

小模数渐开线花键滚轧轮的设计

汉江工具厂重庆分公司(400039) 何枫

摘要 通过对小模数渐开线花键冷滚轧加工原理的分析,提出了滚轧轮的设计原理,介绍了滚轧轮的设计方法及步骤。

关键词 滚轧轮, 渐开线花键

Design of Cold Rolling Tools for Small Module Involute Spline Shafts

He Feng

Abstract : By analyzing the process of cold rolling the principle of designing cold rolling tools for the small module involute spline shafts is approached. The design method and steps for cold rolling tools are also put forward.

Keywords cold rolling tool, involute spline

小模数渐开线花键冷滚轧成形是一种先进的无切削加工工艺技术,与滚齿、插齿等切削工艺相比具有以下优点:①节约工件材料;②刀具寿命长,生产效率高;③设备简单,易于调整,对操作人员技术要求不高;④工件尺寸精度稳定,适合大批量生产;⑤被轧齿齿侧耐磨性好;⑥齿与齿之间的金属纤维连续,提高了齿的强度。该项技术已广泛应用于汽车、摩托车行业。

1 冷滚轧加工原理

在滚丝(轧)机上滚轧花键的加工原理如图1所示。采用一对参数相同的滚轧轮分别装在三根主轴上,在传动机构的驱动下,两滚轧轮同向同步旋转。R轮可由液压缸驱动进行径向进给。L轮固定,可通过调整机构的调整与R轮在被轧工件表面的压痕重合。工件以两端中心孔定位夹紧,调整夹具可使工件轴向移动,在受挤压时,工件可绕夹具两顶尖间的轴线在夹具上摆动,以确保工件在滚轧过程中始终保持与两滚轮处于自由对滚状态。

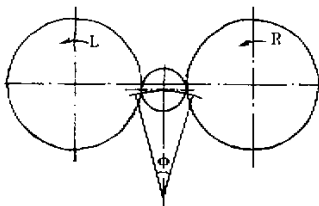


图1

2 齿坯直径 d_z 的确定

齿坯直径的理论计算是按工件滚轧前后轴截面

积相等的原则进行的。设滚轧前的截面积为

$$A_1 = \pi d_z^2 / 4$$

滚轧后的截面积为

$$A_2 = \pi d_1^2 / 4 + ZA$$

式中 d_1 ——花键齿根圆直径

A ——花键任一齿的截面积

Z ——花键齿数

渐开线齿形是以 OA 为轴线的对称图形,为计算方便,对其一半进行计算即可。如图2所示,总面积 $AOCBA$ 可细分为面积 $ABFEA$ 、 $BCFB$ 、 $EFOE$ 和 $FCOF$, 分别以 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 表示。

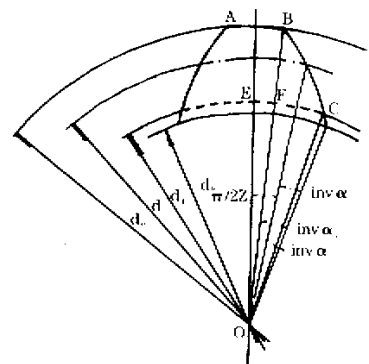


图2

由渐开线 BC 、根圆半径 CO 、齿顶圆半径 BO 围成的面积为 $S_2 + S_4$, 由渐开线方程可知

$$\begin{cases} \theta = \text{inv} \alpha = \text{tg} \alpha_y - \alpha_y \\ r_y = r_b / \cos \alpha_y \end{cases}$$

式中 α_y ——任意圆处压力角

r_y ——任意圆半径

r_b ——基圆半径

则有

$$S_2 + S_4 = \int_{\alpha_i}^{\alpha_a} \frac{1}{2} r_y^2 d\theta = \frac{r_b^2}{b} (\operatorname{tg}^3 \alpha_a - \operatorname{tg}^3 \alpha_i)$$

式中 α_a ——花键齿顶圆压力角

α_i ——花键齿根圆压力角

扇形 $ABOA$ 的面积为 $S_1 + S_3$, 由图 2 可知

$$\angle AOB = \pi/2Z + \operatorname{inv} \alpha + \operatorname{inv} \alpha_a$$

$$S_1 + S_3 = \frac{r_a^2}{2} \left(\frac{\pi}{2Z} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a \right) = \frac{r_a^2}{2} \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a \right)$$

式中 s ——花键分圆弧齿厚

α ——花键分圆压力角

d ——花键分圆直径

r_a ——花键齿顶圆半径

扇形 $EOCE$ 的面积为 $S_3 + S_4$, 由图 2 可知

$$\angle EOC = \pi/2Z + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_i$$

$$S_3 + S_4 = \frac{r_i^2}{2} \left(\frac{\pi}{2Z} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_i \right) = \frac{r_i^2}{2} \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_i \right)$$

式中 r_i ——花键齿根圆半径

所以, 渐开线花键任一齿的截面积 A 为

$$\begin{aligned} A &= 2[(S_1 + S_2 + S_3 + S_4) - (S_3 + S_4)] \\ &= 2\left[\frac{r_b^2}{b} (\operatorname{tg}^3 \alpha_a - \operatorname{tg}^3 \alpha_i) + \frac{r_a^2}{2} \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a\right) - \frac{r_i^2}{2} \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_i\right)\right] \\ &= \frac{r_b^2}{b} (\operatorname{tg}^3 \alpha_a - \operatorname{tg}^3 \alpha_i) + r_a^2 \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a\right) - r_i^2 \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_i\right) \end{aligned}$$

因为 $A_1 = A_2$, 所以 $\pi d_z^2/4 = \pi d_z^2/4 + ZA$, 即

$$\begin{aligned} d_z &= \sqrt{d_i^2 + 4AZ/\pi} \\ &= \left\{ d_i^2 + \frac{Z}{\pi} \left[\frac{(2r_b)^2}{3} (\operatorname{tg}^3 \alpha_a - \operatorname{tg}^3 \alpha_i) + (2r_a) \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a\right) - (2r_i) \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_i\right) \right] \right\}^{1/2} \\ &= \sqrt{d_i^2 + \frac{Z}{\pi} \left[\frac{d_b^2}{3} (\operatorname{tg}^3 \alpha_a - \operatorname{tg}^3 \alpha_i) + d_a s_a - d_i s_i \right]} \quad (1) \end{aligned}$$

式中 d_b ——花键基圆直径, $d_b = mz \cos \alpha$

d_i ——花键根圆直径

d_a ——花键顶圆直径

α_i ——花键根圆压力角, $\alpha_i = \arccos(d_b/d_i)$

α_a ——花键顶圆压力角, $\alpha_a = \arccos(d_b/d_a)$

s_i ——花键根圆弧齿厚, $s_i = d \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_i \right)$

s_a ——花键顶圆弧齿厚, $s_a = d \left(\frac{s}{d} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_a \right)$

s ——花键分圆弧齿厚

由以上公式推导可知, 齿坯直径只是一个理论

值, 而实际渐开线花键的齿顶部有倒角(圆), 齿根部有圆弧, 且滚轧花键后, 不仅工件径向要产生变形, 其轴向也要变形伸长。对于齿宽 $B \leq 10\text{mm}$ 的花键, 考虑到轴向变形伸长量, 齿坯直径应按 $d_{z\text{实}} = d_z + (0.25 \sim 0.4)m$ (m 为花键模数) 计算。对于齿宽 $B \geq 20\text{mm}$ 的花键, 轴向变形伸长量影响很小, 可忽略不计, 齿坯直径基本上按式(1)计算。

3 滚轧轮的设计

3.1 滚轧轮外径 d_{a0}

刚开始滚轧时, 滚轧轮的齿顶在齿坯外圆上进行滚轧分度, 滚轧轮的齿不是以齿顶圆上的弧长 \widehat{ACB} 在齿坯外圆上分度, 而是以相邻齿顶之间的弦长 \overline{AB} 进行分度, 如图 3 所示。滚轧轮上的弦长 \overline{AB} 与齿坯上的弦长 \overline{AB} 相等, 即有

$$\overline{AB} = d_{a0} \sin \theta_1 = d_z \sin \theta_2$$

式中 θ_1 ——滚轧轮齿顶之间的中心角之半

θ_2 ——齿坯齿顶之间的中心角之半

可近似取

$$\sin \theta_1 = \sin(\pi/Z_0) \approx \pi/Z_0$$

$$\sin \theta_2 = \sin(\pi/Z) \approx \pi/Z$$

式中 Z_0 ——滚轧轮齿数

Z ——花键齿数

则有

$$d_{a0} = d_z \sin \theta_2 / \sin \theta_1 \approx d_z Z_0 / Z \quad (2)$$

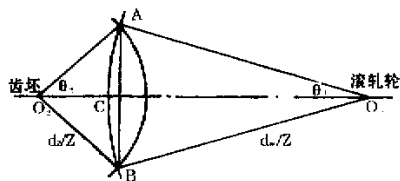


图 3

开始滚轧时, 滚轧轮与齿坯不能马上作纯滚啮合运动, 且啮合重叠系数远小于 1, 易产生打滑现象。因此, 滚轧轮齿顶圆齿距应较齿坯直径齿距稍大, 以进行补偿。设每齿距产生的滑动量为 Δl , 则

$$d_{a0} \pi / Z_0 - d_z \pi / Z = \Delta l$$

$$d_{a0} = Z \left(d_z / Z + \Delta l / \pi \right) \quad (3)$$

<http://www.lianzhouqi.com.cn>

Δl 值随滚丝(轧)机的轴承类型、齿坯的支承方式及工件的材料、硬度等不同而异。一般取 $\Delta l = 0.001 \sim 0.007\text{mm}$ 。在汽车、摩托车行业中, 工件材料

为 20CrMo 钢、20CrMnTi 钢等(硬度 160~200HB),可取 $\Delta l = 0.006\text{mm}$ 。

3.2 滚轧轮齿数 Z_0

根据滚丝(轧)机的最大中心距及允许的滚轧轮最大直径,应尽量取最多齿数,以延长其寿命。应取齿数值按下式计算:

$$Z_0 = (a_{\max} - d_z - 2h_i) / m - (3 \sim 5) \quad (4)$$

式中 a_{\max} ——滚丝(轧)机最大中心距

h_i ——花键齿根高

由式(4)计算结果取整数,同时,为便于滚轧轮的制造和测量,齿数 Z_0 取偶数为宜。

3.3 滚轧轮分圆压力角 α_0

在滚轧中,花键节圆以上齿面与其下齿面所受挤压力的大小和方向不同,使金属的流向和变形快慢不同,造成齿形倾斜,即分圆压力角增大,淬火后,齿形也会发生变形,分圆压力角也变大。为对此进行修正,滚轧轮实际分圆压力角 α_0 应较花键分圆压力角 α 小,其减小量 $\Delta\alpha$ 应根据工件的材料、热处理状况等确定,通常:

$$\alpha = 30^\circ \text{时} : \Delta\alpha = 30' \sim 45'$$

$$\alpha = 35^\circ \text{时} : \Delta\alpha = 45' \sim 1^\circ$$

$$\alpha = 45^\circ \text{时} : \Delta\alpha = 1^\circ \sim 1^\circ 15'$$

即滚轧轮分圆压力角应为 $\alpha_0 = \alpha - \Delta\alpha$

3.4 滚轧轮的参数设计

小模数渐开线花键滚轧运动为平面齿轮啮合运动,可根据平面齿轮啮合原理推导其设计计算公式。

(1) 齿坯直径 d_z : 由式(1)确定。

(2) 滚轧轮齿数 Z_0 : 由式(4)确定。

(3) 滚轧轮外径 d_{a0} : 由式(3)确定。

(4) 滚轧轮分圆直径

$$d_0 = mZ_0$$

(5) 滚轧轮与花键的最终中心距

$$a = (d_{a0} + d_i) / 2$$

(6) 滚轧轮与花键的最终啮合角

$$\alpha' = \arccos[m(Z + Z_0) \cos\alpha / 2a]$$

(7) 节圆直径

$$\text{花键} : d' = mZ \cos\alpha / \cos\alpha'$$

$$\text{轧轮} : d_0' = d_0 \cos\alpha / \cos\alpha'$$

(8) 节圆弧齿厚

$$\text{花键} : s' = d' (s/d + \text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha')$$

$$\text{轧轮} : s_0' = \pi m \cos\alpha / \cos\alpha' - s'$$

(9) 滚轧轮基圆直径

$$d_{b0} = mZ_0 \cos\alpha_0$$

(10) 滚轧轮分圆弧齿厚

$$s_0 = d_0 (s'/d_0' + \text{inv}\alpha' - \text{inv}\alpha_0)$$

(11) 滚轧轮齿顶圆压力角

$$\alpha_{a0} = \arccos(d_{b0}/d_{a0})$$

(12) 滚轧轮齿顶弧齿厚

$$s_{a0} = d_{a0} (s_0/d_0 + \text{inv}\alpha_0 - \text{inv}\alpha_{a0})$$

通常,在保证滚轧轮齿形渐开线终止点要求的条件下,滚轧轮齿顶应作成是一个整圆弧或倒圆,以延长滚轧轮的寿命和提高花键齿根部的强度。

(13) 滚轧轮的全齿高 h_0 : $m \geq 0.8\text{mm}$ 的花键,轧完后齿顶多呈梯形,此时需磨削花键外径,以保证外径尺寸。取 $h_0 = 2(h_a^* + c^*)m$ 。若 $m < 0.8\text{mm}$, 则取 $h_0 = (2h_a^* + c^*)m$ 。

(14) 滚轧轮根径

$$d_{i0} = d_{a0} - 2h_0$$

应验算滚轧轮的根圆弧齿槽宽是否大于工艺要求的最小值,以便于磨齿。

(15) 滚轧轮根圆压力角

$$\alpha_{i0} = \arccos(d_{b0}/d_{i0})$$

(16) 滚轧轮根圆弧齿槽宽

$$e_{i0} = \pi d_{i0} / z_0 - d_{i0} [(s_0/d_0) \text{inv}\alpha_0 - \text{inv}\alpha_{i0}]$$

在满足滚轧轮齿根圆渐开线起始点要求的条件下,齿槽根部应作成是一个整圆弧或倒圆,以延长滚轧轮的使用寿命。

4 加工滚轧轮的技术要求

(1) 成对使用的滚轧轮齿顶圆直径一致性为 0.02mm , 齿顶圆直径公差取 $h7$ 。

(2) 滚轧轮齿宽 B 根据滚丝(轧)机情况选取: 有轴向进给功能的,可取 $B = 30 \sim 40\text{mm}$; 无轴向进给功能的,可取 $B = L + 8 \sim 10\text{mm}$ (L 为花键宽度)。

(3) 两端倒角一般取 $3 \times 30^\circ$ 。

(4) 滚轧轮的材料选用 Cr12MoV 或 W6Mo5Cr4V2 钢(硬度为 $59 \sim 62\text{HRC}$)。其它技术要求参照滚丝轮国家标准确定。

编辑 益 科