

小模数棘轮滚齿加工工艺探讨

龚 宏 徐练光 熊宇烈 王 珑
(四川航天燎原科技有限公司, 成都 610100)



摘要: 分析、优化了棘轮滚刀设计, 对刀齿磨削、滚齿加工过程进行了工艺控制, 摸索出微小余量精切措施, 提高了刀具耐用度, 获得了加工精密小模数棘轮的方法, 满足了零件加工需求。

关键词: 小模数棘轮; 滚刀设计; 滚刀耐用度; 刀齿磨削; 滚齿工艺

Discussioning Gear Hobbing Process of Small Module Ratchet

Gong Hong Xu Lianguang Xiong Yulie Wang Long
(Sichuan Aerospace Liaoyuan Science and Technology Co., Ltd., Chengdu 610100)

Abstract: The design of ratchet hob is analyzed and optimized, and the process control of cutter tooth grinding and gear hobbing is carried out. Then the tiny allowance of fine cutting measures are explored, and the tool durability is improved. Furthermore the machining method of precision small modulus ratchet is obtained, and the demand of parts machining is satisfied.

Key words: small module ratchet; optimizing design of hobbing cutter; hobbing cutter's durability; grinding of cutting edge; hobbing process

1 引言

棘轮机构的作用是将连续转动或往复运动转换成单向步进运动, 棘轮轮齿通常为单向齿。本文所述棘轮由电磁铁直接驱动, 棘轮的步进运动产生所需的脉冲, 棘轮的精度将直接影响脉冲的精度及稳定性, 从而影响产品性能。

棘轮滚刀与齿轮滚刀不同, 需要按定装滚刀成形铣削的原理特殊设计。其成形加工, 一般具有精度低、粗糙度高、加工质量不稳定的特点。本文针对零件结构特点, 结合加工工艺及难点分析, 通过对棘轮滚刀设计的改进, 控制滚刀刀齿磨削及滚齿工艺过程, 探讨摸索了精密小模数棘轮在成形滚齿加工中的控制方法。

2 零件分析及工艺方案设计

2.1 零件结构特点

某型号产品棘轮, 材料为合金结构钢, 模数 $m=0.3\text{mm}$, 齿形角 $45^\circ\pm 1^\circ$; 内凹角 $<2^\circ$; 齿高 $(0.85\pm 0.05)\text{mm}$, 齿底 $R<0.15\text{mm}$, 粗糙度 $R_a 0.8\mu\text{m}$, 齿距角误差 $5'$, 齿距角累积误差 $10'$, 其结构特点是齿高小而齿根尖。棘轮齿形图见图 1。

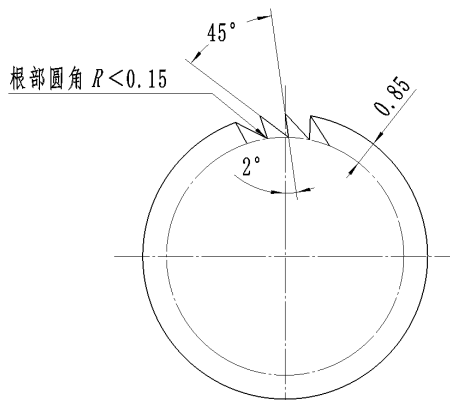


图 1 棘轮齿形图

作者简介: 龚宏 (1960), 工程师, 机械加工工艺及设备专业; 研究方向: 机械加工工艺。

收稿日期: 2018-06-10

2.2 加工难点分析

分析该棘轮要求及加工工艺, 主要存在以下加工难点:

a. 零件材料为合金结构钢, 含有较多的合金元素, 切削性能较差;

b. 加工中刀尖的磨损易造成齿高变浅、齿根圆弧变大, 影响其精度要求;

c. 棘轮的分齿切削在滚齿机上进行, 属于成形加工方法, 其齿距角误差、齿距角累积误差不仅受滚齿机分齿运动精度的影响, 还受各刀齿坐标精度的影响, 造成齿距角、齿距角累积误差超差;

d. 齿形角精度主要由所绘制的放大图决定, 而放大图受放大图坐标的计算精度、绘制精度和磨削时的目视精度多重影响, 导致齿形角精度超差;

e. 内凹角由刀具安装位置确定, 刀具安装位置由刀尖在对刀目镜中的目视精度确定, 特别是刀尖磨损圆弧变大时, 将影响安装的正确位置;

f. 粗糙度的高低直接受刀具角度、粗糙度和切削参数影响, 而这种无精切齿的多刀刃在不同位置的切削对粗糙度的影响更大, 从而增加了提高表面质量的难度。

2.3 工艺方案设计

根据零件结构特点和技术要求, 结合加工难点, 设计工艺方案:

- 优化滚刀设计;
- 提高刀齿耐用度;
- 提高刀齿坐标加工精度;
- 滚齿加工过程工艺控制。

3 工艺过程及控制措施

3.1 滚刀设计分析

常规的棘轮滚刀结构是设计成多个刀齿圈, 且刀齿设计成粗、精齿, 棘轮齿形由最后一个精齿形成, 但这样的设计比齿轮的展成滚刀设计耐用度低很多^[1]。

为提高刀具耐用度, 方便非刀量具生产企业滚刀制造, 本棘轮滚刀没有按常规方法进行粗、精齿区分设计, 滚刀结构设计为单齿圈, 每圈 6 个切削刃, 右旋, 刀齿布置在加工零件的左面。滚刀结构图见图 2, 刀齿布置安装图见图 3。

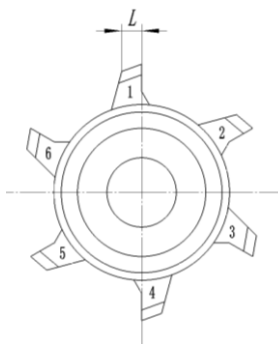


图 2 滚刀结构图

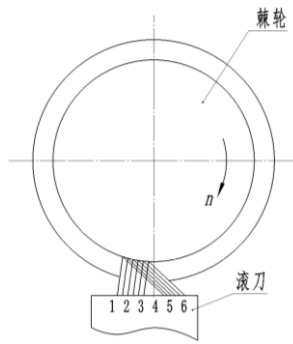


图 3 刀齿布置安装图

3.2 提高滚刀耐用度的措施

提高滚刀耐用度的措施主要有以下几个方面:

a. 提高材料切削加工性。工件材料的强度、硬度、塑性等物理机械性能对刀具耐用度的影响是排在第一位的, 而此零件材料的切削加工性较差, 所以工艺上首先调质处理该零件, 以改善切削加工性。

b. 选择合适的刀具材料。刀具材料的性能对刀具耐用度的影响仅次于工件材料的影响, 针对此零件的结构特点, 在刀具材料的抗弯强度、硬度、韧性、耐磨性等几个指标中, 首先应考虑韧性和耐磨性较好的刀具材料。通过对三种不同的滚刀材料所进行的滚齿加工比较, 结果显示钨钼含量较高的高速钢材料耐用度较好。

c. 确定合适的刀具硬度。刀具硬度越高, 塑性韧性越低。通过几种不同硬度滚刀的加工比较试验, 确定滚刀的硬度范围。

d. 摸索合理的滚刀侧后角。滚刀侧后角对滚齿的切削加工性和刀具耐用度的影响显著, 通过多次的滚齿试验, 摸索出了合理的滚刀两侧刃后角。

3.3 刀齿磨削工艺控制

棘轮滚刀刀齿的磨削是在光学曲线磨床 M9017 上进行, 为保证各刀齿磨削精度, 采取了如下工艺控制措施:

a. 提高各刀齿磨削用分度工装的精度, 严格控制各定位孔的分度精度和定位销的间隙。

b. 在光学曲线磨床上使用 20 倍放大图, 由原硫酸纸手工绘制改为用数控机床在透明有机玻璃板上刻制, 放大图的绘制误差由 0.5~0.7mm 提高至 0.1mm。

c. 精修砂轮须锁定工作台的纵向和横向轴, 以排除工作台丝杆间隙, 从而排除金刚石笔修整砂轮时不稳定对砂轮形状的影响。

d. 为避免砂轮和滚刀夹紧系统因弹性变形对刀尖出现多磨啃尖的影响, 要求退刀须沿砂轮上下磨削方

向, 而不能沿砂轮的径向退出砂轮。

e. 为减少砂轮磨削面形状误差对磨削刀尖尺寸的影响, 砂轮参与磨削的部位须修打成碗形, 让参与磨削的砂轮尽可能形成线接触磨削。

f. 选择合适的砂轮。此刀齿的磨削为端面干磨, 极易退火, 所以磨削用砂轮宜选择硬度较软的磨具、偏粗的磨料粒度, 使其有较好的自锐性和散热条件, 经过对棕刚玉、白刚玉砂轮不同硬度、粒度的磨削比较, 确定所选用砂轮的种类、硬度和粒度。

g. 为使磨削充分散热, 刀刃磨削用量宜小, 须控制每次进刀量和每分钟磨削的次数, 磨削后滚刀刀尖不变色退火, 否则必须重磨。

h. 专人检查核对磨削后刀尖形状与放大图的吻合程度, 目视吻合度较差的必须重新磨削。

3.4 滚齿加工工艺控制

棘轮的滚齿加工在高精度滚齿机 MIKRON 102.05EP 上进行^[2], 滚齿工艺过程控制如下:

a. 棘轮齿坯及安装心轴精度的保证。棘轮齿坯精度和安装棘轮齿坯心轴精度的有效保证, 是加工合格零件的基本条件, 所以生产加工中, 严格控制棘轮齿坯的定位孔精度、外圆精度、外圆与孔的同轴度和心轴精度。

b. 滚齿机精度的检测调整。滚齿机精度特别是滚刀轴的轴向跳动、分度蜗轮副侧隙对棘轮周节误差、周节累积误差和表面粗糙度的影响很大, 生产加工过程中须定期检测, 达不到要求时, 及时调整滚齿机, 使此两项精度在控制范围内。

c. 顺铣与逆铣的选择。一般情况下, 顺铣(由床头进给到床尾)能减少刀具磨损, 切削时振动小, 加工的齿面粗糙度低, 但前提条件是进给丝杆与螺母间的间隙得到有效控制。通过对滚齿机丝杆与螺母间隙调整后进行的滚齿加工试验, 结果表明顺铣的齿面振纹大于逆铣, 粗糙度、耐用度也低于逆铣, 分析其主要原因是由于丝杆与螺母间间隙始终存在而无法有效排除所致, 所以实际生产中采用了逆铣滚棘轮的方式。

d. 滚刀安装位置的确定。左旋滚刀滚齿加工过程分析见图 4。此滚刀设计的加工过程是滚刀每转一圈, 6 号刀齿在 X_6 位置切入, 依次到 1 号刀齿在 X_1 位置切出, 完成一个齿的切削。而当 6 号刀齿处于 $L_1=X_6$ 、 β_6 位置时, 理论上棘轮为 0° 内凹角, 当 6 号刀齿远离中心处于 L_2 位置时, 棘轮形成 α 内凹角。通过理论计算, $0^\circ \sim 2^\circ$ 内凹角, 滚刀对中心的偏离量为 $0.16 \sim 0.69\text{mm}$,

对应滚齿机中对刀目镜偏移格数约 $1 \sim 4$ 格, 加工中滚刀的安裝位置须在此范围内。

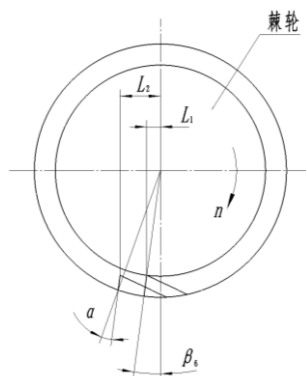


图 4 左旋滚刀滚齿加工过程分析

e. 滚齿切削用量的确定。小模数棘轮的精滚加工按转速偏高、进给量偏小的原则进行, 通过试件的试验加工并比较表面粗糙度高低, 确定了较合适的滚刀转速 n_0 和进给量 S_x 。

f. 试刀件试切。由于棘齿小, 刀尖稍有磨损或各刀齿精度误差偏大, 加工后棘齿各参数变化较大, 为保证产品零件的合格率, 每次新磨或重磨刀刃后加工零件前须先用试刀件试滚, 并计量齿深、内凹角、齿形角、齿距角累积误差等主参数, 再根据参数决定是否调整滚刀安装位置, 之后加工产品零件, 得到符合要求的参数。

3.5 对滚刀设计的改进优化

经过滚齿加工的试验摸索, 对本棘轮滚刀设计有了较清楚的认识, 明确了棘轮滚刀的适用性参数, 对滚刀的主要改进如下:

- 6 个刀齿前刀面的等分性角度公差;
- 2 对角刀齿前刀面的对称度公差;
- 刀齿顶刃长度 L ;
- 两侧刃后角 α ;
- 6 个刀齿的 X 向坐标值及公差;
- 6 个刀齿的 Y 向坐标值及公差;
- 滚刀硬度范围;
- 滚刀材料牌号。

除上述改进外, 还对滚刀旋向、工件旋向和粗精齿的关系进行了试验摸索, 得到的关系是: 滚刀无论有无粗、精齿, 右旋滚刀工件旋向为逆时针, 6 号刀齿为精切齿; 左旋滚刀工件旋向为顺时针, 1 号刀齿为精切齿。实际生产加工中, 主要采用的是左旋滚刀。粗精齿右旋滚刀坐标图见图 5, 粗精齿左旋滚刀坐标图见图 6。

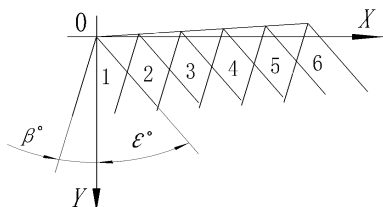


图5 右旋滚刀坐标图

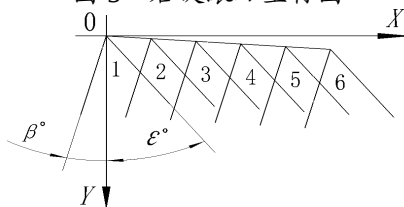


图6 左旋滚刀坐标图

为进一步了解棘轮滚齿加工工艺,摸清特性要求,按粗精齿设计原理,调整设计本滚刀6个刀齿的 X 、 Y 向坐标值。试验比对三种不同切削余量加工,结果显示精切余量越大,刀具耐用度越低,表面粗糙度越高,各参数离散性越大。根据试验结果,确定了适用的微小精切余量,使棘轮的刀具耐用度和加工精度再次得

到提高。

4 结束语

通过改进滚刀设计、控制工艺过程和摸索使用微小余量精切法,有效提高了刀具耐用度,解决了小模数棘轮在滚齿加工过程中出现的不能成形、烂牙、齿底圆弧大、棘齿面呈弧形、齿尖缺肉、齿面划痕明显等多种缺陷问题,其加工效果是:滚刀刀刃每磨削一次,加工由之初的只能加工零件2~3件逐步提高到5~6件再到9~10件,而且齿形好,表面粗糙度低,加工质量稳定,对零件的成形加工具有一定的借鉴意义。

参考文献

- 1 袁哲俊. 齿轮刀具设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014
- 2 何希超, 徐道科, 郭柏生, 等. 精密机床修理与调试[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991

(上接第16页)

前提下,尽量增加蒸发器长度,这样可以有效减小热载温度水平,确保仪器设备满足控温要求。

5 结束语

为研制出性能更优的环路热管系统,并将其应用于航天器热控系统设计中,本文重点对环路热管优化设计及分析技术进行了研究,根据环路热管两相换热特性建立了蒸发器内部压力变化模型、传热模型等数学模型,并依据数学模型采用SINAPS软件进行两相换热程序开发,实现了环路热管换热和流动仿真计算。

采用该分析模型完成航天器环路热管不同蒸发器长度条件下管内温度分布和压力分布计算,获取了最优蒸发器设计长度,实现环路热管蒸发器优化设计。仿真结果表明:该热/流模型可以计算环路热管内部温度分布和压力分布,并能够十分快速地评估环路热管蒸发器尺寸变化对各部件的温度及管内压力的影响,对环路热管优化设计具有十分重要的参考意义。

参考文献

- 1 Gerasimov Y F, Maydanik Y F, Dolgirev Y Y, et al. Some results of investigation of low-temperature heat pipes operating against gravity field[J]. Eng. Phys. J., 1976(4): 581~586
- 2 Maydanik Y F, Vershinin S, Kholodov V. et al. Heat transfer apparatus[J]. US Patent No. 4515209, 1985(5): 13~20
- 3 Maydanik Y F. Loop heat pipes[J]. Applied Thermal Engineering, 2005(25): 5~6, 635~657
- 4 Wang Naihua, Joseph Burger, Luo Feng, et al. Operation characteristics of AMS-02 loop heat pipe with bypass valve[J]. Sci China Tech Sci, 2011(54): 1813~1819
- 5 Zhang Jiaxun. The state-of-the-art of loop heat pipe[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2004(4): 682~684
- 6 C&R technologies, Sinda/Fluint ver5.5 user's manual[D]. C&R Technologies, Boulder Colorado, 2012
- 7 C&R technologies, loop heat pipe prebuilt model[D]. C&R Technologies, Boulder Colorado, 2004