

超大长径比多头丝杠精密研磨工艺

王涛, 吕启东, 李晨旭, 钱静, 樊小双, 易荣波, 叶小俊

中国科学院光电技术研究所 四川成都 610209

摘要: 针对多头丝杠螺纹的加工难点, 使用研磨工艺进行零件的精加工。详细介绍了研磨精加工工艺流程、研磨剂、研磨参数的选择以及研磨工装的设计。

关键词: 多头丝杠螺纹; 精加工; 研磨剂; 研磨参数; 研磨工装

1 序言

超大长径比多头丝杠因其传动效率高、承载能力大等优点, 而被广泛应用于各种大型传动机械^[1]。但是由于其特殊的螺纹结构以及超大长径比, 所以导致其在加工过程中极易产生颤振, 不但大大降低刀具的使用寿命, 而且工件的精度和表面质量也无

法保证^[2, 3]。

2 问题分析

多头丝杠零件材料为GH4169镍基高温合金, 总头数为7, 总长度达4.8m, 螺纹M118×2-6g, 长径比高达30以上, 齿面轮廓度公差等级在IT2级以上, 公称直径及齿顶圆全跳动公差等级在IT3级以上。其

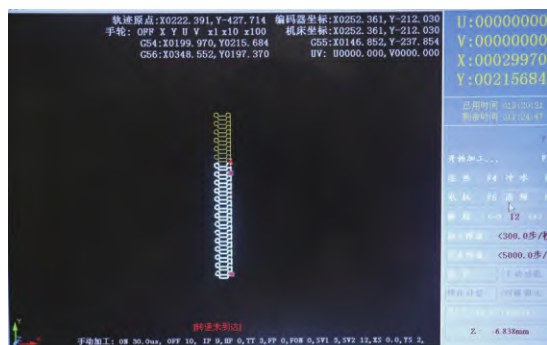


图8 小型零件的连续加工

续加工程序设备中途不停机, 即中午操作人员休息1h时间也正常加工, 故按照一天实际工作9h计算, 按图6所示排列20组程序执行需用时5h, 执行完一个排列程序, 操作人员可以再调用一次串联程序加工至如图7所示A点暂停, 确保操作人员第二天上班夹持零件后, 再执行未加工段程序, 图6所示绿色线部分加工程序需要约0.5h, 则改进后每天加工162件, 比改进前每天多加工66件。按此计算, 改进前3台设备加工15000件需要52天, 改进后需要31天, 可提

前21天完成任务。零件合格率达到100%, 加工效率大幅提升。

5 结束语

根据大批量小型零件线切割加工的特点, 在工装夹具和编辑程序两个方面进行工艺创新, 通过整板下料和串联式编辑程序, 实现小型零件的连续加工, 减少了单组零件反复开关机床和频繁拆取零件的时间, 提高了产品合格率和整体加工效率。该项线切割技术方法简单、经济实用, 可推广应用于其他各类形状的小型零件加工。

参考文献:

- [1] 张学仁. 数控电火花线切割加工技术[M]. 2版. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005.
- [2] 刘志东. 特种加工[M]. 2版. 北京: 北京大学出版社, 2017.
- [3] 伍端阳. 数控电火花线切割加工技术培训教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.

MW 20241017

制造工艺难点如下。

1) 零件材料硬度高, 易产生加工硬化, 刀具磨损严重, 且零件外形尺寸及长径比较大, 刚性较差, 仅采用车削加工难以保证丝杠螺纹几何精度及表面质量^[4, 5]。

2) 多头螺纹结构复杂, 对研磨工装的设计及加工要求极高。

3) 多头螺纹研磨先例很少见, 对加工人员的研

磨经验要求较高。

3 工艺分析

针对超大长径比多头丝杠高精加工难题, 提出一种多头螺纹高精研磨技术。多头丝杠研磨工艺流程如图1所示, 主要包括粗研、精研及抛光3个关键步骤, 通过设计并制造专用研磨工装和优化研磨工艺流程, 修整螺纹齿形, 改善螺纹啮合及承载状

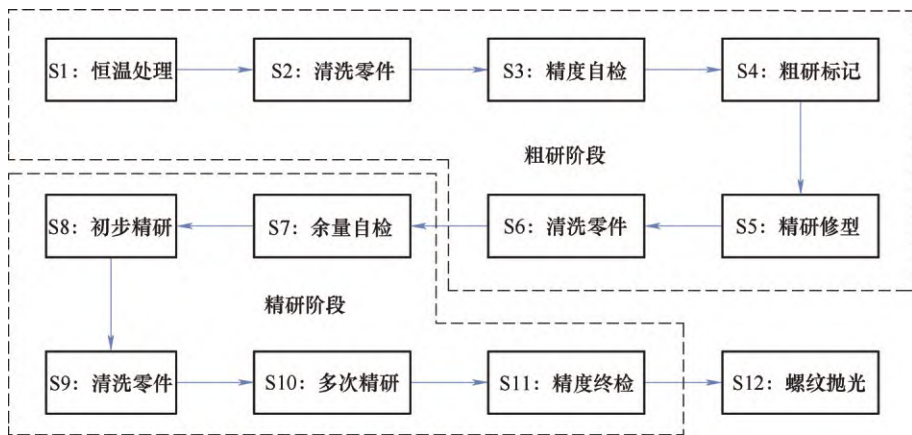


图1 多头丝杠研磨工艺流程

态, 提高螺纹承载面的表面质量, 并减小螺纹过渡区域的导程误差。

3.1 研磨工艺流程

在高精研磨之前的最后一道精密车削中, 多头丝杠螺纹轮廓面各处均匀预留0.02~0.05mm的研磨余量。

多头丝杠高精研磨工艺流程如下。

(1) 恒温处理 将超大长径比多头丝杠放置在加工环境中进行恒温处理, 时长务必>3h, 保证加工环境温度稳定在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。

(2) 清洗零件 将工件起吊装夹在专用研磨台上, 用洗涤剂或无水乙醇及无纺布将其螺纹彻底清洁, 去除表面杂质。

(3) 精度自检 在工件两端分别架设杠杆千分表, 找正其基准外圆在0.005mm以内, 然后用专用检测设备检测丝杠螺纹的尺寸、几何精度及表面余量等。

(4) 粗研标记 采用粗研工装配合调制好的粗研磨剂, 初步研磨工件的丝杠螺纹, 根据粗研工装及丝杠螺纹表面的颜色分布, 初步确定工装螺纹

与丝杠螺纹的接触情况, 进而判断出工件丝杠螺纹椭圆高低点的分布, 并与精密车削后的检测结果进行比对。

(5) 粗研修型 根据上一步流程所做的标记, 将粗研研磨剂均匀涂敷在丝杠螺纹的表面, 采用粗研工装对丝杠螺纹的高点进行重点研磨, 并在丝杠螺纹的高点适当增加研磨压力与停留时间, 在丝杠螺纹的低点位置则轻轻带过, 去除毛刺即可。如此反复进行数次粗研, 观察丝杠螺纹表面的颜色分布, 直至丝杠螺纹与粗研工装的丝杠螺纹的轮廓面能够全部贴合。粗研过程中, 将研磨线速度控制在40~45m/min, 并且必须准备多套粗研工装, 每隔20~30min更换一次粗研工装, 以此保证粗研工磨损均匀, 避免因粗研工装的过度磨损而导致丝杠螺纹产生较大的齿形轮廓误差。

(6) 清洗零件 用洗涤剂或无水乙醇及无纺布将工件的丝杠螺纹彻底清洁, 去除研磨剂与切屑。

(7) 余量自检 用专用检测设备检测丝杠螺纹的研磨余量、尺寸精度、几何精度和齿面轮廓度

等,要求丝杠螺纹的研磨余量在0.01~0.02mm,尺寸精度、几何精度和齿面轮廓度达到最终技术指标要求的75%以上。

(8) 初步精研 将调制的精研研磨剂均匀涂敷在工件丝杠螺纹的表面,采用精研工装对丝杠螺纹全程进行初步精研。初步精研前,在精研工装的矩形调节槽中加垫铜皮,并适当拧紧精研工装的调整螺钉,从而适应丝杠螺纹齿面轮廓各处的研磨余量。初步精研过程中,根据精研工装在丝杠螺纹不同位置的阻力大小,确定丝杠螺纹形状及尺寸误差较大的位置,并通过增加研磨压力与停留时间对研磨阻力较大的位置进行重点研磨,直至阻力均匀且顺滑。

(9) 清洗零件 用洗涤剂或无水乙醇及无纺布将丝杠螺纹彻底清洁,去除研磨剂与切屑。

(10) 多次精研 将调制的精研研磨剂均匀涂敷在丝杠螺纹的表面,再次采用精研工装对丝杠螺纹全程进行多次最终精密研磨。研磨前去除铜皮,并根据精密研磨过程中的阻力大小,适当调整精研工装的调整螺钉,逐步收紧精研工装,以适应精密研磨过程中丝杠螺纹尺寸的变化。精密研磨过程中,将研磨线速度控制在30~35m/min,并且在研磨过程中必须准备多套精研工装,每完成一次精密研磨,更换一次精研工装,以此保证精研工装磨损均匀,避免因精研工装的过度磨损而导致丝杠螺纹产生较大的加工误差。

(11) 精度终检 将工件的丝杠螺纹彻底清洁,并采用专用检测设备对丝杠螺纹进行最终的精度检测,确定丝杠螺纹的尺寸及形状精度、轮廓度、径向圆跳动、螺距及表面质量等各项技术指标是否满足图样要求;若满足,则进行螺纹抛光;若不满足,则重复多次精研与精度终检。

(12) 螺纹抛光 使用沾有调制抛光剂的绸布绳带对工件的丝杠螺纹进行多次全程抛光,直至丝杠螺纹所有齿面的表面粗糙度达到图样要求。抛光过程中须不断更换沾有调制抛光剂的绸布绳带,操作人员必须佩戴防毒护具及防护手套。

3.2 研磨工艺研磨剂及研磨参数的选用

(1) 粗研工艺研磨剂及研磨参数的选用 根据零件材料特性,粗研磨料选用粒度为10 μ m的白刚玉(WA),粗研工艺的研磨剂由白刚玉、煤油和石

蜡油按质量比例2:17:1进行调和,研磨时均匀涂敷在零件与工装的螺纹表面。

同时,为避免发热对加工精度的影响,一方面必须保证加工环境温度的恒定,另一方面尽量采用低速研磨,零件转速始终控制在100r/min以下。

(2) 精研工艺研磨剂及研磨参数的选用 精研磨料选用粒度为5 μ m的白刚玉(WA)。由于精研工序的主要目的是提高超大长径比丝杠螺纹的形状及尺寸精度,提高超大长径比丝杠螺纹承载接触面的轮廓度及表面质量,因此添加石蜡油和猪油以增加研磨剂的润滑特性。另外,由于精密研磨速度较小,单次精密研磨的材料去除量较少,摩擦力也相应大幅度减小,精研过程中产生的热量也较少,因此适当降低煤油的质量比例。

精研工艺的研磨剂由白刚玉、煤油、石蜡油和猪油按质量比例1:6:2:1进行调和,研磨时均匀涂敷在零件与工装的螺纹表面。精研加工过程的研磨参数与粗研保持一致:保证加工环境温度恒定的同时,尽量采用低速研磨,将零件转速始终控制在100r/min以下。

(3) 抛光工艺抛光剂的选用 抛光工艺中,抛光剂采用三氧化铬与油酸按质量比例1:1调和而成,由于三氧化铬有一定的毒性,因此操作人员在对超大长径比多头丝杠螺纹进行抛光时,必须佩戴防毒护具。

3.3 研磨工装设计

(1) 粗研工装设计 粗研工装材料选用灰铸铁。考虑到粗研工装主要用于初步修正多头丝杠螺纹的形状误差和去除分布在螺纹上的毛刺,而在精密车削加工后,多头丝杠的螺纹轮廓面仍存在一定椭圆度,且有大量毛刺,特将粗研工装设计为1/3圆的半月形(见图2),避免粗研时发生工装抱死和划伤零件螺纹表面的现象。粗研工装轴向长度为300mm,径向厚度为20mm,内径根据超大长径比多头丝杠设计参数加工成1:1的多头丝杠螺纹结构,粗研工装内径多头丝杠螺纹的齿形精度应与超大长径比多头丝杠螺纹的设计精度相同。粗研工装内径多头丝杠螺纹底径位置开设深度约0.1mm的容屑槽,用于容纳切屑及多余的研磨剂,且工装内径多头丝杠螺纹的各处尖棱部分做倒角处理,防止划伤丝杠螺纹表面。

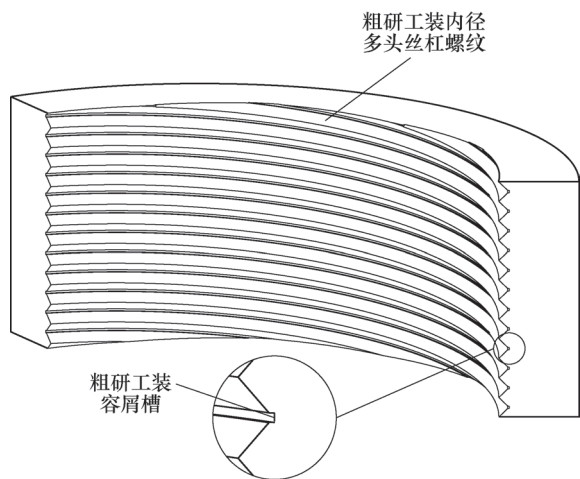


图2 粗研工装

(2) 精研工装设计 精研工装如图3所示，由调整螺钉、弹簧垫片、调整平垫及研磨套组成，研磨套材料为灰铸铁，其余均为标准件。其中，研磨套形状是一个整圆，轴向长度为300mm，径向厚度为20mm，内径根据加工的超大长径比多头丝杠螺纹设计参数加工成1:1的多头丝杠螺纹结构，且研磨套内径多头丝杠螺纹的齿形精度应高于超大长径比多头丝杠螺纹的设计精度。研磨套内径多头丝杠螺纹底径位置开设深度约0.05mm的容屑槽，外圆周开有1处宽2.5mm的矩形调节槽和5处宽0.8mm的均布圆形工艺槽。其中容屑槽用于容纳切屑及多余的研磨剂；矩形调节槽一侧为光孔，另一侧为螺纹孔，研磨加工时调整螺钉从光孔侧穿入，通过弹簧垫片及调整平垫与另一侧的螺纹孔配合，以调整精研工装的松紧程度；5处宽0.8mm的均布圆形工艺槽用于保证调整精研工装的松紧程度时，精研工装整

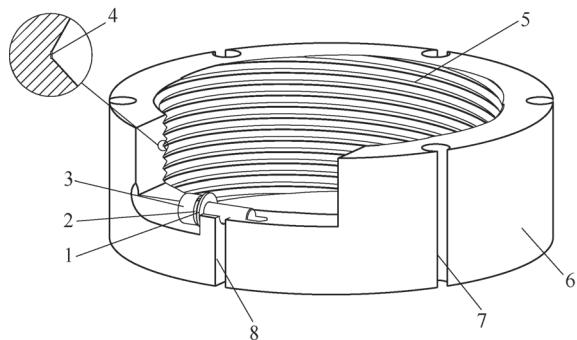


图3 精研工装

1—调整平垫 2—弹簧垫片 3—调整螺钉 4—精研工装容屑槽
5—精研工装内径多头丝杠螺纹 6—铸铁研磨套
7—圆形工艺槽 8—矩形调节槽

体发生均匀的弹性变形，避免精研工装内径多头丝杠螺纹产生较大椭圆度。

4 结束语

使用研磨工艺作为多头丝杠螺纹加工过程中的最后一道工序，优点在于通过粗研工艺修正超大长径比丝杠螺纹的椭圆度，精研工艺提高丝杠螺纹的尺寸精度及齿面轮廓度，抛光工艺改善螺纹齿面的表面质量。结合粗研、精研及抛光工艺的加工特点，有针对性地设计了相应的粗研、精研工装，调配了不同组分的粗研、精研研磨剂及抛光剂，进而实现了对超大长径比多头丝杠类零件的精密研磨加工，修正了丝杠螺纹的齿形精度，改善了丝杠螺纹的啮合及承载状态，提高了丝杠螺纹承载面的表面质量，修正了多头丝杠螺纹过渡区域的导程误差，有效保证了丝杠螺纹的齿面轮廓度 $\leq 0.003\text{mm}$ ，其公差等级高于IT1级；公称直径及齿顶圆处的径向圆跳动 $\leq 0.006\text{mm}/300\text{mm}$ ，公差等级高于IT2级；齿面的表面粗糙度值 $R_z \leq 0.2\mu\text{m}$ ，符合零件图样精度要求，且跑合试验结果良好。

参考文献：

- [1] 滕淑珍, 韦志钢, 宋良永, 等. 大螺距多头梯形螺纹数控车削单因素影响研究[J]. 机械工程师, 2020 (4): 97-100.
- [2] 余松林, 黄勇, 马生俊, 等. 多头大导程矩形螺纹数控加工研究[J]. 机械制造, 2021 (5): 16-18, 22.
- [3] 陈云, 杜齐明, 董万福, 等. 现代金属切削刀具实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [4] 范铁军. 集成式通讯卫星天线馈电网络精密制造技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2005.
- [5] 温贵. 滚珠丝杠螺纹外滚道研磨装置研发[D]. 南京: 南京理工大学, 2017.

MW 20241008

欢迎关注：金属加工在线



media.mw1950.com

更多信息和专题技术
早知道 请扫描