

# 精密滚珠丝杠磨削加工中的热变形控制

宋现春<sup>①</sup> 王兆坦<sup>②</sup> 刘现银<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>山东建筑工程学院机电工程学院, 山东 济南 250100;

<sup>②</sup>山东济宁博特精密丝杠制造有限公司, 山东 济宁 272037)

**摘 要:**分析了精密丝杠磨削过程中引起工件热变形的主要因素,提出了通过控制磨削温度来减小和控制工件热变形的方法和途径。

**关键词:**丝杠 热变形 磨削温度控制

## The Thermal Deformation Control During Precision Ball Screw Grinding

SONG Xianchun<sup>①</sup>, WANG Zhaotan<sup>②</sup>, LIU Xianyin<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>Dept. of Mechatronics, Shandong Institute of Architecture & Engineering, Ji'nan 250100, CHN;

<sup>②</sup>Shandong Jining Best Precision Screws Manufacturing Co., Ltd., Jining 272037, CHN)

精密滚珠丝杠副是数控机床以及加工中心的关键部件,起到精密传动和定位的作用。为了保证丝杠在使用中具有较高的精度保持性,实际加工中在粗加工后进行表面淬硬,最后进行精密磨削。众所周知,丝杠属于细长轴类零件,其长径比一般在30~60左右。其刚性较差,易弯曲变形,加工难度大。梯形丝杠、滚珠丝杠的国家验收标准,是以摄氏20℃为标准制订的,企业对精密丝杠的计量也必须在标准温度20℃下进行。磨削过程中由磨削热引起的热变形是精密丝杠磨削过程中重要的误差来源之一。一般细长轴类零件温度每升高1℃,在1m长度上将伸长0.0115mm。若磨削热使工件温度升高3℃,2m长的丝杠将会伸长0.069mm,这样就很容易使工件螺距精度超差。

### 1 丝杠磨削热变形的影响因素

丝杠加工过程中影响螺纹精度的因素很多,其中最主要有机床传动链误差、温度变化引起的误差、安装误差、操作者人为误差等等。在机床传动链误差、安装误差、操作者人为误差能进行有效控制的前提下,工件因温度变化产生的误差成为重要误差。由于工件加工过程中温度变化的非均匀性,使工件误差很难量化,从而使补偿也很困难。根据多年磨削加工经验,环境温

度、磨削热、冷却液温度、机床内部热源等都不同程度地对丝杠螺纹精度产生影响。下面分别对各因素影响规律总结如下:

(1)磨削热 由于砂轮线速度较高,砂轮与工件间,因摩擦、挤压作用产生大量的热,大约有60%~95%的热量传入工件,仅有不到10%的热量被磨屑带走。传入工件的热量在磨削过程中常来不及传入工件深处,而是聚集在工件表层形成局部高温。工件表面温度常可高达1000℃以上,在表面层形成极大的温度梯度(可达600~1000℃/mm)。所以磨削的热效应使磨削周期中,工件的累积温度升高,从而导致工件产生尺寸精度和形状精度误差。工件表面层的温度 $t_a$ 为

$$t_a = C \cdot V_w^{0.2} \cdot a_p^{0.35} \cdot f^{0.3} \cdot V_s^{0.25}$$

其中,以磨削深度 $a_p$ 对温度的影响最大,砂轮速度 $V_s$ 和工件速度 $V_w$ 次之。同时在磨削过程中,因丝杠长径比大,刚性差,工作台移动速度慢,从而丝杠各点的应力及温度变化很不均匀。靠近磨削区处温度高,离得愈远温度愈低,一般1m长的丝杠温度差可达4℃甚至更高。磨完第一次在返回过程中,丝杠的温度又有所下降。丝杠在全部磨削完之后(一般要经过3~4次磨削),较机床平均温度和室内空气温度最少

命,改善成型零件质量,降低模具废品率,减少换模具时间,降低模具的消耗量,使模具的材料费用和加工费用降低,使劳动条件有所改善,提高生产效率。

第一作者:孔达,男,1974年生,瓦房店轴承股份有限公司助理工程师,主要负责热处理作业区产品加

工工艺的创新、制定、改进,同时负责热处理设备改造研究工作。

(编辑 汪 艺) (收稿日期:2005-05-24)

文章编号:6119

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。



高4℃左右,因而磨削热对丝杠局部误差及全长累积误差影响都比较大,是影响精密丝杠加工的重要因素之一。建议应勤修砂轮以保证其锋利程度,避免造成工件表面烧伤,或采用大气孔砂轮,以及采取丝杠整体喷淋措施,加强对工件的冷却。

(2)冷却液温度对工件的影响 在磨削过程中,冷却液一般高于室温及工件平均温度。冷却液一面将磨削热带走,一面又将本身的热量传给工件,使工件平均温度升高。冷却液在最初加工1h左右,温度将升至25℃甚至还高,对精密丝杠的加工影响非常大。温度不断变化的冷却液,不仅影响磨削螺距精度,使先后磨出的螺距不一致,而且容易引起螺纹表面烧伤、裂纹,增加操作困难,降低生产效率。

(3)机床内部热源的影响 头架电动机、砂轮电动机、砂轮磨头、母丝杠等都可看作机床的热源。工件靠近头架处的温度较高。母丝杠副因摩擦产生的热量,一般高于室温2.5℃,对加工丝杠螺纹精度的影响非常明显,建议采用空心母丝杠或对母丝杠进行喷淋。砂轮磨头在开始20min,热变形较大,约伸长0.018mm,2h后基本稳定。根据多年加工经验和生产实际要求,精密加工时磨头热平衡时间一般为30min。

(4)环境温度的影响 环境温度与机床、检测仪器、工件之间也进行热交换,只是交换速度比较慢。如果环境温度波动不是太大,它对机床和工件的影响是有限的;但如果一定时间内环境温度变化比较大,且远离标准20℃,将对精密加工、精密测量产生很大的影响,容易产生非渐进性局部误差。根据本公司生产实际,夏天环境温度达到27℃左右,且不稳定,致使绝大多数产品 $e_p$ 超差,操作者很难掌握其规律。最为严重的是对激光检查仪的影响,温度波动使激光波长发生变化,即仪器的计量基准发生变化,使仪器产生测量误差;另外若工件恒温时间不够,工件组织未充分稳定下来,也使得检测数据不能真实反映丝杠内在质量。根据资料介绍,磨削P<sub>3</sub>级滚珠丝杠环境温度为(20±1)℃,磨削P<sub>4</sub>级滚珠丝杠环境温度为(20±2)℃。检测温度应保证在(20±1)℃范围内,工件等温时间不应小于2h。一般状况下,加工环境及检测环境一天内温度波动不能超过1℃。

## 2 丝杠磨削温度的控制

精密丝杠在磨削过程中由于温度变化而引起的热变形则成为影响丝杠螺距加工精度的最主要因素。实际加工过程中,必须采取措施来控制丝杠磨削的温度。

(1)磨削热的控制 磨削热主要与砂轮的线速

度、砂轮的锋利程度以及磨削深度等因素有关。实际加工中,最后精加工每次磨削深度在0.03~0.05mm,工作台移动速度在20~30mm/min左右为宜。工作台移动过慢会使磨削时间变长,工件温度升高;移动速度过快则不容易保证工件表面磨削的粗糙度。砂轮应勤修整以保证其锋利程度,特别当砂轮经过一段时间使用后直径变小很多,线速度降低,不及时修整容易造成工件表面烧伤。

(2)室温的控制 由于室内空气和工件间的热交换是比较缓慢的,丝杠在一次磨削过程中室温的变化对工件温度的影响是较小的。我们曾对工件的温度进行测量实验,当室温在半小时左右从20℃升至22℃时,工件的温度只升高约0.3℃左右。实际磨削过程中,室温控制在(20±1)℃就可以。只要保持相对稳定,温度波动不要超过2℃,即使基准温度稍高或低一些,引起的丝杠热变形也是较小的。

(3)冷却液温度的控制 在丝杠磨削过程中,冷却液一面将磨削热带走,一面又将本身的热量传递给工件,使工件的温度升高。冷却液的温度随着磨削时间的延长会逐渐升高。在室温为21℃时,一般情况下磨削加工2h后我们测得冷却液温度升高约3~4℃。此时磨削1m长左右的丝杠,磨削结束时工件的温度升高约3℃,因此必须对冷却液的温度进行恒温控制。

如图1所示,我们在原来冷却油箱上增加一冷冻箱,采用双泵循环系统对冷却液进行恒温控制。冷却液由泵A吸至冷冻机,经冷冻后流到冷冻油箱内。泵B将冷冻油箱内的冷却液喷淋到工件上,机床上的冷却液流回到冷却油箱内。工作时,泵A一直开着,冷冻机的开停则由温度传感器控制,我们采用的温度传感器控制精度为±0.5℃,实际冷却液温度控制在比室温低2℃左右,磨削后工件温度基本接近室温,效果非常明显。

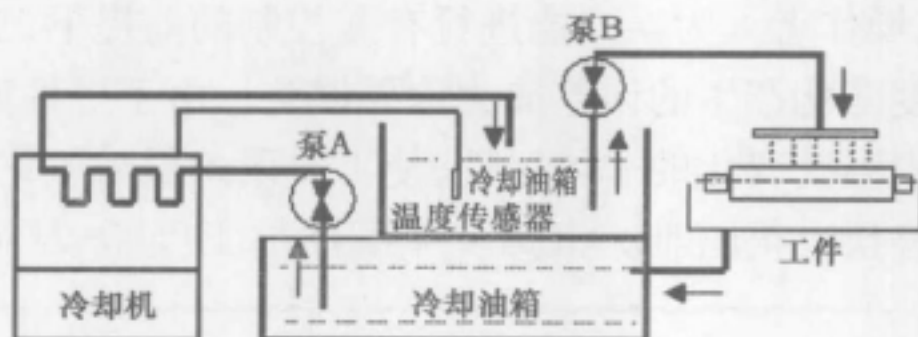


图1 冷却液恒温控制装置示意图

## 3 结语

结合本公司的实际情况,首先,应确保精加工环境



# 上下异形体零件线切割数控加工的探讨

潘志勇 邓小玲 和平安  
(河南理工大学, 河南 焦作 454000)

**摘 要:** 从上下异形体零件线切割加工的原理、数控加工程序的编制以及加工过程中注意的事项进行了探讨, 为正确实现上下异形体零件的线切割数控加工提供依据。

**关键词:** 特种加工 上下异形 线切割 数控加工

## Study on Processing of Up-down Abnormity Part With wire-cut EDM

PAN Zhiyong, DENG Xiaoling, HE Ping'an  
(Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, CHN)

**Abstract:** In this paper, we discussed the principle of wire-cut processing of the up-down abnormity part, programming in NC machining as well as the matters needed attention in manufacturing. On the basis of the discussion, we can machine the up-down abnormity parts with wire-cut EDM properly.

**Keywords:** Special Machining; Up-down Abnormity Part; Wire-cut; CNC Machining

电火花线切割广泛用于模具、形状特殊零件及高硬度材料的加工。随着技术的进步, 现在生产的快走丝电火花线切割机床基本上都能实现 XYUV 四轴联动, 这为带锥度零件的加工提供了必要的技术保障。而锥度加工中, 又分为两种情况, 第一种为加工零件斜度一定, 电极丝按照要求的方向和斜角倾斜, 工作台按规定的轨迹移动; 第二种为 XYUV 四轴轨迹运动合成并按照线性变化, 加工的锥度在变化, 也就是所谓的上下异形。前者的加工技术相对简单, 程序编制也不复杂。后者属于带锥度加工中的难点, 在这里我们进行具体的讨论。

### 1 上下异形体零件的加工原理

上下异形指工件的上下表面不是相同或者相似的

图形, 比如上表面是个圆, 下表面是个方, 上下表面之间平滑的过渡。

上下异形工件, 电极丝切割时所走的上下表面的轮廓长度不一样, 其加工锥度按一定的线性变化, 这是上下异形零件的加工规律。可以看出, 为对上下异形体锥度曲面进行加工, 工件的上下表面轨迹按照图纸分别单独进行编程, 然后经过四轴轨迹合成计算, 把带圆弧或形状复杂的曲面线性化处理, 投影到上下导轮的丝架平面, 从而转换成空间直线段的集合, 即大量直线的集合, 最终控制 XYUV 四轴加工出变锥度的曲面<sup>[1]</sup>。其核心是加工轨迹的线性化计算。

经过 XYUV 四轴的轨迹的线性化合成后, 一小段带圆弧的曲面就很有可能被转换成数百个空间直线段, 使整个加工程序过长。特别是手动编程时, 计算量

温度稳定, 温度波动梯度最大不应超过  $\pm 2^\circ\text{C}$ 。对于新建厂房, 精加工环境温度应保证在  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  范围内, 检测室环境温度应保证在  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  范围内。其次, 优化工艺参数。根据不同精度产品, 应控制切削量和切削次数。同时采用冷却液恒温装置, 强化对母丝杠和工件丝杠的冷却, 积极营造精加工小恒温环境。第三, 加强生产过程管理。确保工件在周转加工过程中, 高精度产品应有充足的冷却时间, 应使材料组织充分稳定, 只有这样才能对丝杠进行准确测量, 才能得到正确的加工参数, 才能充分发挥反馈螺纹磨床的作用。

### 参 考 文 献

- 1 黄自文. 高精度丝杠磨削的新途径. 机床, 1982(10)

- 2 山本晃, 大塚二郎. 精密ねじ研削に関する研究(研削熱がねじのピッチ精度に及ぼす影響). 日本機械学会論文集, 1968, 34(266)
- 3 山本晃, 大塚二郎. 親ねじの熱膨脹にする研究. 日本機械学会論文集, 1970, 36(290)
- 4 徐志良等. 3米C级精度滾珠絲杠磨削的研究. 机床, 1993(3)
- 5 任大力译. 滾珠絲杠螺距熱變形誤差預測數學模型的选择. 磨床与磨削, 1995(1)

作者: 宋现春, 男, 1965年生, 山东建筑工程学院教授, 博士生导师。主要研究方向为精密机械测量与控制, 发表论文30余篇, 荣获省级科技进步奖3项。

(编辑 徐洁兰) (收稿日期: 2005-02-01)

文章编号: 6120

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。