

案例 5 铣削蜗轮的技巧与禁忌。

图 3-55 所示为一蜗轮零件，材料为 ZCuSn5Pb5Zn5，顶圆直径 d_{e2} 为 $\phi 174_{-0.20}^0$ mm，分度圆直径 d_2 为 $\phi 160_{-0.20}^{-0.10}$ mm，齿顶圆直径 d_{a2} 为 $\phi 168_{-0.18}^{-0.05}$ mm，轮缘宽度 $b=40$ mm，蜗轮模数 $m=4$ mm，压力角 $\alpha=20^\circ$ ，齿数 $z=40$ ，分度圆上螺旋角 $\beta=15^\circ 16'$ ，方向右旋，与之啮合的蜗杆头数 $K=3$ ，中心距为 102 ± 0.09 mm，蜗轮精度等级为 9 级，齿面表面粗糙度为 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ 。

(1) 零件加工工艺方案分析。

① 合理选择铣刀。选择齿轮盘铣刀，应尽量符合下述 3 个要求。

- 铣刀的模数及压力角应与蜗轮的法向模数压力角相同。

在一般情况下，由于蜗轮的螺旋角 β 很小（等于与之相啮合的蜗杆的导程角 γ ），因此端面模数与法向模数及端面压力角和法向压力角非常接近，故一般都采用标准模数和压力角的齿轮盘铣刀。

- 铣刀的号数应根据蜗轮的当量齿数 z_v 来选择。

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta} \quad (3-22)$$

z_v ——蜗轮的当量齿数； z ——蜗轮的齿数； β ——蜗轮的螺旋角。

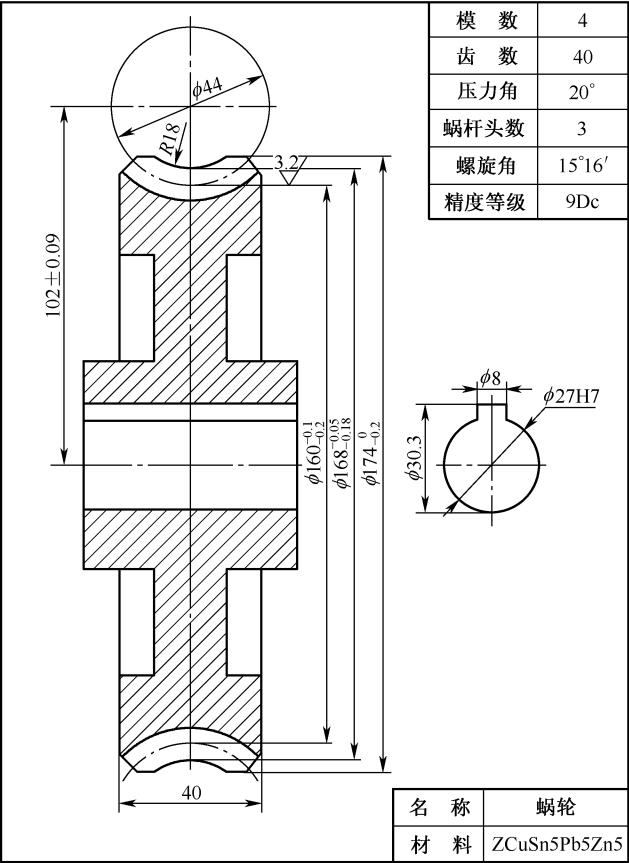


图 3-55 蜗轮

本例中 $z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta} = \frac{40}{\cos^3 15^\circ 16'} = 44.54 \approx 45$ 。

• 铣刀外径最好比与之相配的蜗杆外径略大或相等，以保证蜗轮蜗杆啮合的径向间隙相等。选择蜗轮滚刀的模数、压力角应与蜗轮相同，直径应与与之相配的蜗杆外径相等。

粗铣蜗轮所用的齿轮铣刀，其外径 D 应等于或略大于与蜗轮啮合的蜗杆外径 d_{a1} 。若 $D < d_{a1}$ ，则蜗轮蜗杆啮合时径向间隙就不会相

等；若 D 太大，则蜗轮蜗杆安装时的中心距尺寸就不能保证。两

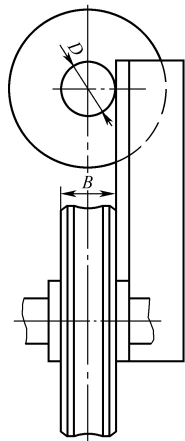


图 3-56 铣刀对中心方法

者都影响到蜗轮蜗杆副的啮合性能。一般铣刀的外径 D 最好比蜗杆外径大 0.4 个模数。若计算后 D 的值相差太大,也可采用高速钢磨成单刃刀头,夹在刀轴上代替齿轮盘形铣刀。

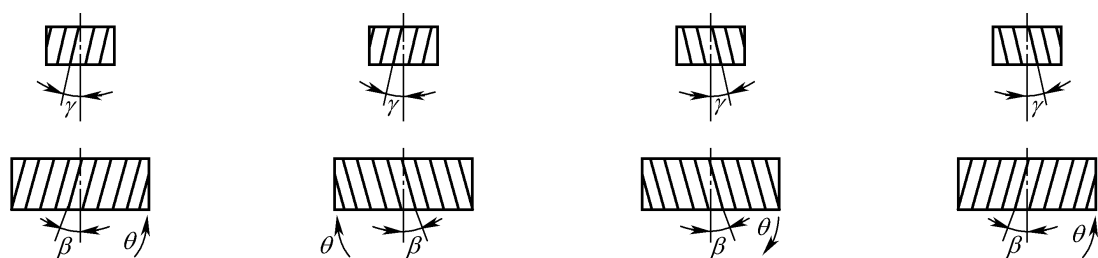
② 做好对中心工作。铣蜗轮时,要求铣刀对准两个中心位置(见图 3-56)。为达到这一目的,可用如下两种方法。

- 如图 3-56 所示,用一平尺靠住蜗轮一侧面,移动纵向工作台,使平尺上部和铣刀轴杆一侧微微接触,然后再将工作台移动一个距离,此距离等于轴杆半径减去工作宽度的一半。

- 目测试切法。凭目测,将中心大致对准,开动机床试切工作,观察两侧尖角切深是否一致,若有深浅,可稍将工作台移动,转动一齿再试切,直至两边尖角切深完全相同,就表明中心已对好。

- 注意蜗轮滚刀导程角 γ 及旋向与蜗轮理论螺旋角 β 及旋向的异同。

通常,所选蜗轮滚刀模数、压力角和外径都容易与被加工蜗轮相对应,但滚刀的导程角 γ 和旋向却不一定吻合。若 $\gamma \neq \beta$ 或旋向不同时,就需将机床纵向工作台扳转一个角度 θ ,以使滚刀的刀齿准确地镶嵌入蜗轮的齿槽。工作台需要扳转的角度和方向如图 3-57 所示。



(a) 用右旋铣刀铣右旋蜗轮 (b) 用右旋铣刀铣左旋蜗轮
(c) 用左旋铣刀铣左旋蜗轮 (d) 用左旋铣刀铣右旋蜗轮

图 3-57 工作台扳转的角度和方向

如图 3-57 (a) 所示用右旋滚刀铣右旋蜗轮时，工作台扳转的角度 θ 为 $\theta = \beta - \gamma$ 。当 $\beta > \gamma$ ，即 $\theta > 0$ 时，工作台应逆时针方向转动；当 $\theta < 0$ 时，工作台顺时针方向转动；当 $\theta = 0$ 时，工作台不偏转。

如图 3-57 (b) 所示用右旋滚刀铣左旋蜗轮时，工作台应顺时针方向转动 θ 角， $\theta = \beta + \gamma$ 。

如图 3-57 (c) 所示用左旋滚刀铣左蜗轮时，工作台扳转的角度 θ 为 $\theta = \beta - \gamma$ 。当 $\theta > 0$ 时，工作台应顺时针方向转动；当 $\theta < 0$ 时，工作台应逆时针方向转动； $\theta = 0$ 时，工作台不偏转。

如图 3-57 (d) 所示用左旋滚刀铣右旋蜗轮时，工作台应逆时针方向转动角度 θ ， $\theta = \beta + \gamma$ 。

③ 工件的装夹。工件采用心轴装夹，忌工件装夹时刚性不足。若装夹时刚性不足，由于粗铣蜗轮时在径向切深，在铣削和工件重力的影响下，会产生“让刀”现象，所铣齿深和齿形的准确度难以保证。为此，心轴一定要有足够的强度和刚性，为减少铣削的影响，可在工件的下端用千斤顶支撑。

④ 加工路线：盘铣刀粗铣齿形→用蜗轮滚刀精铣齿形。

根据以上分析，拟定工艺方案如下。

- 机床的选择：选用 X6132 型万能卧式铣床加工。
- 刀具的选择：选用模数 $m=4\text{mm}$ ，压力角 $\alpha=20^\circ$ 的 $6\frac{1}{2}$ 号齿轮盘铣刀和模数 $m=4\text{mm}$ ，压力角 $\alpha=20^\circ$ ，直径为 $\phi 52\text{mm}$ 的蜗轮滚刀。
- 装夹方法：工件用心轴安装，再将心轴装夹在尾座顶尖和分度头主轴顶尖间，用鸡心夹头和拨盘带动旋转。装夹时需找正工件的径向跳动，其误差不大于 0.02mm 。
- 铣削方法：先用齿轮盘铣刀粗铣，再用蜗轮滚刀精铣。

（2）加工步骤。

① 操作前检查，准备。清理工作台，清理分度头，检查工件尺寸、清理毛刺；安装分度头；安装盘铣刀。

② 装夹工件。

将装有工件的心轴装夹在前、后两顶尖之间，在分度头一侧的心轴上装上鸡心夹头和拨盘。装夹时需找正工件的径向圆跳动其误差不大于 0.02mm 。

- 对中心。将铣刀轴心线通过工件的厚度对称中心，并使铣刀厚度的中心线通过工件的中心线。

- 回转纵向工作台。将机床纵向工作台逆时针扳转 $\beta=15^\circ 16'$ 角度。

- 试切。提升工作台以较小的背吃刀量试切，调整至工件两尖角切深相同。

- 粗铣齿形。由工件两尖角处开始铣削，至铣刀切到圆弧最低点时作为切深起点，然后逐渐切深至接近全齿高（约6mm），留2mm~2.5mm精铣余量，分度铣出其余各齿。

- 换装蜗轮滚刀。

- 拆下鸡心夹头，使工件能自由转动。

- 回转工作台。将工作台转动一个适当的角度，提升工作台，使滚刀和已粗铣过的蜗轮啮合。

- 精铣蜗轮齿形。开动机床，使滚刀带动蜗轮一起转动，手动进给提升工作台，直至滚刀滚出蜗轮全齿高，再在此位置使蜗轮转动几次即完成精铣。精铣后，保证齿面表面粗糙度为 $R_a3.2\mu\text{m}$ 。

（3）加工注意事项。

① 蜗轮的测量。在铣床上铣削蜗轮，一般操作者只需测量蜗轮的齿厚。测量时齿厚卡尺应放在法向位置，所测的是分度圆柱上的法向弦齿厚。计算公式如下：

$$\bar{s}_{n2} = \bar{s}_2 \cos \gamma \quad (3-23)$$

式中， $\bar{s}_{n2}$ ——分度圆柱上的法向弦齿厚，单位为mm；

$\bar{s}_2$ ——分度圆柱上的弦齿厚，单位为mm；

γ ——与蜗轮啮合的蜗杆分度圆柱上的导程角°，一般 $\gamma = \beta$ 。

分度圆柱上的弦齿厚 $\bar{s}_2$ 可由分度圆柱上的弧齿厚 s_2 求得：

$$\bar{s}_2 \approx s_2 \left(1 - \frac{s_2^2}{6d_2^2} \right) \quad (3-24)$$

式中， $\bar{s}_2$ ——分度圆柱上的弦齿厚，单位为mm；

s_2 ——分度圆柱上的弧齿厚，单位为mm；

d_2 ——分度圆直径，单位为mm。

$$s_2 = m_t \frac{\pi}{2} + 0.2 \tan \alpha \quad (3-25)$$

式中, s_2 ——分度圆柱上的弧齿厚, 单位为 mm;

m_t ——蜗轮模数, 单位为 mm;

α ——蜗轮齿形角, 单位为°。

由式(3-20)、式(3-21)和式(3-22)计算出 $\bar{s}_{n2}$ 后, 还必须计算出测量 $\bar{s}_{n2}$ 用的齿高 $\bar{h}_{n2}$ 。

$$\bar{h}_{n2} = m_t + \frac{s_2^2 \cos^4 \gamma}{4d_2} \quad (3-26)$$

式中, $\bar{h}_{n2}$ ——测量 $\bar{s}_{n2}$ 用的齿高, 单位为 mm;

m_t ——蜗轮模数, 单位为 mm;

s_2 ——分度圆柱上的弧齿厚, 单位为 mm;

γ ——与蜗轮啮合的蜗杆分度圆柱上的导程角, 单位为°;

d_2 ——分度圆直径, 单位为 mm。

计算出 $\bar{h}_{n2}$ 和 $\bar{s}_{n2}$ 的值后, 可用齿厚卡尺法向进行测量。本例分

度圆柱上的弧齿厚 $s_2 = m_t \frac{\pi}{2} + 0.2 \tan \alpha = 4\text{mm} + 0.2 \tan 20^\circ = 6.574\text{mm}$

分度圆柱上的弦齿厚

$\bar{s}_2 = s_2 = \frac{s_2^2}{6d_2} = \frac{(6.574\text{mm})^2}{6\text{mm} \cdot (168\text{mm})^2} = 6.572\text{mm}$; 分度圆柱

上的法向弦齿厚 $\bar{s}_{n2} = \bar{s}_2 \cos \gamma = 6.572\text{mm} \cos 15^\circ 16' = 6.341\text{mm}$; 测量

$\bar{s}_{n2}$ 用的齿高 $\bar{h}_{n2} = \frac{s_2^2 \cos^4 \gamma}{4d_2} + 4\text{mm}$

$\frac{(6.574\text{mm})^2 \cos^4 15^\circ 16'}{4 \cdot 168\text{mm}} = 4.056\text{mm}$ 。

② 忌在操作上疏忽固紧或松开有关机构。对中心后勿忘固紧纵向工作台, 否则对好的中心位置会走动; 用盘铣刀粗铣时也不能使纵向工作台松动, 否则会影响蜗轮齿跳误差; 用蜗轮滚刀精铣前, 不能继续保留鸡心夹头, 否则会妨碍需件的自由转动, 使滚切无法进行; 工作台扳转角度后, 切忌不立即锁紧, 否则蜗轮将不能铣出正确的螺旋角。

