

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТОРЦАХ ИГОЛОК ПРИ ШЛИФОВАНИИ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИ ОСЯМИ КРУГА И РАБОЧЕГО ВАЛИКА

*The offered technique of account allows to define local  $\lambda$ , specific at, instant  $m$  and average from temperature at end faces needle at grinding with crossed axes of a circle and working platen.*

Игольчатую поверхность барабанов и рабочих валиков текстильных машин на известных станках [1] шлифуют периферией цилиндрического круга при параллельных осях его и детали в процессе многопроходной обработки с продольной подачей. Съём припуска осуществляют по упругой схеме, где в процессе создания натяга в системе круг-деталь иголки оплавляются из-за высоких температур в зоне шлифования, что снижает качество заточки.

Предложен новый способ шлифования игольчатой поверхности со скрещивающимися осями круга и детали (Патент Украины, заявка №99010045 от 15.01.1999 г.). Черновое шлифование игольчатой поверхности рабочих валиков 1 (рисунок 1, с-с, М, К) осуществляют торцом круга 2, а чистовое – периферией с постепенным уменьшением глубины резания в направлении формообразующего участка, что повышает качество заточки.

Для анализа температуры  $\theta$  в процессе шлифования иголок, представляющих собой изогнутые цилиндрические стержни, в которых тепло распространяется вдоль их оси в направлении одной координаты, была использована формула [2]

$$\theta = \frac{2q}{\lambda} \sqrt{\frac{\omega\tau}{\pi}} + \theta_0, \quad (1)$$

где  $q$  – плотность теплового потока;  $\omega$  – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $\theta_0$  – температура окружающей среды;  $\tau$  – время контакта круга и иголки.

Плотность теплового потока

$$q = \frac{b \cdot N}{F}, \quad (2)$$

где  $b$  – коэффициент, учитывающий распределение теплового потока между стружкой и иголкой;  $N$  – эффективная мощность шлифования;  $F$  – площадь поверхности контакта круга и иголки.

В общем виде эффективная мощность шлифования торца иголки равна [3]

$$N = \frac{a \cdot Q}{\tau}, \quad (3)$$

где  $Q$  – объём металла, сошлифованного кругом с торца иголки;  $a$  – удельная работоспособность круга, которая определяется мощностью, затраченной на съём единицы объёма металла.

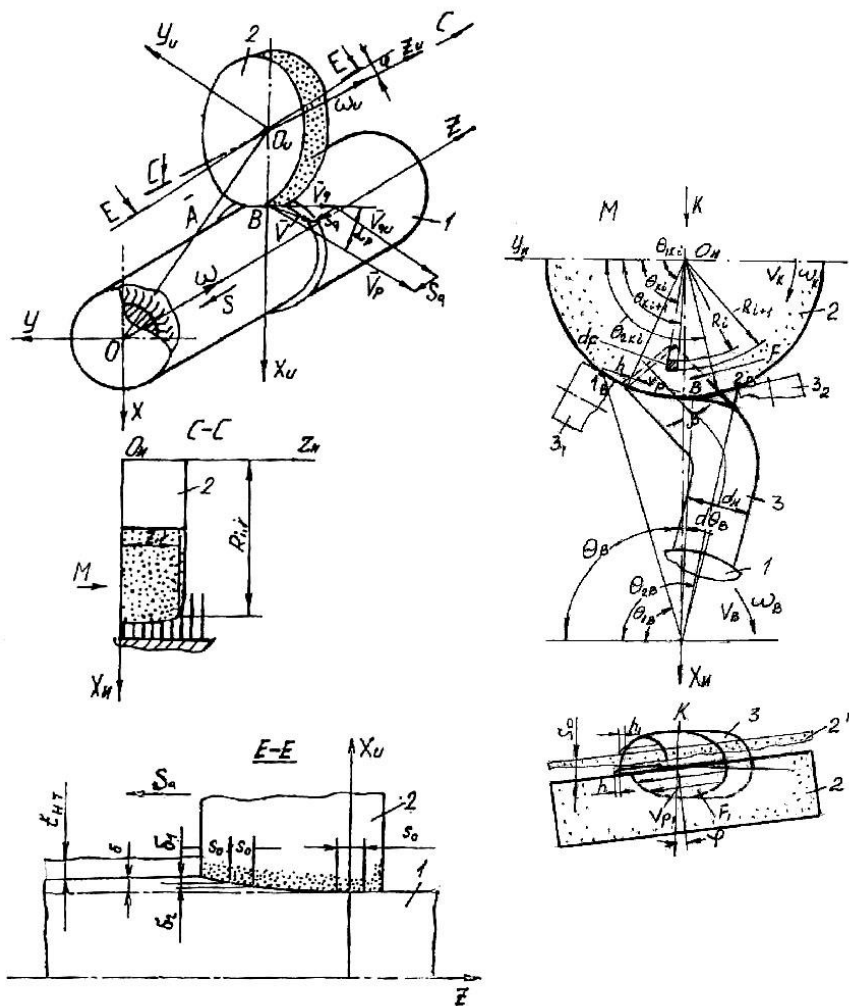


Рисунок 1 – Схема шлифования игольчатой поверхности со скрещивающимися осями круга и рабочего валика

При определении мгновенной мощности  $N_m$  в выражение (3) подставляют мгновенную производительность  $Q_m$  шлифования торца иглы, которая определяется объемом металла, подведенным к поверхностям контакта  $F$  и  $F_1$  (рисунок 1, М, К), и имеющим вид поверхностного интеграла

$$Q_m = \int_{i_1}^{i_2} \int_{\theta_2ki}^{\theta_1ki} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di}\right)^2} \cdot di, \quad (4)$$

где  $R_i$  - радиус сечения круга в границах  $i$ -той точки;  $Z_i$  - его осевая координата;  $\theta_k$  - угловой параметр круга;  $R_i \cdot d\theta_k$  - длина пятна контакта, которая измеряется вдоль окружности  $i$ -той точки профиля круга (рисунок 1, М);  $\sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di}\right)^2} \cdot di$  - элементарная ширина пятна контакта.

Границы пятна контакта определяются решением векторных уравнений поверхностей круга  $\bar{r}_i$  и детали  $\bar{r}_q$  в системе координат круга. Общая трёхмерная модель рабочих поверхностей круга при шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и детали, которая учитывает условия правки круга, его износ, снимаемый припуск и форму заготовки, приведена в работе [4]. 3D моделирование обрабатываемых поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями круга и детали изложено в работе [5].

В уравнении (4)

$$V_n = V_x \cdot n_{0x} + V_y \cdot n_{0y} + V_z \cdot n_{0z}, \quad (5)$$

где  $V_x, V_y, V_z$  - проекции вектора относительной скорости  $\bar{V}$  (рисунок 1) детали и круга на его координатные оси;  $n_{0x}, n_{0y}, n_{0z}$  - проекции вектора единичной нормали  $\bar{n}_0$ .

Из уравнения (5) определяют  $V_n$ , а затем из (4) - мгновенную  $Q_m$  производительность шлифования.

Для расчета мощности шлифования по формуле (3) необходимо знать значение  $a$  - удельной работоспособности круга. В работе [6] приведена методика и выражение для расчёта  $a$ , которое получено на базе экспериментальных исследований. При экспериментальном определении значений  $a$  (3) активный контроль снимаемого припуска с торца иглодок осуществляли по методике, приведённой в работе [7].

Время контакта  $\tau$  (1) (3) шлифовального круга и иглолки определяется по формуле

$$\tau = \int_{\theta_{1B}}^{\theta_{2B}} \frac{d\theta_B}{\omega_B}, \quad (6)$$

где  $\theta_{2B}$  и  $\theta_{1B}$  - предельные значения угла  $\theta_B$  контакта иглолки 3, в положениях 3<sub>1</sub> и 3<sub>2</sub>, (рисунок 1, М) и круга 2, в положениях 1<sub>B</sub> и 2<sub>B</sub>, во время её шлифования;  $\omega_B$  - угловая скорость рабочего валика 1, на котором закреплены иглолки 3.

Определив из уравнения (4) мгновенную производительность шлифования  $Q_m$  и подставив её в формулу (3), получим мгновенную мощность шлифования  $N_m$ .

При определении удельной мощности шлифования  $N_y$ , которая приходится на один мм высоты круга 2 или на величину  $S_o$  продольной подачи круга на оборот детали (рисунок 1, К; при скоростном шлифовании иглолок 3,  $S_0 < 1$  мм), в формулу (3) подставляют значение удельной производительности шлифования  $Q_y$ , полученной из уравнения

$$Q_y = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k, \quad (7)$$

где  $\theta_{1ki}$ ,  $\theta_{2ki}$  и  $R_i$  (рисунок 1, М) – аналогичны приведенным в уравнении (4), определяются решением векторных уравнений круга  $\bar{r}_i$  [4] и детали  $\bar{r}_q$  [5].

Для определения локальной мощности шлифования  $N_{\text{л}}$ , которая, например, необходима при определении локальных максимальных температур на шлифуемой поверхности иголки, в формулу (3) подставляют локальную производительность шлифования  $Q_{\text{л}}$ . Её находят из уравнения (4) для локальной элементарной площадки  $dF$  (рисунок 1, М), которая определяется границами интегрирования  $i_1$ ,  $i_2$  и  $\theta_{1ki}$ ,  $\theta_{2ki}$ . Среднюю мощность шлифования  $N_{\text{ср}}$  одной иголки определяют из формулы (3), подставляя в неё среднюю производительность шлифования  $Q_c$ , которую находят из уравнения

$$Q_c = \int_0^{\pi} Q_m \cdot d\tau, \quad (8)$$

где  $\tau$  - время обработки одной иголки, перемещаемой из положения 3<sub>1</sub> в 3<sub>2</sub> (рисунок 1, М), находят по формуле (6).

При определении плотности  $q$  теплового потока (2), площадки  $F$  и  $F_1$  поверхностей контакта круга 2 (рисунок 1, М, К) и иголки 3 находят из уравнения

$$F_m = \int_{i_1}^{i_2} \int_{\theta_{2ki}}^{\theta_{1ki}} R_i \cdot d\theta_k \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di}\right)^2} \cdot di, \quad (9)$$

где  $F_m$  – мгновенная площадь контакта круга и иголки, при этом параметры в уравнении (9) аналогичны значениям в уравнении (4).

Удельную площадь  $F_y$ , которая (9) представляет собой внутренний интеграл, находят из выражения

$$F_y = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} R_i \cdot d\theta_k. \quad (10)$$

Локальную площадь  $F_{\text{л}}$  находят из уравнения (9) для локальной элементарной площадки  $dF$  (рис. 1, М). Среднюю площадь контакта  $F_c$  одной иголки с кругом за время  $\tau$  ее обработки, находят из уравнения

$$F_c = \int_0^{\tau} F_m \cdot d\tau . \quad (11)$$

Коэффициент температуропроводности  $\omega$  обрабатываемого материала

$$\omega = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma} , \quad (12)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость;  $\gamma$  – плотность вещества.

Рабочий элемент иголки 3 (рис. 1, М, К) имеет форму эллипса, размеры большей оси которого зависят от угла  $\beta$  наклона иголки относительно прямой, перпендикулярной осям вращения круга 2 и детали 1.

Как показали наши расчеты (1) и экспериментальные исследования [1] известных методов шлифования игольчатой поверхности по упругой схеме, температуры  $\theta$  (1), которые возникают в процессе шлифования, превышают  $750^\circ$ . Это приводит к оплавлению вершины иголки, в результате чего возникает заусенец  $h$ , размеры которого зависят от режимов заточки, обрабатываемого материала, характеристики круга и находятся в пределах  $h=0,03 \div 0,15$  мм, при допустимых значениях  $h \leq 0,01 \div 0,02$  мм.

При шлифовании игольчатой поверхности по новому способу со скрещивающимися осями круга 2 (рисунок 1) и рабочего валика 1 весь припуск снимается за один проход. При съеме чернового припуска торцом круга 2 (рисунок 1, М, К) вначале получаем максимальный заусенец  $h$  на вертикальной поверхности  $F$  (рисунок 1, М) иглы, который затем срезается тем же торцом круга в процессе его осевой подачи  $S_o$  (рисунок 1, К). Чистовое шлифование торца иголки 3 осуществляется периферией круга 2. При этом ориентация его на угол  $\varphi$  (рисунок 1, К) осуществляется таким образом, чтобы после съема чернового припуска  $t_{нт}$  торцом круга (рисунок 1, Е–Е), полученная величина дефектного слоя на торце иголки не превышала половины припуска  $\delta$  для чистового шлифования периферией круга. Сечение ориентированного круга 2 (рисунок 1, Е–Е) плоскостью, проходящей через начало координат  $O_n$  и ось  $OZ$  обрабатываемой детали 1, дает на периферии круга эллипс с величиной выпуклости  $\delta$  формообразующего участка, которая зависит от угла ориентации  $\varphi$  круга, его диаметра и высоты [8].

Экспериментальные исследования шлифования иголок со скрещивающимися осями круга и детали осуществлялось на станке с ЧПУ модели ВЗ 208 ФЗ. Обработывался рабочий валик с наружным диаметром игольчатой поверхности 145 мм и длиной рабочей части 450 мм. Шлифование иголок диаметром 0,3 мм производилось одновременно периферией и торцом цилиндрического круга I–200×25×32 25 А 25 СМ1 7К со скоростью шлифования 35 м/с. Черновой припуск, снимаемый торцом круга,  $t_{нт}=0,5$  мм, чистовой – его периферией,  $t=0,05$  мм, который обеспечивается углом ориентации  $\varphi = 6^\circ$  (рисунок 1, К) круга 2. Круговая подача детали (иголок)  $V_b=1 \div 5$  м/с, осевая подача  $S_o=0,05 \div 1$  мм на оборот рабочего валика.

Для расчета температуры  $\theta$  на торце иголки по формуле (1), при определении плотности теплового потока  $q$  (2), подставляли экспериментально измеренную эффективную мощность шлифования.

Границы пятна контакта  $F$  и  $F_1$  (рисунок 1, М, К) игольчатой поверхности рабочего валика 1 и цилиндрического абразивного круга 2 определяли решением векторных уравнений поверхностей круга  $\vec{r}_i$  [4] и детали  $\vec{r}_q$  [5]. Зная площадь контакта и

число иголок, расположенных на ней, находили эффективную мощность шлифования одной иголки и температуру  $\theta$  (1) на ее торце.

Для определения локальных температур  $\theta_{л}$  на различных участка профиля круга экспериментально находили на них удельную мощность  $N_y$  шлифования. При этом определяли части общего припуска  $\delta$  (рисунок 1, E–E) для чистового шлифования, каждая из которых снимается одним миллиметром периферии круга 2,  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i$  за один оборот детали 1, при величине продольной подачи  $S_0=1\text{мм}/\text{об}$ . Зная удельные мощности  $N_{yi}$  вдоль периферии круга, находили локальные температуры  $\theta_{ли}$  на торцах иголок. Количество их определяли из удельной площади  $F_y$  контакта (10).

При определении температуры  $\theta_i$  на торцах иголок, которые шлифуются торцом круга, находим общую мощность шлифования  $N_0$  периферией  $N_{\Pi}$  и торцом  $N_T$  круга, а затем, зная  $N_0$  и  $N_{\Pi}$ , определяли  $N_T$

$$N_T = N_0 - N_{\Pi}. \quad (13)$$

После определения площади контакта торца круга и игольчатой поверхности, находили мощность шлифования одной иголки и температуру  $\theta$  (1) на ее торце.

Предложенная методика определения локальных температур вдоль профиля круга была использована не только при заточке иголок, но и при шлифовании цилиндрической поверхности валка (рисунок 1, E–E), предназначенной для монтажа игольчатой гарнитуры.

Локальную температуру  $\theta_{л}$  вдоль профиля круга определяли начиная с калибрующего участка его периферии (рисунок 1, точка В). Глубина резания для каждого последующего оборота валка 1 увеличивалась на величину  $\delta_i$  (рисунок 1, E–E), которая обеспечивает дополнительный контакт профиля круга 2 вдоль оси детали 1 на длине, равной подаче  $S_0$ . Для каждого оборота детали записывалась мощность  $N_{ni}$ . Удельную мощность  $N_{yi}$  для  $i$ -той точки профиля круга определяли из соотношения

$$N_{yi} = N_{ni+1} - N_{ni}. \quad (14)$$

Таким образом определяли удельные мощности вдоль всего профиля периферии круга и из (1) – локальные температуры  $\theta_i$  на поверхности контакта круга и цилиндрической поверхности детали.

Предложенная методика расчета позволяет определять локальные  $\theta_{л}$ , удельные  $\theta_y$ , мгновенные  $\theta_m$  и средние  $\theta_c$  температуры на торцах иголок при шлифовании со скрещивающимися осями круга и рабочего валика. Это дает возможность оценить теплонпряженность процессов шлифования иголок различными методами и качество обработанной поверхности.

Разработан новый способ глубинного шлифования торцов иголок периферией и торцом круга, который обеспечивает повышение производительности и качества заточки, при максимальной величине заусенца на торце иглы  $h \leq 0,02$  мм.

### Литература

1. Кальченко В.В. Влияние кинематики заточки на качество обработанной поверхности барабанов текстильных машин // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Материалы межд. – научн. – техн. конф. – Харьков, 12–14 мая 1997. Часть 2, с. 278–281.
2. Давыдов В.М. Исследование тепловых явлений при шлифовании твердого сплава алмазными кругами // Известия вузов. Машиностроение, 1967, № 11, с. 141–146.

3. Кальченко В.В. Визначення потужності шліфування орієнтованим інструментом // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 1999. - №9. С. 120-126.
4. Кальченко В.В. Общая трехмерная 3D модель поверхностей кругов при шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и деталей // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2001. №6. – С. 114-118.
5. Кальченко В.В. 3D моделирование обрабатываемых поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями кругов и деталей // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". – Харків, 2001 – Вип. 1 (4). – С. 149-153.
6. Шахновский С.С. Расчет мощности торцового шлифования. Станки и инструмент, №2, 1987, с. 23 – 24.
7. Кальченко В.В., Пасов Г.В., Лясота В.Ю. Активний контроль зняття припуску при шліфуванні торців циліндричних деталей // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Міжн. наук – техн. журнал. – Хмельницький: Технол. ун-т Поділля, 1999. № 3, с. 165 – 167.
8. А.с. 1234163 СССР МКИ В24В 5 / 04. Способ круглого шлифования с продольной подачей // Кальченко В.И., опубл. 1986, бюл. 20.

Рецензент – д.т.н., проф. Чередниченко П.И. (ЧГТУ, г. Чернигов)