

铝合金车体零部件加工变形分析及其解决方案

韩如冰 刘凯 刘俊 徐敏

(中车南京浦镇车辆有限公司技术工程部, 210036, 南京//第一作者, 助理工程师)

摘要 为降低轨道交通车辆铝合金车体结构及零部件在加工过程中的变形缺陷, 对其变形情况及产生原因进行了分析, 提出了自动寻边法、工装保证法、试切法及加工余量法等4种变形缺陷解决方案。以底架边梁门框和侧墙门框的加工为例, 对4种解决方案进行了实例对比分析。结果显示, 所提的4种方案分别适用于不同的结构及零部件加工过程。

关键词 铝合金车体; 零部件变形; 零部件加工

中图分类号 U270.6⁺4; U270.32

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.04.007

Processing Deformation Analysis of Aluminum Alloy Car-body Parts and Solutions

HAN Rubing, LIU Kai, LIU Jun, XU Min

Abstract To reduce the deformation defects of rail transit aluminum alloy car-body structure and car-body parts during processing, the deformation mechanism and causes are analyzed. At the same time, 4 solutions for different deformations including automatic edge finding method, tooling guarantee method, trial cutting method and machining allowance method are proposed, which are compared and analyzed based on the actual processing of the underframe beam and the side wall window frame. The results show that the proposed 4 solutions are suitable for different vehicle structures and parts processing respectively.

Key words aluminum alloy car-body; deformation of parts; parts processing

Author's address CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

轨道交通车辆铝合金车体的机械加工过程中, 车体型材、焊接、加工工艺等方面的缺陷会对加工精度和加工效率造成不利的影响。为此, 本文针对铝合金车体在机械加工过程中如何提高加工精度和加工效率进行分析研究。

1 铝合金车体的组成

如图1所示, 铝合金车体主要由地板、侧墙、底

架边梁、车顶边梁、平顶、圆顶等结构及零部件组成。这些结构或零部件均是通过加工中心对原型材进行加工而成。如车体侧墙即采用开口挤压型材加工而成的(见图2)。

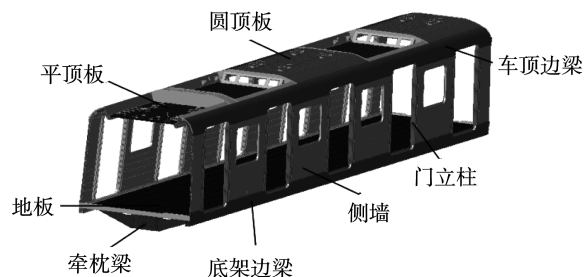


图1 铝合金车体结构示意图

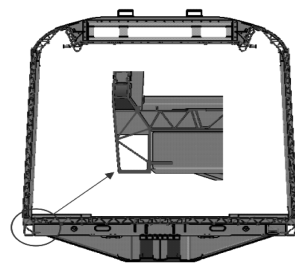


图2 铝合金车体端面图

2 车体零部件变形种类及其原因

2.1 型材在挤压成形过程中产生的变形

铝合金型材在挤压过程中产生的缺陷主要分为表面缺陷、形位尺寸缺陷及内部组织缺陷等3类, 其中形位尺寸缺陷对车体的加工影响最大。

形位尺寸缺陷主要表现为尺寸不合格、平面弯曲与扭拧、型材旁弯等现象, 是影响车体零部件机械加工的主要不利因素。引起该类缺陷的主要原因是: ① 型材在挤压成型过程中, 力偶型金属流速不均形成扭拧; ② 模具设计不良, 槽孔工作带宽度分配不合理; ③ 加工精度低, 导致平面度和轮廓度受到影响。

为保证车体的加工精度和加工效率, 不同零部

件所主要考虑的影响因素也有所不同。如门立柱和司机室小边梁长度尺寸相对较小,主要考虑扭转度;地板、平顶板、圆顶板、侧墙主要考虑平面度或轮廓度;车顶边梁和底架边梁主要考虑型材旁弯和直线度。

2.2 焊接所引起的变形

地板、侧墙、圆顶和平顶等构件均是由若干小模块材料组成,进行机械加工之前需通过焊接将若干小模块材料拼接成一个大的构件。在焊接过程中,焊接产生的变形是不可避免的^[2-5],这在长形构件或大平面构件上表现尤为明显,会对构件的轮廓度和平面度产生较大的影响。图3所示为侧墙焊缝实物图,图4为因焊缝引起侧墙变形示意图。由图可见,工件在焊接时会产生沿焊缝垂直方向上的收缩变形和两端或四周翘起的挠曲变形,而挠曲变形对机加工影响较大,需在加工时尽可能给予消除。

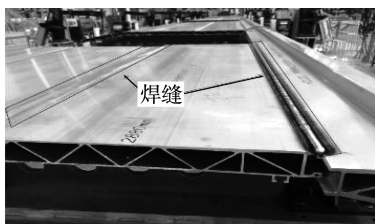


图3 侧墙焊缝实景

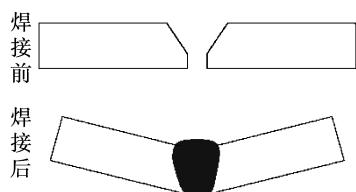


图4 侧墙焊接变形示意图

2.3 产品技术要求的变形

车辆制造过程中,考虑到车体自重及载重会对车体造成下挠的影响,一般都会在生产加工过程中增加预置挠度(上挠),目的是使其在承受垂向载荷时趋于水平并防止下挠,以确保车辆具有更好的使用性能^[6-9]。

车体预置挠度是加强车辆强度的重要手段,其中侧墙和地板是需要预置挠度的核心部件。技术上,要求侧墙和地板在机加工前预置一定的挠度,但预置挠度会对机加工构成一定的影响,因此,需要在机加工时采取相应的措施来降低其对加工精度的影响。

3 型材变形的解决方案

铝合金型材所产生的变形机加工过程中有可能造成过切事故。为此,为保证加工精度和提高加工效率,本文根据现有的车辆制造加工环境,针对不同变形情况提出了自动寻边法、工装保证法、试切法及加工余量法等4种解决方案,每种方案均有其特点和适用范围。

3.1 自动寻边法

自动寻边法是利用数控机床的自动探头自动获取工件表面呈一定分布的位置点 Z/Y 方向的高度值(见图5),存储于计算机中,然后在加工过程中根据获取的高度值对工件平面 Z/Y 方向的加工数据进行自动补偿的一种方法。自动寻边法的目的是减少 Z/Y 方向的加工误差,防止过切。

自动寻边法通常应用于大部件的加工,如侧墙和地板等的加工。大部件最易产生平面度和轮廓度方面的变形,这会直接影响侧墙和地板上大筋、C型槽及孔的加工精度,利用自动寻边法则可较好地解决这类变形问题。

自动寻边法的优点是:① 保证大面积的加工精度,减少人工打磨量;② 可以 X 和 Y 方向的探点值作为定位基准,提高了盲孔和通孔的加工精度。自动寻边法的缺点是:① 加工过程中需要及时清理加工碎屑;② 不能消除型材本身或焊接所引起的变形;③ 耗时较长。

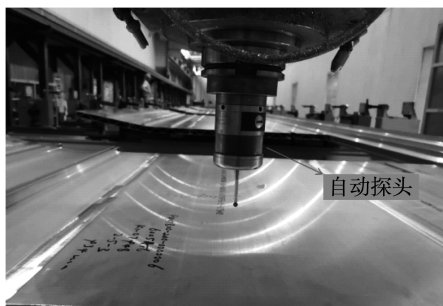


图5 数控机床自动探头进行侧墙探点

3.2 工装保证法

工装保证法是通过工装对工件进行夹装的同时利用其夹紧力和定位装置对工件存在的变形进行校正的一种方法。加工中心的工装具有很高的装夹精度和锁死功能,可以确保工装保证法所需的技术要求。

工装保证法适合于侧墙立柱、司机室小边梁及横梁等车体小部件的加工。地板、底架边梁等长度在22

m左右的大部件加工时,采用的工装呈间隔分布,数量一般为8~10组,组与组之间的最大间距可达3 m左右,因此无法采用工装保证法进行变形校正,如图6所示。

工装保证法的优点是:①适用于尺寸较小且加工量较少的零部件;②对小部件存在的缺陷可进行一定程度的校正;③可通过工装对工件的夹紧和锁死来提高和保证加工精度。工装保证法的缺点是:①无法对大部件存在的变形进行校正;②对大部件的加工精度提升无明显作用。

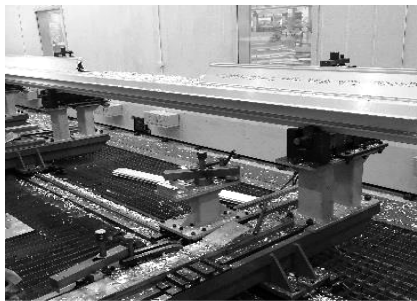


图6 底架边梁的工装夹装现场

3.3 试切法

试切法是针对需加工的零部件采用多次逐步切削,直至满足加工要求的一种方法。一些车体零部件的某些部位加工精度要求高,不易加工,而且由于存在变形缺陷更增加了加工难度。如底架边梁及车顶边梁门框的加工,不仅探点困难且具有很高的精度要求。针对这类情况,仅仅依靠工装和正常加工方法无法保证加工精度,但采用试切法可以较好地解决这类问题。如在加工门框等类似部位时,不采用一次下刀加工至要求位置,而是分多次进刀切削,即渐进式的逼近要求的加工位置,直到完成最终的加工。图7为利用试切法对底架边梁门框的加工现场。

试切法的优点是:①适合经验丰富的机床操作人员,不仅可快速完成加工还能保证加工精度要求;②操作方便,无需清理切屑。试切法的缺点是:①比较依赖个人经验,相对耗时;②不适用于地板或侧墙等需要大面积加工的零件。

3.4 加工余量法

加工余量法是采取实际加工尺寸小于理论加工尺寸,即留有一定加工余量的一种方法。为了方便零件装配,除了孔和槽的实际加工尺寸比理论加工尺寸大0~0.5 mm而不采用加工余量法外,其余车体零部件的加工,尤其是C型筋、形腔筋、端面铣削等的加工,因其实际加工尺寸均比理论尺寸小,故均可采用

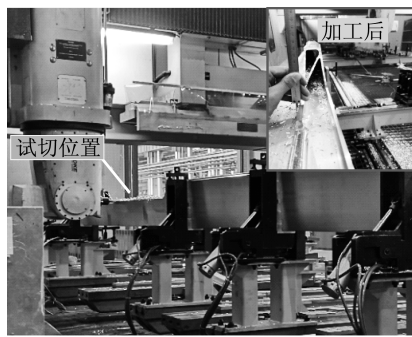


图7 底架边梁门框加工现场

加工余量法进行加工。加工余量法的目的是避免由型材本身或焊接等变形对加工精度产生的影响,同时也防止过切。图8为利用加工余量法对侧墙窗框的加工实景。

加工余量法的优点是:①可提高加工效率,缓解产能不足;②适合加工角度不好或难以加工的部位。加工余量法的缺点是:①不适用于加工精度要求高的部位;②增加人工打磨成本。

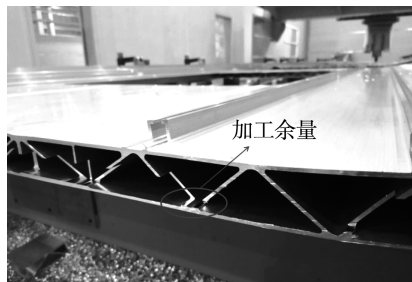


图8 加工余量法对侧墙窗框的加工现场

4 加工效果对比分析

采用不同的加工方法对同一工件进行加工,其效果存在差异。现以底架边梁门框和侧墙门窗框加工为例,进行加工方法对比分析。

4.1 底架边梁门框

底架边梁门框的加工精度主要受旁弯和直线度的影响,技术上要求门框的加工精度需在0.5 mm之内。将前述的4种方法用于底架边梁门框的加工,其加工效果分析比较如下。

1) 采用自动探点法时,首先需要对门框进行粗铣,其次进行探点,随后进行精铣完成最终的加工。在粗铣之后,加工位置上存在大量的加工碎屑,需清理后再进行探点,导致加工效率降低。

2) 采用工装保证法时,因其工件较大不易通过工装来提高加工精度,同时工装本身也不能对加工效率产生影响,故不予考虑。

3) 采用加工余量法时,会造成打磨时间长、影响外观及人工成本增加的影响。

4) 采用试切法时,熟练的机床操作人员可快速确定加工位置和尺寸,只需试切2~3次即可完成加工并满足加工精度要求。采用该方法同时还具有无需清理切屑、无需探点、无需打磨及耗时短等优点,因此该方法更适合于门框的加工。

表1为4种方法加工同一批底架边梁的数据对比(车型为A型5门4窗,长度约23 m)。由表1可知,当对一组底架(2个)边梁所有窗户进行加工时,采用试切法所需的时间最短并可保证加工精度,且在后续打磨过程中投入的成本也相对较低。

表1 底架边梁门框不同加工方法数据对比

加工方法	加工余量/mm	加工时间/min
自动寻边法	0~1	19
工装保证法		
试切法	0~1.2	14
加工余量法	0~1.2	17

4.2 侧墙门窗框

侧墙门窗框的主要加工内容是铣削门框和窗框,其加工精度主要受平面度的影响。如图9所示,侧墙在工装台位上为正装放置,在粗铣出窗口后还需利用T型刀对下表面以及形腔筋进行铣削。考虑到加工精度和加工效率,加工余量法是最适合侧墙门窗框加工方法,其加工效果分析比较如下。



图9 侧墙门窗框加工现场

1) 不适用于自动寻边法时,因为加工位置在工件的下表面,利用自动探头无法对下表面进行探点,导致加工时无法进行数据补偿。

2) 采用工装保证法时,只能对工件外表面进行固定夹紧,无法对形腔筋的加工提供有效措施,因此不予考虑。

3) 采用试切法时,虽然可对工件下表面和形腔筋进行加工,但因存在多次切削、耗费时间较长、加工效率较低等缺点,因此也不是保证加工精度的首选

方法。

4) 采用加工余量法时,不仅可以保证加工精度,且具有较高的加工效率。加工时只需在Z方向上留有一定的余量,确保不会伤及母材即可。加工完成后,将其调至打磨工位,利用人工打磨完成余量加工。

表2为采用不同方法所得到的加工精度和加工效率数据对比。由表2可知:由于加工部位受到遮挡,采用自动寻边法和工装保证法不能对其加工效率产生较大的影响;采用试切法虽然可以满足加工要求,但相对耗时;采用加工余量法时所得加工精度虽然与试切法精度相当,打磨量基本相同,但加工时间所用较少。综合比较得知,采用加工余量法对侧墙上的门框进行加工是最为合适的。

表2 侧墙门窗框不同加工方法数据对比

加工方法	加工余量/mm	加工时间/min
自动寻边法		
工装保证法		
试切法	0~2	18
加工余量法	0~3	12

5 结语

本文主要从型材和加工角度对铝合金车体零部件的加工进行分析研究,通过对轨道交通车辆铝合金车体零部件变形的种类和原因分析,结合实际加工经验,针对不同的零部件和不同的变形缺陷提出了可提高和保证零件加工精度的加工方案。

参考文献

- [1] 赵丽玲, 葛少平, 唐衡彬, 等. 高速动车组端端焊接变形控制[J]. 电焊机, 2018, 48(3): 344.
- [2] 王善俊, 薛俊伟, 闫学良, 等. 低地板有轨电车BM底架挠度控制及解决措施[J]. 轨道交通装备与技术, 2018(3):37.
- [3] 田伟荣, 姜明. 机车车体架挠度控制工艺研究[J]. 机车车辆工艺, 2006(5):44.
- [4] 姚杞, 黄海旭, 黄剑. 有轨电车不锈钢顶盖挠度控制工艺研究[J]. 技术与市场, 2018, 25(3):36.
- [5] 岳彦虎. 铝合金城轨车辆车体挠度控制工艺方法[J]. 工程技术(文摘版), 2017(3):00099.
- [6] 孙伟, 郭平波, 贺小龙. 基于工作变形的车体模态振型分解技术研究[J]. 机械, 2015, 42(8):5.
- [7] 王长生, 薛小怀, 楼松年, 等. 薄板焊接变形的影响因素及控制[J]. 焊接技术, 2005, 34(4):66.
- [8] 朱江. 焊接变形的控制和预防[J]. 电焊机, 2009, 39(8): 90.
- [9] 董涛, 李兴春. 焊接变形的控制方法[J]. 现代制造技术与装备, 2007(2):15.

(收稿日期:2019-08-02)