

文章编号:1000-582x(2001)05-0014-04

内螺旋齿轮电火花加工的研究和参数设计*

周 忆, 梁锡昌, 王光建

(重庆大学机械工程学院, 重庆 400044)

摘 要:针对淬火锅内螺旋齿轮难加工的问题,讨论了淬火锅内螺旋齿轮电火花加工的方法和装置的设计,分析研究了淬火锅内螺旋齿轮加工的特点和加工原理,分析了工具电极齿轮的修形设计和误差补偿技术,推导了相应的计算公式,并进行了该装置的误差分析。由分析研究得出:电火花加工较好地解决了这类在材质和形状上均有特殊性的齿轮加工问题;考虑放电间隙和电极损耗,工具电极是被加工齿轮的变位和修形齿轮;通过误差补偿和螺旋机构的误差控制可提高电火花加工内螺旋齿轮的加工精度。

关键词:内螺旋齿轮;电火花加工;电极设计;模具

中图分类号: TH 701

文献标识码: A

淬火锅内螺旋齿轮模具,不能用切削方法加工,也很难用磨削方法加工^[1]。作者提出了一种电火花成形加工淬火锅内螺旋齿轮的方法。采用电火花加工的优点是将难加工的模具内齿轮的加工转化为易加工的电火花外齿轮的加工^[2]。

1 内螺旋齿轮电火花加工原理和系统

电火花成形加工内螺旋齿轮的原理如图 1 所示,图 2 为电火花成形加工内螺旋齿轮装置结构示意图^[3]。工具电极外齿轮 5,由在电火花机床上加装的滚动螺旋副 3 带动作螺旋运动,从而在工件 6 上加工出螺旋齿轮凹模。

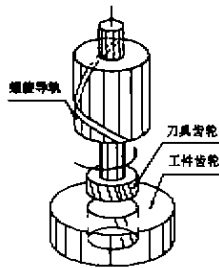


图 1 加工原理示意图

此时工具电极外齿轮的分度圆直径 d_t 、工件内齿轮 6 的分度圆直径 d_p 、滚珠丝杠 3 的中径 d_g 及其螺旋角 (β_t 、 β_p 、 β_g) 和导程 (L_t 、 L_p 、 L_g) 的关系是:

- 1) 若 $d_t = d_p = d_g$, 则 $\beta_t = \beta_p = \beta_g$;
若 $d_t = d_p \neq d_g$, 则 $\beta_t = \beta_p \neq \beta_g, L_t = L_p = L_g$ 。

2) 工具齿轮和工件齿轮螺旋角的大小相等,旋向相同;

3) 工具齿轮的端截面形状与工件齿轮的端截面形状一致。

图 2 所示的电火花成形加工内螺旋齿轮装置中,包括了螺旋机构装置和工件定位、夹紧装置。

2 工具电极齿形的修正

电火花加工中,放电间隙的大小及其一致性、工具电极的损耗及其稳定性是影响零件加工精度的主要工艺因素^[4]。因此,工具电极齿轮的设计应考虑放电间隙

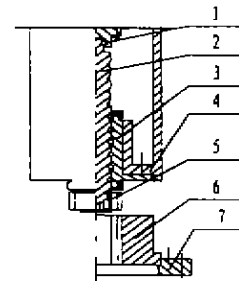


图 2 电火花加工内螺旋齿轮装置结构示意图

1—轴承,2,3—丝杆螺旋副,4—支架,
5—工具电极齿轮,6—工件,7—定位环

* 收稿日期:2001-07-20

基金项目:重庆市科委应用基础研究资助项目(编号:2000-6167)

作者简介:周忆(1957-),女,四川成都人,副教授,在职博士研究生,主要研究方向为机械制造、机械电子工程。

和电极损耗。

2.1 工具电极的变位系数

电火花成型加工中,工具电极的齿形与被加工齿轮的齿形相同,工具电极齿轮齿廓是被加工齿轮齿廓的等距线,其间距即为放电间隙,因此工具电极齿轮可看作是被加工齿轮的变位齿轮,如图 3 所示。

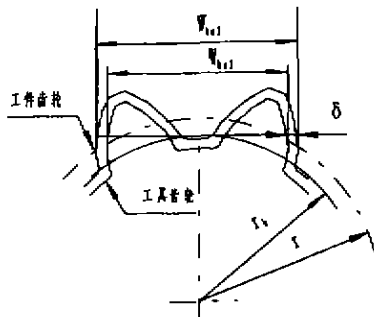


图 3 变位系数计算示意图

设放电间隙为 δ ,则工具电极的公法线长度 W_{kn2} 与被加工齿轮的公法线长度 W_{kn1} 有如下关系:

$$W_{kn2} + 2\delta = W_{kn1} \quad (1)$$

由渐开线齿轮的计算知^[5]:

$$\omega_m = m_n \cos \alpha_n [\pi(k - 0.5) + \sin \alpha] + 2x_n m_n \sin \alpha_n \quad (2)$$

由(1)和(2)式解得工具电极齿轮的变位系数为:

$$x_{n2} = x_{n1} - \frac{\delta}{m_n \sin \alpha_n} \quad (3)$$

2.2 压力角修正

由放电理论可知,随着电极曲率半径的减小,击穿电压相应降低,即极间电场最强处将首先被击穿放电^[2]。由渐开线齿轮的性质可知,渐开线齿廓曲率半径随展开角的增加而增加,因此电火花加工时会产生工具电极的损耗不均匀的现象,即在工具电极齿轮齿根部分的损耗大于齿顶部分的损耗,从而导致被加工齿轮的齿形误差。

$$\text{已知: } \rho = r_b \theta = \frac{mz \cos \alpha_n}{2} \theta \quad (5)$$

全微分并取增量形式可得:

$$\Delta \rho = \Delta r_b \theta + r_b \Delta \theta \quad (6)$$

$$\text{或 } \Delta \rho = -\frac{mz\theta}{2} \sin \alpha_n \Delta \alpha_n + r_b \Delta \theta \quad (7)$$

式中: ρ —— 齿形的曲率半径

$\Delta \rho$ —— 齿形的曲率半径误差

θ —— 渐开线展开角

α_n —— 齿轮端面压力角

Δr_b —— 基圆半径误差

$\Delta \alpha_n$ —— 压力角误差

$\Delta \theta$ —— 展开角误差

由(7)式可知,齿形误差 $\Delta \rho$ 有两项影响因素:(1)基圆半径误差 Δr_b 或压力角的误差 $\Delta \alpha_n$;(2)展开角误差 $\Delta \theta$ 。其中展开角误差主要是由机床传动链误差引起的,在电火花成形加工中,传动链很短,传动链误差的影响很小,可不予考虑。因此,工具电极的齿形角误差和工具电极的损耗是产生齿形误差的主要原因。如图 4 所示,齿形误差曲线的中线 aa 即为 Δr_b 引起的齿形误差,由式(6)(7)可知:

$$\Delta \alpha_n = -\frac{1}{\sin \alpha_n} \times \frac{\Delta r_b}{r_b} = -\frac{1}{\tan \alpha_n} \times \frac{\Delta r_b}{r_b} \quad (8)$$

负号表示 Δr_b 为正时 $\Delta \alpha_n$ 为负。

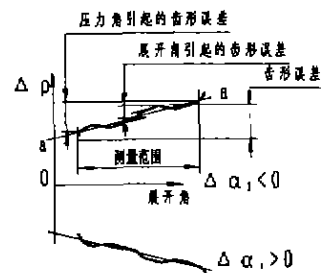


图 4 齿形误差图

综上所述,工具电极是被加工齿轮的变位齿轮和修形齿轮。其变位系数由(1)式确定;而修形后的压力角应为 $\alpha_n = \alpha_n - \Delta \alpha_n$,其中 $\Delta \alpha_n$ 由(8)式确定,如图 5 所示。

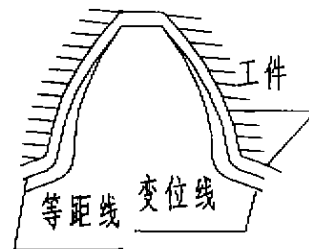


图 5 齿形修形图

3 工具电极齿轮材料选择及误差补偿技术

由于在圆孔上加工出内螺旋齿轮的加工量很大,在工艺上应采用粗、精加工两个工序进行(如图 6 所示)。粗加工用电极齿轮可采用紫铜材料,进行滚切加工,精度等级与被加工齿轮精度等级相同。而精加工用电极齿轮则可采用合金钢,进行磨削加工,精度等级高于被加工齿轮的精度等级^[6]。

根据上述分析,工具电极齿轮的设计参数如表 1^[6]。已知:工件齿轮法向模数 $m_n = 5.5$,齿数 $Z = 10$,法向压力角 $\alpha_n = 25^\circ$,螺旋角 $\beta = 8.1^\circ$,位移系数 $x = -0.005$,顶隙系数 $c_n^* = 0.25$ 。

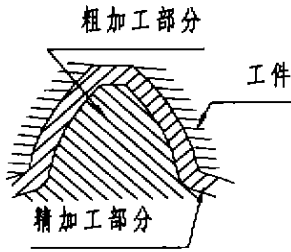


图6 粗、精加工用工具电极

表1 工具电极齿轮的设计参数

设计参数	粗加工电极	精加工电极
齿数 z	10	10
法向模数 m_n	5.5	5.5
法向压力角 α_n	25°	24.98°
变位系数 x_{n2}	-0.162	-0.021
分度圆直径 d_o	55.55	55.55
齿顶圆直径 d_a	$68.75_{-0.03}^0$	$69.25_{-0.013}^0$
齿根圆直径 d_f	46.4	46.4
全齿高 h	11.00	11.00
基圆直径 d_b	50.25	50.25
电极材料	紫铜	45# 钢
电极齿轮精度	7级	5级

在电火花加工过程中,由于工具电极下端部加工时间长,绝对损耗大,而电极入口处的放电间隙则由于电蚀产物的存在,“二次放电”的几率大,而使放电间隙扩大,因而产生加工斜度(如图7所示),为了消除工具电极损耗不均匀性对加工精度的影响,加工时应有 $H > S$,以此来补偿电极的损耗,保证工件的加工精度。

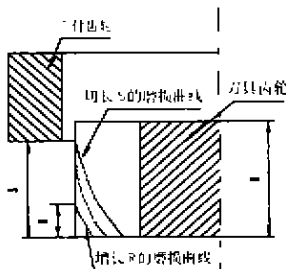


图7 工具电极损耗补偿示意图

4 螺旋机构的误差分析

内螺旋齿轮电火花加工系统中,加装在电火花机床上的螺旋机构的精度直接影响内螺旋齿轮的精度(如图2所示)。螺旋机构的误差可分为加工误差与安装误差。

加工误差可用螺旋角偏差 $\Delta\beta$ 表示(如图8所示),名义螺旋角为 β ,实际螺旋角为 β_1 ,则螺旋角偏差为 $\Delta\beta = \beta_1 - \beta$ 。

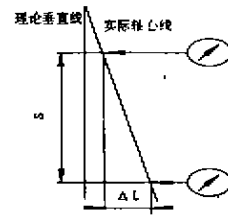


图8 螺旋角误差示意图

螺旋机构的安装误差如图9所示。其垂直度误差为 $f = \frac{L}{S} \Delta L$ 。其中 L —螺旋机构长度, S —测量长度, ΔL — X 或 Y 方向的增量。

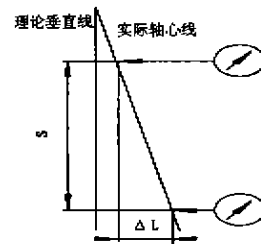


图9 垂直度误差示意图

运动轴线度误差,即螺旋机构运动轴心线的偏心曲线。如图10所示,以原点为圆心,包容这一曲线的最小圆直径即是运动轴线度误差。

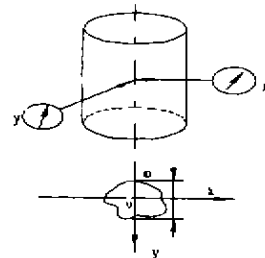


图10 运动轴线度误差示意图

螺旋线误差可用位移误差来表示(图11)。对于理想的丝杆螺母螺旋副,主动件转角 φ 与位移 S_0 之间的关系为 $S_0 = L/2\pi \times \varphi$ 。若转过 φ 角度后,实际位移为 S ,则位移误差为:

$$\Delta S = S - S_0 = S - \frac{L}{2\pi} \times \varphi$$

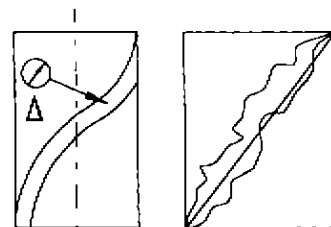


图11 螺旋线误差示意图

以上各项误差,将直接影响被加工齿轮的周节(累积)误差、齿向误差、齿形误差和齿圈径向跳动等。因此提高螺旋机构的加工精度,(选择合适的材料、热处理工艺和加工方法);提高安装精度,是提高内螺旋齿轮电火花加工精度的有效途径。

5 结 论

- 1) 提出了一种淬火内螺旋齿轮新的加工方法;
- 2) 研制了一种实现内螺旋齿轮电火花加工的工艺装备;
- 3) 在研究电火花加工间隙规律、工具电极损耗的基础上,提出了工具电极齿轮的设计方法;
- 4) 提出了一种工具电极损耗补偿技术,并给出了降低工具电极损耗对工件加工精度影响的方法;
- 5) 对螺旋运动机构误差的产生及其影响进行了

分析,提出了解决措施。

参考文献:

- [1] 杨兰春.渐开线内齿轮副的设计与计算[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [2] E. Bud Guitrau. EDM Specialty Gears [J]. Gear Technology, May/June, 1996, 13(3):11-14.
- [3] Zhou Yi, Ling Xichang, Wang Guangjian. Design of Electrode Gear for Machining Internal Helical Gears by EDM. [C] ICMT' 2001.
- [4] 杨晓冬,赵万生.电火花型腔加工中加工余量分配的优化研究[J].航空精密制造技术,1999,35(1):14-16.
- [5] 李华敏,韩元莹,王知行.渐开线齿轮的几何原理与计算[M].北京:机械工业出版社,1985.
- [6] 四川省机械工业局编.齿轮刀具设计理论基础(上、下册)[M].北京:机械工业出版社,1982.

Parameter Design for Machining Quenched Internal Helical Gears by EDM

ZHOU Yi, LIANG Xi-chang, WANG Guang-jian

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Aiming at the problem of machining quenched internal helical gears, a method and its equipment are discussed and designed, which is used for machining quenched internal helical gears by EDM. Its characteristic and principle are proposed. The modifying design of the electrode gear and the calculating method of its modification coefficients is presented. Analyzing for the error of the machining equipment is done. The results show that this problem can be solved by EDM, the electrode gear is the modification gear of machined gear and the machining accuracy can be improved by controlling errors.

Key words: internal helical gears; EDM; electrode design; mold

(责任编辑 成孝义)

·下期论文摘要预告·

一种量化的产品定义方法

陈亚华¹,刘伟²,桂佰文¹,曾莉¹,范家祥³

(1. 重庆大学机械工程学院,重庆 400044; 2. 重庆大学工商管理学院,重庆 400044;

3. 长安汽车集团公司,重庆 400023)

摘 要:分析了质量屋在将顾客需求配置成产品技术特征过程中存在的不足,针对适应性设计特点,提出一种基于统计技术的量化产品定义方法。该方法承袭了质量屋以顾客需求为出发点,强调市场与工程设计有机结合的思想,综合运用试验设计和结合分析等不同学科领域工具保障概念设计质量。介绍了相关工具的基本概念,详细阐述了方法的实现过程,以某微型汽车产品的概念开发为应用实例验证了方法的可行性。

关键词: 产品定义;概念设计;适应性设计;质量屋;统计技术;试验设计;结合分析

中图分类号:TB 2

文献标识码:A