

УДК 621.9.04

## АНАЛИЗ СХЕМЫ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ МНОГОГРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПЛОСКИМИ ГРАНЯМИ

Студент гр.10305220 Гривусевич Е.Д.

*Научный руководитель – ст. преподаватель Данилов А.А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Многогранные поверхности с плоскими гранями обычно обрабатывают на фрезерных станках с периодическим поворотом заготовки (движением деления), необходимым для последовательной обработки всех граней, что отрицательно влияет на производительность обработки. Поэтому заслуживают внимания методы обработки, при которых движение деления совмещено с движением формообразования, что обеспечивает повышение производительности. К таким методам относится полигональное точение, которое является альтернативой фрезерованию при обработке многогранных поверхностей. Недостатком полигонального точения многогранных поверхностей является то, что обработанные поверхности отличаются от плоских на величину  $\delta$  (рисунок 1), которая зависит от параметров схемы обработки. Поэтому настраиваемы параметры должны обеспечивать требуемую точность формообразования граней.

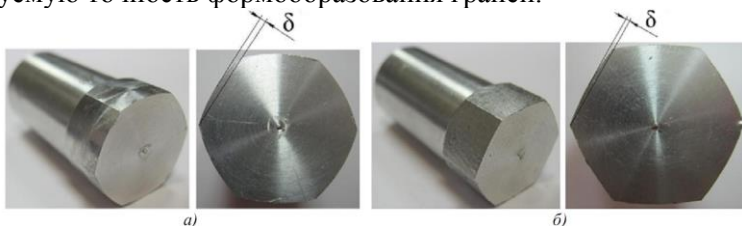


Рисунок 1 – Образцы деталей, обработанных полигональным точением

Полигональное точение основано на профилировании формируемой поверхности методом следа сложным исполнительным движением резания, образованным

согласованными вращательными движениями режущего инструмента и заготовки [1]. Оно выполняется на специальных станках, на модернизированных токарных автоматах и полуавтоматах, на современных многооперационных токарных станках с функцией полигонального точения резцовыми головками внешнего касания или охватывающего типа. В первом случае имеет место встречная, а во втором – попутная схемы обработки.

Рассмотрим более простую в реализации схему полигонального точения резцовой головкой внешнего касания (рисунок 1). Определим основные параметры данной схемы при обработке поверхностей с плоскими гранями, при которых обеспечиваются требуемая точность формообразования и допусковое изменение рабочих углов режущих лезвий.

Профиль обработанной поверхности в виде многоугольника образуется при сообщении заготовке 1 и режущему инструменту 2 согласованных вращательных движений  $B_1$  и  $B_2$  с угловыми скоростями, соответственно  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , вокруг параллельных осей  $L_1$  и  $L_2$ , расстояние между которыми  $l = R + r$ , где  $R$  – расстояние от вершины  $C$  резца до оси  $L_2$  вращения инструмента,  $r$  – радиус вписанной в профиль окружности. Если заготовке и инструменту сообщить дополнительное вращение  $-B_1$  вокруг оси  $L_1$  в направлении, противоположном вращению заготовки, с угловой скоростью  $\omega_1$  (рисунок 1, б), то деталь и система координат  $XU$  будут неподвижны, а ось  $L_2$  получит вращение вокруг оси  $L_1$  с угловой скоростью  $\omega_1$ . Точка  $C$ , совершая сложное движение, перемещается по траектории  $ab$ , уравнение которой

$$\begin{cases} x = l \cos \alpha - R \cos(\beta - \alpha) \\ y = l \sin \alpha + R \sin(\beta - \alpha) \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол поворота точки  $C$  вокруг оси  $L_2$ , соответствующий углу  $\alpha$  поворота заготовки. Отношение  $\beta / \alpha$  должно обеспечивать процесс непрерывного деления.

В зависимости от параметров схемы обработки траектория  $ab$  может быть выпуклой, вогнутой и приближаться к прямой линии.

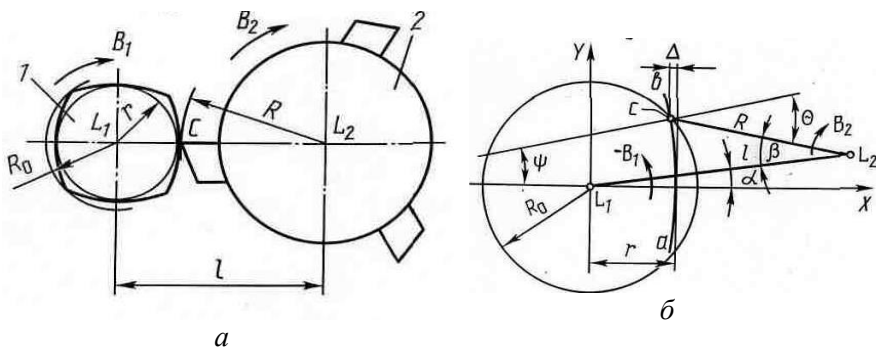


Рисунок 2 – Кинематическая схема полигонального точения (а) и схема профилирования (б) многогранной поверхности инструментом внешнего касания

Из (1) следует, что при  $\beta = \alpha$  грани профилируются по окружности, уравнение которой

$$(x + R)^2 + y^2 = l^2. \quad (2)$$

Для образования плоских граней точка  $C$  должна перемещаться по прямой, поэтому

$$(R + r)\cos \alpha - R \cos(\beta - \alpha) - r = 0. \quad (3)$$

Дифференцируя (3) и учитывая, что  $d\alpha / dt = \omega_1$  и  $d\beta / dt = \omega_2$ , получим зависимость между кинематическими и геометрическими параметрами схемы обработки

$$\omega_2 / \omega_1 = 1 + (1 + r/R)\sin \alpha / \sin(\beta - \alpha). \quad (4)$$

Из (3) следует, что для значений  $\alpha$ , возможных при обработке многогранных изделий, величина  $\omega_1 / \omega_2$  практически не зависит от  $\alpha$  и численно определяется параметром  $r/R$ . Поэтому вместо  $\omega_2 / \omega_1$  можно рассматривать равное отношение  $\beta / \alpha$  или  $n_2 / n_1$ , где  $n_2$  – частота вращения инструмента,  $n_1$  – частота вращения заготовки. Отношение  $\beta / \alpha$  – выражается приближенной зависимостью, полученной из уравнения (3) при замене функции косинус двумя членами разложения в ряд:

$$\beta/\alpha = 1 + \sqrt{1 + r/R}. \quad (5)$$

Выполнение условия (5) обеспечивает высокую точность профилирования плоских граней, например, при их ширине в пределах 20–100 мм и  $r/R=0,2$  отклонение профиля от плоскости меньше  $2 \times 10^{-3}$  мм. Однако реализация условия (5) представляет технические трудности, так как процессе формообразования многогранной поверхности совмещен с процессом деления, что возможно, если

$$i = m/Pz, \quad (6)$$

где  $m$  – количество граней;

$z$  – число резцов в головке;

$P$  – целое число, задающее последовательность обработки граней [2].

Для поверхностей с четным числом граней рассматриваемая схема осуществима только при  $n_2/n_1=2$  и  $P=1$ . В этом случае  $m/(Pz)=2$  и  $r/R=0$ , что практически невыполнимо, так как  $r \neq 0$  и  $R \neq \infty$ . Поэтому возможно лишь приближенное профилирование плоских граней с неплоскостностью  $\Delta$  (см. рисунок 2, б).

Траектория относительного движения вершины резца, согласно уравнениям (1), при  $\beta=2\alpha$  описывается системой уравнений

$$\begin{cases} x = r \cos \alpha \\ y = (r + 2R) \sin \alpha \end{cases}, \quad (10)$$

откуда

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{(r + 2R)^2} = 1. \quad (11)$$

Таким образом, грани профилируются по эллипсу, отклонение которого от прямой составляет

$$\Delta = r(1 - \cos \alpha). \quad (12)$$

Максимальное значение  $\Delta$  соответствует моменту окончания обработки грани, для которого

$$\alpha \approx \arcsin\left(\sqrt{R_0^2 - r^2} / (2R + r)\right), \quad (13)$$

где  $R_0$  – радиус окружности, описанной вокруг профиля.

Решение уравнения (13) относительно  $R$  определяет зависимость радиуса инструмента от неплоскостности  $\Delta$  грани. Если допускаемое отклонение составляет  $[\Delta]$ , то

$$R \geq \frac{r}{2\sqrt{2}} \left( \sqrt{\frac{r(R_0^2 / r^2 - 1)}{[\Delta]}} - 1 \right). \quad (14)$$

Настройка величины  $R$  по условию (14) обеспечивает формообразование грани с отклонением от плоскости, не превышающим допускаемую величину  $[\Delta]$ .

При определении радиуса резцовой головки необходимо также учитывать изменение рабочих углов режущих лезвий. Текущее их изменение  $\theta$ , согласно рисунку 1, б, составляет

$$\theta = \beta - \alpha + \varphi, \quad (15)$$

где  $\varphi$  – угол между осью абсцисс и нормалью к образуемой линии в рассматриваемой точке, который определяется по формуле

$$\varphi = \arctg |rtg \alpha / (r + 2R)|. \quad (16)$$

Поскольку  $\beta = \alpha m / (zP)$ , то

$$\theta = \alpha(m / (zP) - 1) + \arctg |rtg \alpha / (r + 2R)|. \quad (17)$$

Максимальное значение  $\theta$  имеет место в моменты входа резца в контакт с заготовкой и выхода из нее, для которых  $\alpha$  определяется по (13) при  $R_0$ , равном радиусу заготовки. Так как  $\alpha$  и,

следовательно,  $\theta$  зависят от  $R$ , то выражение (17) позволяет при  $\theta = \theta_{max} = [\theta]$ , где  $[\theta]$  – допускаемое изменение рабочих углов, определить минимальный радиус инструмента. Для обеспечения заданной точности формообразования плоских граней при допускаемом изменении рабочих углов инструмента его радиус  $R$  принимается равным большему из значений, определенных из (15) и (17).

Таким образом, результаты исследования позволяют определять параметры инструмента при его проектировании и настройке, исходя из требуемой точности формообразования многогранных поверхностей. Применение полученных результатов в практике машиностроения важно для более широкого применения полигонального точения при обработке на современных токарных станках изделий с многогранными поверхностями. Реализация на станке схем полигонального и традиционного кругового точения обеспечивает выполнение на нем комплексной обработки деталей с круглыми и многогранными поверхностями, что позволяет сократить производственный цикл, уменьшить номенклатуру и количество необходимого станочного оборудования [3].

#### *Литература*

1. Данилов, А.А. Анализ и реализация схем полигонального точения многогранных поверхностей / А.А. Данилов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11, с. 19-27.
2. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Мн. : Наука и техника, 1995. – 264 с.
3. Данилов, В.А. Комплексная обработка деталей с круглыми и многогранными поверхностями на многооперационных токарных станках / В.А. Данилов, А.А. Данилов // Машиностроение: Республиканский межведомственный сб. научных трудов, Вып. 30. – Мн: БНТУ, 2017. – С. 25-33.