

液压千斤顶缸体数控加工工艺及夹具设计

程宝祥

(富阳通力机械制造有限公司, 浙江 杭州 311407)

摘要 液压千斤顶作为工业生产中重要的起重设备之一,其缸体作为主要承载结构部件,对于千斤顶承载能力、密封性能方面有更高要求。而千斤顶缸体结构具备内壁精度要求高、形位公差严格、加工难度大增等特点,若选择传统工艺方案,则无法保证液压千斤顶缸体加工精度与效率。本文从液压千斤顶缸体数控加工工艺以及夹具设计出发,结合数控加工工艺技术特点,根据液压千斤顶缸体加工需求,制定合适的数控加工工艺以及夹具设计方案,旨在为降低误差、确保液压千斤顶缸体加工精度合格提供参考,进而满足工业生产使用需求。

关键词 液压千斤顶;缸体;数控加工工艺;夹具设计;精度控制

中图分类号:TH137.51

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.040

0 引言

数控加工技术作为现代工业生产中的重要技术之一,具备自动化程度高、加工精度高、生产效率高等特点,已经成为机械生产加工的主流技术。当前,很多学者对于液压零件的数控加工工艺以及夹具设计展开研究,然而对液压千斤顶缸体方面研究投入力度不足,造成加工工艺缺陷、夹具设计不到位,对缸体加工精确性产生不利影响。因此,深入研究液压千斤顶缸体数控加工以及夹具设计方案,能有效提升液压千斤顶缸体加工质量,降低生产成本,促进液压千斤顶产业升级。

1 液压千斤顶缸体结构与加工技术要求

1.1 缸体结构分析

液压千斤顶缸体为圆柱形结构,其使用45#优质碳素结构钢作为生产原材料。液压千斤顶缸体包含缸体本体、内壁通孔、两端法兰、油孔、螺纹孔等,按设计方案确定缸体本体外径120 mm、内径100 mm、长度350 mm、两端法兰厚度20 mm,法兰上分布6个M12螺栓孔,其作用是缸体和其他结构部件稳定连接。同时,缸体内壁设置活塞配合装置,确保缸体加工尺寸符合、表面光洁度达到要求。在缸体侧面开出直径 $\Phi 10$ mm的油孔,其作用是液压油进出,确保油孔加工位置精度合格,以满足缸体密封性要求^[1]。

1.2 加工技术要求

根据液压千斤顶缸体工作要求和装配需求,按目前国家标准确定如下加工技术要求:(1)尺寸精度:缸体

内孔直径尺寸公差为H7($\Phi 100H7$),圆度公差0.01 mm内,圆柱度公差0.02 mm内;缸体外径尺寸公差为h8($\Phi 120h8$);两端法兰厚度尺寸公差为 ± 0.05 mm。(2)形位公差:缸体内孔轴线与法兰平面的垂直度公差0.02 mm/m内;两端法兰平面的平行度公差0.03 mm内;油孔轴线与内孔轴线的垂直度公差0.02 mm内,油孔与内孔连通处无毛刺、无台阶。(3)表面粗糙度:缸体内壁表面粗糙度 $Ra \leq 0.8 \mu m$,缸体外径及法兰平面表面粗糙度 $Ra \leq 1.6 \mu m$,螺纹孔表面粗糙度 $Ra \leq 3.2 \mu m$ 。(4)材料性能:45#钢经调质处理后,硬度达到HB220-250,能满足结构强度、耐磨性、韧性标准。

2 液压千斤顶缸体数控加工工艺设计

2.1 加工基准选择

液压千斤顶缸体在加工时,其定位基准对加工精度有直接影响,在缸体加工基准设定时,按照统一基准原则确定缸体两端中心孔为定位基准。缸体加工时先加工钢铁两端端面,钻出中心孔,将中心孔作为定位基准,使用顶尖装置装夹后,再按照设计图纸加工缸体内孔、外孔、法兰等。在缸体中心孔加工时,落实质量控制措施,确保中心孔圆度偏差在0.01 mm以下,两端中心孔同轴度偏差0.005 mm以内,防止中心孔偏差对后续缸体加工产生轴线偏移。

2.2 加工工艺路线设计

结合缸体加工要求和工艺原则,设计数控加工工艺路线如下:(1)原材料准备。根据液压千斤顶缸体加工要求,选择45#优质碳素钢制作的无缝钢管作为材

作者简介:程宝祥(1980-),男,专科,研究方向:机电制造。

料,规格为 $\Phi 130 \times 15 \times 400$ mm,展开原材料质量检测。

(2) 毛坯预处理。无缝钢管质量检测合格后,按照加热温度 $850\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 880\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行调质处理,保温 2 h 进行油冷处理,使其调质后钢管硬度达到 HB220-250;对钢管校直处理时,毛坯直线度偏差为 0.03 mm/m 以内,防止毛坯弯曲影响缸体加工精度^[2]。(3) 粗加工。通过数控车床进行粗加工,以两端中心孔为基准顶尖装夹。在该环节先进行两端端面粗车,确保两端端面与轴线保持垂直;而后粗车缸体外径,预留 2 mm 左右加工余量;粗膛内孔留 1.5 mm 加工余量;粗车两端法兰预留 0.8 mm 加工余量。在对缸体粗加工时,需做好各工序加工余量控制,以提高加工效率,且保证后续加工精度符合要求。(4) 半精加工。由数控车床对缸体进行半精加工,将两端中心孔作为定位基准装夹。缸体外径半精加工预留 0.5 mm 余量,半精膛内孔预留 0.3 mm 加工余量,半精车法兰预留 0.3 mm 加工余量,油孔钻进预留 0.2 mm 加工余量。半精加工作业需调整切削用量,禁止切削过热导致工件变形。(5) 精加工。在液压千斤顶缸体精加工时,采用数控车床和数控铣床配合方式完成。在该环节先将工件放置在数控车床上,按照两端中心孔作为定位基准,经膛内孔确保内孔尺寸公差、圆度、圆柱度符合要求,且表面的粗糙度偏差在 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 以内;精车缸体外径与法兰确保其尺寸精度和形位公差满足要求,表面粗糙度在 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ 以下。在数控铣床中,以缸体两端端面和内孔作为定位基准,需在法兰上钻住 6 个 M12 螺栓孔并攻丝,确保螺栓孔定位精度与粗糙度达到要求;油孔精膛确保其与内孔具备垂直度与连通性,再将连通位置的毛刺去除。

2.3 数控加工参数优化

液压千斤顶缸体数控加工中,其加工尺寸选择对加工精度、加工效率、刀具寿命有直接影响。在数控加工参数优化中,需结合液压千斤顶缸体设计方案、使用需求以及材料,对各工序进行加工参数设定。(1) 粗加工参数。缸体粗加工应将大部分余量去除,进而提高后续加工质量,此时选择硬质合金刀具为主,按照如下参数加工。切削速度 $v=80\text{ m/min} \sim 100\text{ m/min}$,进给量 $f=0.2\text{ mm/r} \sim 0.3\text{ mm/r}$,背吃刀量 $a_p=3\text{ mm} \sim 5\text{ mm}$ 。粗膛内孔以分段方式进行,每段加工长度为 50 mm,防止加工长度过高,因为刀具振动影响加工精度。(2) 半精加工参数。半精加工作用是进行粗加工后误差修正,保证精加工有序开展,此时采用硬质合金刀具为主,按如下参数加工。切削速度 $v=100\text{ m/min} \sim 120\text{ m/min}$,进给量 $f=0.15\text{ mm/r} \sim 0.2\text{ mm/r}$,背吃刀量 $a_p=0.8\text{ mm} \sim$

1.2 mm。半精膛内孔使用浮动镗刀能有效降低加工振动,以保证各位置加工精度合格。(3) 精加工参数。精加工目的是保证液压千斤顶缸体加工精度与表面粗糙度合格,选择金刚石刀具按如下参数进行。切削速度 $v=150\text{ m/min} \sim 180\text{ m/min}$,进给量 $f=0.08\text{ mm/r} \sim 0.1\text{ mm/r}$,背吃刀量 $a_p=0.1\text{ mm} \sim 0.3\text{ mm}$ 。精膛内孔采用恒线速度切削作业方式,确保加工尺寸和粗糙度达到标准。而对于缸体外径、法兰平面采用高速切削方式,有效降低切削热量对工件影响^[3]。

3 液压千斤顶缸体数控加工夹具设计

3.1 夹具总体结构设计

液压千斤顶缸体在加工时,夹具设计极为重要,其按如下几个结构确定设计方案。(1) 底座。底座使用 HT200 灰铸铁制造,底座底部表面和数控机床使用 T 型螺栓连接,确保夹具运行具备稳定性。同时,底座加工精度达到要求,使后续安装作业精度合格。(2) 定位板。夹具定位板安装在底座上部,上平面加工定位平面,定位平面和底座下表面平行,定位平面上安装两个定位销。定位销采取对称布置方式,和缸体法兰使用螺纹孔连接,使其圆柱定位精度达到要求^[4]。(3) 顶尖。选择莫氏 4 号顶尖,将其固定在车床的主轴与尾座上,并和缸体的两端中心孔保持配合,确保缸体的轴线定位精度达到要求,使液压千斤顶缸体同轴度满足标准。顶尖头部需进行淬火处理,使其具备较高耐磨性。(4) 夹紧机构。夹紧机构使用液压夹紧方式,其包含液压缸、夹紧块、导向杆等组成,需确保各结构部件夹紧强度达到要求,且夹紧力均匀、操作方便、夹紧可靠,便于缸体的装夹和拆除,还不会造成缸体结构损坏。

3.2 关键部件设计

(1) 定位销设计。缸体夹具设计定位销为重要紧固部件,其选择 40Cr 钢制造,采取调质、淬火等处理,使其硬度达到 HRC55-60,确保定位销有较高耐磨性与强度。定位销使 $\Phi 11.8\text{ mm}$ 直径,与缸体使用 M12 螺栓孔过度配合,以保证定位精度达到要求。定位销长度设计为 30 mm,其插入螺纹孔长度为 20 mm,确保定位具备稳定性。定位销设置圆弧过渡方式,以便顺利插入螺纹孔内,且防止造成螺纹孔内壁损坏^[5]。(2) 夹紧块设计。夹紧块使用 20CrMnTi 钢制造,采取渗碳淬火处理方式硬度达到 HRC60-65,其耐磨性、韧性达到要求。夹紧块内部设置半径 60 mm 的弧形凹槽,确保夹紧块和缸体外径保持紧密配合,使其夹紧紧固性达到标准,且防止夹紧过程中造成缸体变形。夹紧块

表面加工防滑螺纹,使其具备较高耐摩擦性。(3)液压夹紧机构设计。液压夹紧机构选择CDA2B50-50,液压缸液压力10 MPa,行程50 mm,确保在缸体加工过程中提供足够夹紧力。液压缸缸体安装在底座侧面,活塞杆利用联轴器和导向杆连接。导向杆和夹紧块保持固定连接;液压缸进油口,使用油管与数控机床液压系统连接,确保液压缸能稳定伸缩,按照加工需求进行夹紧与松开。为确保夹紧力具备稳定性,液压系统内部制有溢流阀,按要求调整夹紧力,使其夹紧力为5 kN~8 kN,以防夹紧力过大造成缸体结构变形。

3.3 夹具装配与调试

在夹具设计过程中,需按照“先基准后部件、先内部后外部”的顺序逐步进行。在夹具装配过程中,需先将定位板安装在底座上,表面采用螺栓固定方式,调整定位板水平度确保定位平面和底座平面保持平行状态。而后将定位销穿入定位孔内,采取过盈配合方式,确保定位销安装精准度。最后进行导向套安装,使其安装在定位板导向槽内,使导向杆插入导向套内,与夹紧块连接确保顶尖和定位销轴线保持配合。此外,在夹具装配过程中,需重点控制各部件的配合间隙与安装精度,避免因装配偏差影响后续使用效果。定位

板安装固定后,需借助水平仪反复校验,确保水平度误差控制在允许范围内,若出现倾斜需及时调整螺栓松紧度,防止定位平面偏移导致工件定位不准。定位销与定位孔的过盈配合需把控力度,避免过盈量过大造成定位孔变形,或过盈量不足导致定位销松动,影响定位稳定性。导向套安装时,需确保其与定位板导向槽贴合紧密,无松动、卡顿现象,同时保证导向杆与导向套的配合间隙均匀,插入后能灵活移动且无偏移,确保夹紧块运动顺畅,进而保障顶尖与定位销轴线精准对齐。在装配过程中,需对各连接部位进行逐一检查,查看螺栓、定位销等紧固件是否安装到位,有无松动、脱落隐患,对易磨损部位可提前涂抹润滑脂,减少后续使用中的摩擦损耗。另外,装配完成后需进行初步调试,手动操作夹紧机构,检查夹紧力是否均匀、定位是否可靠,观察各部件运动是否协调,若发现卡顿、偏移等问题,需及时拆解调整

4 加工工艺与夹具设计验证

为检验液压千斤顶缸体数控加工工艺与夹具设计是否合理,本文选择10件45#钢无缝钢管毛坯试验。按照设计方案要求的加工工艺和夹具批量加工,加工完成后对各项参数检测,见表1。

表1 夹具检测

检测项目	具体检测数据	是否满足要求
尺寸精度	内孔H7、圆度0.008 mm~0.01 mm、圆柱度0.015 mm~0.02 mm、 外径h8、法兰厚度±0.05 mm	是
形位公差	垂直度0.015 mm/m~0.02 mm/m、平行度0.025 mm~0.03 mm、 油孔垂直度0.015 mm~0.02 mm	是
表面粗糙度	内壁Ra0.6 μm~0.8 μm、外径及法兰Ra1.2 μm~1.6 μm、 螺纹孔Ra2.8 μm~3.2 μm	是
加工效率	单件加工时间1.2 h(传统2.5 h),效率提升52%	是

通过对表1检测结果进行分析,本文所设计的数控加工工艺与专用夹具满足液压千斤顶缸体加工需求,使缸体加工具备精准度,且夹具准确可靠、操作便捷,能满足批量化生产作业要求。

5 结束语

现代数控加工工艺不断发展,对于液压千斤顶缸体加工效率和精度提升有积极作用,能促进工业生产效率提高。未来,液压千斤顶缸体加工需不断根据实际情况进行工艺参数调整,使缸体加工时切削速度、进给量满足加工要求。同时,针对液压千斤顶加工需求设计智能化夹具、改进夹具结构,使其满足自动夹紧、定位、拆卸的多样化功能,以促进缸体加工自动化水平提升。

参考文献:

- [1] 刘映泉.立式油压千斤顶油缸装卸夹具的设计[J].金属加工(冷加工),2019(06):61-65.
- [2] 夏军.工装用液压夹具设计方案[J].科技创新与应用,2022,12(22):100-103.
- [3] 王炉,毛孟娜,程相榜,等.基于工业机器人的千斤顶柔性装配系统设计[J].煤矿机械,2023,44(06):13-15.
- [4] 邹函滔.驱动桥千斤顶支座成形工艺优化及模具设计[J].汽车工艺师,2022(04):28-30.
- [5] 梁涛,郭世滔,谢诗,等.解决现有夹片更换效率低的新提升千斤顶设计[J].中国高科技,2024(09):17-19.