

销轴类零件加工工艺及专用夹具设计

高鹤轩 朱宏

河北科技学院, 河北唐山 063200

摘要:销轴类零件是机械装备中具有连接、定位和传动作用的关键零件,广泛应用于工程机械、汽车制造、机床设备等行业,加工精度、表面质量和生产效率直接影响整机装配质量和运行可靠性。针对传统销轴加工的定位误差大、装夹效率低、批量加工一致性差等问题,本文选取典型销轴零件进行加工工艺优化与专用夹具设计,依据销轴结构特点、技术要求和材料特点,确定兼顾精度与效率的加工工艺路线,明确每道工序的加工参数及质量控制点;围绕销轴外圆精车、端面铣削等工序,设计专用夹具的定位方案、夹紧机构和整体结构,解决普通夹具装夹存在的精度缺陷;试验表明,通过优化的加工工艺能有效提高销轴尺寸精度和表面质量,专用夹具能缩短装夹时间、减小定位误差,达到批量生产的精度、效率要求,为同类轴类零件的工艺设计与工装开发提供参考。

关键词:销轴类零件;加工工艺;专用夹具;定位夹紧

0 引言

机械产业转型升级对基础零部件加工、生产效率和成本都提出了更高要求,销轴类零件是用量多、通用性强的连接零件,其加工质量直接关系到机械产品的性能和竞争力。销轴结构形式相对简单,多为圆柱形或阶梯圆柱形,但是对尺寸精度、形位公差、表面粗糙度和力学性能要求较高,在加工过程中,定位、装夹、切削参数的大小差异都会影响到零件合格率和使用性能。传统销轴加工常用通用车床、铣床、平口钳、三爪卡盘等通用夹具进行装夹,装夹过程繁琐,定位精度不易保证,批量生产时尺寸离散性大、废品率高,并且人工反复装夹增加工作劳动强度,降低了生产效率。专用夹具是机械加工中保证定位精度、简化装夹工序、提高生产效率的核心工艺装备,根据销轴结构特点,设计出特定的销轴专用夹具可以有效弥补通用夹具的缺陷,实现销轴高精度高效率加工。

1 销轴类零件工艺分析

1.1 销轴结构与技术要求分析

销轴是机械传动与连接的基础零件,典型的实心回转体是轴类零件,是轴类中结构最简单的,部分非标销轴根据装配需要会增加轴肩、弹性挡圈槽、径向定位孔或螺纹孔,主要功能面为外圆柱面和两端端面,其中外圆柱面是销轴的主要配合面和承载面,主要决定装配精度和受力稳定性,常用尺寸公差为IT6-IT7,圆度、圆柱度等形位公差严格控制,一般不超过尺寸公差的1/2,表面粗糙度Ra1.6-Ra0.8 μm ,配合间隙合理、耐磨性能达标。两端端面作为装配定位面,与销轴轴线要保持垂直,否则装配

后会造成间隙偏差、受力偏移、局部应力集中,从而降低零件寿命。

对带径向孔、挡圈槽等复合销轴,还需加强对辅助结构与主体位置的控制,孔轴线与外圆轴线的垂直度、位置度误差控制在0.02mm以内,以避免影响销轴的装配与受力。各工况的销轴要求均不同:重载工况下的销轴需兼顾抗拉强度与冲击韧性,防止断裂失效;高速、耐磨工况下的销轴应提高表面硬度,减少磨损损耗;高精度装配场景下的销轴应严格控制同轴度误差。销轴长径比是重要的工艺规划参数,短粗销轴(长径比 < 5)装夹简便、切削稳定,加工误差易控制,细长销轴(长径比 > 10)刚性较弱,切削过程易发生弯曲变形、振纹,需针对性调节装夹方式与切削参数,尽量减小加工误差。

1.2 材料选用与加工难点剖析

销轴类零件选材以力学性能、切削性能、成本控制为依据,通常采用45钢、40Cr合金钢等中碳结构钢;45钢属于经济型零件,经过调质后硬度可达220-250HBW,综合力学性能优异,完全可以满足普通低速、轻载工况,适用于中小批量的销轴。40Cr合金钢属于合金调质钢,淬透性优于45钢,经过调质后强度、疲劳性能大幅度提高,硬度可达250-280HBW,适用于重载、高精度、高疲劳的严苛工况,一般用于工程机械、精密设备中的销轴。

结合销轴的结构和材料,其机械加工存在以下难点:1、外圆精度控制难,精加工需兼顾尺寸公差、形位公差和表面质量,装夹偏心、切削受力不平衡极易导致圆度、圆柱度超差;2、细长销轴变形难,径向切削力易使刚性差的零件弯曲变形,精加工后精度再提高,后期转运、热处理出现二次变形;3、批量加工一致性难,

通用夹具定位基准不统一、装夹力度不匹配会使批次零件尺寸偏差超标,影响装配互换性。除了销轴的加工外,挡圈槽、径向孔等辅助结构的加工需紧密贴合主体外圆定位基准,稍有偏差就会影响整体精度,加大工艺规划及实操难度,还增加刀具选择、切削路径、热处理时序等工艺规划及实操要求。

2 销轴类零件加工工艺设计

2.1 毛坯选择与工艺路线拟定

销轴是机械传动与连接的核心零件,毛坯的选择直接关系到材料利用、制造成本、零件的力学性能,需要根据零件的几何形状、长径比、承载状态和批次数等进行判断,对于短销轴、中小尺寸销轴以及批量生产的需求,首选热轧圆钢下料作为毛坯。该工艺无需锻造,操作简单、材料损耗少,能够最大程度的提高材料利用率,节约毛坯制备成本,适合大批量、低成本生产;对于长径比较大的长销轴、承受较大冲击的重要销轴,需要选用锻件毛坯,利用锻造工艺可以改善钢材内部疏松、气孔、偏析等冶金缺陷,细化金属晶粒、改变纤维组织走向,提升销轴的抗拉强度、韧性和抗疲劳性能,满足重载、高可靠的使用要求。毛坯下料全程由带锯床切割,利用锯床的精准切割特性,保证毛坯端面平整无毛刺、垂直度要求,控制毛坯长度加工余量,避免长度余量过大后产生的加工浪费,长度余量过少后导致零件报废,为全流程加工留出合理的公差空间。

销轴整体工艺路线遵循“先粗后精、先主后次、热处理穿插”的原则,划分为粗加工、热处理、精加工、辅助加工、成品检验五大核心阶段。粗加工阶段以高效去除多余余量为目标,完成外圆、端面的初步车削加工,快速成型基础轮廓;热处理阶段根据销轴承载需求,针对性开展调质处理或淬火+回火处理,精准调控材料硬度、强度与韧性配比,满足不同工况的性能要求;精加工阶段聚焦核心尺寸精度与表面质量,通过外圆精车、磨削加工,确保尺寸公差、形位公差达标;辅助加工阶段完成挡圈槽、径向孔、倒角等细节结构加工,完善零件功能形态;最终检验环节通过卡尺、千分尺尺寸测量、硬度仪检测、形位公差仪校验等多重手段,全面核查零件合格性。全工序以轴两端中心孔为统一定位基准,保障加工基准连贯性,最大限度减少定位误差累积,提升零件同轴度、圆度等关键精度。

2.2 关键工序参数确定

销轴加工的工序参数是控制加工质量、提高生产效率、延长刀具寿命的关键。结合钢材、

机床、精度等级要求,不能因参数设置不合理导致变形、振纹、尺寸超差等。粗车外圆是去除余量主要工序,硬质合金涂层车刀为高速切、大余量切削产品,切削速度80-120m/Min,进给量0.2-0.3mm/R、背吃刀量2-3mm,在保证切削稳定性的基础上快速脱落毛坯多余材料。热处理过程后进行半精车加工,此时钢材硬度较高,切削参数需调整适当,切削速度100-150m/min,进给量0.15-0.2mm/R,背吃刀量1-1.5mm,修正粗加工偏差为精加工留出0.5-0.8mm余量。

精车外圆,直接决定零件表面、最终尺寸,刀具采用金刚石车刀或硬质合金精车刀,切削速度150-200m/min,进给量0.08-0.12mm/r,背吃刀量0.2-0.3mm,可微量切削,保证表面粗糙度、尺寸精度。对铣端面、钻径向孔等辅助工序,依据孔径、槽宽配合专用铣刀、高速钢钻头,合理设定切削转速和进给速率,防止切削力过大造成零件变形、刀具崩损。全流程嵌入分段质量检测,粗加工后核查余量分布,半精车后校验尺寸偏差、精加工后检测精度指标,发现异常立即调整工艺参数,形成“加工-检测-修正”闭环管控模式。

3 销轴加工专用夹具设计基础

3.1 夹具定位方案设计

夹具定位方案根据六点定位原理,结合销轴回转体结构、外圆车削和端面铣削两道加工工序的精度要求,设计自由度限制方案,确定加工定位方案。销轴是细长的回转类零件,在加工过程中存在转动、轴窜等问题,其影响外圆圆度、端面垂直度等精度,定位设计需兼顾稳定和准确性,避免定位误差过大。本次设计采用中心孔主定位+外圆V型块辅助定位的定位方式,实现工件完全定位。中心孔以销轴两端中心孔为定位基准,采用顶尖配合中心孔限制工件沿X、Y、Z轴移动自由度和绕X、Y轴转动自由度五个自由度;采用外圆V型块辅助限位工件绕Z轴剩余转动自由度,彻底清除加工过程中工件位移,保证车削、铣削工序定位一致。中心孔定位结合销轴加工基准统一原理,以工件自身工艺基准为定位基准,减小基准转换误差,定位精度可控;V型块定位能够自动定心,能自适应不同规格直径的销轴工件,简化装夹找正步骤,提高批量化生产效率。

定位元件由40Cr合金钢锻造加工,整体淬火/回火,表面硬度HRC58-62,兼顾硬度和韧性,耐磨性能良好;定位接触面精加工后粗糙度控制在 $RA0.8\mu m$ 以下,减少定位副配合间隙,进一步减小定位误差,保证大批量生产中定位精度,避免因元件磨损、配合偏差造成

工件报废。

3.2 夹紧机构设计原则

夹紧机构设计应满足刚性好、受力均匀、便捷等要求,并能在夹紧力满足需求的情况下避免工件变形、定位偏移、夹紧松动等缺陷,以适应销轴批量加工的要求。针对细长销轴结构,径向夹紧易造成工件弯曲变形,破坏外圆圆柱度精度,因此要求其夹紧力的施加方式要贴合定位结构进行受力。本次设计为轴向主夹紧+侧面辅助夹紧,夹紧力在定位面附近集中受力,与定位基准形成闭环约束,通过顶尖对中心孔进行轴向顶紧,解决切削力、工件自重造成的轴向窜动风险,并选用V型块进行侧面辅助夹紧以更加稳定工件的周向位置,全程不应夹持径向大力夹持,从根源上防止细长销轴的弯曲变形、表面压痕等缺陷。夹紧机构选用螺旋夹紧机构,它结构简单、制造加工难度小、夹紧自锁性能好,即使是在高速切削振动下也可稳定夹紧状态不发生松脱的现象,且操作方便、装夹效率高,非常适宜批量生产要求。夹紧力大小通过理论计算结合实操调试确定,既要完全抵消切削抗力、工件自重,保证加工过程中工件无位移,又要严格控制夹紧阈值,避免过载夹紧损伤工件表面、破坏定位精度。

4 销轴专用夹具结构与校核

4.1 夹具整体结构设计

销轴专用夹具主要包括夹具体、顶尖座、V型定位块、螺旋夹紧装置、对刀块等,其中夹具体为夹具主体,采用HT200灰铸铁铸造而成,具有较高的刚度和吸震性,可以满足机床工作台安装尺寸,采用T型螺栓固定在车床或铣床工作台上。顶尖座安装在夹具体一端,装有固定顶尖和调节机构,可以配合不同长度的销轴;V型定位块安装在夹具体中部,可拆卸,根据销轴的大小更换不同型号的V型块,方便通用;螺旋夹紧装置安装在V型块的一侧,可以旋转螺杆使销轴侧面夹紧;对刀块安装在夹具体对

应的加工位置,可以准确的定位刀具与工件的相对位置,方便对刀。整个夹具结构紧凑,在装夹工件时,只需要将销轴两端中心孔对准顶尖放置在V型块上,旋转螺杆即可将工件夹紧,装夹时间比普通夹具缩短60%以上,且基准相同,有效提高批量加工能力。

4.2 夹具精度与强度校核

夹具精度校核是保证零件加工精度的关键所在,主要包括定位误差、夹紧误差与装配误差。定位误差主要计算V型块与顶尖的同轴度误差、定位面尺寸误差,保证总定位误差在销轴尺寸公差的1/3以内,达到精加工精度;夹紧误差计算夹紧力作用下工件的变形量,变形量不大于零件的形位公差,不致使夹紧变形影响加工精度;夹具强度校核主要对夹具体、顶尖座、夹紧螺杆等部件进行力学计算与仿真相结合的方式,校核切削力、夹紧力作用下部件的应力和变形,保证部件应力小于材料许用应力,不致出现塑性变形、断裂现象;检测夹具装配精度,调整各部件的相对位置,保证顶尖与V型块的同轴度、夹具体平面度等指标。

5 结论

根据销轴类零件的结构、技术要求和加工特性,通过加工工艺的优化及专用夹具设计,形成了销轴加工方案。研究表明,基于中心孔统一加工,经粗加工-热处理-精加工,合理地匹配各工序切削参数可以有效保证销轴的尺寸精度、形位公差及表面质量,降低废品率;针对销轴加工设计的专用夹具,采用中心孔与V型块组合定位、轴向与辅助夹紧相结合的机构,定位准确、装夹方便,可大幅缩短装夹时间、提高批量加工一致性,突破了通用夹具加工精度和效率问题。工艺及夹具方案符合实际生产需求,制造费用低、易操作,可直接应用于中小型机械加工企业,经试生产验证,销轴加工合格率达98%以上,效率提升50%左右,具有较高的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 盖永亮,潘登登.连接轴类零件渗氮表面加工工艺改进[J].金属加工(冷加工),2025,(12):27-30.
- [2] 张启.面向加工工艺智能规划的轴类零件加工特征提取方法研究[D].齐鲁工业大学,2025.
- [3] 陈巍.轴类零件矩形槽的数控加工与工艺设计[J].金属加工(冷加工),2024,(08):32-37.
- [4] 林春秧,向瑞超,李宇鑫,等.基于高效工装的斜轴类零件加工工艺和检测设计[J].新技术新工艺,2023,(05):19-24.

作者简介:高鹤轩(2005.06—),男,汉族,河北省秦皇岛市,专科,研究方向:机械制造及自动化。