

铝合金车体加工过切返修工艺分析

刘凯 丁洁琼 邹峰 金志宝 张捷

(中车南京浦镇车辆有限公司技术工程部, 210031, 南京//第一作者, 高级工程师)

摘要 轨道交通车辆铝合金车体加工件多为长大型材, 出现过切事故后, 若不能合理安排返修处理, 则会造成较大的经济损失, 并影响生产进度。为此, 以铝合金车体机加工中出现的过切案例为分析对象, 在满足设计和工艺要求的基础上, 通过工件返修前后的功能分析及有限元分析, 探讨5种常见的返修工艺方案及适用范围。

关键词 铝合金车体; 车体加工; 机加工过切; 有限元分析

中图分类号 U270.6⁺4

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.04.014

Analysis of Rework Process for Aluminum Alloy Car-body Over-machining

LIU Kai, DING Jieqiong, ZOU Feng, JIN ZhiBao, ZHANG Jie

Abstract The car-body processing parts of aluminum alloy rail vehicle are normally large profiles. In case of any over-machining, the invalid repair work arrangement will cause great economic loss and directly influence the cycle time. In this article, different over-machining cases of large aluminum alloy profile are studied, through the functions analysis before and after the car-body parts rework and via finite element analysis (FEA), 5 kinds of common repair process schemes and their application scopes are discussed.

Key words aluminum alloy car-body; car-body process; over-cutting machining; finite element analysis

Author's address CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210036, Nanjing, China

在轨道交通车辆铝合金车体制造过程中, 机加工过切是车体零部件加工中常见的事故。由于许多车体零部件经济价值较高, 制造周期较长, 所以一旦发生过切事故, 在不影响零部件强度及功能使用的情况下, 应进行返修, 以便尽量减少经济损失及保证生产进度。本文以铝合金车体机加工中的过切案例为分析对象, 在满足设计和工艺要求的基础上, 通过工件返修前后的功能分析及有限元分析, 探讨5种常见的返修工艺方案及适用范围。

1 返修工艺方案制定

图1为铝合金车体机加工过切返修工艺方案的流程图。由图1可知: 当发生零部件过切事故后, 根据过切位置及尺寸, 首先需要初步判断事故严重程度, 并分析其对后续使用功能的影响程度; 其次在后续可控的情况下, 按照以往修补经验制定返修方案, 同时需要对返修方案中的零部件进行有限元强度分析; 当有限元分析通过时, 允许按照返修方案进行返修处理, 当有限元分析未通过时, 需要进一步调整返修方案, 直到通过为止。

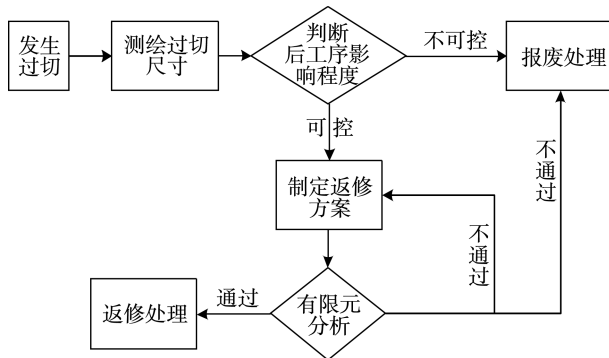


图1 铝合金车体机加工过切返修方案制定流程

2 返修工艺方案分析

过切是机加工中的常见异常现象, 程序错误、机床操作失误、加工参数不匹配或工件装夹不到位等都可能引起过切事故。铝合金车体零部件过切后, 常用的返修方案分为焊接式与非焊接式两种。

焊接式过切返修是使用焊接的方法来还原零部件的外形尺寸, 恢复过切部位的使用功能, 使之不影响后续工序的使用要求。焊接式返修的风险是焊接本身可能造成的缺陷(常用的6系铝合金焊补只能进行两次, 超过两次会造成零部件的报废)。

由表1所示的铝合金车体结构常用材料力学性能可以看出, 挤压型材的焊接热影响区强度下降是巨大的, 仅有母材的50%左右。

非焊接式过切返修常用的方法有打胶、铆接及打磨等方法。打胶多用在孔的封堵,即仅需要密封作用,不需要强度上的修补;铆接多用在C型槽过切情况下的功能修补;打磨是对过切部位上锐棱或尖角的处理,使之圆滑过渡,以消除工件本身内应力,

多用在型材撕裂、母材深度过切的情况下。非焊接式返修虽没有焊接修补所产生的风险,但在一定程度上改变了工件结构。当过切异常对产品本身强度有较大影响时,即有限元分析较为危险或不通过情况下,就须选择焊接修补方法。

表1 铝合金车体常用材料的力学性能

铝合金型号	状态	材料形式	厚度/mm	规定非比例延伸强度/MPa	
				母材	焊接热影响区
5083	H111	板材	•≤50.0	125	125
			50.0< • ≤80.0	115	115
		开口挤压型材	• ≤5.0	225	115
5.0< • ≤10.0	215		115		
6005A	T6		10.0< • ≤25.0	200	115
		中空挤压型材	• ≤5.0	215	115
			5.0< • ≤10.0	200	115
6082	T6		板材	• ≤6.0	260
		6.0< • ≤12.5		255	125
		挤压型材	• ≤5.0	250	125
			5.0< • ≤1.5	260	125

在不影响工件的功能性,且产品性能也能够满足设计要求的前提下,优先使用非焊接式修补。其操作简单、风险性小,且修补部位的结构性能下降可能小于材料因焊接造成的母材强度下降。以铝合金车体底架地板为例,其断面结构为中空铝型材,材料6005A,状态T6,由表1可知其最小屈服强度为215 MPa,而相应焊接热影响区为115 MPa。

通过SolidWorks软件进行铝合金车体工件返修的静应力分析对比。固定工件一端并在另一端施加300 000 N的外部载荷,得出的应力云图如图2所示。由图2 a)可见,铝合金车体底架地板无焊补情况下,最大应力为93 MPa;由图2 b)可见,地板中部有一个 $\Phi 50$ mm过切通孔,并在型材两侧焊补圆板(内部筋无法修补),则最大应力为114 MPa,但工件的焊补热影响区屈服应力降为115 MPa;由图2 c)可见,地板中部有一个 $\Phi 50$ mm过切通孔,不进行焊补,则最大应力为204 MPa,无焊接热影响区,母材屈服力215 MPa。通过上述对比发现,圆孔焊补后强度增强并不明显,不管是否焊补工件静应力均小于母材最小屈服强度,满足要求。当然,过切的程度直接影响有限元计算结果,因此方案只有在强度和功能都满足的情况下才能通过。强度功能都符合的前提下,优先选择非焊接的方式。

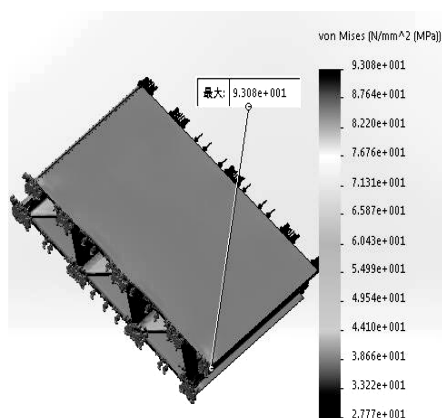
3 案例分析

以下案例为铝合金车体加工中常见的过切现象,现通过有限元分析确定返修解决方案。因有限元分析与过切部位及过切尺寸息息相关,不具备通用性,故不在此说明计算过程。一般来说,应避免对车体应力集中区的修补,例如门角、窗角及牵枕缓组焊位置等。

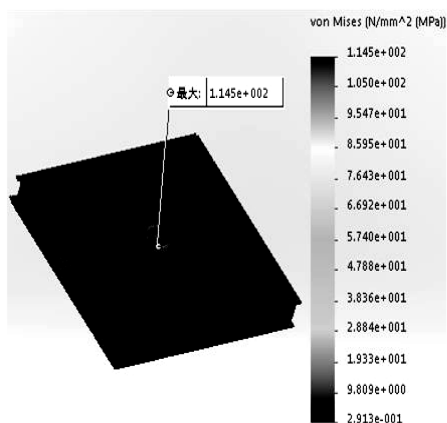
3.1 案例1:侧墙窗框过切的修补

如图3 a)所示,窗框在铣削加工过程中,工艺要求窗框边加工后为直线,现场发生过切,形成一道折线,最大过切尺寸宽19 mm、长800 mm。该处为窗户玻璃打胶附着位置,过切尺寸过大,因此必须进行焊接修补恢复其功能。

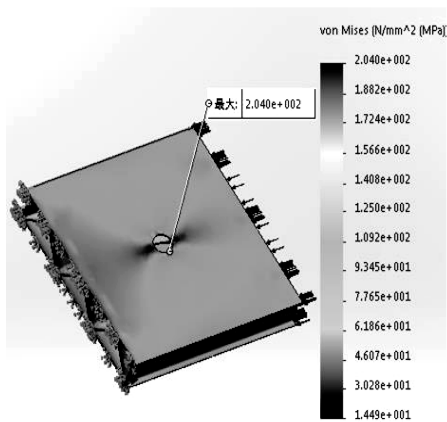
处理方案:①使用设备将侧墙过切位置加工成为800 mm×19 mm的矩形缺口,如图3 b)所示;②准备800 mm×50 mm的铝板,要求与母材厚度及材质相同,宽度尽可能大(可减少因焊接热输入产生的变形量);③采取如图3 c)所示的焊接接头,使用可移除垫板按照既定焊接工艺规程(WPS)施焊,要求全熔透,焊接后如图3 d)所示;④移除焊接垫板、打磨焊缝余高后,对焊缝正反两面进行PT检测;⑤检测合格后,使用工具切除多余废料,最终效果如图3 e)所示。



a) 地板无过切应力云图



b) 地板焊补后应力云图



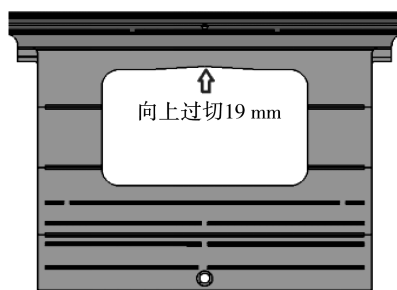
c) 地板无焊补应力云图

图2 铝合金车体地板过切修补前后静应力分析

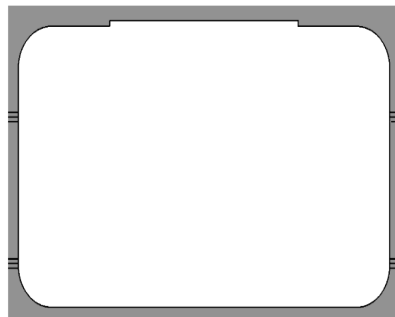
3.2 案例2:底架边梁圆孔封堵

如图4 a)所示,底架边梁圆孔尺寸错误,导致多加工了 $4 \times \Phi 10.5$ mm圆孔。

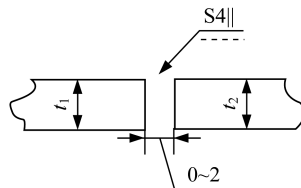
处理方案:该处位置因无功能要求,保证边梁密封性即可,故可选择非焊接方式修补。使用铝修补剂对该组孔直接进行封堵即可,如图4 b)所示。



a) 焊补前形状

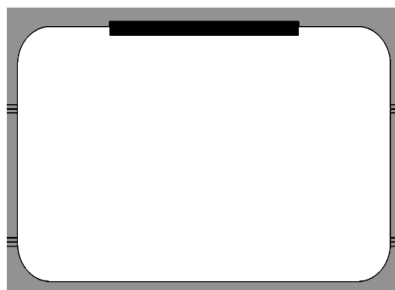


b) 焊补前加工



板厚: $t_1=4$ mm, $t_2=4$ mm;
覆盖范围: $t_1=2\sim 6$ mm, $t_2=2\sim 6$ mm;
可移除垫板。

c) 焊接接头

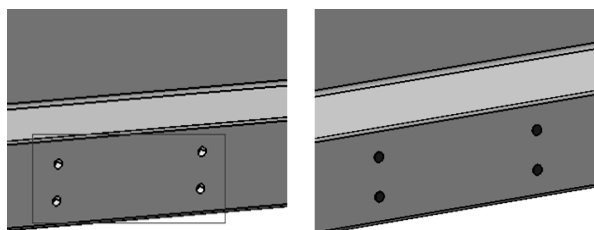


d) 焊补后形状



e) 焊补加工后

图3 窗框上部筋板过切修补过程



a) 修补前

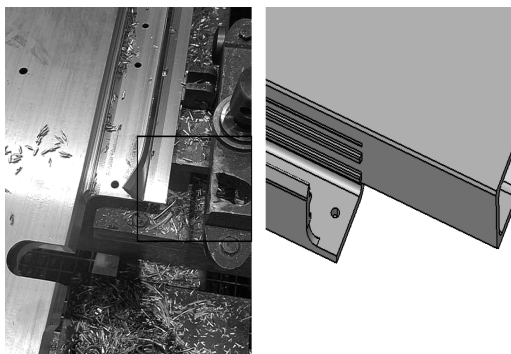
b) 修补后

图4 底架边梁圆孔的封堵

3.3 案例3:立筋打弯的修补

立柱上立筋打弯撕裂,对母材产生了过切,如图5 a)所示。

处理方案:通过对后续工艺的判断,该筋切除后不影响后序窗立柱安装,故使用设备切除撕裂筋部并打磨光滑,底部圆角过度,并保证无锐棱和尖角现象,如图5 b)所示。



a) 修补前

b) 修补后

图5 立柱打弯撕裂的修补

3.4 案例4:C型槽过切的修补

底板正装C型筋加工尺寸与图纸不符,存在过切问题,如图6所示。

处理方案:该处为总装橡胶条安装座,因现场无动火条件,故改用铆接C型槽,在安装座位置开孔并铆接C型槽即可。铆接要求C型槽与原有C型筋对中重合。

3.5 案例5:深度过切的修补

底架边梁端部立筋加工时,因型材变形导致端部形成300mm×32mm的过切,最大深度为1mm,如图7 a)所示。

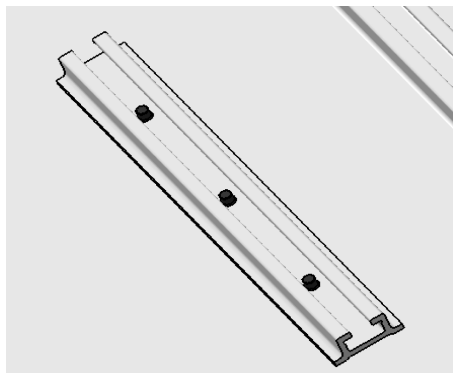
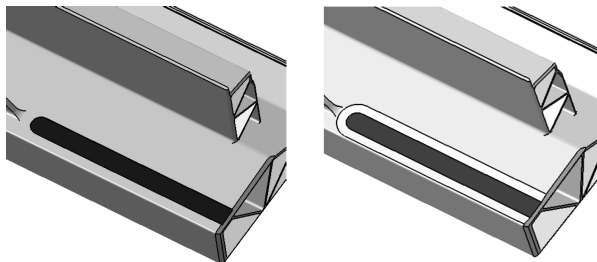


图6 地板C型槽过切的修补

处理方案:因来料变形的原因,该种过切是加工中最常见的,其修补工艺分为两种情况:当有限元分析通过的情况下,使用砂轮机打磨光滑,消除锐棱和尖角即可,如图7 b)所示;当有限元分析不通过情况下,则需挖除过切材料,进行补焊或直接进行堆焊,以保证强度。



a) 修补前

b) 修补后

图7 底架边梁深度过切的修补

4 结语

本文给出了轨道具体车辆铝合金车体零部件加工过切的返修流程及一些具体修补方法。返修工艺原则上应遵循优先使用非焊接工艺(打胶、铆接、打磨等),慎重使用焊接工艺。

参考文献

- [1] 何广忠,刘长青. 动车组铝合金车体材料的发展与选型分析[J]. 焊接,2015(01):13.
- [2] 陶富文,崔云龙. 6082铝合金三次焊接修补后的疲劳性能研究[J]. 电焊机,2014(07):104.

(收稿日期:2019-07-10)