

高速动车组铝合金轴箱体国产化加工技术研究

■ 中车青岛四方机车车辆股份有限公司（山东 266111） 陈殿苹 王 海 王银灵 管益辉

摘要：通过铝合金轴箱体国产化加工技术研究，形成铝合金轴箱体加工工艺流程，解决了工装、刀具、切削参数设置、温度影响及断屑等问题，为后期批量生产提供了技术依据。

高速动车组铝合金轴箱体一直依靠进口，轴箱体加工未形成标准工艺流程，工装、刀具及切削参数设置等还停留在理论阶段。“十一五”国家科技支撑计划中“高速列车关键材料及部件可靠性”课题对铝合金轴箱体国产化提出了要求。

铝合金材料热膨胀系数较大，温度及切削热对轴承孔等尺寸精度影响程度没有量化，该材料断屑不良会影响加工表面质量，铝屑缠绕刀具可造成机械手无法自动换刀。通过工艺准备，

对验证材料进行加工试切，同时进行数控加工方面的系统研究，通过提高铝合金轴箱体加工精度，解决铝合金轴箱体批量生产所需的工装、刀具、切削参数设置、温度影响及断屑等问题，为后期铝合金轴箱体批量国产化生产提供技术依据。

通过试切验证，重点完成以下目标：①验证并选用合理的刀具及切削加工参数。②对工装的装夹方式进行验证，保证轴承孔形状位置公差。③验证环境温度、切削热对加工尺寸的影响，保证

轴承孔最终尺寸符合图样要求。

1. 加工工艺

轴箱体如图1所示。

分析切削力、切削热及温度变化等因素对尺寸形变的影响，确定加工工艺如下。

（1）轴箱体、压盖拷料：双臂三维划线测量机整体拷料并划线找正加工线。

（2）粗加工Ⅰ：立式加工中心按找正线铣轴箱体前后盖面，单边留量2mm，铣粗加工工装定位孔尺寸，铣小头侧端面至工艺定位尺寸。

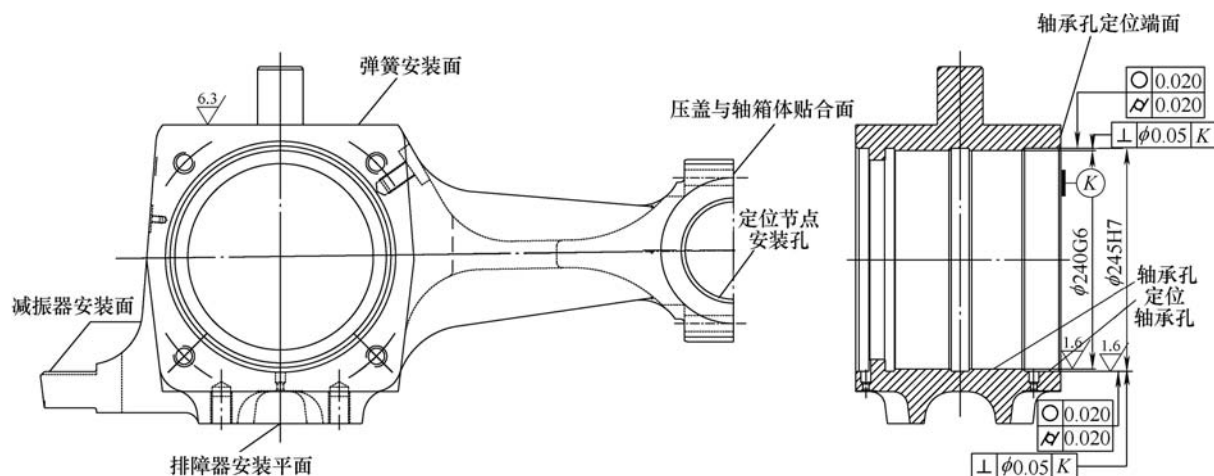


图1 轴箱体示意图

(3) 粗加工Ⅱ：立式加工中心按找正线铣压盖端面，单边留量2mm，铣压盖与轴箱体贴合面及减振器安装孔各部尺寸至图样要求。

(4) 粗加工Ⅲ：卧式加工中心以粗加工工装定位孔定位，按找正线找正后夹紧工件，铣弹簧面、减振器座、排障器安装面各部，单边留量2mm。

(5) 粗加工Ⅳ：组装压盖与轴箱体，立式加工中心铣柔性生产线一位精加工工装定位孔（轴承定位孔）、定位节点安装孔工艺定位尺寸。

(6) 柔性生产线一工位精加工：以大轴承孔、定位节点安装孔及工艺定位尺寸两面一销定位加工弹簧面、减振器座、排障器安装面、轴温检测座各部尺寸及工艺定位尺寸。

(7) 柔性生产线（见图2）二工位精加工：利用工件减振器安装孔短销定位，排障器安装面4个M20螺纹孔夹紧，以轴箱定位节点安装孔侧面为工艺定位面，加工轴承孔各部尺寸，压盖、前后盖各部尺寸。

2. 面铣刀刀片切削参数分析

在柔性生产线一工位加工轴箱体排障器安装面、弹簧面部位，选用 $\phi 100\text{mm}$ 面铣刀，主轴转速、进给速度相同，改变切削深度、切削方式，利用TR100袖珍式粗糙度仪、PWB光学刀具校准仪及主轴负载显示验证不同角度刀片。当主轴转速 $n=660\text{r/min}$ 、进给速度 $v_f=520\text{mm/min}$ 时，不同型号刀片切削数据如表1~表3所示。

由表1~表3可知，采用主



图2 轴箱体柔性生产线

表1 LNGX130708R-L55型号刀片切削数据

切削宽度/mm	切削深度/mm	是否断屑	最大转矩/(N·m)	持续转矩/(N·m)	表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	切削方式
100	6	是	25	16	0.60	直线切入、切出
100	2	是	15	11	0.56	
60	2	是	8	8	0.50	斜线切入、切出
60	1.5	是	6	6	0.40	

表2 ADGT1606PER-D51型号刀片切削数据

切削宽度/mm	切削深度/mm	是否断屑	最大转矩/(N·m)	持续转矩/(N·m)	表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	切削方式
100	6	是	24	15	0.54	直线切入、切出
100	2	是	15	10	0.56	
60	2	是	7	7	0.45	斜线切入、切出
60	1.5	是	5	5	0.36	

表3 ADGT1606PER-G88型号刀片切削数据

切削宽度/mm	切削深度/mm	是否断屑	最大转矩/(N·m)	持续转矩/(N·m)	表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	切削方式
100	6	是	20	12	0.40	直线切入、切出
100	2	是	12	10	0.36	
60	2	是	6	5	0.30	斜线切入、切出
60	1.5	是	5	4	0.30	

轴转速 $n=660\text{r/min}$ 、进给速度 $v_f=520\text{mm/min}$ ，刀片完全可以满足图样表面粗糙度值 $R_a=6.3\mu\text{m}$ 的要求；刀片不存在断屑问题；持续转矩小于设备负载的20%，能满足设备负载要求。

通过比较分析可知，表3所用刀片加工效果最好，参照ISO 1832及相关研究，加工铝合金面铣刀需选用菱形、尖切削刃、断屑槽及后角 20° 左右刀片，切削方式采用斜线切入、切出法，切削深度为1.5mm，主轴转速

为660r/min，进给速度可提高至800mm/min。

3. 精镗孔刀片切削参数分析

选用精镗刀片TCGT110204-EL，此刀片具有较高的硬度、化学惰性及高温下的热稳定性，但该刀片加工时韧性差，易出现崩牙现象，需验证铝合金轴箱体加工过程中的应用情况。利用TR100袖珍式粗糙度仪、PWB光学刀具校准仪、主轴负载显示及内径千分尺等检测、验证转速、进给速度和切削深度等切削参

数，当主轴转速为250r/min、进给速度为36mm/min、切削深度为0.15mm时，切削数据如表4所示。

由表4可知，内孔表面粗糙度值均小于图样 $R_a=1.6\mu\text{m}$ 的要求，检测值均匀地分布在1.35~1.55 μm 之间。TCGT110204-EL刀片刀尖半径0.4mm，刀尖锋利，切削深度为0.15mm，主轴转速为250r/min、进给速度为36mm/min，适合铝合金内孔的精加工。

4. 工装的装夹方式验证

利用PEARL1298型三坐标测量机、PWB光学刀具校准仪及内径千分尺等对轴承孔各部加工尺寸及形位公差进行检测，验证粗

加工及一工位精加工装夹方式是否正确，产品尺寸及表面粗糙度是否满足图样要求。在轴箱体二工位精加工（见图3）检测过程中，发现轴承孔易出现圆柱度超差问题。

对轴箱体二工位精加工进行验证。加工第1件轴箱体后，消除工件压紧力、拉紧力后，检测轴承孔直径最大值与最小值相差0.03mm，超出图样公差要求。分析认为是精镗孔过程中压紧力的影响造成轴承孔椭圆度超差。进行第2件轴箱体加工，精镗孔前使用M04暂停指令，减小压紧力后再精镗孔，最终检测直径最大值与最小值相差0.02mm，三坐标检测表明轴箱盖面与轴承孔止推面0.02mm平行度超差，分析原因为精镗孔过程中切削应力的影响造成轴承孔出现椭圆现象。

继续调整加工程序：轴箱盖面精加工留量0.2mm，使用M04暂停指令，减小压紧力、拉紧力后再精镗孔，精加工轴箱盖面。

三坐标检测数据如表5所示。

最终确定能满足轴承孔形位公差要求的方法为：精加工轴箱盖面及精镗轴承孔前，使用M04暂停指令，适当减小压紧力、拉紧力，释放残余应力后再完成轴箱盖面及轴承孔的精加工。

5. 温度对轴承孔尺寸的影响分析

精加工轴箱盖面及精镗轴承孔前，使用M04暂停指令，减小压紧力、拉紧力后，使用Raytek红外线测温仪测量工件温度，加工后直接使用内径千分表检测记录轴承孔尺寸，加工后存放三坐标测量机室恒温24h，测量工件温度及轴承孔尺寸，验证切削热、环境温度对加工尺寸的影响。

首件加工时按照图样尺寸要求上限进行加工，在三坐标测量机室恒温24h后，测量尺寸超出图样要求。根据温度差进行换算，温度每变化1℃，轴箱体直径变化5 μm ，按温度差（温度设定为图样要求的20℃）换算加工过程中尺寸进行验证，保证轴承孔最终尺寸符合图样要求。检测数据如表6所示。

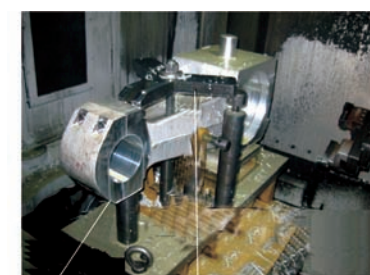
由表6可知，切削热及环境温度对轴承孔尺寸的影响（需考虑测量误差）为：温度每升高1℃，轴承孔尺寸增加约0.0044mm。

6. 结语

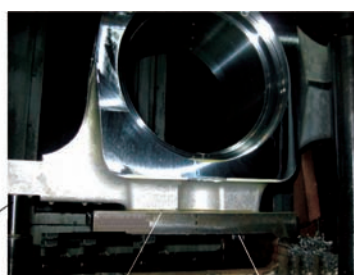
通过试切验证，对于高速动

表4 精镗孔刀片切削数据

零件编号	切屑状态	转矩/(N·m)	表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$
1	无缠绕镗刀现象	0	1.55
2	无缠绕镗刀现象	0	1.40
3	无缠绕镗刀现象	0	1.53
4	无缠绕镗刀现象	0	1.45



(a)



(b)

图3 铝合金轴箱体二工位实物装夹图

表5 三坐标检测数据

零件编号	内径千分尺检测轴承孔直径差值/mm	轴承孔圆度/mm (公差0.02mm)	轴承孔圆柱度/mm (公差0.02mm)	轴箱盖面与止推面平行度/mm (公差0.02mm)	前后盖平行度/mm (公差0.05mm)	轴承孔与压盖垂直度/mm (公差0.05mm)
1	<0.005	0.017 2	0.013 4	0.016 0	0.020 0	0.002 2
2	<0.005	0.013 5	0.009 8	0.015 6	0.003 5	0.003 7
3	<0.005	0.017 8	0.015 8	0.017 8	0.004 2	0.008 5
4	<0.005	0.011 2	0.005 6	0.018 5	0.000 9	0.012 5

利用驱动手臂解决孔内键槽加工难题

■ 中船重工第七〇五研究所（陕西西安 710077） 穆海涛

摘要：通过设计“驱动手臂”工装，在普通立式铣床上实现了内键槽和外键槽在一个工步中完成切削加工，节省了外协工序，同时保证了产品质量和生产进度，为同类零件的加工提供了参考。

1. 需求分析

本公司的产品属石油测井装备，产品零件以管件为主，分布有内外螺纹、内外密封槽及内外键槽等，如图1所示。孔内键槽的加工一直是一个难点，现有的工艺方法是通过电加工来完成内键槽的加工，而冷加工与电加工的转换导致了加工周期延误，同时加工费用（含电极制作费用）也大。现有工艺流程为：车→铣

→电火花→钳。此工艺流程中，电火花加工时需另加工专用电极后，再外协到专用机床加工，所以费用昂贵，还不能保证加工进度。如果能在立铣床上实现孔内的键槽加工，就可以节约大量的时间和费用。

2. 工装结构功能分析

根据生产的需求，设计了工装“驱动手臂”，在立铣床上实现了孔内键槽加工，如图2所

示。该工装安装在立铣床的动力头上，外形呈悬臂结构，悬臂可以伸到零件孔内加工内键槽。它采用直齿外啮合圆柱齿轮传动的原理设计，由条形支架、套筒支架、齿轮A、齿轮轴A、垫圈A、齿轮B、齿轮轴B、齿轮C、齿轮轴C、D8立铣刀、弹簧套和拉紧螺杆等12个主要零件组成。其中机床主轴通过夹套与齿轮轴A联接，作为“驱动手臂”的驱动

表6 温度对加工尺寸的影响检测数据

零件编号	加工温度/℃	加工后直径 ϕ /mm	恒温/℃	恒温后直径 ϕ /mm	温度每变化1℃对直径的影响值/mm	平均影响值/mm
1	26.8	240.045	21.7	240.02	0.005	0.004 4
2	26.8	240.065	20.0	240.03	0.005	
3	26.8	240.065	20.0	230.04	0.004	
4	26.8	240.055	20.0	230.02	0.005	

车铝合金轴箱体数控加工精度的控制目标基本完成，具体措施总结如下。

（1）选用合理的刀具及切削参数：精镗轴承孔可选用TCGT110204-EL刀片，切削深度为0.15mm，主轴转速为250 r/min、进给速度为36mm/min。

面铣刀需选用菱形、尖切削刃、断屑槽及后角20°左右刀片，切削方式采用斜线切入、切出方法，切削深度为1.0~1.5mm，主轴转速为660r/min、进给速度为800mm/min。

（2）工装的装夹方式改进：粗加工工装、精加工一工位工装

装夹定位合理，二工位精加工轴箱盖面及精镗轴承孔前，需减小压紧力、拉紧力后再完成，以满足轴承孔各部尺寸及形位公差要求。

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] 曾正明，吴清寒. 机械工程材料手册[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

MW（收稿日期：20170410）