

УДК 621.923

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ УПЛОТНЕНИЙ ТОРЦЕВЫХ С РЭЛИТОВЫМ СЛОЕМ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Ткаченко В.П.

(г. Харьков, Украина)

*Economic grounds for the efficiency of using diamond wheels instead of abrasive ones when grinding are given*

Применение в качестве рабочей поверхности рэлитового слоя позволило существенно повысить износостойкость и несущую способность уплотнений торцевых, используемых в электробуровой технике. Рэлитовый слой состоит из твердого сплава «Рэлит» и медной связки (спекаемых в вакуумной печи), обладает высокой твердостью, однако плохо поддается механической обработке. Например, в процессе шлифования расходуется до 5 мм<sup>3</sup> и более абразивного слоя круга для съема 1 мм<sup>3</sup> рэлитового слоя. Высокий расход абразива приводит к тому, что фактическая глубина шлифования в 3 раза меньше номинальной (расчетной) глубины. Это существенно снижает производительность и точность обработки, требует частой замены абразивных кругов.

Применение алмазных кругов на металлических связках позволяет уменьшить их износ при шлифовании, фактическая глубина шлифования при этом почти равна номинальной глубине, что повышает производительность и точность обработки. Однако, алмазные круги на металлических связках, как правило, не склонны к работе в режиме самозатачивания, достаточно быстро засаливаются и затупляются, особенно при совместной обработке твердого сплава со сталью. Эффективным методом восстановления режущей способности алмазного круга в процессе шлифования является электроэрозионная правка. При шлифовании алмазным кругом на относительно «мягкой» металлической связке М1-01 достаточно использовать периодическую электроэрозионную правку. Это позволяет длительное время поддерживать высокую режущую способность круга.

Учитывая то, что алмазные круги значительно дороже абразивных, для оценки возможности их применения необходимо сравнить себестоимость обработки при абразивном и алмазном шлифовании. В последнем случае будем рассматривать шлифование алмазным кругом 1А1 400x25x60 АС6 200/160 М1-01 4.

Для этого воспользуемся расчетной зависимостью для определения себестоимости обработки  $C$ , полученной на основе теоретического подхода, предложенного в работе [1]:

$$C = n_1 \cdot t_0 \cdot \left( s_1 \cdot z \cdot k + \frac{Ц}{T} \right), \quad (1)$$

где  $n_1$  – количество обрабатываемых деталей;  
 $t_0$  – основное время обработки одной детали, час;  
 $s_1$  – тарифная ставка рабочего, грн/час;  
 $z$  – коэффициент, учитывающий долю вспомогательного времени на обработку одной детали по отношению к основному времени;  
 $k$  – коэффициент, учитывающий всевозможные начисления (налоги) на заработную плату рабочего;  
 $Ц$  – цена одного круга, грн;  
 $T$  – период стойкости круга до его полного износа (время работы круга в металле), час.

Предположим, для двух сравниваемых вариантов обработки первое слагаемое (стоящее в скобках) и параметр  $n_1$  одинаковы. Переменными являются второе слагаемое (стоящее в скобках) и параметр  $t_0$ . Для алмазного шлифования параметр  $t_0$ , как отмечалось выше, в 3 раза меньше, чем для абразивного шлифования. Тогда при условии  $C = const$  второе слагаемое  $Ц/T$  должно увеличиться. Степень увеличения зависит от величины первого слагаемого. Очевидно, чем больше первое слагаемое, тем больше степень увеличения второго слагаемого.

Данное решение вытекает из преобразованной зависимости (1), рассматривая в ней  $A_1 = s_1 \cdot z \cdot k$ ;  $A_2 = \frac{Ц}{T}$ :

$$\frac{C}{n_1 \cdot s_1 \cdot z \cdot k} = C_0 = t_0 \cdot \left( 1 + \frac{A_2}{A_1} \right) \quad (2)$$

При условии  $C_0 = const$  графически зависимость  $\left( 1 + \frac{A_2}{A_1} \right)$  от  $t_0$  представлена на рис.1.

С уменьшением времени  $t_0$  функция  $\left( 1 + \frac{A_2}{A_1} \right)$  увеличивается, т.е. увеличивается параметр  $A_2$  при заданном значении  $A_1$ . С увеличением  $A_1$  параметр  $A_2$  увеличивается, так как значение  $\left( 1 + \frac{A_2}{A_1} \right)$  неизменно.

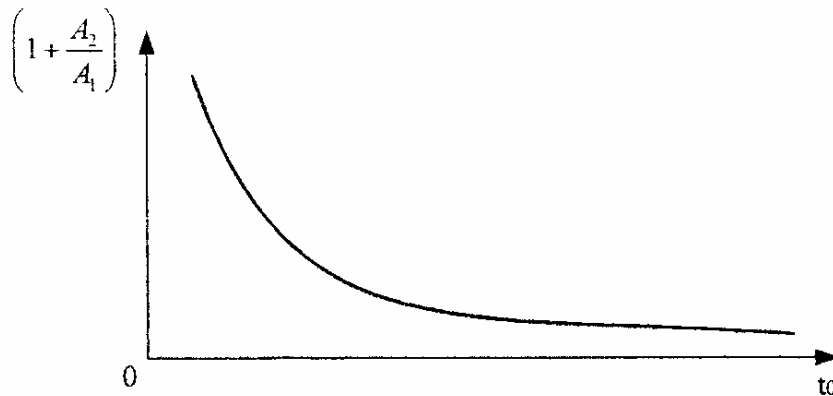


Рис.1. Зависимость функции  $\left(1 + \frac{A_2}{A_1}\right)$  от  $t_0$

Если параметр  $A_1 = 0$ , то зависимость (2) примет вид

$$C = n_1 \cdot t_0 \cdot \frac{Ц}{T} \quad (3)$$

С уменьшением параметра  $t_0$  в 3 раза, при условии  $C = const$ , соотношение  $Ц/T$  должно возрасти в 3 раза. Физический смысл данного решения состоит в следующем. По экспериментальным данным, при абразивном шлифовании соотношение  $\frac{Ц}{T} = \frac{150 \text{грн}}{10 \text{час}} = 15 \frac{\text{грн}}{\text{час}}$ .

При алмазном шлифовании соотношение  $Ц/T$  в 3 раза больше. Следовательно, с учетом того, что цена алмазного круга в 10 раз больше абразивного ( $Ц = 1500 \text{грн}$ ), его стойкость  $T$  равна  $T = \frac{1500 \text{грн}}{3 \cdot 15 \text{грн}} = 33 \text{час}$ , т.е. по

стойкости алмазный круг должен в 3,3 раза превосходить абразивный круг.

При одной производительности алмазного и абразивного шлифования стойкость алмазного круга должна быть в 10 раз больше стойкости абразивного круга.

Определим значение  $T$  для алмазного круга, когда  $A_1 > 0$ . Для этого разрешим зависимость (1) относительно параметра  $T$

$$T = \frac{Ц}{\frac{C}{n_1 \cdot t_0} - s_1 \cdot z \cdot k} \quad (4)$$

Для определения  $T$  в зависимости (4) необходимо задать значение  $C$ , которое неизвестно. Рассмотрим случай, когда значения себестоимости абразивного и алмазного шлифования равны. Тогда  $C$  определится из зависимости (1) для абразивного шлифования

$$\left( s_1 = 5,6 \text{грн/час}, k = 3, z = 1,6, n_1 = 30, t_0 = 0,3 \text{час}, \frac{Ц}{T} = 15 \frac{\text{грн}}{\text{час}} \right)$$

$$C = 30 \cdot 0,3 \cdot (26,9 + 15) = 377 \text{ грн} \quad (5)$$

Подставляя в зависимость (4) те же значения параметров  $s_1, k, z, n_1$  и  $t_0 = 0,1 \text{ час}$ ,  $C = 377 \text{ грн}$ , определим  $T$  для алмазного шлифования,  $T = 15,2 \text{ час}$ .

Как видим, значения  $T$  для алмазного и абразивного круга отличаются незначительно, несмотря на то, что по стоимости алмазный круг в 10 раз дороже абразивного.

Если при  $A_1 = 0$  стойкость алмазного круга  $T = 33 \text{ час}$ , то при  $A_1 = 26,9 \text{ грн/час}$  стойкость  $T$  меньше и составляет  $T = 15,2 \text{ час}$ .

Таким образом показано, что за счет первого слагаемого (стоящего в скобках) зависимости (1) стойкость алмазного круга может значительно изменяться.

Например, если увеличить слагаемое  $A_1$  в (5) до значения  $50 \text{ грн/час}$  (вместо  $26,9 \text{ грн/час}$ ), то себестоимость абразивного шлифования будет равна  $C = 585 \text{ грн}$ . Соответственно стойкость алмазного круга  $T$ , исходя из зависимости (4), равна  $T = 8,92 \text{ час}$ , что меньше, чем для абразивного круга. Графически зависимость  $T$  от  $A_1$  для алмазного круга показана на рис.2.

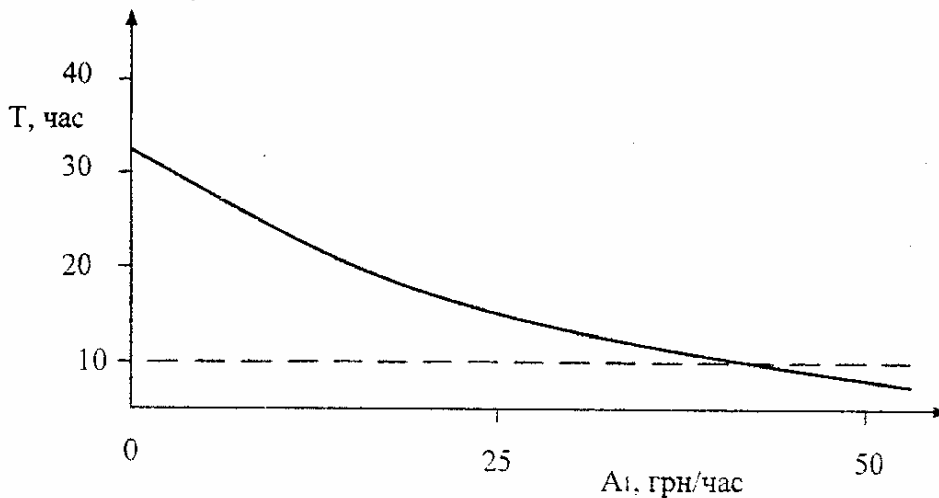


Рис.2. Зависимость  $T$  от  $A_1$

Таким образом, расчетами установлено, что для принятых условий обработки стойкость алмазного круга (при  $A_1 = 26,9 \text{ грн/час}$ ) должна всего в 1,52 раза превышать стойкость абразивного круга – при условии одинаковой себестоимости обработки  $C$ . Если стойкость алмазного круга  $T$  будет больше, это приведет к уменьшению себестоимости обработки. Данные расчетов на основе зависимости (1) графически показаны на рис.3. Расчетная зависимость имеет вид

$$C = 30 \cdot 0,1 \cdot \left( 26,9 + \frac{1500}{T} \right). \quad (6)$$

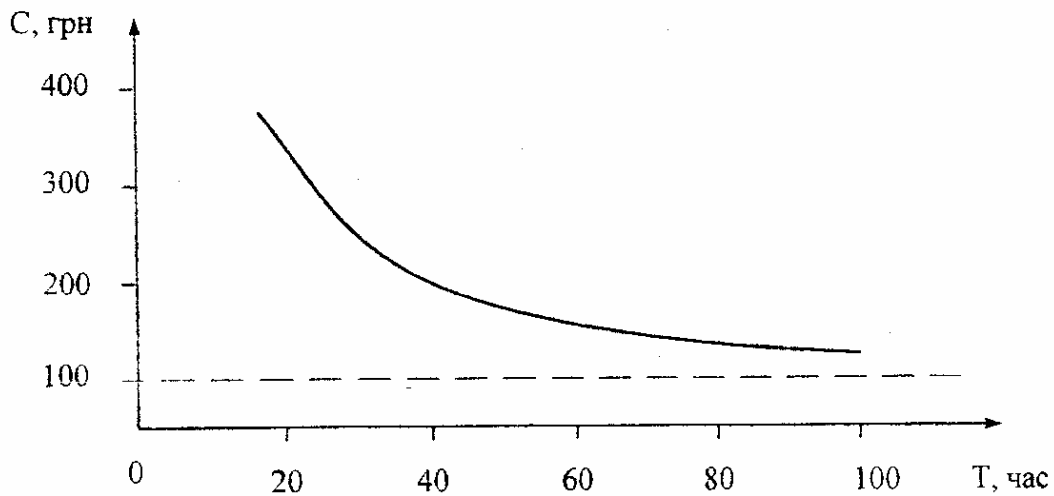


Рис.3. Зависимость  $C$  от  $T$

Как видим, при увеличении стойкости алмазного круга  $T$  от 15,2 час до 100 час (т.е. в 6,57 раз) себестоимость обработки уменьшится от 377 грн до 125,7 грн (т.е. в 3 раза). Наиболее существенно уменьшение  $C$  при изменении  $T$  в диапазоне  $T = 15,2 \dots 40$  час. При дальнейшем увеличении  $T$  интенсивность уменьшения себестоимости обработки не столь значительна. Следовательно, для того чтобы получить эффект обработки за счет уменьшения себестоимости в 2 раза, необходимо чтобы стойкость алмазного круга превышала стойкость абразивного круга в 4 раза (стойкость абразивного круга  $T = 10$  час, а алмазного –  $T = 40$  час.).

При условии одинаковой себестоимости алмазного и абразивного шлифования стойкость алмазного круга, как отмечалось выше, должна лишь в 1,52 раза превышать стойкость абразивного круга до его полного износа. Здесь эффект обработки достигается за счет увеличения в 3 раза производительности алмазного шлифования.

Таким образом показано, что эффект от применения алмазного шлифования рэлитового слоя уплотнений торцевых обусловлен увеличением производительности обработки. При этом не следует добиваться увеличения стойкости алмазного круга до его полного износа пропорционально увеличению его цены (по отношению к абразивному кругу). Для того чтобы обеспечить одинаковую себестоимость алмазного и абразивного шлифования достаточно относительно небольшое превышение стойкости алмазного круга над абразивным кругом. Данный вывод связан с тем, что параметр  $t_0$  (определяющий производительность) оказывает значительно большее влияние на себестоимость обработки  $C$ .

исходя из зависимости (1), чем параметр  $T$ . Чем больше первое слагаемое в зависимости, тем меньше влияние  $T$  на  $C$ .

В расчетах следует учитывать взаимосвязь между параметрами  $T$  и  $t_0$ , поскольку с уменьшением  $t_0$  (увеличением производительности обработки) стойкость алмазного круга до его полного износа  $T$  уменьшается.

Экспериментально установлено, что связь между параметрами  $T$  и  $t_0$  подчиняется зависимости

$$T = N \cdot t_0^2, \quad (7)$$

где  $N = \frac{T_1}{t_{01}^2}$ ;  $T_1, t_{01}$  - значения  $T$  и  $t_0$  для определенных условий обработки.

Подставим зависимость (7) в (1):

$$C = n_1 \cdot t_0 \cdot \left( A_1 + \frac{Ц}{N} \cdot \frac{1}{t_0^2} \right), \quad (8)$$

где  $A_1 = s_1 \cdot z \cdot k$ .

Нетрудно видеть, что себестоимость обработки  $C$  изменяется по экстремальной зависимости с изменением параметра  $t_0$ . Для определения экстремального значения  $t_0$  возьмем первую производную от  $C$  по  $t_0$  и полученное выражение приравняем к нулю, тогда

$$t_{0\text{экстр}} = \sqrt{\frac{Ц}{N \cdot A_1}} \quad (9)$$

Вторая производная  $C''_{t_0} = n_1 \cdot \frac{Ц}{N} \cdot \frac{1}{t_0^3}$  - положительна. Следовательно, имеет место минимум себестоимости обработки  $C$ .

Определим параметр  $N$ , принимая  $t_{01} = 0,1$  час;  $T_1 = 15,2$  час, тогда  $N = 1520$ .

Определим по зависимости (9) время  $t_{0\text{экстр}}$  для исходных данных:  $Ц = 1500$  грн;  $A_1 = 26,9$  грн/час;  $N = 1520$ , тогда  $t_{0\text{экстр}} = 0,19$  час. Из зависимостей (7) и (8) для  $t_{0\text{экстр}} = 0,19$  час следует:  $T = 54,9$  час;  $C = 309,1$  грн.

Как видим, минимум функции  $C$  достигается при большем значении  $t_{0\text{экстр}} = 0,19$  час  $>$   $t_0 = 0,1$  час. При этом себестоимость  $C$  уменьшилась от значения 377 грн до 309,1 грн.

Для случая  $t_{01} = 0,1$  час;  $T_1 = 40$  час имеем  $t_{0\text{экстр}} = 0,12$  час,  $C = 190,6$  грн. Для случая  $t_{01} = 0,1$  час;  $T = 100$  час имеем  $t_{0\text{экстр}} = 0,075$  час,  $C = 120,5$  грн.

Графически данные расчетов приведены на рис.4.

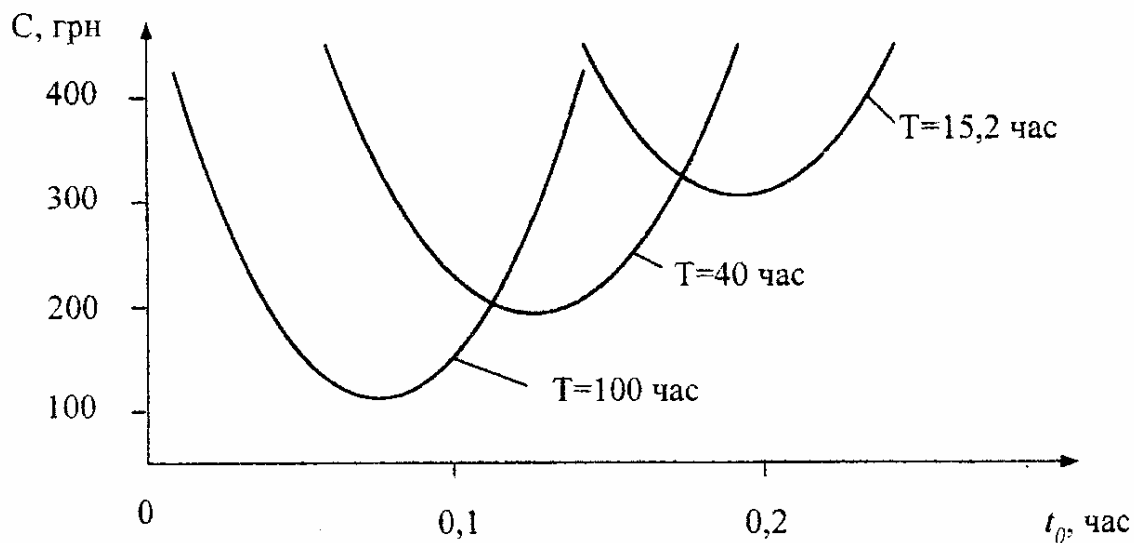


Рис.4. Зависимость  $C$  от  $t_0$

Таким образом показано, что с увеличением  $T_1$  до значения  $T_1 = 100$  час (при  $t_{01} = 0,1$  час) экстремальное значение  $t_{0_{\text{экстр}}}$  меньше  $t_0$ . Это свидетельствует о возможности увеличения производительности обработки при одновременном уменьшении себестоимости обработки от 125,7 грн (рис. 3) до 120,5 грн. (рис.4).

Как установлено, себестоимость обработки  $C$  изменяется по экстремальной зависимости (8) от параметра  $t_0$  и поэтому выбор оптимальных условий обработки необходимо производить из условия минимума себестоимости  $C$ .

Для выполнения оптимизационных расчетов важно знать функциональную связь между параметрами  $T$  и  $t_0$ . В данном случае рассмотрена экспериментальная зависимость (7). Для более углубленного анализа необходимо использовать аналитические зависимости, установленные на основе математического моделирования процессов обработки.

### Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.