

<sup>1</sup> В. А. Андилахай, асп.

<sup>2</sup> Ф. В. Новиков, д-р техн. наук, проф.

## **ЗАТРАТЫ НА ТРЕНИЕ СВЯЗКИ АБРАЗИВНОГО КРУГА С ОБРАБАТЫВАЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ**

<sup>1</sup> Приазовский государственный технический университет  
andilahay@mail.ru

<sup>2</sup> Харьковский национальный экономический университет

*Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований доли энергетических затрат на трение связи круга с поверхностью обрабатываемого материала в процессе шлифования.*

**Введение.** Общеизвестно, что процесс шлифования сопровождается значительным выделением тепла в зоне резания, в связи с чем при установлении высокопроизводительного режима резания на обработанной поверхности возникают прижоги. При этом, как правило, ухудшается качество поверхностного слоя: изменяется внешний вид, химический состав и физико-механические свойства материала обрабатываемой заготовки.

**Публикации по рассматриваемой проблеме.** В ряде работ [1–3] изучался процесс шлифования с целью его оптимизации, повышения эффективности, снижения энергоемкости. Определенные результаты получены в результате практических поисков производственниками, однако положительные результаты носят случайный характер.

**Цель работы** – изучение зависимости энергоемкости процесса шлифования от интенсивности трения между рабочей поверхностью абразивного круга и обрабатываемым материалом.

**Изложение основного материала.** Для анализа закономерностей изменения энергоемкости обработки рассмотрим процесс плоского многопроходного шлифования по жесткой схеме с номинальной глубиной шлифования  $t$  (рис. 1).

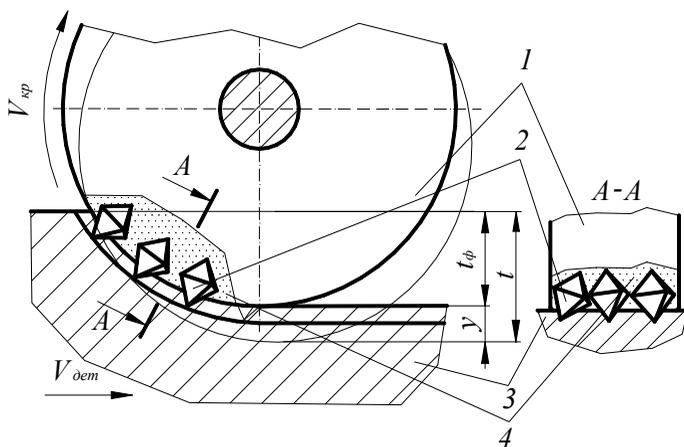


Рис. 1. Расчетная схема параметров плоского шлифования:

1 – абразивный круг; 2 – абразивное зерно;

3 – обрабатываемая деталь; 4 – связка

Предположим, что режущей способности круга недостаточно для удаления слоя материала толщиной  $t$ , т. е. круг за один рабочий ход может срезать лишь фактический слой материала толщиной  $t_\phi < t$ . Тогда уравнение баланса перемещений в технологической системе опишется следующим образом:

$$n \cdot t = n \cdot t_\phi + y, \quad (1)$$

где  $n$  – количества рабочих ходов;  $y$  – величина упругого перемещения, возникающего в технологической системе.

Из уравнения (1) следует:

$$y = n \cdot (t - t_\phi).$$

Величина  $(t - t_\phi)$  постоянна для конкретных условий шлифования, так как общеизвестен характер изменения величины упругого перемещения  $y$ , в зависимости от количества рабочих ходов круга  $n$  [3]. В случае увеличения количества ходов круга  $n$  происходит пропорциональный рост величины  $y$ , и, следовательно, график его изменения представляет собой прямую линию. Это свидетельствует о необходимости ограничения

количества ходов круга  $n$  (в связи с высокой силовой и тепловой напряженностью процесса шлифования) или уменьшения величины  $(t - t_\phi)$ , что предполагает уменьшение производительности обработки и не всегда эффективно. Из этого следует, что наличие контакта связки круга с обрабатываемым материалом принципиально изменяет характер зависимости  $y - n$  (рис. 2). Это хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными при исследовании процесса круглого наружного продольного шлифования многолезвийных инструментов из быстрорежущей стали Р18 эльборовыми кругами на разных связках [4] (рис. 3). Как видно, с течением времени шлифования фактическая глубина  $t_\phi$  первоначально уменьшается, затем практически стабилизируется и в дальнейшем остаются неизменными. Причем для каждой характеристики круга существует своя фактическая производительность обработки, а соответственно, и фактическая глубина шлифования  $t_\phi$ .

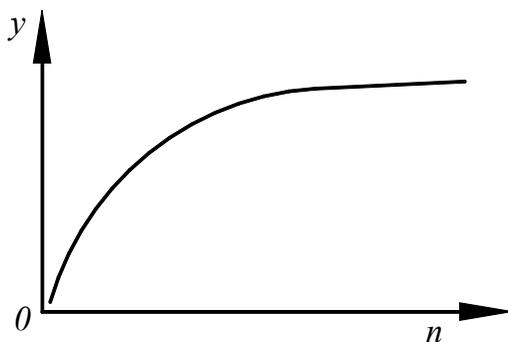


Рис. 2. Зависимость величины упругого перемещения  $y$  от количества проходов круга  $n$  без учета контакта связки с деталью [3]

Таким образом, показано, что характер изменения фактической производительности обработки, а следовательно и величины  $y$ , подчиняется закономерностям, вытекающим из заключения о прямопропорциональном увеличении  $y$ , а не соответствующим рис. 2. Из этого можно заключить, что при шлифовании преобладает процесс трения связки круга с обрабатываемым материалом, поскольку в противном случае

характер изменения фактической производительности обработки во времени подчинялся бы графику, показанному на рис. 2.

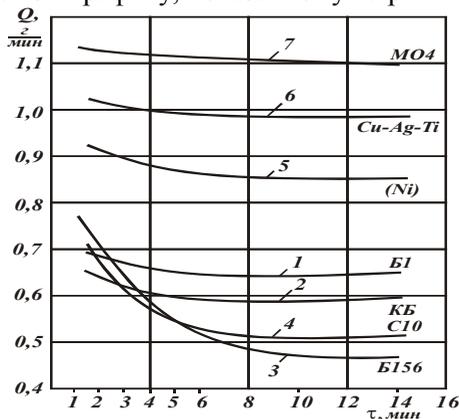


Рис. 3. Изменение фактической производительности обработки  $Q$  с течением времени шлифования  $\tau$  эльборовыми кругами на связках: 1 – Б1; 2 – КБ; 3 – Б156; 4 – С10; 5 – Б1 (с металлизированными эльборовыми зёрнами расплавом Ni); 6 – Б1 (с металлизированными эльборовыми зёрнами расплавом Cu-Ag-Ti); 7 – МО4 [3]

Исходя из изложенного, определим условное напряжение резания  $\sigma$  при плоском многопроходном шлифовании по жесткой схеме с номинальной глубиной шлифования  $t$  (рис. 1). Будем считать, что энергоёмкость обработки обусловлена лишь процессом трения связки круга с обрабатываемым материалом и поэтому режущей способности круга недостаточно для удаления слоя материала толщиной  $t$ , т. е. круг может срезать лишь слой материала толщиной  $t_\phi < t$ . Тогда напряжение резания, отражающее энергоёмкость обработки  $\sigma$ , при первом продольном ходе круга может быть выражено следующим образом:

$$\sigma = \frac{P_z}{S_{\text{сум}}} = P_y \cdot K_{ш} \cdot \frac{V_{кр}}{Q_\phi}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{сум}} = Q_\phi / V_{кр}$  – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зёрнами круга,  $\text{м}^2$ ;  $Q_\phi = B \cdot V_{\text{дет}} \cdot t_\phi$  – фактическая производительность обработки,

$\text{м}^3/\text{с}$ ;  $B$  – ширина шлифования, м;  $t_\phi$  – фактическая глубина шлифования, м;  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования.

Жесткость технологической системы  $c$  при шлифовании определяется известным отношением:

$$c = \frac{P_y}{y}.$$

Выразим радиальную составляющую силы резания как  $P_y = c \cdot y$ . Тогда зависимость (2) примет вид

$$\sigma = \frac{c \cdot y \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дем} \cdot t_\phi}.$$

с учетом  $y = t - t_\phi$  (рис. 1) имеем

$$\sigma = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дем}} \cdot \left( \frac{t}{t_\phi} - 1 \right). \quad (3)$$

Как видно, с уменьшением параметра  $t_\phi$ , т. е. с увеличением величины упругого перемещения  $y$ , энергоемкость обработки  $\sigma$  увеличивается. При условии  $t_\phi = t$  энергоемкость обработки  $\sigma$  равна нулю. Это возможно в случае отсутствия трения обрабатываемого материала со связкой круга, т. е. когда в общем энергетическом балансе процесса шлифования преобладает доля энергии резания зернами круга. Однако в таком расчете рассматривается лишь доля энергии трения связки с обрабатываемым материалом, которая преобладает в общем энергетическом балансе процесса шлифования.

При втором ходе круга зависимость (3) остается прежней с тем отличием, что вместо величины  $y$  надо рассматривать  $2y$ . Соответственно при третьем ходе круга вместо величины  $y$  надо рассматривать  $3y$  и т.д. В конечном итоге при  $n$ -м ходе круга зависимость (3) примет вид:

$$\sigma = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{B \cdot V_{дем}} \cdot n \cdot \left( \frac{t}{t_\phi} - 1 \right). \quad (4)$$

Наличие множителя  $n$  в зависимости (4) указывает на весьма интенсивное увеличение энергоемкости обработки с увеличением количества проходов круга. Этим, собственно, можно объяснить то, что энергоемкость обработки при шлифовании многократно превышает энергоемкость процесса резания отдельным зерном. С физической точки зрения это обусловлено наличием значительных упругих перемещений в технологической системе и интенсивным трением обрабатываемого материала со связкой круга. Причем, как следует из зависимости (4), увеличение энергоемкости обработки не связано с затуплением зерен круга, хотя, несомненно, появление на зернах круга площадок износа приведет к еще более интенсивному увеличению энергоемкости обработки.

Произведем количественную оценку величины  $\sigma$  по зависимости (4) для исходных данных:  $t/t_{\phi}=2$ ;  $c=10^4$  Н/мм;  $n=20$ ;  $K_{ш}=0,5$ ;  $V_{кр}=30$  м/с;  $B=20$  мм;  $V_{оem}=30$  м/мин. В итоге получено  $\sigma=30 \cdot 10^4$  Н/мм<sup>2</sup>. Как видно, это значение больше аналогичного значения условного напряжения резания  $\sigma=8 \cdot 10^4$  Н/мм<sup>2</sup>, полученного в работе [3] расчетным путем без учета трения связки круга с обрабатываемым материалом, т. е. когда в процессе шлифования участвуют лишь режущие зерна.

Этим показано, что основной причиной увеличения энергоемкости обработки при шлифовании является трение связки круга с обрабатываемым материалом вследствие образования на обрабатываемой поверхности после каждого прохода круга недошлифованного слоя величиной  $t-t_{\phi}$ . Суммирование недошлифованных слоев приводит к росту величины упругого перемещения в технологической системе и соответственно энергоемкости обработки.

### **Выводы**

1. Получены теоретические зависимости для определения действительной глубины резания при плоском многопроходном шлифовании, а также для определения энергоемкости с учетом количества проходов круга.

2. Предложены способы увеличения производительности шлифования за счет уменьшения затрат энергии на трение между связкой круга и обрабатываемым материалом.

## Список литературы

1. *Якимов А. В.* Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.

2. *Новиков Ф. В.* Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф. В. Новиков, С. М. Яценко // Физические и компьютерные технологии: междун. научн.-техн. конф., 19-20 апреля 2007 г.: труды – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.

3. *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.

4. *Малыхин В. В.* Повышение эффективности шлифования вольфрамсодержащих твердых сплавов совместно со сталью алмазными кругами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Малыхин Виталий Викторович. – Харьков, 1985. – 26 с.

УДК 621.923

*Анділахай В. О., Новіков Ф. В.* **Витрати на тертя зв'язки абразивного кола з оброблюваним матеріалом в процесі шліфування** // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С. 92–98.

Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень частки енергетичних витрат на тертя зв'язки кола з поверхнею оброблюваного матеріалу в процесі шліфування.

Рис. 3, список літ.: 4 найм.

**The cost of the friction circle with cords abrasive material being treated in the grinding process.** The results of theoretical and experimental studies of the proportion of energy costs on friction ligament circle and the surface treated material in the grinding process.