ за счет поддержания в процессе шлифования в технологической системе заданного натяга, определяемого прочностными свойствами рабочей поверхности круга. Тогда $n = 1$ и за счет увеличения величины $\alpha \rightarrow 1$ можно практически исключить второе слагаемое зависимости (7), т.е. существенно уменьшить трение связки круга с обрабатываемым материалом. Энергоемкость обработки σ в этом случае будет обусловлена процессом резания, что позволит уменьшить силы и температуру шлифования и практически реализовать схему глубинного шлифования.

Используя зависимость (1) и выражение $\frac{P_{ymp}}{P_y} = \frac{y_2}{y_1 + y_2} = 1 - \frac{\alpha}{n}$, определим коэффициент шлифования

$$K_{ш} = K_{шр} \cdot \frac{\alpha}{n} + f \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{n}\right). \quad (8)$$

Как видно, с увеличением n коэффициент шлифования $K_{ш}$ уменьшается главным образом за счет уменьшения первого слагаемого, приближаясь к значению коэффициента трения f связки круга с обрабатываемым материалом.

Соотношение $\sigma / K_{ш}$, определяемое (3), примет вид

$$\frac{\sigma}{K_{ш}} = \frac{\sigma_p}{K_{шр}} \cdot \frac{n}{\alpha} = \frac{c \cdot V_{кр}}{H \cdot V_{дет}} \cdot n \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1\right). \quad (9)$$

В данном случае соотношение $\sigma / K_{ш}$, также как и параметры σ и $K_{ш}$, определяется количеством проходов круга n и t/t_ϕ . Уменьшить $\sigma / K_{ш}$ и соответственно повысить эффективность шлифования можно уменьшением n и t/t_ϕ . Таким образом в работе аналитически описаны энергетические параметры обработки и обоснованы условия уменьшения энергоемкости шлифования.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 139 с. 3. Новиков Ф.В. Обоснование оптимальной кинематической схемы круглого шлифования по критериям качества и производительности обработки / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 106. – С. 52-67. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.