

# 圆弧槽无相同直径刀具时的近似铣削

覃寿同 李大磊 黄仁贵 马胜钢

(郑州工业大学机械系)

**摘要** 提出了一种在铣削开式圆弧槽无相同直径铣刀时,用小直径铣刀代替的近似铣削方法,并给出了有关公式及误差估计式。

**关键词** 铣削;近似加工

**中图分类号** TG714

在机械零件加工中,常会碰到与标准铣刀直径不同的半园成型面的加工,如果单独定做或重新刃磨工具,从成本上可能不划算,若以小直径铣刀进行手控包络法铣半园成型面<sup>[2,3]</sup>,从质量和效率上又难以保证。这里推荐一种应用相近小直径铣刀依靠立铣头斜置加工大直径半园成型面的方法。实际应用证明,在单件或小批量生产时,可以起到提高生产效率,满足精度要求,节约刀具投入费用的目的。

## 1 加工原理

图1为一半圆弧成型面的端截面剖视图,其设计参数往往是其半径R、深度h(或者是半圆弧弦长AC)。由三角形勾股定理知:

$$R^2 = \overline{BC}^2 + \overline{OB}^2 = \overline{BC}^2 + (R - h)^2$$

可得出:  $h = \overline{BD} = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{AC}{2}\right)^2}$  th (1)

或  $\overline{AC} = 2 \overline{BC} = 2 \sqrt{h(2R - h)}$  (2)

在加工中若没有合适半径尺寸R的铣刀,可选用一把比半径尺寸R略小的半径为r的铣刀,利用立铣头(或铣削头)斜置一α角的方法同样达到加工目的,见图2。从图上可以看出,当铣刀斜置α角后,铣刀刀齿的运动轨迹在工件端截面上的投影形成一椭圆。刀具工件水平方向相对移动形成切削时,被加工工件的半圆弧成型面正好由这椭圆轨迹的一部分近似代替而被铣出,而椭圆上这一部分轨迹的曲率与要求的圆弧成型面的曲率相近。这就是以小直径铣刀斜置后加工大直径圆弧成型面的加工原理。

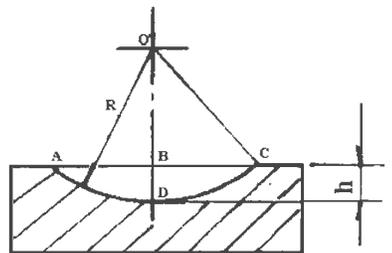


图1 端截面剖视图

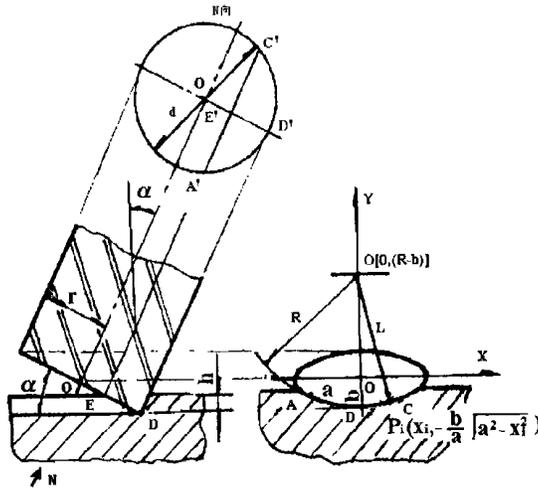


图 2 铣刀斜置加工原理

## 2 铣刀直径选择与铣刀轴斜置角度 $\alpha$

2.1. 铣刀直径选择 由(2)式知, 只有当铣刀直径  $d$  大于圆弧槽的弦长时, 才有可能一次将圆弧槽铣出。

$$\text{即} \quad d \geq \overline{AC} = 2 \sqrt{h(2R - h)} \quad (3)$$

可以证明, 铣刀直径  $d$  越大, 越接近圆弧槽的直径(即  $2R$ )这时的加工误差越小。

2.2. 铣刀轴斜置角度  $\alpha$  从图 2 上可的出:

$$\sin \alpha = \frac{h}{ED} \quad (4)$$

而在铣刀的正端面的  $N$  向投影上, 由(1)式可得出

$$\text{效} \quad \overline{ED} = \overline{E'D'} = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{\overline{A'C'}}{2}\right)^2} \quad (5)$$

式中  $\overline{A'C'}$  的长度应是铣刀实际切削出圆弧槽的弦长  $\overline{AC}$ 。在图 2 左视图中, 当设计的圆弧槽半径  $R$  及深度  $h$  一经确定后, 则弦长  $\overline{AC}$  也随之被确定。加大距离由(2)式知

$$\overline{A'C'} = \overline{AC} = 2 \sqrt{h(2R - h)} \quad (6)$$

将(6)代入(5)后再代入(4), 经化简可得:

$$\sin \alpha = \frac{r + \sqrt{r^2 - h(2R - h)}}{2R - h}$$

故铣刀轴斜置角度  $\alpha$

$$\alpha = \arcsin \frac{r + \sqrt{r^2 - h(2R - h)}}{2R - h} \quad (7)$$

从上面分析的过程知, 当用一稍小直径的铣刀铣削加工圆弧槽时, 当主轴斜置  $\alpha$  角之后, 可保证铣刀形成的椭圆截面上的三点  $A, C, D$  与设计要求的圆弧槽端截面上对应位置

在截面投影图(即左视图)上是相同的。

### 3 误差分析与计算

由于是将一段椭圆园弧近似代替设计要求的园弧槽园弧,故存在有形状误差。特别是当刀具半径与园弧槽半径相差较大时,这时的误差较大。其原因是这时铣刀轴斜置的 $\alpha$ 角较小,形成的椭圆截面在椭圆长轴端部曲率变化较大与园弧槽的曲率不同,从而造成较大的形状误差。下面求解误差值的大小。建立坐标系如图2,椭圆弧上任一点 $P_i(x_i, -\frac{b}{a}\sqrt{a^2-x_i^2})$ 到园心 $O[0, (R-b)]$ 的距离 $L$ 可由两点间距离公式<sup>[4]</sup>得出:

$$L = \sqrt{x^2 + [(R-b) + \frac{b}{a}\sqrt{a^2-x^2}]^2} \quad (8)$$

对(8)式求导并令 $\frac{dL}{dx}=0$ ,可以解出当 $x=x_0=\sqrt{a^2 - [\frac{ab}{a^2-b^2}(R-b)]^2}$ 时

代入(8)式 $L$ 有极大值存在:

$$L_{\max} = a \sqrt{1 + \frac{(R-b)^2}{a^2+b^2}} \quad (9)$$

从图中可以看出,椭圆的长轴即为刀具半径,即 $a=r$ ,椭圆短轴为 $b=r\sin\alpha$ 。代入(9)式后化简整理得

$$L_{\max} = \sqrt{r^2 + (\frac{R}{\cos\alpha} - r\operatorname{tg}\alpha)^2}$$

显然这种加工方法产生的最大形状误差 $\Delta_{\max}$ 应为

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= L_{\max} - R \\ &= \sqrt{r^2 + (\frac{R}{\cos\alpha} - r \cdot \operatorname{tg}\alpha)^2} - R \end{aligned} \quad (10)$$

### 4 应用举例

某零件表面有一通园弧槽,园弧半径 $R=34\text{mm}$ ,槽深为 $h=6\text{mm}$ ,试选择铣刀直径及计算误差大小。

显然这是用标准直径铣刀无法加工的园弧槽,故可用上法近似铣削加工。步骤如下:

1)由(2)式求出园弧槽弦长: $AC=2\sqrt{6 \times (2 \times 34 - 6)}=38.575\text{mm}$

2)选最小铣刀直径:由上计算知,只要铣刀直径 $d \geq AC=38.575\text{mm}$ 即可,选标准立铣刀<sup>[1]</sup> $d=50\text{mm}$ 的铣刀加工(直径越接近 $2R$ 误差越小)

3)计算立铣头斜置角度 $\alpha$ :由(7)式可求得

$$\alpha = \arcsin \frac{25 + \sqrt{25^2 - 6 \times (2 \times 34 - 6)}}{2 \times 34 - 6} = 41.283^\circ (41^\circ 16' 57'')$$

4)计算形状误差的最大值:由(10)式可求得

$$2. \quad \Delta_{\max} = \sqrt{25^2 + \left[ \frac{34}{\cos 41.283^\circ} - 25 \times \operatorname{tg} 41.283^\circ \right]^2} - 34 = 0.171\text{mm} \quad \text{可得}$$

若认为误差值过大,可改选直径大一些的标准立铣刀再计算。如当改用  $d=63\text{ mm}$  的标准直径立铣刀<sup>[4]</sup>时可求得:

$$\alpha = \arcsin \frac{31.5 + \sqrt{31.5^2 - 6 \times (2 \times 34 - 6)}}{2 \times 34 - 6} = 65.472^\circ (65^\circ 28' 19'')$$

$$\Delta_{max} = \sqrt{31.5^2 + \left[ \frac{34}{\cos 65.472^\circ} - 31.5 \times \tan 65.472^\circ \right]^2} - 34 = 0.028\text{ mm}$$

即采用直径  $d=63\text{ mm}$  的标准直径立铣刀,将立铣头(或铣削头)斜置  $\alpha=65^\circ 28' 19''$  角度,可近似铣削出要求的圆弧槽,其形状误差值仅为  $0.028\text{ mm}$ 。

## 参考文献

- 1 赵如福. 金属机械加工工艺人员手册; 上海科技出版社. 1990. 10
- 2 陈端树. 金属工业学(下册); 高等教育出版社. 1985. 4
- 3 技工类通用教材编审委员会编. 铣工工艺学; 机械工业出版社. 1980. 1
- 4 四川矿院数学组. 数学手册; 科学出版社. 1978. 1

## A Approximation Milling Method of Circular Arc without Same Diameter Cutting Tool

Qin Shoutong Li Dalei Huang Rengui Ma Shengang  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** In this paper, a approximation milling method is introduced. When the open-circular arc was worked without same diametel cutting tool, can substitute a small one for it. The formula and error estimate formula are given.

**Keywords** milling; approximate work