

高速机车轮钻铣加工方案

穆伟

太原重工轨道交通设备有限公司 山西太原 030032

摘要：针对 $\phi 1250\text{mm}$ 高速机车轮特殊结构和加工精度要求，应用公司现有加工设备，合理选用加工刀具，制定钻铣加工方案，编写加工程序并上机试切以验证加工方案的合理性。在此基础上，通过优化加工策略及切削参数，选用更合适的刀具，最终实现了理想的加工效果，同时大幅提升了加工效率，为后续加工该类车轮积累了经验。

关键词：车轮；钻铣；工艺优化；刀具；切削；高速机车

1 序言

$\phi 1250\text{mm}$ 车轮为我公司出口到欧洲某国的高端机车轮产品，在此之前我公司早已成功研制了时速160km客运机车 $\phi 1250\text{mm}$ 车轮，但此车轮在结构复杂程度及尺寸精度要求方面与 $\phi 1250\text{mm}$ 高速机车轮相比有一定差距。该车轮之前一直由欧洲某国际知名车轮厂商垄断生产，此次我公司能够成功开发并批量生产该车轮，不仅打破了国内外竞争对手在高端车轮产品制造领域的垄断，也对我公司在开发高端机车轮市场以及技术创新方面有着重要的战略意义。该车轮制造的最大难点和瓶颈基本都在加工环节，而加工最大的难点在钻铣工序，如何能够在保证产品加工质量的前提下尽可能地提升加工效率以保证产品交期为本文研究的主要内容。

2 车轮结构及技术参数

车轮三维模型如图1所示，主要技术参数为：滚动圆直径 $(1250 \pm 0.25)\text{mm}$ ，材质为ER9，表面硬度265~302HBW；辐板厚度 $(31 \pm 0.3)\text{mm}$ ，且均布 $6 \times \phi 25^{+0.052}_0\text{mm}$ ($Ra=2.5\mu\text{m}$)、 $18 \times \phi (20 \pm 0.2)\text{mm}$ ($Ra=3.2\mu\text{m}$) 共24个辐板孔，上下孔口倒角 $1\text{mm} \times 45^\circ$ ，位置度要求 $\leq 0.1\text{mm}$ 。外侧轮毂加工有注油孔，注油孔各阶直径分别为 $\phi 27\text{mm}$ 、 $\phi 11.45\text{mm}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ 及 $\phi 3.5\text{mm}$ ，各孔对应的深度分别为2mm、19mm、65mm及85mm。第二阶孔还需加工

G1/4螺纹，螺纹深度16mm。此外该车轮外侧轮毂环槽还需铣削加工呈 180° 对称的凸台，且车铣接刀位置处不允许存在明显接刀痕迹。

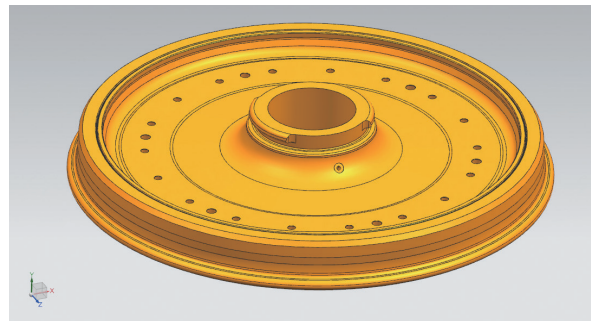


图1 车轮三维模型

3 原钻铣加工方案

该车轮钻铣加工分三道工序（见表1），加工设备为五轴数控加工中心，刀具分别为TP测量探头、U钻（ $24.5\text{mm} \times 3D$ 、 $19.5\text{mm} \times 3D$ ）、精镗刀（ $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$ ）、单边 45° 内外倒角刀（柄径 $\phi 13\text{mm}$ 、 $\phi 19.5\text{mm}$ ）、钻头（ $\phi 11.45\text{mm}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ 、 $\phi 3.5\text{mm}$ ）、螺纹铣刀G1/4-19、 $\phi 16R2 \times 100L$ 圆鼻铣刀、BAP400R玉米铣刀。

上述工序中加工 $\phi 20\text{mm}$ 与 $\phi 25\text{mm}$ 辐板孔时采取了相同的方法：先用对应U钻开粗，然后用精镗刀镗至要求尺寸，最后使用倒角刀加工上下孔口倒角。此加工模式虽尺寸精度及表面粗糙度能够满足要求，但需使用6种刀具，加工效率低。

表1 车轮钻铣加工工序

序号	工序	具体步骤
1	加工辐板孔	探头测量→钻削 $\phi 24.5\text{mm}$ 辐板孔→精镗 $\phi 25^{+0.052}_0\text{mm}$ 辐板孔→钻削 $\phi 19.5\text{mm}$ 辐板孔→精镗 $\phi 20\text{mm}$ 辐板孔→探头测量→加工辐板孔口上下 $1\text{mm} \times 45^\circ$ 倒角
2	加工注油孔	铣削 $\phi 27\text{mm}$ 沉孔（底部 $R2\text{mm}$ 倒圆）→钻削G1/4螺纹底孔→钻削 $\phi 6\text{mm}$ 沉孔→钻削 $\phi 3.5\text{mm}$ 通孔→铣削G1/4螺纹
3	加工毂径凸台	粗铣凸台（粗铣壁）→精铣凸台（精铣壁）

加工轮毂环槽凸台时先用玉米铣刀沿车轮径向分层粗铣侧壁（由于刀具原因铣削方式只能为顺铣），再用圆鼻铣刀精铣，图2为加工轮毂环槽凸台刀路，精铣时通过调整刀补实现铣削部位与车削部位平滑接刀。具体加工参数为：开粗吃刀量 0.3mm ，进给速度 1300mm/min ，转速 2600r/min ，粗铣后单边余量 0.5mm ；精铣吃刀量 0.2mm ，进给速度 2000mm/min ，转速 3200r/min 。

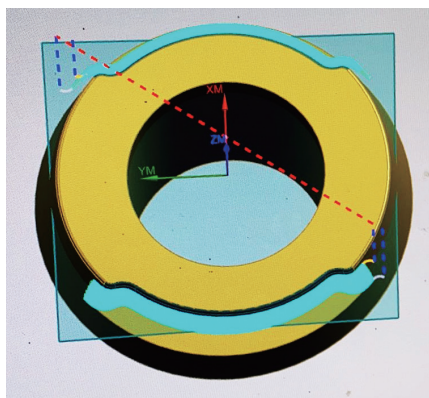
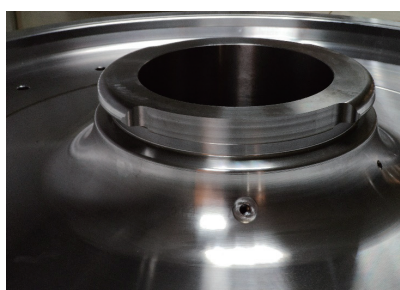


图2 铣削加工刀路

经上机试切，玉米铣刀粗铣时机床振动非常大，而且若采用逆铣方式机床振动更大，同时刀片磨损非常严重，加工效率极低，粗铣耗时约 55min 。圆鼻铣刀精铣时机床振动相对较小，精铣耗时约 35min ，整个铣削过程共计耗时约 90min 。图3为机床铣削加工过程及加工后车轮实物照片，从图中可以看出铣削后，零件表面质量很差，有明显的刀纹和台阶。



a) 机床加工过程



b) 加工后实物

图3 改进前机床加工过程及加工后实物

4 改进后的钻铣加工方案

在原加工方案试切过程中，发现使用U钻 $19\text{mm} \times 3D$ 加工辐板孔后，其尺寸精度完全能够满足 $\pm 0.2\text{mm}$ 的要求，且表面粗糙度值也能达到 $Ra3.2\mu\text{m}$ 以下。因此改进后的加工方案中使用U钻 $20\text{mm} \times 3D$ 直接加工 $\phi 20\text{mm}$ 辐板孔，不再使用精镗刀二次加工。经测试，改进后的加工方案较原加工方案效率可提高 1.25 倍左右。

另外原加工方案试切过程中在铣削轮毂环槽凸台时普通圆鼻铣刀较玉米铣刀加工振动较小，加工后表面质量较高。因此决定粗铣使用 $\phi 32\text{mm}$ 平底铣刀、精铣使用 $\phi 16\text{mm} R0.8\text{mm}$ 圆鼻铣刀，且走刀路径改为：粗铣时沿车轮轴向分层铣削，铣削方式为顺铣，粗铣后单边余量为 0.8mm ；精铣时沿车轮径向分层铣削，铣削方式改为顺铣+逆铣，最后一刀为顺铣，图4为改进后的铣削加工刀路。修改加工

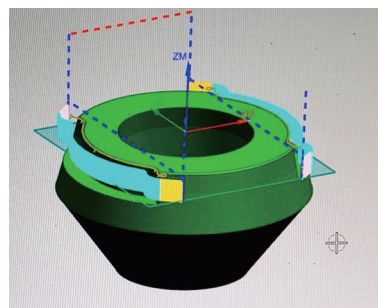


图4 改进后的铣削加工刀路

（下转第54页）

#13=#10+#11 (右赶刀移刀量)
G00X60.Z[#12+20] (移动到左赶刀螺纹切削的循环起点)
G92X[43+2*#8]Z-86.F8. (左赶刀车削螺纹)
G00X60.Z[#13+20] (移动到右赶刀螺纹切削的循环起点)
G92X[43+2*#8]Z-86.F8. (右赶刀车削螺纹)
#8=#8-0.05 (螺纹分层加工, 每层深度为0.05mm)
IF[#8GE0]GOTO30 (螺纹加工到小径尺寸)
G00X100.
Z100.
T0100 (取消刀具补偿)
M05
M30 (程序结束并返回)

5 结束语

利用宏程序进行大螺距梯形螺纹加工时, 程序编制比较麻烦, 需要编程操作人员具备较高的数学

计算能力、程序汇编能力, 并对机械加工工艺流程有详细的了解与掌握。但是通过整个流程的学习, 可以不断提高编程操作人员的专业素养、技能水平, 以及社会竞争能力。并且利用宏程序进行大螺距梯形螺纹加工无需定制标准螺纹刀具或者非标的任意角度的螺纹刀具, 大大节约了螺纹加工刀具的成本, 对于企业的发展有着不可小觑的促进作用。

参考文献:

- [1] 陈海舟. 数控铣削加工宏程序及应用实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 杜军. FANUC宏程序编程技巧与实例精解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [3] 浦艳敏. FANUC 0i数控铣床手工编程技巧[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

MW 20210910

(上接第49页)

参数为: 开粗吃刀量0.5mm, 进给速度3800mm/min, 转速2000r/min; 精铣吃刀量0.2mm, 进给速度2500mm/min, 转速3200r/min。

经上机试验, 改进后的加工方案粗铣耗时约23min, 精铣耗时约35min, 共计耗时约58min, 较原方案效率提高1.5倍以上。而且加工时机床振动相对较小, 加工后表面质量明显提高。图5为改进后的方案机床铣削加工过程及加工后的车轮实物照片, 从图中可以看出加工后零件表面质量非常好, 没有

任何刀纹和台阶。

5 结束语

1) 改进后的加工方案经优化刀具选型及刀路设计, 成功提升了加工效率, 同时提高了加工后的零件表面质量。

2) 加工时应根据切削材料及机床特性选用合适的刀具, 并依据刀具性能设定合适的切削参数, 才能保证加工效率和表面质量。

3) 铣削时应在刀具允许的范围内尽可能采取高转速和大进给量切削, 否则转速和进给量太低不仅会影响加工效率和表面质量, 也会降低刀具使用寿命。

参考文献:

- [1] 任国强, 罗啸峰. 前轴主销孔及端面的数控加工工艺和工装设计[J]. 制造业自动化, 2012, 34(5): 39-41.
- [2] 王冬晓, 赫晓东, 刘文博, 等. 二维编织复合材料在正交切削中的切削力和加工表面质量研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2017(12): 77-82.
- [3] 金玉淑, 贾莹, 裴忠科. 三元叶轮工艺方案分析[J]. 风机技术, 2014(1): 56-60.

MW 20210909



a) 机床加工过程



b) 加工后的实物

图5 改进后的方案机床加工过程及加工后的实物