

РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ЗАДНЕГО УГЛА РЕЗЦА ПРИ ТОЧЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С НЕКРУГЛЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

И.А. Щуров, В.В. Ворона

Рассматривается обработка точением внутренней цилиндрической поверхности детали с некруглой направляющей линией. Точение производится резцом, совершающим синхронные с вращением заготовки радиальные перемещения. Для исключения удара задней поверхности резца о заготовку необходимо обеспечить достаточную величину заднего угла. Статья посвящена расчету минимальной величины последнего на основе определения огибающей семейства линий - направляющих поверхности детали при ее движении относительно инструмента.

В машиностроении применяются детали, поверхности которых относятся к классу цилиндрических поверхностей. В качестве направляющих линий таких поверхностей среди прочего используются кривые, описываемые в полярной системе координат уравнением [1,2]

$$\rho(\psi) = a - b \cos(n\psi), \quad (1)$$

где a - средний радиус синусоиды, b - эксцентриситет, n - количество осей симметрии кривой.

Одним из способов получения указанных поверхностей является точение или растачивание резцом. При этом резцу наряду с движением подачи D_s вдоль оси заготовки сообщается радиальное движение D_{rp} по закону $\Delta(\psi) = \epsilon \cos(n\psi)$ с помощью шупа, жестко связанного с резцом и опирающегося на требуемое копирное устройство, причем шуп располагается оппозитно получаемой поверхности [3-5]. Одновременно с перемещениями резца заготовка совершает вращательное движение вокруг своей оси, обеспечивая главное движение резания D_r (рис. 1).

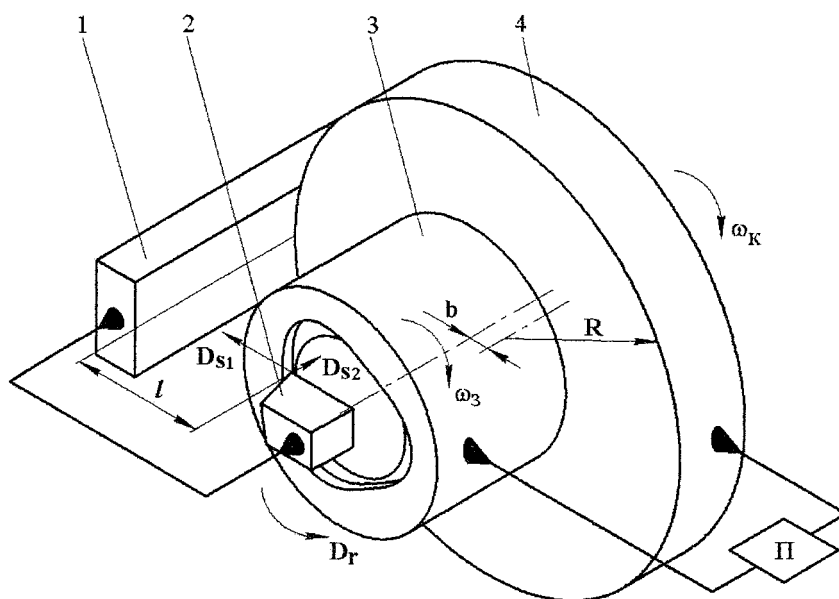


Рис. 1. Схема обработки: 1 – шуп, 2 – резец, 3 – заготовка, 4 – копир

Одной из проблем при реализации такой операции обработки является правильная заточка инструмента, так как при повороте детали на некоторый угол τ в процессе обработки проекция инструмента на плоскость, перпендикулярную рабочей плоскости, может пересекать сечение получаемой поверхности, что приведет к браку изделия и поломке резца (рис. 2).

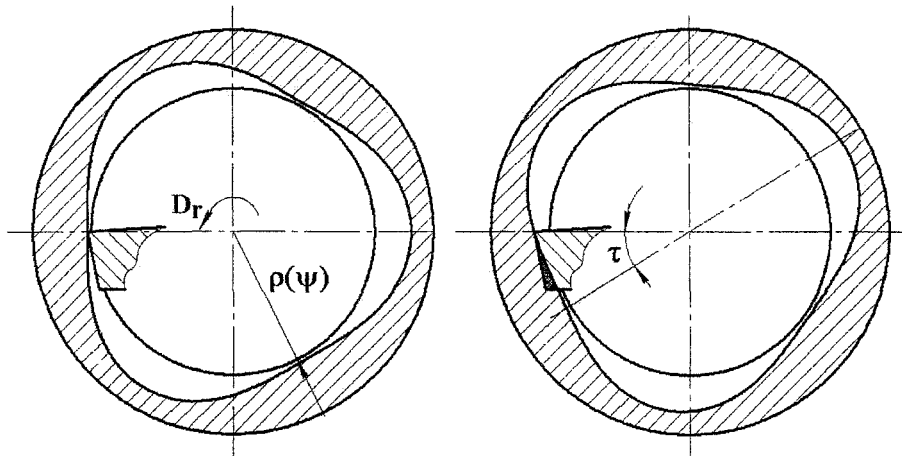


Рис. 2. Расположение сечений резца и детали: а – в начальный период обработки; б – при повороте на угол τ

В связи с этим возникает задача определения предельного угла наклона проекции линии пересечения главной и вспомогательной задних поверхностей на плоскость, перпендикулярную рабочей. При исследовании процесса было замечено, что искомый угол при обработке внутренних поверхностей больше, чем при обработке наружных, поэтому задача может быть сведена к определению предельного положения точки радиального профиля детали на высоте, равной высоте державки резца. Для решения этой задачи найдем уравнение семейства профилей детали при ее формообразующем движении относительно вершины резца.

В декартовой системе координат указанная кривая (1) запишется следующим образом:

$$\begin{cases} X = \rho(\psi) \cos \psi; \\ Y = \rho(\psi) \sin \psi. \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку заготовка, а с ней и данный профиль, вращаются, то при повороте декартовой системы на угол ω новые координаты будут определяться как

$$\begin{cases} X_1 = \rho(\psi) \cos \psi \cos \omega - \rho(\psi) \sin \psi \sin \omega; \\ Y_1 = \rho(\psi) \sin \psi \sin \omega + \rho(\psi) \cos \psi \cos \omega. \end{cases} \quad (3)$$

Вынося $\rho(\psi)$ за скобки и преобразуя по известным тригонометрическим формулам, получим:

$$\begin{cases} X_1 = \rho(\psi) \cos(\psi + \omega); \\ Y_1 = \rho(\psi) \sin(\psi + \omega). \end{cases} \quad (4)$$

Как отмечалось ранее, в реальной обработке резец перемещается в горизонтальной плоскости по закону, обеспечивающему формирование синусоидального профиля, при одновременном вращении заготовки. В данном случае примем резец неподвижным в соответствующей неподвижной системе координат, а заготовке сообщим необходимое движение вдоль оси абсцисс. Тогда, с учетом подстановки в (4) значения радиус-вектора из (1), получим

$$\begin{cases} X_1 = (a - b \cos(n\psi)) \cos(\psi + \omega) + b \cos(n\omega); \\ Y_1 = (a - b \cos(n\psi)) \sin(\psi + \omega). \end{cases} \quad (5)$$

Пусть высота державки резца в радиальной плоскости, проходящей через его вершину, равна h (рис. 3). Тогда из второго уравнения системы (4), зная, что $Y_1 = -h$, найдем взаимосвязь угла поворота профиля ω с величиной h и углом поворота радиус-вектора ψ :

$$\omega = \arcsin\left(\frac{-h}{a - b \cos(n\psi)}\right) - \psi. \quad (6)$$

Подставляя (6) в первое уравнение системы (5), получим:

$$X_1 = (a - b \cos(n\psi)) \cos\left[\arcsin\left(\frac{-h}{a - b \cos(n\psi)}\right)\right] + b \cos\left[n\left(\arcsin\left(\frac{-h}{a - b \cos(n\psi)}\right) - \psi\right)\right]. \quad (7)$$

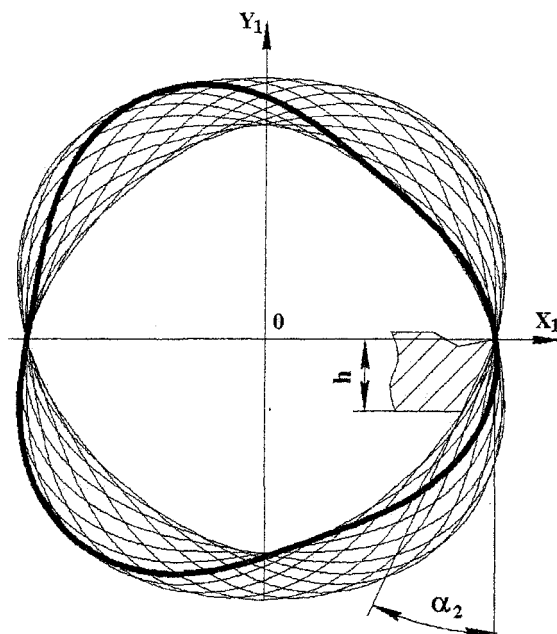


Рис. 3. Семейство кривых ($a=40, b=4, n=3$) по системе (5) и положение резца

Из уравнения (7) можно найти такое значение величины ψ , когда X_1 будет иметь минимальное значение в одной из координатных полуплоскостей. Экстремальное значение X_1 можно получить, например, протабулировав (7) или определяя производную по ψ .

Обозначив

$$F(\psi) = \arcsin\left(\frac{-h}{a - b \cos(n\psi)}\right),$$

выражение (7) можно свести к виду

$$X_1 = (a - b \cos(n\psi)) \cos(F(\psi)) + b \cos(n(F(\psi) - \psi)).$$

Тогда экстремальное значение X_1 находится из выражения

$$\frac{\partial [a \cos(F(\psi)) - b \cos(n\psi) \cos(F(\psi)) + b \cos(n(F(\psi) - \psi))]}{\partial \psi} = 0. \quad (8)$$

Дифференцирование по ψ в последнем уравнении не представляет собой математической трудности, однако является достаточно громоздким и здесь не приводится. Полученное уравнение является трансцендентным относительно ψ и решается на ЭВМ.

Определив из (8) значение угла ψ , после подстановки в (6) и далее в (5) находятся значения координат точек профиля, по которым затем рассчитывается значение предельного угла инструмента в радиальной плоскости:

$$\alpha_2 = \arctg\left(\frac{Y_1}{X_1}\right).$$

Расчет предельного угла α_2 позволяет определить зависимость между задними углами α , α_1 и углами в плане φ , φ_1 по уравнению

$$\alpha_1 = \arctg \left[\frac{\frac{\operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}}{\frac{1}{\cos \varphi_1} - \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \varphi}{\sin(\varphi + \varphi_1)}} \right].$$

В одном из случаев обработки растачиванием детали ЦСКБ «Прогресс» г. Самара ($a = 10$, $b = 0,625$, $n = 3$) для ряда высот державок резцов h был рассчитан ряд значений предельных радиальных углов α_2 . Результаты расчета приведены в таблице.

Значения предельных углов α_2 при растачивании детали

h , мм	3	4	5	6	7	8
α_2 , град	19,15	22,1	24,86	28,18	31,56	35,63

Таким образом, была установлена взаимосвязь предельного угла наклона проекции линии пересечения главной и вспомогательной задних поверхностей на плоскость, перпендикулярную рабочей, и высоты державки резца при обработке некруглых цилиндрических поверхностей синусоидального профиля с базированием шупа, связанного с резцом, по поверхности копира оппозитно поверхности детали.

В ходе исследования процесса токарной обработки рассматриваемой цилиндрической поверхности были сделаны следующие наблюдения:

- при увеличении высоты державки резца предельный угол возрастает;
- с уменьшением эксцентриситета b при постоянных a , n и h предельный угол уменьшается;
- с увеличением количества осей симметрии n при постоянных a , b и h предельный угол увеличивается;
- с увеличением среднего радиуса a при постоянных n , b и h предельный угол уменьшается;
- если геометрия профиля соответствует рекомендациям, приведенным в работах [1, 2], то с увеличением количества осей симметрии n при постоянных среднем радиусе a и высоте державки предельный угол уменьшается.

Литература

1. Синкевич, В.М. Принцип образования точением синусоидальных профилей для бесшпоночных соединений и их геометрия / В.М. Синкевич // *Технология судостроения*. - 1973. - №7. - С. 48-53.
2. Синкевич, В.М. Новый вид профильных соединений в узлах судовых механизмов / В.М. Синкевич, Е.П. Митюк // *Вестник машиностроения*. - 1990. - №11. - С. 60-63.
3. Чиненое, С.Т. Приспособление для обработки некруглых цилиндрических поверхностей / С.Т. Чиненое, В.В. Ворона, Т.П. Чиненова // *СТИН*. - 2005. - №7. - С. 11-13.
4. Патент № 2245224 РФ, МПК 7 В 23 В 5/44. Устройство для обработки некруглых цилиндрических поверхностей.
5. Патент № 2280539 РФ, МПК 7 В 23 В 5/44. Устройство для обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей.