

薄壁主轴加工工艺及工装设计

卢 刚

陕西法士特传动集团 陕西 宝鸡 722409

摘 要：本文围绕机床维修与改造中所需的薄壁主轴展开，深入探讨其加工工艺及工装设计。该主轴具有孔径大（ $\Phi 140$ ）、壁厚薄（最小壁厚17.5mm）、两端面与轴线垂直度要求高等独特特性，常规主轴加工工艺难以满足其精度要求，按照改进后的工艺配合定制工装圆满解决了此主轴加工难题。

关键词：薄壁主轴；加工工艺；工装设计；精度控制

1 零件的加工工艺分析

此主轴具备如下显著特点（如图1所示），机床主轴材质硬度颇高，图纸明确要求硬度达到HRC45。主轴各外圆的圆柱度以及粗糙度要求严苛，尤其是轴承位圆柱

度误差需严控在0.003mm以内。各端面相对于 $\Phi 180 \pm 0.009$ 轴承位基准外圆的垂直度误差要求极高，各端面跳动误差不得超过0.005mm。鉴于该零件为单件生产模式，选用通用机床并搭配通用刀夹具进行加工更为适宜^[1]。

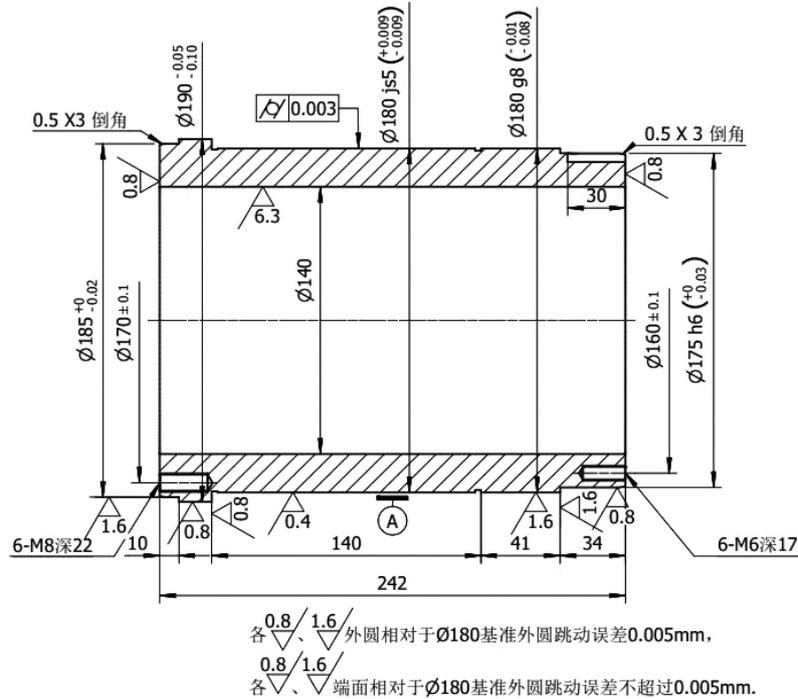


图1 待加工主轴尺寸图

2 零件加工工艺及工装设计

分析主轴结构可知其各处安装配合详情如下：主轴外圆 $\Phi 180 \pm 0.009$ 是主轴轴承安装位，与角接触球轴承7038AC内孔配合，系该零件的装配基准； $\Phi 175-0.03$ 处用于安装同步带轮，借助 $\Phi 180-0.08-0.01$ 外圆处安装的隔套紧压在轴承内圈端面上，进而将轴承组另一端面牢固压紧在 $\Phi 190-0.05-0.10$ 外圆右端面，有效防止主轴窜动；主轴内孔无零件装配配合要求，与工件夹紧油缸外圆保持约1mm的间隙；左端 $\Phi 185-0.02$ 外圆、左端面则与夹具法

兰止口精确配合。该主轴材料为40Cr，硬度要求限定在HRC44-46之间。鉴于主轴属于精密机械零件，为确保加工完成后能长期维持稳定、不变形，其热处理工艺必须精细规划^[2]。具体热处理工艺安排应包含：

2.1 毛坯热处理

由于此主轴为单件生产，难以获取适配尺寸的毛坯，需采用其他规格材料锻造而成。为消除锻造环节产生的内应力，达到细化晶粒、优化金相组织、降低硬度、改善切削性能的目的，在锻造工序结束后需立即安

卸主轴并加热至150℃,保温6小时后空冷,以此消除零件粗加工应力。(4)将主轴再度装配于磨削芯轴上,螺栓拧紧方法同粗磨工序,确保外圆跳动0.01mm,半精磨各外圆,预留精磨量0.05-0.1mm。(5)拆卸主轴,进行振动时效:鉴于该主轴为高精磨磨床工件主轴,后续使用转速处于100-200r/min区间,故而设定振动时效频率为100Hz,时效时间30分钟,促使主轴残余应力充分释放。(6)实施冷冻处理:运用冷却箱将主轴冷却至-80℃并保温2小时。(7)进行精磨操作:再次认真检查主轴两端面平行度,确保在0.003mm以内,若超出则再次精磨两端面;核查芯轴自身精度,两中心孔定位检查端面跳动在0.002mm以内。依循前道工序精准安装主轴,适度降低后压盖压力,精细调整主轴外圆跳动至0.01mm以内,精磨主轴各外圆直至契合图纸要求,靠磨各处端面见光,切实保障其与轴线垂直度^[5]。

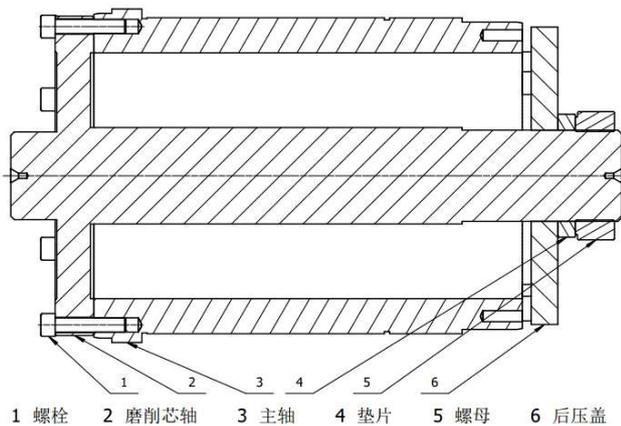


图3 主轴磨削装配示意图

3 零件加工精度结果及总结

主轴装夹时受力主要为轴向正压力,鉴于其长度方向尺寸为242,不会因受压力而产生变形。而磨削力产生于磨削过程,主要由三部分构成:切向磨削力 F_t 与磨削功率有直接关系;法向磨削力 F_n 的大小一般是 F_t 的2倍多点,与纵向磨削中工件弹性变形、振动、磨削余量以及加工精度等有关;纵向进给力 F_s 由于各磨粒有随机分布的正负倾角,各向分力相互抵消。为了减小切削力对加工精度的影响,磨削外圆时粗精磨分多次精细操作,每次磨削余量逐渐减小,尤其是精磨是余量微小,且增设了去应力工序,磨削后运用海克斯康三坐标检测仪测量主轴轴承位外圆圆柱度达到0.002mm,两端面相对于外圆垂直度均处于0.002-0.003mm区间,圆满达到图纸要求的精度标准^[6]。

根据零件图纸要求结合本单位设备条件确定零件加工工艺方案,不能把工艺方案理想化,要掌握零件的定位理

论,充分考虑加工受力变形,确保工夹具的稳定性与可靠性,尽量消除零件加工内应力,达到零件设计要求。

4 结束语

本文通过对薄壁主轴加工工艺及工装设计的系统性研究,成功攻克了高精度薄壁主轴加工中的关键技术难题。通过工艺优化与工装创新,实现了以下核心成果:

4.1 高精度加工目标的达成

针对薄壁主轴“大孔径、薄壁厚、垂直度严苛”的特性,通过改进加工顺序(如“两端面基准先行”“粗精分离”原则)与优化热处理工艺(增设二次回火、低温时效及冷冻处理),有效控制了材料变形与应力释放。最终轴承位圆柱度误差稳定控制在0.002mm以内,端面垂直度误差 ≤ 0.003 mm,完全满足设计要求。

4.2 工装设计的创新性突破

为解决传统芯轴过盈装夹导致的变形回弹问题,设计了专用磨削芯轴(图2)。该工装通过“分阶段拧紧螺栓+实时跳动监测”的装配策略,实现了薄壁主轴磨削装夹可靠性与微量变形。同时,芯轴端面与外圆的垂直度控制在0.002mm以内,为外圆磨削提供了可靠的定位基准。

4.3 工艺链的全面优化

通过引入振动时效与低温冷冻处理,解决了高硬度材料(40Cr)在精磨阶段的残余应力释放难题。振动时序参数(频率100Hz、时长30分钟)与冷冻工艺(-80℃保温2小时)的匹配应用,使主轴在长期服役中保持尺寸稳定性,避免了因加工内应力导致的精度衰退。

4.4 单件生产模式的经济性实践

针对单件生产特性,采用通用机床与定制工装的组合方案,既避免了专用设备的高成本投入,又确保了加工精度。

参考文献

- [1]杨叔子.机械加工工艺师手册[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2]王先逵.机械制造工艺学[M].3版.北京:机械工业出版社,2013:176-189.
- [3]李尧.金属低温处理技术及应用[M].北京:冶金工业出版社,2002:87-102.
- [4]吴拓.机床夹具设计手册[M].2版.北京:化学工业出版社,2016:233-245.
- [5]陈宏钧.典型零件机械加工工艺实例[M].北京:机械工业出版社,2010:68-74.
- [6]王颖淑,丁宁.外圆纵向磨削加工磨削力模型.长春大学学报第15卷第6期,2005年12月