

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДВУСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ТОРЦОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРОФИЛИРОВАННЫМИ И ОРИЕНТИРОВАННЫМИ КРУГАМИ

To evaluate the productivity of the grinding using the known methods and new ones the equations of instant and specific output of the treatment have been developed. The said equations permit to determine the efficiency of methods of the end grinding with the oriented wheels.

Торцы цилиндрических роликов, винтовых пружин сжатия, поршневых пальцев, колец подшипников, опорных поверхностей некруглых твердосплавных пластин и других цилиндрических деталей одновременно обрабатывают на двусторонних торцешлифовальных станках [1].

Мгновенная производительность шлифования торцов определяется объемом металла, который подводится к поверхности контакта  $F$  [2] (рис. 1, С), и имеет вид поверхностного интеграла

$$Q_m = \iint_F V_n \cdot dF \quad (1)$$

Подинтегральное выражение представляет собой элементарный объем подводимого металла, который проходит через элементарную площадку  $dF$ , расположенную в пределах пятна контакта. Высота этого объема металла  $V_n$  (рис. 1, В-В) равняется проекции вектора относительной скорости  $\bar{V}$  на направление нормали  $\bar{n}$  к площадке  $dF$  или скалярному произведению векторов  $\bar{V}$  и единичного вектора  $\bar{n}_o = \bar{n} / |\bar{n}|$ .

$$V_n = \bar{V} \cdot \bar{n}_o \quad (2)$$

Площадь элементарной площадки  $dF$ , определяется из выражения (рис. 1.С)

$$dF = R_i \cdot d\theta_k \sqrt{\left(\frac{dz_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dR_i}{di}\right)^2} di \quad (3)$$

где  $R_i d\theta_k$  - длина элементарной площадки, в плоскости, нормальной к оси вращения инструмента, которая измеряется по окружности радиусом  $R_i$ ;

$\sqrt{\left(\frac{dz_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dR_i}{di}\right)^2} di$  - ширина элементарной площадки в осевом сечении круга.

Тогда выражение (1) мгновенной производительности имеет вид

$$Q_m = \int_{i_1}^{i_2} \left( \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i d\theta_k \right) \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dz_i}{di}\right)^2} di \quad (4)$$

Из рис. 1, С видно, что размер  $R_i \theta_k$  определяет длину пятна контакта, которая измеряется вдоль окружности  $i$ -той точки профиля инструмента. Размер

$dl = \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dz_i}{di}\right)^2} di$  - определяет элементарную ширину пятна контакта в окрестностях  $i$ -той точки (рис. 1, А-А).

Границы пятна контакта определяются решением векторных уравнений поверхностей круга  $\bar{r}_i$  и детали  $\bar{r}_q$  в системе координат круга.

Матричная запись уравнения поверхности круга 2 (рис. 1, А-А) имеет вид [2]

$$\bar{r}_i = A_3(Z_i) \cdot A_6(\theta_k) \cdot A_2(R_i) e_4 \quad (5)$$

где  $R_i$  - радиус сечения круга в границах  $i$ -той точки;  $Z_i$  - его осевая координата;  $\theta_k$  - угловой параметр круга;  $e_4 = (0,0,0,1)^T$ .

Уравнение поверхности детали в системе координат круга

$$\bar{r}_{uq} = A_{uq} \cdot r_q, \quad (6)$$

где  $\bar{r}_q$  - обобщенное уравнение поверхности цилиндрической детали 1 (рис. 1) в ее системе координат  $X_q Y_q Z_q$  приведено [2];  $A_{uq}$  - матрица перехода из системы координат детали в систему координат инструмента, которая определяется обобщенным формообразующим кодом станка (рис. 1), приведена в таблице 1

Таблица 1. Матрица преобразований формообразующей системы станка из системы координат детали в систему координат круга

$\cos \psi \cos \theta_b + \sin \psi \times$ $\times (-\sin \varphi) \cdot \sin \theta_b$	$\cos \psi (-\sin \theta_b) + \sin \psi \times$ $\times (-\sin \varphi) \cdot \cos \theta_b$	$-\sin \varphi \cdot \cos \varphi$	$\cos \varphi (R_b \cos \theta_b + x_c) + \sin \psi (-\sin \varphi) \times$ $\times (-R_b \cdot \sin \theta_b + y_c) + \sin \psi \cdot \cos \varphi \cdot z_c - x_2$
$\cos \varphi \cdot \sin \theta_b$	$\cos \varphi \cdot \cos \theta_b$	$\sin \varphi$	$\cos \varphi (-R_b \cdot \sin \theta_b + y_c) + z_c \sin \varphi$
$-\sin \psi \cdot \cos \theta_b + \cos \psi \times$ $\times (-\sin \varphi) \cdot \sin \theta_b$	$\sin \psi \cdot \sin \theta_b + \cos \psi \times$ $\times (-\sin \varphi) \cdot \cos \theta_b$	$\cos \psi \cdot \cos \varphi$	$-\sin \varphi (R_b \cdot \cos \theta_b + x_c) + \cos \psi \cdot (-\sin \varphi) \times$ $\times (-R_b \sin \theta_b + y_c) + \cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot z_c$
0	0	0	1

где  $R_b$  - радиус барабана;  $\theta_b$  - его угловой параметр;  $\varphi$  - угол поворота оси  $O_n Z_n$  шлифовального круга в горизонтальной плоскости вокруг оси  $O_n X_n$ ;  $\psi$  - угол поворота оси  $O_n X_n$  в вертикальной плоскости вокруг оси  $O_o Y_o$ ;  $X_c Y_c Z_c$  - координаты центра  $O_b$  в системе координат станины  $O_o X_o Y_o Z_o$ ;  $X_2$  - координата  $O_n$ .

В уравнении (4)

$$\bar{V}_o \cdot \bar{n}_o = V_n = V_x \cdot n_{ox} + V_y \cdot n_{oy} + V_z \cdot n_{oz} \quad (7)$$

где  $V_x, V_y, V_z$  - проекции вектора относительной скорости  $\bar{V}$  на координатные оси инструмента;  $n_{ox}, n_{oy}, n_{oz}$  - проекции вектора единичной нормали  $\bar{n}_o$  на координатные оси инструмента.

$$n_{ox} = \cos \theta_k (-\sin \alpha); n_{oy} = \sin \theta_k \cdot (-\sin \alpha); n_{oz} = \cos \alpha, \quad (8)$$

где  $\alpha$  - угол наклона касательной профиля круга в рассматриваемой точке (рис. 1, А-А);

Скорость относительного движения  $\bar{V}$  определяется векторным способом из уравнения

$$\bar{V} = (\bar{w}_{ub} + \bar{w}_{uq}) \times \bar{r}_{uq} + \bar{A}_b \times \bar{w}_{ub} + \bar{A}_q \times \bar{w}_{uq} \quad (9)$$

где  $\bar{w}_{ub}$  и  $\bar{w}_{uq}$  - векторы угловых скоростей барабана и детали в системе координат инструмента;  $\bar{r}_{uq}$  - радиус-вектор точек поверхности детали в системе координат инструмента, определяется из уравнения (6);  $\bar{A}_b$  и  $\bar{A}_q$  - радиусы-векторы начала координат барабана  $O_b$  и детали  $O_q$  в системе координат инструмента (рис. 1).

Решив уравнение (9) получим вектор скорости относительного движения  $\bar{V}$ , который в системе координат инструмента определяется проекциями  $V_x, V_y, V_z$ . Подставил их и  $n_{ox}, n_{oy}, n_{oz}$  (8) в уравнения (7), определим  $V_n$ , а потом из (4) - мгновенную  $Q_m$  и  $Q_y$  удельную производительность, которая в (4) представляет собой внутренний интеграл

$$Q_{yi} = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k \quad (10)$$

где  $\theta_{1ki}$   $\theta_{2ki}$  и  $R_i$  (рис. 1, С) определяются решением уравнений (5) и (6).

Из уравнений (4) и (10) определяют объем металла, который подводится в процессе шлифования. Возможность срезания этого объема проверяют решением соотношения

$$V_{nnp} = a_{znp} / T, \quad (11)$$

где  $a_{znp}$  - предельно допустимая толщина срезаемого слоя одной режущей кромкой;  $T$  - время между контактами поверхности детали с двумя соседними режущими кромками. В уравнениях (4) и (10)  $V_n \leq V_{nnp}$ .

Вычислительные эксперименты на ЭВМ удельной производительности  $Q_{yi}$  (10) и геометрической погрешности обработки показали, что при шлифовании плоским торцом ориентированного круга в диапазоне снимаемых припусков  $\delta=0,02...0,4$  мм оптимальным отношением углов  $-\varphi^\circ/\psi^\circ=1,5$ , которое обеспечивает минимальное торцевое биение

$$\Delta_I = Z_{qmax} - Z_{qmin} \quad (12)$$

где  $Z_{qmax}$  и  $Z_{qmin}$  - максимальная и минимальная координаты точек торцевой поверхности вдоль оси детали (рис. 1), расположенных на окружности радиусом  $r_q$ .

Координаты  $Z_q$  определяются решением векторных уравнений поверхностей круга  $r_i$  (5) и детали  $r_{iq}$  (6) из условия, что в точках их касания  $r_i = r_{iq}$  [2].

Для повышения производительности и точности шлифования торцов втулок, поршневых пальцев, пружин, предложен новый способ [3], в котором оси детали 1 (рис. 1) в зону резания перемещают по дуге окружности радиусом

$$R_b = R_a - r_{qi}, \quad (13)$$

где  $R_a$  - радиус окружности, по которой перемещают ось алмазного карандаша при правке круга;  $r_{qi}$  - средний радиус втулки

$$r_{qi} = \frac{r_u + r_b}{2}, \quad (14)$$

где  $r_u$  и  $r_b$  - внешний и внутренний радиусы втулки. Полученная погрешность составила  $\Delta=0,01$  мм при  $\varphi=-0,09^\circ$ ,  $\psi=0,06^\circ$ .

Методика профилирования круга дана [4].

Максимальная производительность получена при фиксации втулки в процессе врезания и ее вращении в процессе формообразования.

При исследовании предлагаемого способа, для шлифования торцов цилиндрической винтовой пружины сжатия (рис. 1, С), при котором в процессе врезания ее фиксируют и концы начального и конечного витков располагают с противоположной стороны симметрично относительно оси, получена максимальная производительность ( $T_{шт}=5с$ ). При этом оси пружин в зону резания перемещают по дуге окружности радиусом  $R_b$  (13), в котором  $r_{qi}$  - средний радиус пружины.

### Выводы

1. Разработана методика определения мгновенной и удельной производительности шлифования торцов цилиндрических деталей ориентированными кругами.

2. Анализ математической модели удельной производительности шлифования показал, что при черновой обработке в процессе врезания, деталь необходимо вводит без вращения. Заборный конус на инструменте предотвращает удар при входе детали в зону обработки и перераспределяет припуск между черновым и калибрующим участками круга.

3. Разработан новый способ шлифования, который повышает производительность и больше чем в 2 раза точность шлифования торцов цилиндрических деталей.

**Список литературы :** 1. Лурье Г. Б., Комиссаржевская В.Н. Шлифовальные станки и их наладка. М.: "Высшая школа", 1976, 415 с. 2. Кальченко В.И., Кальченко В.В. Точность и производительность шлифования торцов ориентированным инструментом // Машиностроение электроника - Весн. черниг. технол. и-ту № 3 . - Чернигов: ЧТІ, 1997, с. 5-13. 3. Кальченко В.В. Заявка на патент Украины N97126464 B24B 5/04, приоритет от 30.12.97 "Способ шлифования торцов цилиндрических деталей". 4. Кальченко В. В., Профилирование ориентированных шлифовальных кругів // Машиностроение электроника - Весн. черниг. технол. и-ту № 3 . - Чернигов: ЧТІ, 1997, с. 14-22.