

刮削硬齿面齿轮表面粗糙度的研究

马建旭* 勾治践 祝佩兴 全玉璋

(*中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

(吉林工业大学机械工程系, 长春 130025)

摘要 对淬硬齿轮刮削后表面粗糙度进行了深入的研究。从理论和试验中分析了产生粗糙度的原因及影响它的相关因素,并在试验的基础上建立了刮削齿面粗糙度的经验公式。

关键词: 表面粗糙度; 硬齿面齿轮; 凸曲面硬质合金刮削滚刀

1 引言

淬硬齿面(HRC48—60)的终结加工已成为当代齿轮制造业的研究中心。随着对传动轮的精度和寿命要求愈来愈高,各国都在研究制造这类齿轮的新途径。硬质合金刮削滚刀以其大负径向前角 γ_{μ} 、较强的抗崩刃性、高效率 and 低成本,在淬硬齿轮的精加工和半精加工中独具魅力。传统的硬质合金刮削滚刀均为直槽,刀齿前刀面为平面, γ_{μ} 取到 -30° 。吉林工业大学在理论和实践相结合的基础上设计出凸曲前刀面硬质合金刮削滚刀(以下简称凸刮削滚刀,如图1),它在侧刃抗崩刃性及增加精加工重磨次数方面都优于平刮削滚刀。因而在实际中已逐渐得到应用^[1]。

齿面粗糙度对齿轮副运转时的润滑状态至关重要,当齿面粗糙度大于润滑油膜厚度时,粗糙度的波峰易刺破油膜,部分金属会直接摩擦,从而引起齿面磨损。对于软齿面齿轮而言,即使齿面粗糙度较大,经过跑合,齿面相辗压,粗糙度可以降低。然而硬齿面齿轮即使长时期运转后,齿面粗糙度也难以降低。因此,在加工硬齿面齿轮时,必须注意保证齿面良好的粗糙度状态。

本文正是通过对凸刮削滚刀(图1)刮削后硬齿面齿轮的表面粗糙度分析,为降低表面粗糙度及该滚刀应用推广提供依据。

2 刮削硬齿面粗糙度产生的理论分析

2.1 凸刮削滚刀刮削齿面的理论粗糙度

收稿日期:1995年3月13日

如果已加工表面单纯按几何与运动理论形成的话,那末已加工表面粗糙度就应取决于工件与刀具的相对运动和切削刃轮廓。而一般 0° 前角滚刀在滚齿过程中,被切齿轮的渐开线齿形是由滚刀通过展成运动以有限个切削刃包络成形的。因此,实际齿形是有限条线段构成的折线与理论渐开线存在一定的误差,称为包络误差 Δf (图 1)。这种包络误差与由于滚刀制造时齿形误差对加工后齿轮齿形产生的误差微小的多,不能作为齿形误差考虑,只能作为表面粗糙度。

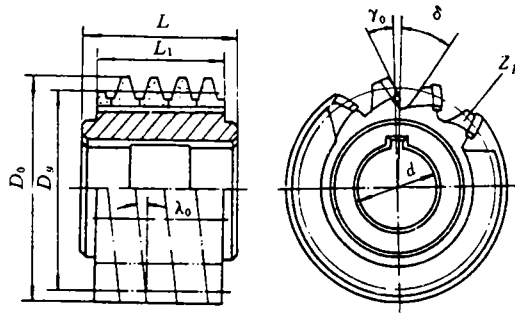


图 1 凸刮削滚刀

凸刮削滚刀不仅具有大负前角,而且独具凸曲前刀面。这种特殊结构所产生的包络误差将不同于一般滚刀。下面对其定性分析:滚齿的啮合过程实质上是交错轴螺旋齿轮啮合,滚刀相当于蜗杆,只是在蜗杆上切出容屑槽以形成切削刃,刀齿经过铲背形成后角,使此蜗杆变成滚刀。滚刀的每个切削刃都要严格地保持在蜗杆的表面上。根据蜗杆与齿轮啮合原理,它们将在啮合线上啮合。图 3 所示虚线为蜗杆与齿轮啮合的接触线。如以此接触线做为切削刃,并不开出容屑槽,而制成大负前角滚刀。此滚刀在滚齿过程中,被切齿轮的齿形将不出现切削刃包络成形的现象,而是按渐开线曲线成形的,不存在任何包络误差。凸刮削滚刀在设计上应用这一原理,同时又兼顾径向负前角值不宜过大,因而选取一定凸曲前刀面,一定负前角的特殊结构,使这样滚刀侧刃趋近于接触线。因而在切削时,该滚刀切削刃工作部分从根部到上部形成斜角切削,使得齿形由各段曲线包络而成。如图 2 所示,该齿面包络误差 $\Delta f' < \Delta f$,从而在理论上降低了齿面粗糙度。

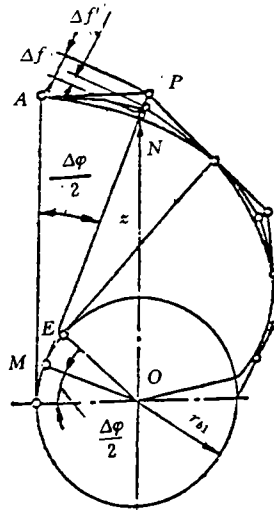


图 2 滚削齿轮的理论粗糙度

2.2 刮削齿轮时影响粗糙度的相关因素

在加工过程中,影响粗糙度的相关因素主要有微小切屑、机床的振动、刀具负前角的大小和工件因素。

对于硬刮加工这种特殊的加工方式,由于加工材质比较硬(HRC48—60),并选用大负前角的特殊结构,存在着强烈的挤压,切削力比较大,使得切削温度较高,因而不会产生积屑瘤^[2];但由于凸刮滚刀的刀片是硬质合金烧结成的,刃口锋利到 $2\mu\text{m}$ 以下是极其困难的,且刃口温度比最高切削温度处稍低,在刀具切削刃口附近易滞留微小切屑,它将提高粗糙度。滚齿机是断续切削的机床,断续切削而产生的断续切削力是引起这类机床受迫振动的因素,并且由于切削硬齿面时切削力较大,故机床本身运动件间隙误差在振动中表现明显,因而机床振动亦增大粗糙度。当增大刮削滚刀径向负前角时,切削齿面过程将变得平稳,机床振动减轻^[3];同时负前角增大时,齿面理论粗糙度亦降低,所以此时齿面粗糙度将降低。工件因素对齿面粗糙度影响最大的是工件硬度,我们将在试验研究中分析。

3 刮削硬齿面表面粗糙度的试验研究

3.1 试验条件

试验工件为直齿圆柱齿轮,材料为45号锻钢,经表面高频淬火。齿轮参数:法向模数 $m_n=4$,齿数 $Z=32$,法向齿形角 $\alpha_n=20^\circ$,齿厚 $B=30\text{mm}$ 。试验用刀具为凸刮削滚刀,分圆处前角 $\gamma_0=-30^\circ$ 。试验机床Y3180H。加工方法采用刮削、逆铣、干切。

本次试验把切削速度 V ,轴向进给量 f ,沿工件经向切削深度 a_p 以及齿轮表面的洛氏硬度HRC做为变化因素,研究这四个因素变化对齿面粗糙度的影响。因素的取值范围: $V=27.71\sim 70.37\text{m/min}$, $f=1\sim 1.8\text{mm/r}$, $a_p=0.3\sim 0.54\text{mm}$, $\text{HRC}=50\sim 58$ 。

齿轮表面粗糙度的测量是在西德KLNGLNBERG公司生产的PFSU640渐开线螺旋线综合检查仪上完成的。

3.2 试验计划安排

为全面研究硬齿面刮削后表面粗糙度特性,选择齿轮齿形方向粗糙度作为测试对象。根据资料^[4],建立刮削表面粗糙度与四因素的数学模型(其它因素定在合适水平处)。

$$R_a=C \cdot a_p^a \cdot f^b \cdot V^c \cdot H^d$$

式中 C 为常数项, a, b, c, d 分别 a_p, f, V, H 的指数。

为了能在每一试验点都获取最大信息,并且将试验安排、数据处理、回归数学模型的粗糙度检验统一起来加以考虑,粗糙度试验采用二次正交旋转组合设计法,根据此种设计法,安排了36组试验^[5]。

3.3 齿面粗糙度的经验公式

根据四因子正交旋转组合设计的要求,齿面粗糙度与 V, f, a_p, HRC 四水平编码公式如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{切削速度编码 } X_1 &= \frac{2(\ln V - \ln 54.98)}{\ln 54.98 - \ln 35.18} + 1 \\ \text{轴向进给量编码 } X_2 &= \frac{2(\ln f - \ln 1.6)}{\ln 1.6 - \ln 1.16} + 1 \\ \text{径向切深编码 } X_3 &= \frac{2(\ln a_p - \ln 0.48)}{\ln 0.48 - \ln 0.34} + 1 \\ \text{洛氏硬度编码 } X_4 &= \frac{2(\ln H - \ln 58)}{\ln 58 - \ln 50} + 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

根据式(1),将粗糙度函数两边取对数,可得

$$\ln P_a = \ln C + c \ln V + b \ln f + a \ln a_p + d \ln H$$

将 $\ln V, \ln f, \ln a_p, \ln H$ 以编码 X_1, X_2, X_3, X_4 代入上式,经整理得

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 \quad (3)$$

式中 $Y = \ln R_a$

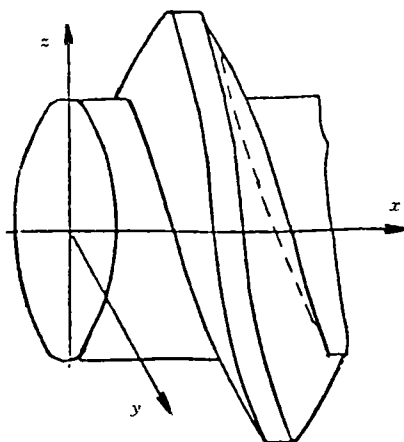


图3 蜗杆与齿轮啮合接触线

b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 均为系数

这就是所要求的回归方程。

为使所建立的经验公式更符合实际,将因素二次项和交互项引入式(3),则回归方程为

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4$$

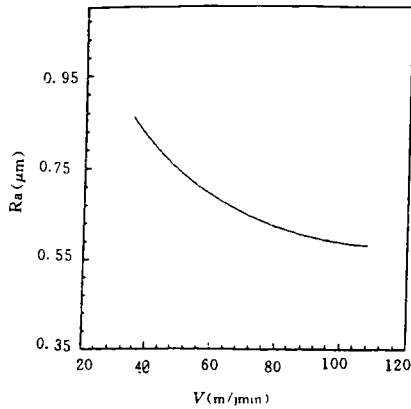
对该回归方程,进行回归系数计算和显著性检验[5],可得

$$Y = 0.20305 - 0.1082X_4 - 0.0871X_1^2 - 0.0475X_2^2 + 0.0442X_3^2 \tag{5}$$

将编码公式(2)代入可得齿形方向粗糙度的经验公式

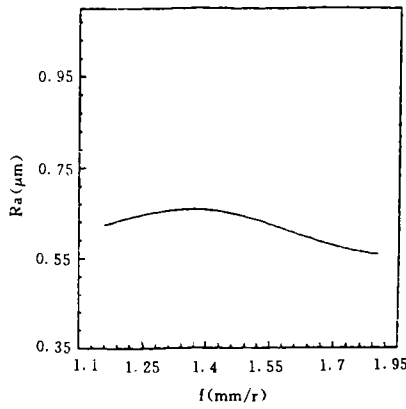
$$\ln R_a = 108.141 + \ln V(13.137 - 1.749 \ln V) + \ln f(1.1360 - 1.837 \ln f) + \ln H(-65.462 + 8.028 \ln H) \tag{6}$$

3.4 试验结果分析



$f = 1.16 \text{ mm/r}$ $a_p = 0.3 \text{ mm}$ HRC = 55

图4 切削速度与表面粗糙度关系图



$V = 70 \text{ m/min}$ $a_p = 0.4 \text{ mm}$ HRC = 56

图5 进给量与表面粗糙度关系曲线

图4为 f, a_p, HRC 一定时,根据表面粗糙经验公式所得粗糙度随 V 变化规律曲线。由该图可知,随着 V 的增加,粗糙度将呈现减小的趋势。这是因为随着 V 的增加,切削力将降低[6],振动减弱;且切削温度增加,滚刀刃口温度亦升高,刃口处滞留的微小切屑减少,从而使粗糙度降低。

图5为 V, a_p, HRC 一定时,粗糙度随 f 变化的规律。因为在刮削过程中,进给量增大时,一方面单位时间内产生热量增加,温度升高使刃口处微小切屑减少,粗糙度降低;另一方面,切削力增加[6],机床振动增大,粗糙度增大。综合作用结果确定了曲线走向。

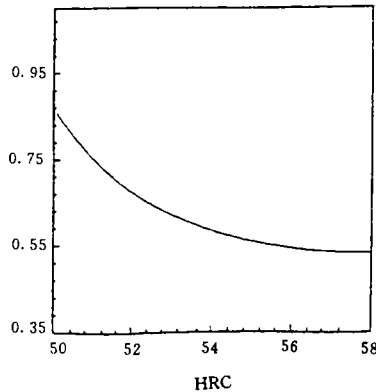


图6 齿面硬度与表面粗糙度关系图
 $V = 70 \text{ m/min}$ $f = 1 \text{ mm/r}$ $a_p = 0.4 \text{ mm}$

图6表示在 V, f, a_p 一定时,齿面硬度增加粗糙度降低。随着齿面硬度增加,塑性、韧性都降低,拉毛、鳞刺减少,并且微小切屑影响减小,因而粗糙度降低。

4 结 论

通过对刮削后硬齿面齿轮表面粗糙度的理论分析和试验研究可知:凸刮削滚刀所加工的齿轮表面粗糙度比一般滚刀小,并随滚刀负前角的增大而降低,很适合于精加工与半精加工硬齿面齿轮的需要,由推导的粗糙度经验公式可得,表面粗糙度随切削速度、齿面硬度的增加而降低,且影响较为显著;进给量 $f=1.4\sim 1.8\text{mm/r}$ 时,随 f 增大,表面粗糙度降低;切深 a_p 对表面粗糙度影响不显著。

参 考 文 献

- [1]全玉璋等,凸曲前刀面硬质合金刮削滚刀构形方法与滚切机理的研究。机械工程学报,1993,2(1):1-6
- [2]白井英治,切削磨削加工学。北京,机械工业出版社,1981
- [3]薛进才,硬齿面的滚削加工。北京,机械工业出版社,1987
- [4]朱伟勇,最优化理论与应用。辽宁,辽宁人民出版社,1986
- [5]马建旭,新构型法硬质合金刮削滚刀刮削硬齿面表面质量的研究。吉林工业大学硕士学位论文,1994. 2
- [6]祝佩兴,新构型法硬质合金刮削滚刀 CAD 及其切削力的研究。吉林工业大学硕士学位论文,1991

Research on surface Roughness of Skived Gear Quenched

Ma Jianxu*, Gou Zhijian, Zhu Peixing and Quan Yuzhang
 (* Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
 Chinese Academy of sciences, Changchun 130022)
 (Department of Mechanical Engineering, Jilin University
 of Technology, Changchun 130025)

Abstract

The reasons of causing the surface roughness of skived gear quenched and the relevant factors influencing on it are analysed in theory and practice, and the experimental formula is established.

Key words: Surface roughness, Quenched gears, Skiving carbide hob