

渐开线花键冷滚挤成形

Cold Roll-and-Extrude Forming for Involute Spline

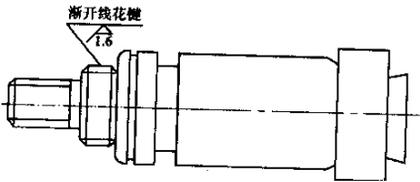
张光裕

(南京工艺装备厂)

摘要: 介绍了渐开线花键冷滚挤成形工艺中工件坯料尺寸的计算以及滚轮的设计、制造。

关键词: 冷滚挤成形方法 渐开线花键

图 1 所示为年订货量 20 万件的外贸渐开线花键轴, 材质为 20 钢, 表中系花键参数。该花键用常规的切削方法, 难以加工, 加工成本高, 效率低下。我们决定用冷滚挤的方式滚挤花键成形。冷滚挤花键不仅成形强度高, 而且加工方法简单, 生产效率高(实际加工中, 单件滚挤不超过 10 s), 齿面光洁; 在工艺适当, 工装可靠的情况下, 完全能达到设计所需的精度要求。以下介绍我们对开发此产品的研究。



渐开线花键参数	
径节(1/英寸)	24/48
齿数 Z_1	12
分度圆压力角 $\alpha_0(^{\circ})$	45
齿顶圆直径 D_{a1}/mm	13.462 _{-0.12}
分度圆直径 D_1/mm	12.7
齿根圆直径 D_{f1}/mm	11.811 最小
渐开线起始圆直径 D_{i1}/mm	11.96
齿顶高系数 h_a^*	0.6
分度圆弧齿厚 \widehat{S}_1/mm	2.111 _{-0.056}
二针测圆	kp2 :16.18 ~ 16.231

注 精度在 ANSIB92.1 - 1970, R1993 的 5 级与 6 级之间。

图 1

1 花键冷滚前坯料尺寸的设计

根据冷挤压的原理, 假定挤前与挤后的材料体积不变。在此条件下, 应用极坐标系中渐开线方程、圆方程的线长、面积积分求解法, 算出挤前坯料直径并通过试验作适当调整以确定坯料直径。

为便于计算, 将原图中的英制尺寸换算为公制尺寸, 并算出计算中需要的相关尺寸如下: 径节 $P = 24$ (1/英寸) 换算为模数 $m = 1.05833 \text{ mm}$; 短齿径节 $P_s = 48$ (1/英寸), 换算为短齿模数 $m_s = 0.529167 \text{ mm}$ 。

基圆直径 $D_{b1} = D_1 \cos \alpha_0 = 8.98026 \text{ mm}$ 。

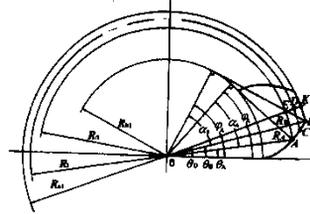


图 2

坯料计算中, 各相关尺寸取中值进行计算, 因此图 2 中有: 齿根圆半径 $R_{f1} = R_A = 5.94257 \text{ mm}$ (计算中, 将渐开线起始圆直径与齿根圆直径视为齿根圆的最大、最小极限尺寸, 并视为均在渐开线上), 齿顶圆半径 $R_{a1} = R_B = 6.70100 \text{ mm}$, 分度圆半径 $R_1 = R_C = 6.35000 \text{ mm}$, 基圆半径 $R_{b1} = 4.49013 \text{ mm}$, 分度圆弧齿厚 $S_1 = 2.08300 \text{ mm}$ 。根据渐开线极坐标方程为

$$\begin{cases} R = R_b / \cos \alpha \\ \theta = \text{tg} \alpha - \alpha \end{cases}$$

求得

$$\text{对应 } R_A \quad \alpha_A = 0.71425 \quad \theta_A = 0.15270$$

$$\text{对应 } R_B \quad \alpha_B = 0.83650 \quad \theta_B = 0.27131$$

$$\text{对应 } R_C \quad \alpha_C = 0.78540 \quad \theta_C = 0.21460$$

上述角度单位均为弧度, 以下不注明之角度单位亦均为弧度。

分度圆极坐标方程 $\rho(\theta) = R_1$ (图 2 中 $\widehat{CD} = \widehat{S}_1$)

根据线长积分

$$\begin{aligned} \frac{\widehat{S}_1}{2} &= \int_{\theta_C}^{\theta_D} \sqrt{\rho^2(\theta) + [\rho'(\theta)]^2} d\theta \\ &= \int_{\theta_C}^{\theta_D} \sqrt{R_1^2} d\theta \end{aligned}$$

解得 $\theta_D = 0.37862$

渐形线部分面积为

$$A_{OAB} = \int_{\alpha_B}^{\alpha_A} \frac{1}{2} \left(\frac{R_{b1}}{\cos \alpha} \right)^2 d\alpha$$

$$= \frac{R_{b1}^2}{2} (\operatorname{tg} \alpha_B - \operatorname{tg} \alpha_A) = 2.428 \text{ 03} (\text{mm}^2)$$

齿顶圆极坐标方程为

$$\rho(\theta) = R_{a1}$$

齿顶圆部分面积为

$$A_{OBK} = \int_{\theta_B}^{\theta_D} \frac{1}{2} [\rho(\theta)]^2 d\theta$$

$$= \frac{R_{a1}^2}{2} (\theta_D - \theta_B) = 2.409 \text{ 29} (\text{mm}^2)$$

齿根圆极坐标方程为

$$\rho(\theta) = R_{f1}$$

齿根圆部分面积为

$$A_{OAE} = \int_{\theta_A}^{\theta_D} \frac{1}{2} [\rho(\theta)]^2 d\theta$$

$$= \frac{R_{f1}^2}{2} (\theta_D - \theta_A) = 3.989 \text{ 09} (\text{mm}^2)$$

单齿截面积 = $\alpha (A_{OAB} + A_{OBK} - A_{OAE}) = 1.696 \text{ 46} (\text{mm}^2)$

坯料直径为 $D_{\text{坯}} = \sqrt{(\pi R_{f1}^2 + 1.696 \text{ 46} Z_1) \times 4/\pi}$
 $= 12.930 (\text{mm})$

公差取 js7, 即 $D_{\text{坯}} = 12.930 \pm 0.009 (\text{mm})$

2 挤压滚轮设计

以下简称挤轮。设计计算中所涉参数均为基本尺寸。

2.1 设计的基本条件

(1) 根据美国标准 [ANSI B92.1-1970, R1993] 分析, 此花键为英制非标准渐开线外花键。在挤轮对工件冷滚轧中, 可将挤轮与工件视为一对变位啮合齿轮。

(2) 在滚挤结束时, 视挤轮与工件为挤轮齿顶与工件槽底无间隙的啮合, 即挤轮齿顶圆半径 R_{a2} 与工件齿根圆半径 R_{f1} 之和应等于变位的实际中心距 a' , 即

$$R_{a2} + R_{f1} = a'$$

(3) 在滚挤结束时, 工件节圆弧齿厚 \widehat{S}_1 与挤轮节圆弧齿厚 \widehat{S}_2 之和应等于各自节圆上的弧齿距 \widehat{t}' , 即

$$\widehat{S}_1 + \widehat{S}_2 = \widehat{t}'$$

此条件为保证滚挤后工件分度圆弧齿厚精度的必需条件。

(4) 注意挤轮与工件不是普通意义的一对变位啮合齿轮, 齿顶圆、齿根圆直径不能作为变位计算的条

件。

2.2 工件变位系数 x_1 的计算

变位齿轮计算中, 节圆弧齿厚为

$$\widehat{S}_1 = m \left(\frac{\pi}{2} + 2x_1 \operatorname{tg} \alpha_0 \right)$$

引入参数表中相关值, 求得

$$x_1 = 0.211 \text{ 93}$$

2.3 挤轮参数的设计计算

(1) 挤轮齿顶圆直径的设计 为保证滚挤时工件齿数的正确, 在挤轮齿顶与工件坯料外圆接触的瞬间, 两外圆理论上应为等线速的纯滚动, 即工件坯料外圆的弧齿距 $\widehat{t}_{1\text{坯}}$ 等于挤轮齿顶圆的弧齿距 \widehat{t}_{a2} , 有公式 $\widehat{t}_{1\text{坯}} = \widehat{t}_{a2} = D_{\text{坯}}/Z_1$ 。考虑到滚动时必定存在的打滑, 有可能导致分齿错误, 取 $\widehat{t}_{a2} = \widehat{t}_{a2} + 0.1 = 3.485 \text{ 07} (\text{mm})$, 值 0.1 为试验数据, 在类似的挤轮设计中, 可作为参考。

挤轮齿数 Z_2 的选取, 原则上在安装及允许的加工空间内尽可能取大值, 以提高耐用度。本例中, 选 $Z_2 = 120$, 则挤轮的齿顶圆直径为 $D_{a2} = \widehat{t}_{a2} \times Z_2/\pi = 133.119 \text{ 87} (\text{mm})$, 相应地有分度圆直径 $D_2 = mZ_2 = 127 (\text{mm})$, 基圆直径 $D_{b2} = D_2 \cos \alpha_0 = 89.802 \text{ 56} (\text{mm})$ 。

(2) 挤轮变位系数 x_2 的计算 根据条件 2.1(2), $a' = R_{f1} + R_{a2} = 72.465 \text{ 44} (\text{mm})$, 未变位时的中心距 $a = (D_1 + D_2)/2 = 69.85 (\text{mm})$, 啮合角 $\alpha' = \arccos (a \cos \alpha_0 / a') = 0.820 \text{ 87}$, 总变位系数 $\Sigma x = \frac{Z_1 + Z_2}{2 \operatorname{tg} \alpha_0} (\operatorname{inv} \alpha' - \operatorname{inv} \alpha_0) = 2.515 \text{ 26}$ 。则

$$x_2 = \Sigma x - x_1 = 2.303 \text{ 33}$$

相应地有: 挤轮节圆直径 $D_2' = 2a'/(Z_1/Z_2 + 1) = 131.755 \text{ 34} (\text{mm})$; 工件节圆直径 $D_1' = D_2' Z_1/Z_2 = 13.175 \text{ 53} (\text{mm})$ 。

(3) 挤轮分度圆弧齿厚 \widehat{S}_2 的计算

$$\widehat{S}_2 = m \left(\frac{\pi}{2} + 2x_2 \operatorname{tg} \alpha_0 \right) = 6.537 \text{ 79} (\text{mm})$$

(4) 验算条件 2.1(3) 中 $\widehat{S}_1 + \widehat{S}_2 = \widehat{t}'$ 的符合性

$$\widehat{S}_1' = \widehat{S}_1' D_1' / D_1 - D_1' (\operatorname{inv} \alpha' - \operatorname{inv} \alpha_0) = 1.687 \text{ 92} (\text{mm})$$

$$\widehat{S}_2' = \widehat{S}_2' D_2' / D_2 - D_2' (\operatorname{inv} \alpha' - \operatorname{inv} \alpha_0) = 1.761 \text{ 39} (\text{mm})$$

$$\widehat{t}_2' = \pi D_2' / Z_2 = 3.449 \text{ 35} (\text{mm})$$

计算结果相符。

2.4 挤轮渐开线起始圆及齿根圆直径的计算

(1) 挤轮齿廓渐开线起始圆半径 r_{i2} 的计算 挤轮渐开线起始点必须保证挤出的工件具有完整的渐开线齿形, 因此渐开线起始圆半径是挤轮的一项重要参数。分析图 3, 两轮啮合点在节圆上时, 工件渐开线齿顶至工件中心的连线与两轮中心连线的夹角为 $\theta_D - \theta_B$ (即 O_1K 与 O_1O_2 重合时的情况)。当两轮运转至啮合点在工件渐开线齿顶时(即图 3 所示情况), 工件渐开线齿顶至工件中心的连线与两轮中心连线的夹角变为 $(\theta_D - \theta_B) + (\theta_B - \theta_J) = \theta_D - \theta_J$ 。

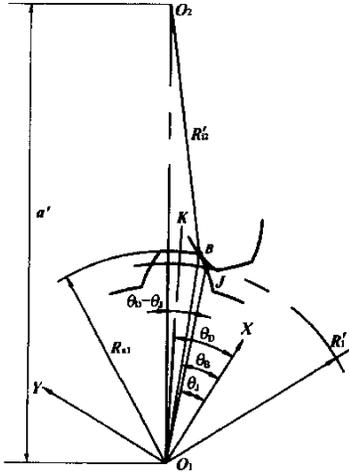


图 3

根据渐开线方程

$$\begin{cases} R_1' = R_{b1} / \cos \alpha_J \\ \theta_J = \text{tg} \alpha_J - \alpha_J \end{cases}$$

解得 $\theta_J = 0.25271$ 则 $\theta_D - \theta_J = 0.12591$

分析图 3 $\triangle O_1O_2B$ 中, 利用余弦定理求得

$$\begin{aligned} R_{i2}' &= \sqrt{a'^2 + R_{a1}^2 - 2a'R_{a1}\cos(\theta_D - \theta_J)} \\ &= 65.79715(\text{mm}) \end{aligned}$$

为留有余地, 取 $R_{i2} = R_{i2}' - 0.2m = 65.58148$ (mm)。即 渐开线起始圆直径 $D_{i2} = 131.163$ (mm)。

(2) 齿根圆直径 D_{f2} 设计计算 挤轮滚挤渐开线花键, 不同于一般的齿轮啮合, 挤轮齿槽根部要留有适当的空隙, 以利于工件齿顶的金属流动和容留挤压毛刺。因此, 齿根圆直径可按式选取:

$$D_{f2} = \chi(R_{i2} - 0.2 \sim 0.3m) = 130.740(\text{mm})$$

以上各参数圆整到小数点后三位。

2.5 其他

(1) 挤轮齿部宽度及其它尺寸设计 挤轮宽度应大于工件齿宽, 建议为工件齿宽加 1m, 齿槽、齿顶应

修圆。

(2) 挤轮材质选 Cr12MoV, 热处理至 60 ~ 64 HRC, 如能冰冷处理更佳。(大批量生产时, 可选高速钢, 增加耐用度)

(3) 挤轮精度可参照标准渐开线齿轮 6 级制造, 齿形对挤轮孔的跳动要严格控制。精度检查可用二量棒来实现。

3 挤轮制造

挤轮实际为一非标渐开线齿轮, 用常规的切削方法制造, 工艺复杂, 需要非标刀具, 周期长、代价高(某厂报价一只挤轮需万元左右)。我们采用线切割齿形的制造方法, 满足了使用要求, 全部费用只需数百元。具体工艺路线为: 备料 → 球退 → 粗加工(齿部外圆留割量 2 ~ 4 mm) → 插键槽 → 真空热处理 → 磨各部尺寸 → 线切割齿形 → 修形、抛光。

4 挤齿设备、工装和工艺要点

花键轴的挤齿工序是在滚丝机上完成的, 亦可在车床上加工。所使用设备的相关部分间隙要调整至尽可能小。

为减小工件挤齿中跳动, 提高挤齿中跳动, 提高挤齿精度, 并增加挤齿时工件的刚度, 采用了图 4 中的工装支承工件, 效果颇佳。工件的工艺设计要考虑提高挤齿时工件的刚度。挤齿中, 滚完后, 最好再反向无进给运转数圈, 以提高两侧齿形的均匀性。

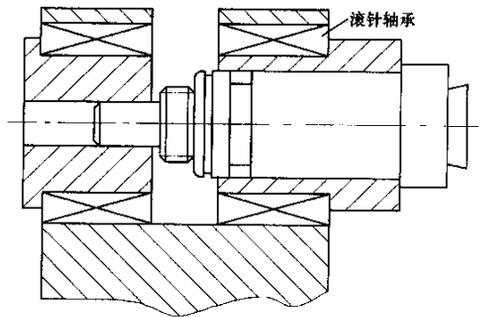


图 4

5 结束语

冷滚挤渐开线花键的方法是一种有效且高效的加工方法, 工艺简单, 成本低廉, 使用方便。不仅对标准、非标准的英制、公制花键适用, 亦可用于渐开线齿轮加工中。加工宜以 45 钢以下的塑性较好的材质, 及模数不太大的工件为对象。必要时材料预先经完全退火。

车身冲模基准体系的应用研究

Study on Application of Reference System of Vehicle Body Punch Die

向雄方^① 胡群^② 杨光^③

(①湖北汽车工业学院 ②东风汽车公司汽车工业学校 ③锦州铁合金集团股份有限公司)

摘要 车身冲模基准体系涉及模具设计、制造、调试、使用和维修等诸多方面,对模具的质量、成本和制造周期有直接影响。从应用角度对这些相互关系进行了分析与研究。

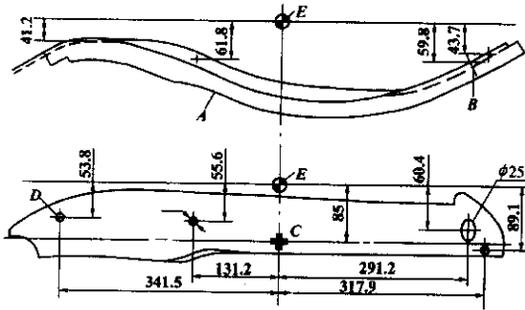
关键词 车身冲模 基准体系 应用研究

根据功用的不同,冲模基准可分为:设计基准、工艺(制造)基准、调试(或坐标孔)基准和安装基准。在冲模设计、制造、调试和安装的过程中所应用各类基准合称为冲模基准体系。

1 设计基准

冲模设计图样上所采用的基准即为冲模设计基准。图1为一斜楔修边冲孔模的工序制件图,使冲模中心线所在平面通过设计基准点 $E(x/2300, y/800, z/300)$,便可建立冲模设计坐标系 (X, Y, Z) ,即冲模的设计基准。该基准是尺寸标注的起始位置。

冲模中心线最好与模具的压力中心线重合或尽可能趋近于模具的压力中心线,以避免模具和压力机出现异常磨损或损坏。



A—斜楔修边线;B— $\phi 25$ mm孔轴线;C—冲模中心线;
D—调试基准孔;E—设计基准点。

图1 设计基准与调试基准

设计基准点是根据冲压工艺与冲模设计的需要在产品设计坐标系中选定的一个特征点。由于冲模设计坐标系的各坐标轴与产品设计坐标系的相应坐标轴平

行,因此,只要确定了设计基准点在冲模设计坐标系中的位置,制件在冲模设计坐标系中的位置也随之确定了。一般情况下,冲模的设计是直接以冲模设计坐标系为基准进行的,而完全依靠冲模设计坐标系对所有零部件进行设计有时是比较困难的。在设计比较复杂模具部件时(如斜楔、吊楔)可能还需设置辅助基准点和辅助设计坐标系^[1]。

2 工艺(制造)基准

模具零件在加工、测量和装配的过程中所应用的基准称为工艺(制造)基准。工艺基准可分为:定位基准、测量基准和装配基准。其中定位基准还可以进一步分为粗基准、精基准和附加基准。

冲模中心线是冲模最主要的基准。将冲模中心线划在冲模及其零部件的实物上(钳工划线或机床用顶尖打点形成),以该线为依据进行找正,此法曾被广泛采用。这样做虽然符合基准重合原则,但由于其找正依据不是面,因而可靠性差、误差大且难以长久保留。由于这一方法难以适应市场对模具不断提高的各项要求,随着模具技术的不断发展,其使用正在逐渐减少。

在冲模有关零部件上增设工艺基准,以这些工艺基准为依据进行找正,这样做虽然存在基准不重合误差,但由于其可靠性好、累积误差小且易于控制又便于长久保留,因此得到广泛采用。这些工艺基准的科学设置与合理使用有利于提高模具的制造精度,且便于以后模具的维修。

常用的工艺基准有:铸件(三角槽)基准、侧面基准、三销基准和键槽基准(图2)。其中铸件(三角槽)基准

加工关键在于确定工件挤前坯料直径、挤轮外径和实际中心距,据此算出变位的挤轮各部参数。计算中注意计算值的精度选取,避免计算误差对参数值的影响。

作者:张光裕,南京朝天宫丙街102号03幢3单元203室,邮编210004

(编辑 周富荣) (收修改稿日期 2002-01-14)

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