т.е. оно равно старому значению, уменьшенному на величину $n_0 + jK_n$.

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

$$F(i, j+1) = -in_0 + (j+1)K_nD_i = -n_0 i + jK_nD_i + K_nD_i = F(i,j) + K_nD_i ,$$

т.е. оно отличается от старого значения функции на величину K_nD_i .

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

$$F(i, j) = n_0 i - jK_nD_i .$$

Последнее выражение получено аналогично (6).

Для случая $K_n = 1$ 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 O_1 и переносного вращения ее относительно неподвижного центра O, 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 2φ, величина которого определяется на основании теоремы косинусов при рассмотрении треугольника OAO_1:

$$2\varphi = 2 \arccos \frac{(H + R_д)^2 + H^2 - R_з^2}{2(H + R_д)H} , \tag{1}$$

где H – расстояние между подвижным центром O_1 и неподвижным – O; $R_д$ – радиус детали; $R_з$ – радиус заготовки.

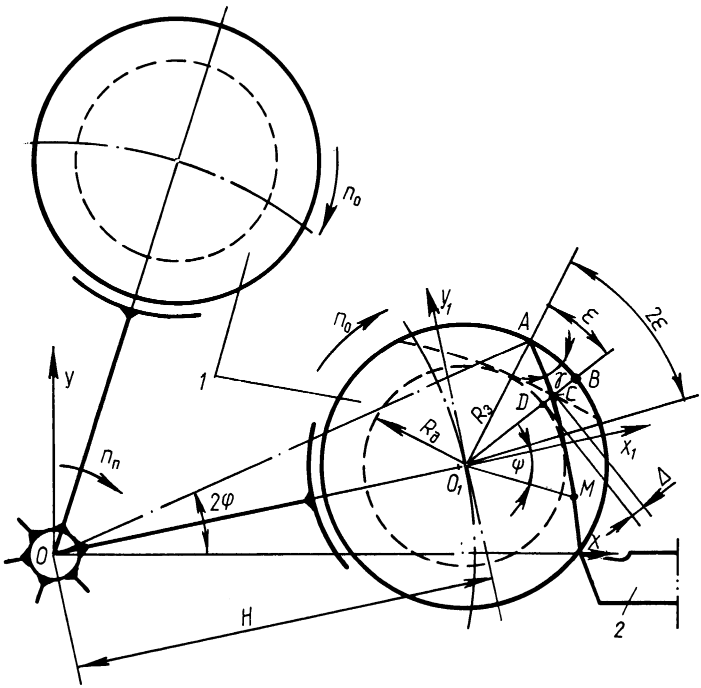

Рис. 1. Схема резания при планетарном точении

Скорость резания определяется по формуле*

$$v = \frac{2\pi}{1000}\left[(H + R_\partial) n_п \pm R_\partial n_0 \right],$$

где $n_п$ и n_0 – 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 2φ 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 ψ 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 φ 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

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

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

$$\begin{aligned} x &= H\cos\varphi + R_\partial \cos(j\pm1)\varphi; \\ y &= H\sin\varphi - R_\partial \sin(j\pm1)\varphi; \\ z &= \frac{s}{2\pi}\varphi, \end{aligned} \tag{2}$$

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 2φ, определим, интегрируя дифференциал дуги

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

Имеем

$$dx = -H\sin\varphi\, d\varphi - R_\partial (j\pm1)\sin(j\pm1)\varphi d\varphi;$$

$$dy = H\cos\varphi\, d\varphi - R_\partial (j\pm1)\cos(j\pm1)\varphi d\varphi;$$

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

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

$$L = \int_0^{2\varphi} \sqrt{H^2 + 2HR_\partial (j\pm1)\cos[\varphi + (j\pm1)\varphi] + R_\partial^2 (j\pm1)^2 + \frac{s^2}{4\pi^2}}\, d\varphi.$$

Введем обозначения

$$B = 2HR_\partial (j\pm1); \quad A = H^2 + R_\partial^2 (j\pm1) + \frac{s^2}{4\pi^2}. \tag{3}$$

Заменяя подынтегральное выражение двумя первыми членами ряда, окончательно получим

$$L = \sqrt{A}\int_0^{2\varphi} \left(1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{B}{A}\cos[\varphi + (j\pm1)\varphi]\right) d\varphi = \sqrt{A}\left(2\varphi + \frac{1}{2}\cdot\frac{B}{A}\cos[2\varphi + (j\pm1)2\varphi]\right), \qquad (4)$$

где φ, 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 2ε (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:

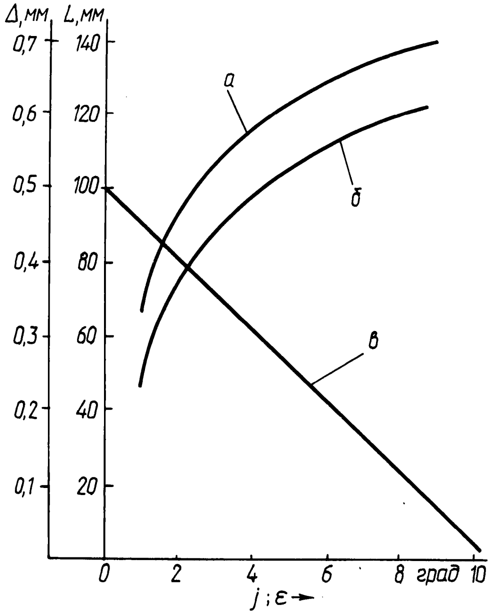

Рис. 2. Графики изменения длины стружки и высоты огранки

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

где i — искомое отношение.

Из этого уравнения получим

$$i = (k\pi - \varepsilon)/(\pi - \varphi). \qquad (5)$$

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

$$\Delta = R_з - R_д - BC. \qquad (6)$$

Из треугольника ABC, считая его прямоугольным, имеем

$$BC = AB\,\mathrm{tg}\,\gamma,$$

где $AB = R_з\varepsilon$, а угол γ 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

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

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:

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

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.