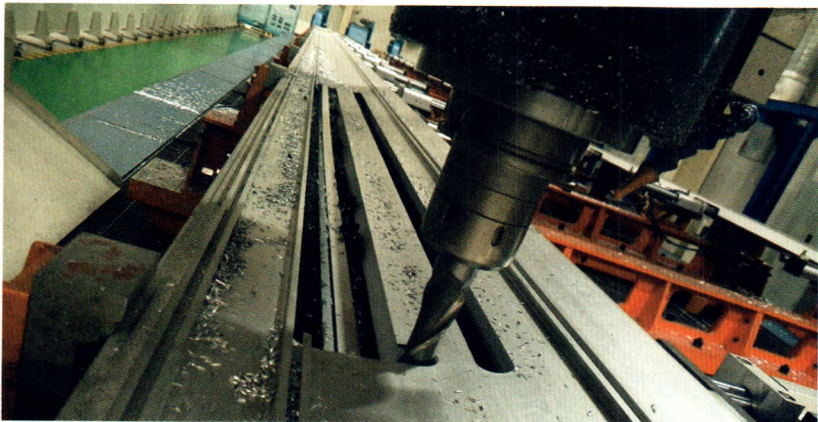


减振材型材机加工技术研究

■ 中车广东轨道交通车辆有限公司（江门 529000） 钟小金 庄晓忠 陈 强

摘要：粘贴有减振材的长大型材，在机加工时存在加工难度大、刀具报废率高以及加工效率低等问题。通过对数控程序和加工参数的合理优化，降低了刀具损耗，提高了加工效率。



提供动车组车门安装基础，该型材型腔底部内表面均粘贴有长条形减振材，在刀具铣削铝合金型材时，刀具会迅速升温，特别是当减振材缠绕在刀具排屑槽时，造成刀具排屑困难，散热慢，很容易损伤刀具的切削刃，使刀具切削性能大大降低，最后高温脆化，刀具崩断，加工终止，甚至出现机床主轴负荷超过30%、机床进给困难的现象。

2. 加工的可行性分析

由于减振材的存在给门框凹槽机加工增加了很大难度，加工的难点就是尽可能地克服减振材带来的加工阻力，为此需要制定一个完整的加工技术方案。通过门框凹槽图样特征尺寸分析，考虑材质为A6N01S-T5，是含镁成分的铝合金，质地较

城际轨道车辆车体采用国际铝合金车身领先技术，适用于高速运行、承载负荷大的城际交通。动车组的车体由车顶大部件、侧墙大部件、底架大部件和端墙组焊而成。为了克服动车组车体高速运行带来的车厢外部噪声，越来越多的车体长大型材型腔内部粘贴减振材。动车组车体减振材是一种由硫化橡胶、热塑性橡胶及胶粘剂等热熔形成的一种具有防振、防噪的新材料，该新材料具有高韧性、不易断裂和缠绕性强等特性，可以很好地减少车身在运行过程中产生的振动和噪声，给乘客提供一个舒适的乘车环境；同时，粘贴有减振材的真空挤压型长大型材，在机加工尤其是在加工侧墙型材门框凹

槽时，存在加工难度大、刀具报废率高以及加工效率低等问题。

1. 门框凹槽的机加工

轨道车辆车体型材门框凹槽的机加工，指的是在长大型材侧墙板上加工一个上部尺寸为1792mm×200mm、下部尺寸为1732mm×180mm，最大深度为85mm的盲孔型凹槽（见图1），加工出来的门框为后续胎位组装

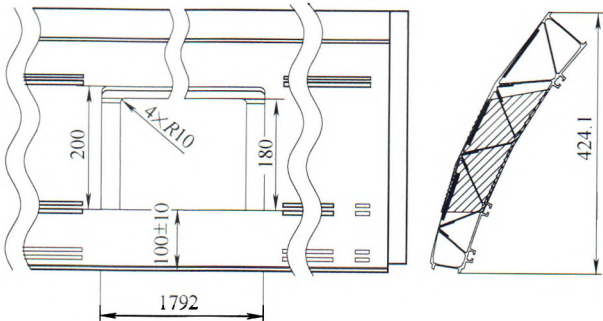


图1 门框凹槽加工特征尺寸图

软，因此采用硬质合金立铣刀刀具。图样要求圆角半径为10mm，加工区域面积较大，采用 $\phi 32\text{mm} \times 186\text{mm} \times 106\text{mm}$ 刀具进行凹槽轮廓的粗加工，粗加工后采用半径为10mm的平底立铣刀进行精加工。由工件结构确定工件坐标系设置在工件左端，满足右手笛卡尔坐标要求，通过分析确定了整个侧墙型材门框凹槽加工的可行性。工件坐标系如图2所示。

3. 加工工艺设计

(1) 加工策略。侧墙板2大型材加工区域型腔内部具有加强筋结构，刀具在型腔内部会受到不平衡切削阻力，因此刀具在型腔内部的深度不宜过大，整个

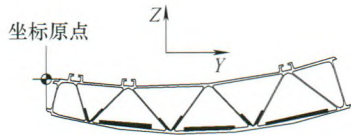


图2 工件坐标原点

深度方向至少分两次进行加工，加工工艺遵循从上到下、从左到右的刀具路线，先粗加工再精加工，具体如表1所示。

(2) 凹槽上部开槽粗加工。在工件X方向上，因型材是由专用模具挤压而成，工件表面是一个曲面，且加工宽度为200mm，在加工时通过改变机床A轴定位角度重复X进给切削3次；Y方向切断，在左右两端进行一次进给，上述加工完毕后，清理切削筋条，则凹槽上部区域粗加工完成，上部加工区域尺寸留有30mm的加工余量，即凹槽上部已加工出尺寸为1 792mm $\times$ 160mm、且腔内底部余高在壁厚的基础上筋高10mm的槽孔，三次刀具定位如图3所示。

(3) 凹槽下部开槽粗加工。考虑到型材内壁上贴有条形减振材，刀具在铣削过程中，势

必要先将减振材切断，Z轴才能铣通下部壁厚部分，通过现场工艺试验分析，主轴A轴定位角度为9.7°的情况下，即刀具与工件加工面垂直的情况下，刀具在铣削下部壁厚时，5号刀无论是新刀或旧刀，刀具在规定进给速度 $v_f=900\text{mm/min}$ 的情况下，减振材和切削铝屑融合在刀具的排屑槽中，刀具切削刃钝化发黑，从外部可以看到刀具与工件接触位置冒出大量白烟，加工变得非常困难，则必须停止加工作业；主轴A轴定位角度为0°的情况下，在同等加工参数下，加工过程中虽有少许积屑瘤附着在刀具上，但整个加工过程顺利，机床主轴负载保持在10%~15%之间。通过上述工艺试验得出结论，在加工凹槽下部时，主轴A轴定位角度设置为0°。加工设置路线如下：将下部1 732mm $\times$ 180mm区域分成三部分，分别为766mm $\times$ 180mm、200mm $\times$ 180mm、766mm $\times$ 180mm，先加工左、右部分，最后加工中间200mm $\times$ 180mm区域，完成整个下部的开槽粗加工，工艺试验结果如表2所示，加工效果如图4所示。

(4) 粗加工结论。在上述门框凹槽粗加工中，型材内腔存在减振材，为了降低减振材给加工带来的阻力，优化加工工艺刀具路线，采用工艺试验最佳A轴定位角进行加工，可以很好地保证工件加工质量，降低刀具磨损，提高生产效率。

(5) 门框凹槽精加工。5号刀具粗加工后，门框加工轮廓已经成形，粗加工留下底部余高、

表1 凹槽加工工艺参数

粗加工				精加工			
参数	刀具编号	主轴转速 $n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	进给速度 $v_f/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$	参数	刀具编号	主轴转速 $n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	进给速度 $v_f/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$
X轴	5	5 000	1 440	X轴	3	4 800	900
Y轴	5	5 000	1 200	Y轴	3	4 800	900
Z轴	5	5 000	600	Z轴	3	4 800	900
刀具型号	$\phi 32\text{mm} \times 186\text{mm} \times 106\text{mm}$			刀具型号	$\phi 20\text{mm} \times 106\text{mm} \times 76\text{mm}$		
刀具类型	硬质合金整体立铣刀			刀具类型	硬质合金整体立铣刀		

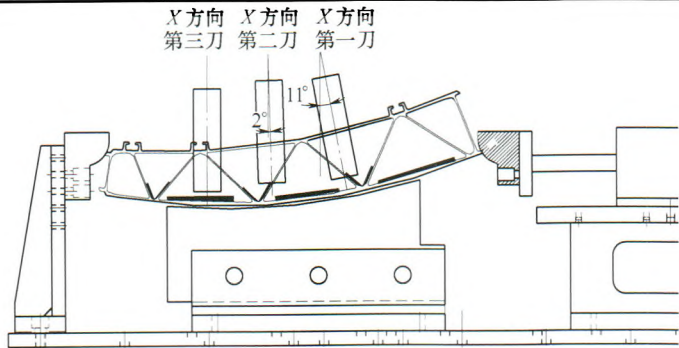


图3 上部开槽X进给示意图

表2 A轴定位角度与铣削效果的关系

A轴定位角度 (°)	机床主轴负载率SLM (%)	刀具积屑	加工效果
9.7	20~30	大量	无法加工
5	15~20	中等	加工困难
0	10~15	少许	加工良好

规定进给速度 $v_f=900\text{mm/min}$

上下边沿余量，采用3号刀进行精加工倒R10mm圆角，并在走刀路径中去除粗加工留下的毛刺，完成整个门框凹槽的加工。

4. 数控程序的实现

在侧墙板门框加工中，轨道交通车辆车体两侧侧墙大部件具有很好的对称性，采用双主轴配置FANUC Series 31i-MODEL A数控系统的日本菊川公司生产的高精度长大行程加工中心进行机加工，可以极大地发挥机床性能，同时，加工中心提供丰富的对称加工M代码（如M54、M57），编程人员只需在单轴加工的基础上添加整合机床自带对称语言，即可实现双主轴加工，完成对称工件加工作业。

根据门框加工工艺路线设计，结合数控铣床G\M\T功能代

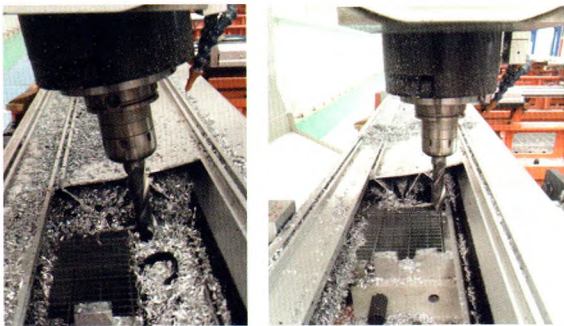
码和设备系统独立配置的M代码，编制了铝合金车体侧墙板2门框加工程序，很好地完成了侧墙门框加工，具体如表3所示。

5. 检验优化

为验证门框在加工后产品质量是否符合图样要求及后续产品组装焊接公差要求，合理优化数控程序和加工参数，最大程度地发挥机床、刀具的性能，从而使生产效率最大化，需要在整个加工流程中进行工件尺寸、刀具和加工程序的检验，检验分为两部分：

（1）过程检查。在该项检查过程中，针对刀具加工过程中的刀具损耗、工件加工变形以及减振材铣削效果进行间断停机检查。

（2）成品件检查。在检查过



(a) 定位角9.7° (b) 定位角0°

图4 现场加工效果对比

表3 门框加工程序表单

程序编号	程序名称	功能	备注
1	SIDEWALL2_DOOR_ROUGH	—	主程序
2	DOOR_1792_ROUGH_XY_CUT	门框上部筋铣削	门框上部加工
3	DOOR_1792_ROUGH_DOWN_CUT	门框下部打通	门框下部加工
4	SIDEWALL2_DOOR_R10	余量、圆角加工	精加工

程中，依据产品加工图样要求，对门框所有加工尺寸进行测量，对门框加工部位进行表面粗糙度检查，从而保证产品的最终质量。

6. 结语

目前国内动车制造企业对型腔贴有减振材车体长大型材门框加工没有固定的加工方法，如何更有效地切割减振材、减少刀具损耗、实现高效率的加工成为机加工工作者研究的方向。本文介绍了一种城际动车组铝合金车体侧墙含减振材机加工工艺技术的实现方法，该方法已在我公司进行了生产应用，实现了刀具的低损耗及高效率生产，极大地减少了加工成本。

参考文献：

[1] 黄学君. 电力机车车体结构设计探讨[J]. 铁道机车与动车, 2014 (1) : 14-18.

[2] S.K.Sinha. FANUC数控宏程序编程技术一本通[M]. 段振云, 赵文辉, 李强, 等译. 北京: 科学出版社, 2011.

[3] 李仲立, 李效利, 杨海亮. 数控加工工艺[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.

MW (收稿日期: 20161005)

专家点评

粘贴有减振材的真空挤压型长大型材，在机加工时存在加工难度大、刀具报废率高以及加工效率低等问题，作者通过对数控程序和加工参数的合理优化，降低了刀具损耗，提高了加工效率，减少了加工成本。