

冷滚打渐开线花键滚轮磨削建模研究*

Grinding Modeling Study of Involute Spline Roller Manufactured by Cold Rolling

韩志仁^{1, 2} 张丰收² 崔凤奎^{2/1} 沈阳航空航天大学 2 河南科技大学

摘要:根据成形磨削的特点, 在分析砂轮形状及其磨损的基础上, 选择圆弧形砂轮截面进行冷滚打花键的磨削。磨削时接触点沿砂轮廓形曲线移动, 不仅砂轮廓形曲线磨损均匀, 而且提高了砂轮的耐用度, 减少了砂轮的修整次数。试验结果表明, 本文的理论分析、公式推导是正确的, 为滚打轮的设计制造提供了理论依据, 为其工艺参数的制定和磨床的设计提供了数学指导。

关键词: 渐开线花键; 滚轮; 磨削; 数学模型

Keywords: involute spline; roller; grinding; mathematics modelling

0 引言

渐开线花键滚打轮的轴向截形轮廓是一种复杂曲线, 其曲线的准确度和精度直接影响冷滚打花键的齿形精度; 同时滚打轮的表面精度也直接影响冷滚打花键的表面精度和滚打轮的使用寿命。因而, 对滚打轮必须进行磨削加工。但是, 在滚打轮的磨削加工过程中, 砂轮的运动轨迹如何确定才能确保滚打轮轴向截形轮廓的正确是滚打轮设计的关键问题。本文对滚打轮的磨削过程进行建模, 确定砂轮的运动轨迹, 并实验验证了所建模型的准确性及可行性, 为设计磨削数控程序加工出轴向截形准确、表面精度满足要求的滚打轮提供了理论依据。

在研究滚轮磨削过程中, 由于影响磨削精度的参量太多, 且磨削滚轮的过程复杂, 影响因素很多, 为了便于动态模型的建立, 对磨削过程进行了一定的简化, 特别是将磨床系统

的诸多影响因素简化为步进电机的脉冲当量选择以及磨床随机动态响应误差。在基本反映实际工况的基础上着重研究对滚轮加工质量的影响。

1 砂轮形状的选择

由于滚轮轴向截形是比较复杂的曲线, 一般可采用成形砂轮对滚轮回转面进行磨削加工, 滚轮廓形的形状精度完全取决于砂轮廓形的修整精度。但对于尺寸较大的廓形, 由于受砂轮宽度的限制而无法进行加工, 这种情况下一般利用轴截形为三角形的砂轮沿工件表面走出所要加工的零件廓形, 加工进给路线可由2轴联动数控磨床编程确定, 也可在普通磨床上用靠模板确定。但三角形截面的砂轮磨损很快, 磨削过程中需及时给出磨损补偿才能加工出精度较高的廓形, 且进给量较小时才能达到所要求的表面粗糙度。

为减少磨削过程中的砂轮磨损, 可采用圆弧形砂轮截面, 如图1所示。在磨削过程中, 接触点沿砂轮廓形曲线移动, 使砂轮廓形曲线磨损比较均匀, 提高了砂轮的耐用度, 减少了砂轮的修整次数。砂轮廓形曲线使用圆弧曲线, 则使砂轮的修整方便简单。

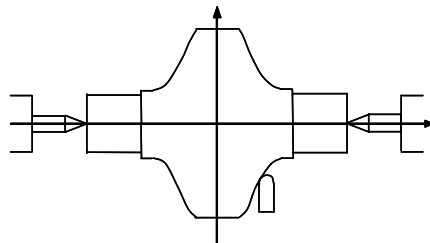


图1 圆弧形砂轮磨削

2 砂轮圆弧半径的确定

为了保证砂轮磨削滚轮回转面时正常工作, 在磨削的任何瞬间, 滚轮廓形与砂轮廓形必须相切, 并且只能有一个接触点。这就要求在任何一个接触点处, 滚轮廓形的曲率半径 R_w 大于或者等于砂轮廓形圆弧半径 R_g , 即:

$$R_g \leq R_w \quad (1)$$

* 基金项目: 航空科学基金(2009ZE54010)项目资助。

上式中滚轮廓形曲率半径 R_w 是滚轮廓形上取样点曲率半径的最小值。另外,砂轮厚度 t 是有限制的,砂轮廓形只是一部分圆弧,如图2、图3所示的 e_1e_2 段,且在砂轮廓形与滚轮廓形的起始点 c 处应保持相切接触。

另外还有两个接触点位置需考虑。

1) 砂轮位于滚轮廓形的起始点 c 处

第一种情况如图2所示,滚轮廓形的法线 $\vec{n}_w$ 应与砂轮廓形的法线 $\vec{n}_t$ 共线;第二种情况如图3所示,在有效的砂轮廓形内,砂轮与滚轮廓形在滚轮廓形起始点 c 无相切接触点;要使滚轮廓形与砂轮廓形在起始点 c 处不发生干涉,必有砂轮廓形起始点 e_1 处的法线与 x_1 轴的夹角 θ_1 小于或者等于工件廓形起始点 c 处的法线与 x_1 轴的夹角 β_c ,即:

$$\theta_1 \leq \beta_c \quad (2)$$

2) 砂轮位于滚轮廓形的终点 d 处

与上述方法相同,可求得在滚轮廓形终点 d 处应满足的条件是:

$$\theta_2 \geq \beta_d \quad (3)$$

3 砂轮廓形圆心运动轨迹

如图4所示,以滚轮坐标系($O-XZ$)作为静止坐标系。假设起始位置时,砂轮和滚轮在 p_1 点接触,当滚轮转过一周时,砂轮与滚轮在 p_2 点接触,显然,砂轮廓形圆心的运动轨迹为滚轮廓形曲线的法向等距线。

令滚轮廓形上的 p_1 点的矢径 $\vec{O}p_1$ 为 $\vec{r}$, p_1 点的法线矢量为 $\vec{n}$, O_1 点的矢径 $\vec{O}o_1$ 为 $\vec{r}_{o1}$,设滚轮轴向截形的曲线方程为:

$$\vec{r} = \vec{r}(u) = [X(u) \quad Z(u)] \quad (4)$$

则法向等距线的方程为:

$$\vec{r}_{o1} = [X_{o1}(u) \quad Z_{o1}(u)] = \vec{r} + R_g \cdot \vec{n}_o \quad (5)$$

式中, R_g 为砂轮廓形圆弧半径; $\vec{n}_o$ 为滚轮廓形 p_1 点处的单位法线矢量,即单位切线矢量 $\vec{t}$ 绕 p_1 点逆时针转动 90° 。

若设单位切线矢量 $\vec{t}$ 为:

$$\vec{t} = [t_x(u) \quad t_z(u)] \quad (6)$$

则单位法线矢量为:

$$\vec{n}_o = A_{p1}(90^\circ)\vec{t} = [-t_z(u) \quad t_x(u)] \quad (7)$$

将式(7)代入(4-10)式,则可得法向等距线方程:

$$\vec{r}_{o1} = [X_{o1}(u) \quad Z_{o1}(u)] = [X(u) - R_g t_z(u) \quad Z(u) + R_g t_x(u)] \quad (8)$$

上式也是砂轮廓形圆心的运动轨迹方程。

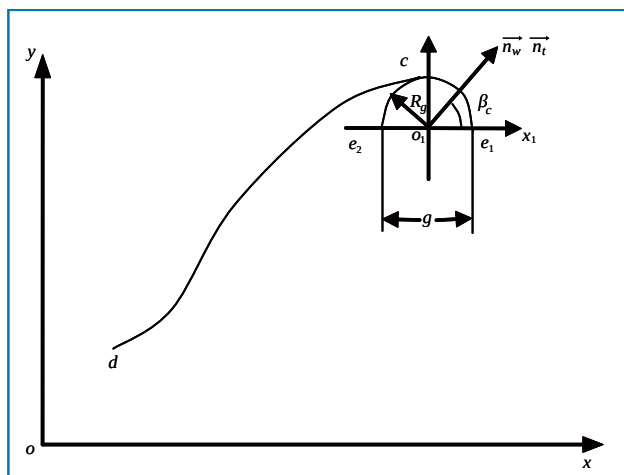


图2 磨削干涉条件(1)

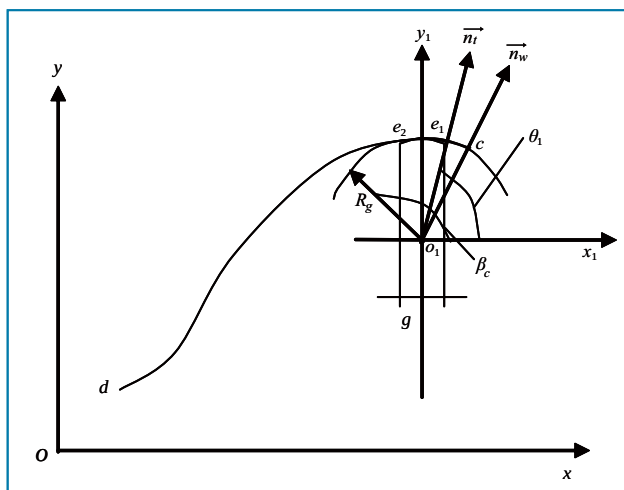


图3 磨削干涉条件(2)

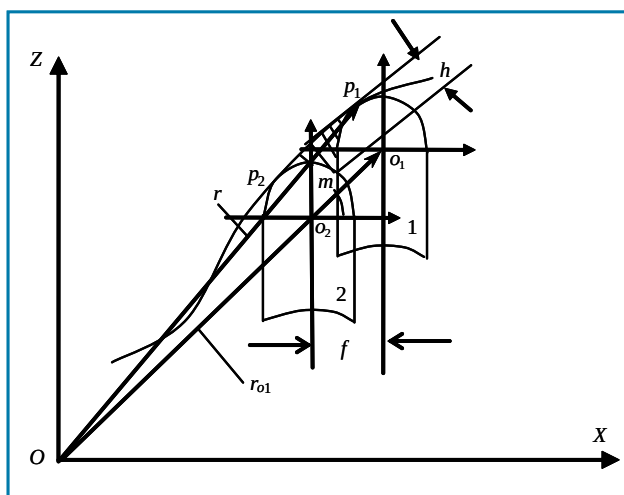


图4 砂轮运动

4 磨削力计算

磨削力源于工件与砂轮接触后引起的弹性变形、塑性

变形、切屑形成以及磨粒和结合剂与工件表面之间的摩擦作用。为了便于分析问题,磨削力通常可分解为相互垂直的三个分力,即沿砂轮切向的切向磨削力 F_t 、沿砂轮径向的法向磨削力 F_n 以及沿砂轮轴向的轴向磨削力 F_a 。一般磨削中,轴向力 F_a 较小,可以不计。由于砂轮磨粒具有较大的负前角,所以法向磨削力 F_n 大于切向磨削力 F_t ,通常,磨削力比值 F_n/F_t 在1.5~3范围内。需要指出的是,磨削力比值不仅与砂轮的锐利程度有关,且随被磨材料的特性不同其力比值不同。磨削力与砂轮耐用度、磨削表面粗糙度、磨削比能等均有直接关系。

滚轮的磨削属于外圆磨削,已知磨削外圆时磨削力公式的数学模型为:

$$F_t = F_p a_p^x f_{av}^y v_w^z \quad (12)$$

其中, F_p 为单位磨削力, a_p 为磨削深度, f_{av} 为轴向进给量, v_w 为滚轮工件的速度。根据实验数据以及角正回归法,可得切向磨削力公式为:

$$F_t = 453 a_p^{0.90} f_{av}^{0.62} v_w^{0.76} \quad (13)$$

根据切向磨削力以及磨削力比,能够计算得到法向磨削力 F_n 。

5 实验验证

实验以冷滚打东方红-170半轴花键为例进行。冷滚打轮工件参数为:齿数 $z=16$,模数 $m=2.5$,分度圆压力角 $\alpha=30^\circ$,分度圆上弧齿厚 $s=5.37\text{mm}$,滚打轮直径 $d=38\text{mm}$ 。

冷滚打试验在瑞士Grob公司的ZRM9滚打机上进行,分齿运动采用连续分齿。图5为磨削成形的滚打轮,图6为冷滚打加工的渐开线花键轴实物图。

在冷滚打工序中,根据花键的精度要求,选择工件的进给量为 1.3mm/r ,内传动链挂轮分别为64、98、36,安装角为 $1^\circ 30'$,滚打轮安装偏心量为 58mm 。

用Serein-CMM FUNCTION 1000型三坐标测量机对所加工的花键进行测量,图7为实际加工花键端面齿形的测量数据与理论渐开线花键端面齿形的计算数据的比较图形。在齿顶、齿根和分度圆两边分别取20组数据,对齿厚方向数据分析结果如表1所示。



图5 滚打轮实物照片



图6 冷滚打加工的渐开线花键轴实物图

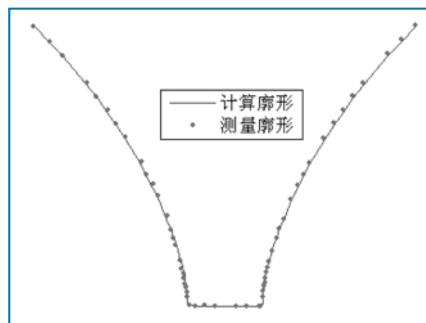


图7 廓形比较图

表1 实际加工花键端面齿形的测量数据与理论渐开线花键端面齿形的计算数据分析结果

	齿顶	齿根	分度圆
平均偏差(mm)	0.0009	0.0012	0.0023
最大偏差(mm)	0.0038	0.0078	0.0046

从图7和表1可以看出,冷滚打加工的渐开线花键与理论渐开线花键的齿形是吻合的,其误差在要求的精度范围内。

6 结论

本文分析了冷滚打渐开线花键的滚打轮的磨削过程,对砂轮形状、砂轮圆弧半径、砂轮圆心运动轨迹、磨削力进行分析并建立了数学模型。经过对典型零件的滚打实验,验证了上述理论分析、公式推导是正确的。不仅为滚打轮的设计制造提供了理论依据,而且为其工艺参数的制定和磨床的设计提供了数学指导。

AST

参考文献

- [1] 王勇卫. 滚珠丝杠副的特性和技术动向[J]. 机械科学与技术, 1984 (1): 71-76.
- [2] 黄祖尧. 精密高速滚珠丝杠的最新发展及其应用[J]. 航空制造技术, 2003 (4): 36-40.
- [3] 冯显英. 齿廓曲面创成的运动学集合建模[J]. 中国机械工程, 2001(12): 169-170.
- [4] 杨建玺, 崔凤奎, 王晓强, 等. 冷滚轧滚轮设计理论及实验修正[J]. 中国机械工程, 2004, 15(24): 2168-2171.
- [5] 崔凤奎, 李言, 周彦伟, 等. 渐开线花键滚轧轮CAD及磨削仿真[J]. 机械工程学报, 2005, 41(12): 210-215.
- [6] 崔凤奎, 李言, 周彦伟, 等. 渐开线花键滚轧轮建模及其修正[J]. 南京航空航天大学学报, 2005, 37(增刊): 90-93.

作者简介

韩志仁, 教授, 主要研究方向为塑性变形研究及有限元分析。