т.е. оно равно старому значению, уменьшенному на величину $n_Q + j\,K_n$.

При изменении числа набросов частоты вращения шпинделя j на один шаг новое значение оценочной функции

$$F(U + 1) = -in_0 + (j+1)\,K_nD. = -n_Qi + jK_nD. + K_nD. = F(i,j) + K_nD..$$

т.е. оно отличается от старого значения функции на величину $K_nD$ .

Для случая, когда диаметр обработки увеличивается (обработка ведется от оси детали), оценочная функция

$$F(i,j) =_V - jK_nD. .$$

Последнее выражение получено аналогично (6)>

Для случая $K_п$ = 1 расчет оценочной функции производится с помощью операций сложения и вычитания.

# Глава IV. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАБОТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

*УДК 621.9.04:621.941.01*

А.И.ГОЛЕМБИЕВСКИЙ, канд. техн. наук,
Г.Е.ГОЛЕМБИЕВСКАЯ (НПИ)

## АНАЛИЗ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ПРИ ПЛАНЕТАРНОМ ДВИЖЕНИИ ЗАГОТОВОК

Процесс резания при планетарном точении (рис. 1) осуществляется в результате одновременного вращения заготовки 1 относительно собственного центра вращения $0_1$ и переносного вращения ее относительно неподвижного центра О, а также и прямолинейного перемещения резца 2 параллельно оси обрабатываемой заготовки. Возможны два случая точения: попутное, при котором направление относительного вращения заготовки совпадает с направлением ее переносного вращения, и встречное, при котором направление относительного вращения заготовки противоположно направлению ее переносного вращения. Процесс точения происходит в пределах угла 2у>, величина которого определяется на основании теоремы косинусов при рассмотрении треугольника $OAO_1$:

$$2\varphi = 2\arccos\frac{(H+R_\partial)^2 + H^2 - R_з^2}{2(H+R_\partial)H}, \qquad (1)$$

где H — расстояние между подвижным центром $O_1$ и неподвижным — O; $R_\partial$ — радиус детали; $R_з$ — радиус заготовки.

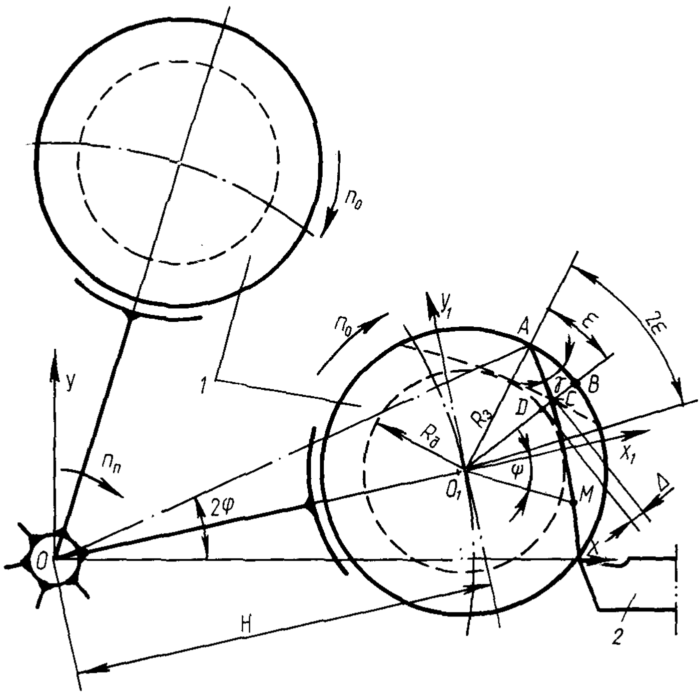


**Рис. 1. Схема резания при планетарном точении**

Скорость резания определяется по формуле*

$$v = \frac{2\pi}{ТЩ} - [(H + в_э)n_п * R_д n_0],$$

где $n_п$ и $n_Q$ - соответственно круговая частота переносного и относительного вращения заготовок в об/мин.

Для планетарного точения характерна одновременная обработка нескольких заготовок. Кроме того этот процесс отличается удачным решением вопроса о стружкодроблении, что особенно важно при обработке металлов, образующих при резании сливную стружку. Изменяя величину угла поворота заготовки при ее относительном вращении, приходящуюся на угол 2<р при ее переносном вращении, можно управлять траекторией следа вершины резца на заготовке (длиной стружки), высотой огранки, образующейся на обработанной поверхности, и другими параметрами процесса.

Для удобства дальнейшего изложения примем плоскую схему резания, пренебрегая пока поступательным перемещением резца. Тогда, в случае попутного точения, траектория следа вершины резца является функцией угла поворота *ф* заготовки (см. рис. 1), определяющего положение произвольной

---

*Здесь и далее верхний знак относится к попутному точению, а нижний – к встречному.

точки М в подвижной системе координат $X_1O_1Y_1$, и функцией угла ее поворота $\varphi$ в неподвижной системе координат XOY. Координаты точки М в подвижной системе координат $X_1O_1Y_1$ имеют вид

$$x_1 = R_\partial \cos \psi; \quad y_1 = -R_\partial \sin \psi.$$

Переходя к неподвижной системе координат и опуская промежуточные преобразования, получим

$$x = H \cos \varphi + R_\partial \cos(\psi + \varphi); \quad y = H \sin\varphi - R_\partial \sin(\psi + \varphi).$$

Аналогично выводятся координаты точки М при встречном точении

$$x = H \cos \varphi + R_\partial \cos (\psi - \varphi); \quad y = H\sin \varphi \dots R_\partial \sin (\psi - \varphi).$$

Объединяя оба случая и добавляя уравнение вершины резца в направлении продольной подачи, получим параметрическое уравнение траектории следа вершины резца

$$\begin{aligned} x &= H\cos \varphi + R_\partial \cos (j \pm 1)\varphi; \\ y &= H \sin \varphi - R_\partial \sin (j \pm 1)\varphi; \\ z &= \frac{s}{2\pi}\varphi, \end{aligned} \qquad (2)$$

где $j = \psi/\varphi$ – отношение углов поворота заготовки; s – продольная подача.

По выражениям (2) устанавливаем, что траектория резания в случае попутного точения – удлиненная гипоциклоида, в случае встречного точения – укороченная гипоциклоида.

Протяженность следа или длину стружки, снимаемой в пределах угла $2\varphi$, определим, интегрируя дифференциал дуги

$$L = \int_0^{2\varphi} \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}\, d\varphi.$$

Имеем

$$dx = -H \sin \varphi\, d\varphi - R_\partial (j \pm 1) \sin (j \pm 1)\varphi d\varphi;$$

$$dy = H \cos \varphi\, d\varphi - R_\partial (j \pm 1) \cos (j \pm 1)\varphi d\varphi;$$

$$dz = \frac{s}{2\pi} d\varphi.$$

После подстановки значения производных в выражение для L и некоторых преобразований получим

$$L = \int_0^{2\varphi} \sqrt{H^2 + 2HR_\partial (j \pm 1) \cos[\varphi + (j \pm 1)\varphi] + R_\partial^2 (j \pm 1)^2 + \frac{s^2}{4\pi^2}}\, d\varphi.$$

Введем обозначения

$$B = 2HR_\partial (j \pm 1); \quad A = H^2 + R_\partial^2 (j \pm 1) + \frac{s^2}{4\pi^2}. \qquad (3)$$

Заменяя подынтегральное выражение двумя первыми членами ряда, окончательно получим

$$L=\sqrt{A}\int_{0}^{2\varphi}\left(1+\frac{1}{2}\cdot\frac{B}{A}\cos[\varphi+(j\pm1)\varphi]\right)d\varphi=\sqrt{A}\left(2\varphi+\frac{1}{2}\cdot\frac{B}{A}\cos[2\varphi+(j\pm1)2\varphi]\right), \tag{4}$$

где $\varphi$, A и B определяются из выражений (1) и (3).

Для равномерного снятия припуска с заготовки необходимо задать такое отношение круговых частот вращения заготовки в относительном и переносном движениях, при котором каждый последующий срез будет перекрывать предыдущий на некоторый угол $2\varepsilon$ (см. рис. 1). Это отношение определим следующим образом. За время поворота заготовки в переносном движении на угол $2\pi-2\varphi$ срезание припуска не происходит. В этот период в относительном движении заготовка должна повернуться на угол $2k\pi-2\varepsilon$, где k — целое число. Тогда уравнение кинематического баланса можно записать в следующем виде:

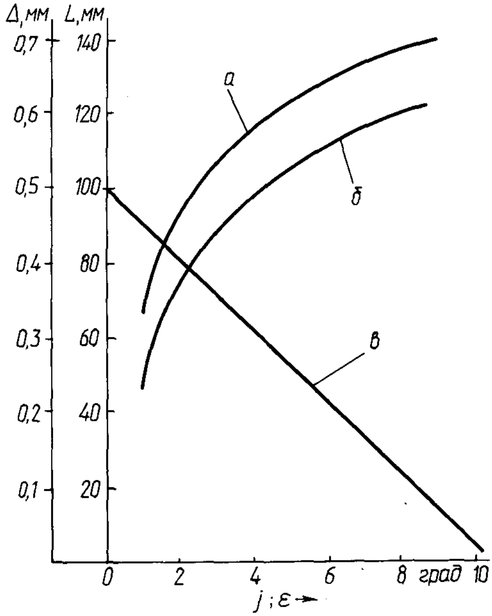


Рис. 2. Графики изменения длины стружки и высоты огранки

$$2k\pi-2\varepsilon=(2\pi-2\varepsilon)\,i,$$

где i — искомое отношение.

Из этого уравнения получим

$$i=(k\pi-\varepsilon)/(\pi-\varphi). \tag{5}$$

При планетарном точении на поверхности детали образуется огранка. Ее теоретическая высота (см. рис. 1) определяется выражением

$$\Delta=R_з-R_д-BC. \tag{6}$$

Из треугольника ABC, считая его прямоугольным, имеем

$$BC=AB\,tg\,\gamma,$$

где $AB=R_з\varepsilon$, а угол $\gamma$ определим, рассматривая треугольник $OAO_1$. Используя теорему синусов и выполнив преобразования, окончательно получим

$$BC = R_з\, \varepsilon \frac{H \sin\varphi}{\sqrt{R_з^2 - H^2 \sin^2\varphi}}.$$

Подставляя полученное выражение в формулу (6) и заменяя $R_д$ на $R_з - t$, где $t$ – припуск, снимаемый за один проход, после несложных преобразований получим

$$\Delta = t - R_з \varepsilon \frac{H \sin\varphi}{\sqrt{R_з^2 - H^2 \sin^2\varphi}}. \qquad (7)$$

На рис. 2 по выражениям (4) и (7) построены кривые изменения длины сливной стружки в зависимости от соотношения углов поворота заготовки в относительном и переносном движениях и высоты огранки в функции угла перекрытия при следующих условиях:

$$H = 150\ мм,\ R_з = 30\ мм,\ R_д = 25\ мм.$$

Графики наглядно показывают, что длина сливной стружки по мере уменьшения отношения углов уменьшается как при попутном (кривая *а*), так и при встречном (кривая *б*) точении. Из графика (прямая *в*) также видно, что, изменяя угол перекрытия, можно получить любое приближающееся к нулю минимальное значение огранки обработанной поверхности. Это позволяет, объединяя формулы (5) и (7), получить выражение для передаточного отношения в функции высоты огранки, задаваемой в каждом конкретном случае обработки предельным значением некруглости поверхности

$$i = \frac{k\pi + (t - \Delta)\sqrt{\dfrac{1}{H^2 \sin^2\varphi} - \dfrac{1}{R_з^2}}}{\pi - \varphi}.$$

Проверка изложенного проводилась с использованием приставки к токарному станку для одномерной обработки двух заготовок. Обточка образцов показала хорошую сходимость теоретических зависимостей с практическими результатами. Это позволяет результаты работы использовать при конструировании многошпиндельных станков для планетарной обработки, сочетающих достоинства последовательной и параллельной схем.