

Новиков Ф.В.

ХНЭУ им. Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

Андилахай В.А.

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Введение

Снижение силовой напряженности процесса шлифования является основным условием его эффективного применения для обеспечения высоких показателей качества и производительности обработки. Однако до настоящего времени в научно-технической литературе отсутствуют аналитические зависимости для определения важнейшего параметра механической обработки – условного напряжения резания (энергоемкости обработки) с учетом закономерностей процессов резания и трения. Это не позволяет научно обосновано подходить к анализу процессов резания и шлифования для выявления и реализации их потенциальных возможностей, выбору оптимальных условий обработки. Традиционно считается, что более высокие значения условного напряжения резания (энергоемкости обработки) при шлифовании обусловлены отрицательными передними углами режущих зерен. В действительности, процесс шлифования подчиняется более сложным закономерностям, поскольку условное напряжение резания (энергоемкость обработки) в общем случае обусловлено не только процессом резания зернами круга, но и трением обрабатываемого материала (образующихся стружек) со связкой круга. Причем, доля трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования значительно больше доли энергии резания [1–3]. Это обусловлено, в первую очередь, существованием так называемой предельной производительности обработки, определяемой высотой выступания режущих зерен над уровнем связки круга. Превышение предельной производительности обработки приводит к интенсивному трению обрабатываемого материала (образующихся стружек) со связкой круга и возникновением значительных упругих перемещений в технологической системе. Это вызывает увеличение силы и температуры резания, ухудшает качество обработки и снижает производительность шлифования. В связи с этим важно оценить доли процессов резания и трения в общем энергетическом балансе шлифования. Поэтому в настоящей работе предложен теоретический подход к определению условного напряжения резания (энергоемкости обработки) и проведен анализ закономерностей его изменения с точки зрения уменьшения силовой напряженности процесса шлифования и повышения качества и производительности обработки. Цель работы – обоснование условий снижения силовой напряженности процесса шлифования на основе теоретического анализа закономерностей механики резания.

Основная часть

В научно-технической литературе известны решения о раздельном учете доли резания и доли трения в общем энергетическом балансе процесса шлифования. Однако в силу упрощенного подхода они не позволяют раскрыть физическую сущность взаимодействия круга с обрабатываемым материалом. Например, в работе [4] коэффициент шлифования $K_{ш}$ рассматривается в виде суммы коэффициента трения связки круга с обрабатываемым материалом f и коэффициента “чистого” резания $K_{шр}$ (без учета трения), т.е.

$$K_{ш} = f + K_{шр} \quad (1)$$

Вместе с тем, коэффициент шлифования $K_{ш}$ аналитически описывается более сложной зависимостью:

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{P_{zр} + P_{zмп}}{P_{yр} + P_{yмп}}, \quad (2)$$

где $P_{zр}$, $P_{yр}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания в зоне стружкообразования, Н; $P_{zмп}$, $P_{yмп}$ – тангенциальная и радиальная составляющие силы трения обрабатываемого материала со связкой круга, Н.

Из зависимости (2) вытекает, что отношение (1) справедливо при условии $P_{yмп} = 0$. Однако это противоречит физическому смыслу, так как при контакте обрабатываемого материала со связкой круга возникает сила $K_{ш} = f > 0$, которая и создает силу трения $P_{zмп} = f \cdot P_{yмп}$. В противном случае $P_{zмп} = 0$ и трение материала со связкой круга отсутствует, что не соответствует практике шлифования.

Для установления закономерностей изменения $K_{ш}$ тангенциальную составляющую силы резания $P_z = P_{zр} + P_{zмп}$ следует представить в виде [5]:

$$K_{ш} \cdot P_y = K_{шр} \cdot P_{yр} + f \cdot P_{yмп}, \quad (3)$$

где $K_{шр} = P_{zр} / P_{yр}$; $f = P_{zмп} / P_{yмп}$ – коэффициент трения обрабатываемого материала со связкой круга.

С учетом $P_{y_{mp}} = P_y - P_{y_p}$ зависимость (3) можно преобразовать

$$\frac{(K_{u_p} - K_{u_i})}{(K_{u_p} - f)} = \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}. \quad (4)$$

В итоге получена достаточно сложная зависимость, увязывающая четыре неизвестных параметра: K_{u_i} , K_{u_p} , f и $P_{y_{mp}}$ с одним известным параметром P_y . Необходимо провести анализ данной зависимости для двух случаев: $P_{y_{mp}}/P_y=0$ и $P_{y_{mp}}/P_y<1$. Первый случай предполагает отсутствие трения связки круга с обрабатываемым материалом, в результате чего выполняется условие $K_{u_i} = K_{u_p}$. Во втором случае справедливо условие: $K_{u_p} - K_{u_i} < K_{u_p} - f$ или $K_{u_i} > f$. Причем, с увеличением соотношения $P_{y_{mp}}/P_y$ расхождение параметров K_{u_i} и K_{u_p} усиливается, однако, до определенного предела $K_{u_i} \rightarrow f$, т.к. при условии $K_{u_i} < f$ числитель зависимости (4) становится больше знаменателя, а это теряет физический смысл. Из этого вытекает, что при $P_{y_{mp}}/P_y \rightarrow 1$ справедливо условие $K_{u_i} \rightarrow f$. В обобщенном виде характер зависимости коэффициента шлифования K_{u_i} от соотношения $P_{y_{mp}}/P_y$ при одинаковом значении K_{u_p} показан на рис. 1, а. Как видно, увеличение коэффициента шлифования K_{u_i} предполагает уменьшение соотношения $P_{y_{mp}}/P_y$, что соответствует уменьшению доли энергии трения связки круга с обрабатываемым материалом в общем энергетическом балансе процесса шлифования и повышению эффективности обработки. Для удобства анализа зависимость (2) может быть представлена в виде

$$K_{u_i} = K_{u_p} \cdot \left(1 - \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}\right) + f \cdot \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}. \quad (5)$$

При $P_{y_{mp}}/P_y=0$ справедливо условие $K_{u_i} = K_{u_p}$. При увеличении отношения $P_{y_{mp}}/P_y \rightarrow 1$ первое слагаемое зависимости (5) уменьшается до нуля, а второе увеличивается до значения f . Следовательно, имеет место экстремальная зависимость коэффициента шлифования K_{u_i} от отношения $P_{y_{mp}}/P_y$. Для определения экстремума функции K_{u_i} подчиним ее необходимому условию экстремума. Для этого возьмем первую производную от функции K_{u_i} по переменной величине $P_{y_{mp}}/P_y$ и полученное выражение приравняем нулю. В результате установлено, что $K_{u_i} = f$.

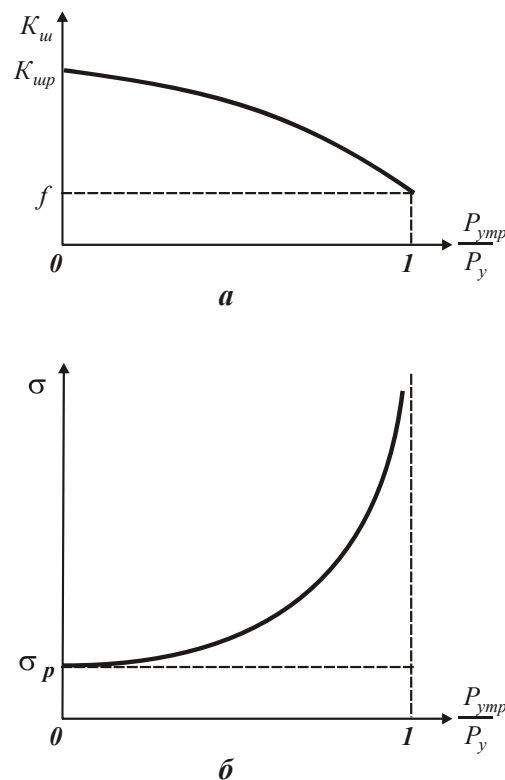


Рис. 1. Общий вид зависимостей K_{u_i} (а) и σ (б) от $P_{y_{mp}}/P_y$.

Вторая производная от функции K_{u_i} по переменной $P_{y_{mp}}/P_y$ равна нулю. Следовательно, экстремум функции K_{u_i} по переменной величине $P_{y_{mp}}/P_y$ отсутствует. Поэтому коэффициент шлифования K_{u_i} с увели-

чением соотношения $P_{y_{mp}}/P_y$ (от 0 до 1) будет непрерывно уменьшаться от значения K_{u_p} до значения f , т.е. при $P_{y_{mp}}/P_y \rightarrow 1$ выполняется условие $K_{u_{\text{ш}}} \rightarrow f$, что соответствует графику, приведенному на рис. 1,а.

Условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) σ описывается следующей аналитической зависимостью: $\sigma = P_z / S_{\text{сум}}$. С учетом $P_z = P_{z_p} + P_{z_{mp}}$, имеем

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_{mp}, \quad (6)$$

где $\sigma_p = P_{z_p} / S_{\text{сум}}$; $\sigma_{mp} = P_{z_{mp}} / S_{\text{сум}}$; $S_{\text{сум}}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зёрнами круга, м².

Выражая

$$P_{z_{mp}} = f \cdot P_{y_{mp}} = f \cdot (P_y - P_{y_p}) = f \cdot \left(\frac{P_z}{K_{u_{\text{ш}}}} + \frac{P_{z_p}}{K_{u_p}} \right) \quad (7)$$

и подставляя зависимость (7) в (6), получено уравнение относительно неизвестной величины σ :

$$\sigma = \sigma_p + f \cdot \left(\frac{\sigma}{K_{u_{\text{ш}}}} + \frac{\sigma_p}{K_{u_p}} \right). \quad (8)$$

Разрешая полученное уравнение (8) относительно σ , имеем:

$$\sigma = \sigma_p \cdot \frac{\left(1 - \frac{f}{K_{u_p}} \right)}{\left(1 - \frac{f}{K_{u_{\text{ш}}}} \right)}. \quad (9)$$

Таким образом, установлена аналитическая зависимость для определения условного напряжения резания (энергоёмкости обработки) при шлифовании. Переменным параметром здесь является коэффициент шлифования $K_{u_{\text{ш}}}$. Нетрудно видеть, что с уменьшением коэффициента шлифования $K_{u_{\text{ш}}}$ параметр σ увеличивается.

Подчиним зависимость (9) расчетным данным, приведенным на рис. 1,а, согласно которым $K_{u_{\text{ш}}}$ изменяется в пределах от значения K_{u_p} до значения f . Поэтому при условии $K_{u_{\text{ш}}} = K_{u_p}$, имеем $\sigma = \sigma_p$, а при условии $K_{u_{\text{ш}}} \rightarrow f$ соответственно $\sigma \rightarrow \infty$ (рис. 1,б). Следовательно, с увеличением соотношения $P_{y_{mp}}/P_y$, т.е. с переходом от процесса резания к процессу трения связки круга с обрабатываемым материалом условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) σ неограниченно увеличивается. Собственно этим объясняется высокая силовая и тепловая напряженность процесса шлифования и возникающие на обрабатываемых поверхностях прижоги и другие температурные дефекты. Поэтому уменьшить энергоёмкость обработки при шлифовании можно, прежде всего, за счет снижения интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом, т.е. за счет уменьшения в зависимости (20) второго слагаемого σ_{mp} .

Зависимость (9) можно представить в виде суммы двух слагаемых ($\sigma = \sigma_p + \sigma_{mp}$), обусловленных процессами резания и трения связки круга с материалом:

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{\left(1 - \frac{f}{K_{u_p}} \right)}{\left(1 - \frac{f}{K_{u_{\text{ш}}}} \right)} - \sigma_p = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{\left(\frac{1}{K_{u_{\text{ш}}} - \frac{1}{K_{u_p}}} \right)}{\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{K_{u_{\text{ш}}}} \right)} = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{u_p}} \cdot \frac{(K_{u_p} - K_{u_{\text{ш}}})}{(K_{u_{\text{ш}}} - f)}. \quad (10)$$

В результате получена зависимость, в которой первое и второе слагаемые связаны между собой. Очевидно, второе слагаемое больше первого, т.к. изменяется от значения σ_p (при $K_{u_{\text{ш}}} = K_{u_p}$) до бесконечности (при $K_{u_{\text{ш}}} = f$). Выражая $K_{u_{\text{ш}}}$ через $P_{y_{mp}}/P_y$, определяемое зависимостью (5), получено:

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{u_p}} \cdot \frac{\left(\frac{P_{y_{mp}}}{P_y} \right)}{\left(1 - \frac{P_{y_{mp}}}{P_y} \right)} = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{u_p}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{y_{mp}}} - 1 \right)}. \quad (11)$$

Как видно, при условии $P_{y_{mp}}/P_y = 0$, имеем $\sigma = \sigma_p$, а при условии $P_{y_{mp}}/P_y = 1$ соответственно $\sigma \rightarrow \infty$. Аналогичный результат был получен выше на основе анализа зависимости (7), графически представленной на рис. 1,б. Таким образом, из зависимости (11) следует, что уменьшить условное напряжение резания (энергоём-

кость обработки) σ можно путем уменьшения параметров $P_{y_{mp}}/P_y$, σ_p , f и увеличением $K_{шp}$. Это согласуется с практикой алмазного и абразивного шлифования. В табл. 1 приведены расчетные значения безразмерной величины $\alpha = \frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{y_{mp}}} - 1\right)}$, входящей в зависимость (11).

$$\alpha = \frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{y_{mp}}} - 1\right)}$$

Таблица 1

Расчетные значения безразмерной величины α					
$P_{y_{mp}}/P_y$	0	0,25	0,5	0,75	1,0
α	0	0,33	1,0	3,0	∞

Учитывая то, что отношение $f/K_{ш}$ может изменяться приблизительно в пределах 0,3...1,0, первое и второе слагаемые зависимости будут равны между собой при условии $P_{y_{mp}}/P_y \approx 0,5...0,75$. При превышении данных значений $P_{y_{mp}}/P_y$ второе слагаемое зависимости больше первого и условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) σ неограниченно увеличивается. Таким образом показано, что условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) σ вполне однозначно определяется соотношением $P_{y_{mp}}/P_y$. С его увеличением параметр σ неограниченно увеличивается, что обусловлено преобладанием энергии трения связки круга с материалом в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

В работах [5, 6] показано, что основные параметры шлифования аналитически определяются отношением $\sigma/K_{ш}$. Поэтому необходимо получить его аналитическое выражение. С учетом зависимостей (5) и (6) имеем:

$$\frac{\sigma}{K_{ш}} = \frac{\sigma_p \cdot \left[1 + \frac{f}{K_{шp}} \cdot \frac{\left(\frac{P_{y_{mp}}}{P_y}\right)}{\left(1 - \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}\right)} \right]}{\left[K_{шp} \cdot \left(1 - \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}\right) + f \cdot \frac{P_{y_{mp}}}{P_y} \right]} = \frac{\sigma_p}{K_{шp}} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}\right)}. \quad (12)$$

Графически зависимость (12) показана на рис. 2. Как видно, с увеличением отношения $P_{y_{mp}}/P_y$ от 0 до 1 отношение $\sigma/K_{ш}$ увеличивается от значения $\sigma_p/K_{шp}$ до бесконечности. Поэтому наличие трения связки круга с обрабатываемым материалом при шлифовании приводит к существенному увеличению отношения $\sigma/K_{ш}$ и, соответственно, к повышению силовой и тепловой напряженности процесса шлифования. Следовательно, основным путем уменьшения отношения $\sigma/K_{ш}$ является уменьшение $P_{y_{mp}}/P_y \rightarrow 0$ (табл. 2), поскольку уменьшение отношения $\sigma_p/K_{шp}$ (за счет повышения остроты режущих зерен круга) не приводит к столь существенному уменьшению отношения $\sigma/K_{ш}$.

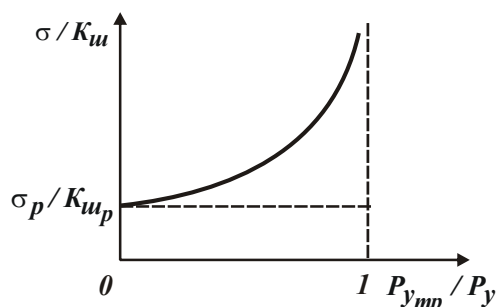


Рис. 2. Зависимость $\sigma/K_{ш}$ от $P_{y_{mp}}/P_y$

В отличие от зависимостей (5) и (11), зависимость (12) не содержит параметр f . Это позволяет более просто и однозначно оценить энергетический уровень процесса шлифования. Располагая экспериментальными значениями отношений $\sigma_p/K_{шp}$ и $\sigma/K_{ш}$ в начальный и текущий моменты шлифования, используя зависимость (12), не сложно определить отношение $P_{y_{mp}}/P_y$ и таким образом оценить долю энергии трения связки круга с обрабатываемым материалом в энергетическом балансе процесса шлифования.

Расчетные значения безразмерной величины $1/(1 - P_{y_{mp}}/P_y)$

$P_{y_{mp}}/P_y$	0	0,25	0,5	0,75	1,0
$1/(1 - P_{y_{mp}}/P_y)$	1	1,33	2,0	4,0	∞

Зависимость (11) можно преобразовать с учетом следующих выражений: $P_y = P_{y_p} + P_{y_{mp}} = c \cdot y_1 + c \cdot y_2$; $y_1 = t - t_\phi$; $y_2 = n \cdot (t - t_\phi)$, где y_1 и y_2 – упругие перемещения, возникающие в технологической системе, от действия сил P_{y_p} и $P_{y_{mp}}$; t_ϕ – фактическая глубина шлифования; n – количество проходов круга. Тогда

$$\frac{1}{\left(\frac{P_{y_{mp}}}{P_y} - 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{y_1 + y_2}{y_2} - 1\right)} = \frac{y_2}{y_1} = n; \quad (13)$$

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{шp}} \cdot n. \quad (14)$$

В зависимости (14) роль безразмерной величины α выполняет параметр n . С его увеличением условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) σ неограниченно увеличивается. При условии $n > K_{шp} / f$ второе слагаемое зависимости (11), обусловленное трением связки круга с обрабатываемым материалом, больше первого слагаемого. Преобразуя параметр σ_p :

$$\sigma_p = \frac{P_{z_p} \cdot V_{кр}}{Q_\phi} = \frac{K_{шp} \cdot P_{y_p} \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дет} \cdot t_\phi} = \frac{K_{шp} \cdot c \cdot y \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дет} \cdot t_\phi} = \frac{K_{шp} \cdot c \cdot (t - t_\phi) \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дет} \cdot t_\phi} = \frac{K_{шp} \cdot c \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дет}} \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1\right) \quad (15)$$

и подставляя зависимость (15) в (14), имеем

$$\sigma = \sigma_p + \frac{c \cdot f \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дет}} \cdot n \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1\right). \quad (16)$$

Второе слагаемое зависимости (16) равно величине σ_{mp} . Таким образом показано, что с физической точки зрения условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) обусловлено различием фактической и номинальной глубин шлифования t_ϕ/t , а также количеством проходов круга n . При условии $t_\phi \rightarrow t$, что достигается обеспечением высокой режущей способности круга, условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) уменьшается до значения σ_p .

Выводы

Аналитически установлено, что условное напряжение резания (энергоёмкость обработки) при шлифовании в общем виде определяется соотношением радиальной составляющей силы резания, обусловленной трением связки круга с обрабатываемым материалом, и суммарной радиальной составляющей силы резания. Показано, что увеличение данного соотношения в пределах от 0 до 1 вызывает неограниченное увеличение условного напряжения резания, что и является причиной его чрезвычайно высоких значений при шлифовании, достигаемых на практике. Получена аналитическая зависимость для определения условного напряжения резания с учетом упругих перемещений, возникающих в технологической системе, фактической глубины шлифования и количества проходов круга. Теоретически обоснованы основные условия уменьшения условного напряжения резания (энергоёмкости обработки), состоящие в обеспечении примерного равенства фактической и номинальной глубин шлифования, применении относительно мягких кругов, полностью или частично компенсирующих возникновение упругих перемещений в технологической системе за счет работы круга в режиме самозатачивания.

Перечень источников литературы: 1. Маслов Е. Н. Теория шлифования металлов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с. 2. Лурье Г. Б. Шлифование металлов / Г. Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с. 3. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко. – К.: Наук. думка, 1994. – 180 с. 4. Узунян М. Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М. Д. Узунян. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2003. – 359 с. 5. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.03.01 / Ф.В. Новиков. – Одесса: ОГПУ, 1995. – 36 с. 6. Новиков Ф.В. Оптимизация структуры и параметров операций шлифования плоских и внутренних цилиндрических поверхностей деталей / Ф.В. Новиков, Р.А. Бережной. // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 101. – С. 28-39.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Ф. В., Андилахай В.А.

В работе аналитически установлено, что условное напряжение резания (энергоемкость обработки) при шлифовании в общем виде определяется соотношением радиальной составляющей силы резания, обусловленной трением связки круга с обрабатываемым материалом, и суммарной радиальной составляющей силы резания. Показано, что увеличение данного соотношения в пределах от 0 до 1 вызывает неограниченное увеличение условного напряжения резания (энергоемкости обработки), что и является причиной его чрезвычайно высоких значений при шлифовании, достигаемых на практике. Получена аналитическая зависимость для определения условного напряжения резания (энергоемкости обработки) с учетом упругих перемещений, возникающих в технологической системе, фактической глубины шлифования и количества проходов круга. Теоретически обоснованы основные условия уменьшения условного напряжения резания (энергоемкости обработки), состоящие в обеспечении примерного равенства фактической и номинальной глубин шлифования, применении относительно мягких кругов, полностью или частично компенсирующих возникновение упругих перемещений в технологической системе за счет работы круга в режиме самозатачивания.

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

Новіков Ф. В., Анділахай В.О.

В роботі аналітично встановлено, що умовне напруження різання (енергоємність обробки) при шліфуванні в загальному вигляді визначається співвідношенням радіальної складової сили різання, зумовленої тертям зв'язки круга з оброблюваним матеріалом, та сумарної радіальної складової сили різання. Показано, що збільшення даного співвідношення в межах від 0 до 1 викликає необмежене збільшення умовного напруження різання (енергоємності обробки), що і є причиною його надзвичайно високих значень при шліфуванні, які досягаються на практиці. Встановлено аналітичну залежність для визначення умовного напруження різання (енергоємності обробки) з урахуванням пружних переміщень, що виникають в технологічній системі, фактичної глибини шліфування й кількості проходів круга. Теоретично обґрунтовано основні умови зменшення умовного напруження різання (енергоємності обробки), які полягають в забезпеченні приблизної рівності фактичної та номінальної глибин шліфування, застосуванні відносно м'яких кругів, що повністю або частково компенсують виникнення пружних переміщень у технологічній системі за рахунок роботи круга в режимі самозагострювання.

ANALYTICAL DETERMINATION AND ANALYSIS OF ENERGY PARAMETERS OF THE GRINDING PROCESS

Novikov F.V., Andilahay V.A.

It is analytically established that the conditional cutting stress (energy intensity of machining) in grinding in general form is determined by the ratio of the radial component of the cutting force due to friction of the ligament of the circle with the material being processed and the total radial component of the cutting force. It is shown that an increase in this ratio in the range from 0 to 1 causes an unlimited increase in the nominal cutting stress (energy intensity of the treatment), which is the reason for its extremely high grinding values achieved in practice. An analytical dependence is obtained to determine the conditional cutting stress (energy intensity of processing), taking into account the elastic displacements arising in the technological system, the actual grinding depth and the number of circle passes. Theoretically substantiated the main conditions for reducing the nominal cutting stress (energy intensity of processing), consisting in providing an approximate equality of the actual and nominal depths of grinding, applying relatively soft circles that completely or partially compensate for the appearance of elastic displacements in the technological system due to the work of the circle in the self-sharpening mode.

Ключевые слова: шлифование, резание, трение, условное напряжение резания, энергоемкость обработки, упругие перемещения, фактическая глубина шлифования.

Ключові слова: шліфування, різання, тертя, умовне напруження різання, енергоємність обробки, пружні переміщення, фактична глибина шліфування.

Keywords: grinding, cutting, friction, conditional cutting stress, energy-consuming processing, elastic displacements, actual grinding depth.

Дата подання статті до редакції 5 вересня 2017 р.