

客车车身焊装工艺问题及优化

黄斐荣, 宋海泉, 胡玲, 胡理, 赵猛

(比亚迪汽车工业有限公司, 广东深圳 518118)

摘要:针对客车制程中目前车身焊装工艺存在的问题, 深入分析骨架焊接变形和蒙皮平整度差的原因, 并提出优化措施。

关键词:客车车身; 焊装; 焊接变形; 蒙皮平整度

中图分类号: U466

文献标志码: A

文章编号: 1006-3331(2023)05-0059-04

Problems and Optimization of Bus Body Welding and Assembling Processes

HUANG Feirong, SONG Haiquan, HU Ling, HU Li, ZHAO Meng

(BYD Auto Co., Ltd., Shenzhen 518118, China)

Abstract: Aiming to the current problems existing in the body welding and assembling technologies during bus manufacturing processes, the authors deeply analyze the reasons for the framework welding deformation and the poor skin flatness, and propose the optimization measures.

Key words: bus body; welding and assembling; welding deformation; skin flatness

客车车身作为整车的重要组成部分, 不仅承担着支撑内外饰件和承载载荷的功能, 还对整车的性能和品质有重要影响。根据承载形式的不同, 客车车身可分为全承载式、半承载式和非承载式结构^[1]。为实现主动减重和提高被动安全性, 目前国内外中大型客车(车身长度超过7 m)普遍采用全承载式车身结构^[2]。全承载式车身结构通过焊装工艺实现, 主要包括骨架合装、蒙皮固定等工序, 焊装工艺的水平直接影响到客车的整体质量。本文分析客车车身焊装工艺目前存在的问题, 并提出优化措施。

1 客车车身焊装工艺

1.1 客车骨架合装工艺

客车骨架合装是通过将客车车身骨架六大片合拢并主要通过焊接技术连接来完成。目前, 客车车身骨架合装采用具有三维可调式定位夹紧装置的立体合拢技术。合装自动化在提升客车车身质量稳定性, 保证客车制造的专业化水平方面发挥着重要作用。

国内大多客车生产企业的钢车身骨架的焊接采用MAG焊, 而全铝车身骨架采用MIG焊, 并配置鹅颈焊枪等工具进行焊接作业。骨架焊接作业的关键是尽量控制车身结构焊接质量, 避免在焊接部位形成焊接缺陷。

1.2 客车蒙皮固定工艺

蒙皮与车身骨架的固定方式有焊接、铆接和粘接。焊接工艺生产效率高, 但常会导致蒙皮变形而产生波浪纹; 铆接工艺成本低, 但操作繁琐, 生产效率低, 还会在蒙皮表面留下铆接头, 增加涂装作业的难度; 粘接工艺让蒙皮具有减震、降噪的优点, 可保证蒙皮平整度, 但由于蒙皮与车身骨架易发生剪切问题, 蒙皮的直线度相对较难控制, 而且由于目前使用的聚氨酯弹性胶的固化时间长(一般为24~48 h), 生产效率偏低。

为了降低高空作业的难度和风险, 顶围蒙皮采用低位作业方式与顶围骨架总成固定。侧围蒙皮为保证整体的平整度, 通常采用先涨拉、再通过焊接或铆

收稿日期: 2023-06-21。

第一作者: 黄斐荣(1989—), 男, 博士; 助理工程师; 主要从事金属材料热变形机制及控制技术的研究工作。E-mail: hfeirm101006@163.com。

接的方式固定在侧围骨架上。涨拉可分为冷涨拉和热涨拉,目前国内大型客车厂大都采用冷涨拉工艺^[3]。冷涨拉工艺使用涨拉机对蒙皮进行拉伸,通过调整涨拉力的大小来达到控制蒙皮直线度的目的,这种工艺不需要加热,具有节能环保和效率高的优点。

2 客车车身焊装工艺存在的问题及优化方法

2.1 车身骨架焊接变形

2.1.1 车身骨架焊接变形原因分析

客车车身骨架焊接变形的原因主要有装配间隙引起的焊接变形、工装定位拘束引起的焊接变形和焊接工艺设计和操作引起的焊接变形。

1) 装配间隙过大引起焊接变形。为了获得良好的焊接接头,在客车车身骨架焊接过程中,工件与工件之间的装配间隙一般要求在 1.5 mm 以下。如果间隙过大,不仅施焊困难,而且会因固态金属对熔化金属的表面张力不足而导致熔池脱落,产生焊穿等焊接缺陷^[4]。同时,装配间隙对焊接的工作量和热输入量影响很大,间隙越大焊接所需的时间就越长,工件的热输入量也越大,焊接变形也越严重^[5]。

2) 工装定位拘束不良引起焊接变形。如果工装定位装置刚性不好或夹持位置不合适,工件将承受局部外载而发生拘束不良,弹性变形将留在车架结构中,当温度恢复到原始状态或局部外载被去除后,弱变形会释放出来,导致焊接变形。

3) 焊接工艺设计和操作不当引起焊接变形。车架总成焊缝较长,且分布密集,因此焊接顺序和焊缝分布对焊接质量有很大影响。当焊接顺序不当或焊缝布置不对称时,不仅会产生收缩变形,而且会产生弯曲变形。特别在焊缝截面重心偏离接头截面重心时,还会产生角变形。此外,焊接电流过大和焊接速度过慢也会造成焊接变形加剧,因为这些情况都会增大焊接热输入量,扩大焊接熔区,导致大的焊接变形^[6]。焊接工艺设计和操作不当导致骨架产生焊接变形,形变的积累使得车架总成的尺寸精度超出允许的公差尺寸,从而影响了整车的质量和品质。

2.1.2 车身骨架焊接变形的控制方法

1) 优化焊接工艺参数和流程。为了控制焊接变形的风险,需要合理设置焊接顺序和参数。将车架总

成焊缝分成几个分总成分别焊接,然后再进行总装焊接,使不对称的或收缩力较大的焊缝自由收缩。同时,尽可能让焊缝对称或靠近截面中心轴,以减少结构总体的弯曲变形。焊缝横向收缩量比纵向收缩量大,因此应将焊缝布置在平行于要求焊接变形小的方向。为减小热量的集中输入,长焊缝应采用分段退焊或分段跳焊法。此外,应尽可能减少焊缝数量,避免焊缝过分集中或焊缝垂直交叉。同时,在保证结构有足够承载能力的前提下,应尽量减小焊缝尺寸。对于受力较小的 T 型焊接接头,应选取最小的焊缝尺寸;对于受力较大的 T 型接头或十字接头,应采用开坡口角焊缝来减小焊接变形^[7]。

2) 采用反变形和刚性固定方法。反变形法是控制焊接变形的一种有效方法,在组合点焊时给予一个相反方向的变形来抵消焊接变形。焊接变形受多种因素影响,尽管焊接手册可查到标准反变形量,但实际反变形量仍需通过试验来确定^[8]。当不便采用反变形时,可采用刚性固定法来控制焊接变形。刚性固定是利用外加刚性拘束来减小焊件焊后变形的目的。在车架生产中,通常使用焊接夹具定位和紧固,当加固位置合适时,装夹刚度越大,焊接残余应力越小,焊接变形量也越小^[9]。

3) 采用自动化焊接技术。在车身骨架合装中应用自动化焊接技术不仅可以提升操作效率和质量,还可以减少由于人为操作不当导致的焊接变形。为了满足高纲领、高节拍、高柔性的客车车身焊装生产需求,以及客车行业多品种、小批量、定制化的订单生产模式,解决客车焊装总成的柔性制造和自动化混流生产尤为重要。客车焊装柔性制造系统的建成将推动客车企业由劳动密集型向柔性化、自动化、智能化转型。凭借自动化焊接控制系统,可更好地进行焊接工艺选择、焊接参数设置和焊接过程控制,同时借助同步工程^[10]评审,有效减小焊接变形和保证焊接质量。同步工程评审可在设计层面对焊接结构和工艺进行分析和评估,预测焊接过程中可能发生的应力集中和焊接变形情况,并根据材料、结构和工艺情况给出优

化方案。国内某公司率先开发了焊装柔性制造系统, 其中机器人+激光扫描系统的应用, 实现了焊缝状态自动识别, 焊接参数智能选择, 焊缝轨迹自动差补, 在提升焊接设备的容差性能和保证焊接质量上发挥了重要作用。同时, 冷弧焊、脉冲焊、多层多道焊等焊接方法的综合应用, 有效地解决了客车骨架结构焊缝间隙不均匀、焊接余高偏差大等问题。

2.2 车身外围蒙皮平整度差

2.2.1 车身外围蒙皮平整度差的原因分析

外围蒙皮采用薄板件制成, 刚度较低且难以抵抗外部热和力的冲击作用, 因此外围蒙皮平整度差是当前客车生产过程中最为普遍的问题, 主要表现为以下两个方面:

1) 侧围蒙皮鼓包现象。大范围的鼓包主要与蒙皮涨拉不充分有关, 尤其在采用一次冷涨拉工艺时较为常见。蒙皮冷涨拉时, 其一端与骨架固定, 但骨架自身的刚度有限, 实际允许的涨拉力较小, 导致蒙皮涨拉不够充分。当侧围蒙皮是部分贴合和固定在车身骨架上时, 其整体约束性较差, 在外部冲击和车身振动过程中出现局部鼓包现象。

2) 外围蒙皮边缘波浪纹。电弧焊的热影响区域较大, 在采用该方法固定外围蒙皮时, 焊点位置会出现焊接变形, 导致外围蒙皮边缘出现波浪纹。由于蒙皮是薄板材料(厚度为0.8~2 mm), 采用电弧焊存在失稳变形的风险, 焊点位置出现波浪变形。波浪变形是一种压曲变形, 由于焊缝产生的压应力使板材边缘失稳, 发生纵横收缩, 从而形成多重弯曲变形, 通常发生在焊接构件的边缘上^[11]。波浪变形的程度与板材厚度直接相关, 随着板材厚度的减小, 波浪变形加剧。此外, 由于焊接位置处的焊接残余应力集中, 如果这些残余应力在后续的热作用过程(如电泳烘烤过程)中被释放出来, 将导致更为复杂的变形^[12]。

2.2.2 车身外围蒙皮平整度改善方法

1) 优化侧围蒙皮涨拉工艺。在客车焊装工艺中, 侧围蒙皮的涨拉是一个重要的环节, 但是一次冷涨拉往往无法实现完美的涨紧状态。为此, 可以采用二次冷涨拉进行优化。具体而言, 首先将蒙皮用定位夹固定, 对蒙皮进行一次涨拉, 要求超过其屈服极限, 产生一定的塑性变形, 然后将蒙皮一端与立柱塞焊固

定, 一端紧固到涨拉机上进行二次涨拉, 涨拉完后再将蒙皮与骨架焊接固定。经过两次冷涨拉后, 蒙皮发生了“形变强化”^[13-14], 其屈服极限提高, 抵抗变形的能力也增强。

2) 优化外围蒙皮的安装工艺。在外围蒙皮的安装过程中, 电弧焊产生不可忽略的热影响, 会导致焊接变形。为了改善外围蒙皮平整度, 可从安装工艺方面考虑采取以下几种方法: 一是使用热影响较小的电阻点焊或激光焊来代替电弧焊, 由于这两种焊接方法的热输入量较小, 可有效减小焊接变形^[15]。还可以采用工装对焊接头进行加持固定, 使待焊处蒙皮内外侧均受压应力, 避免预紧力过大造成的修配翘曲, 同时通过控制反变形量、夹紧力、过盈量来获得最佳加紧状态, 以及通过采用合适的涨拉量获得最佳拉紧状态, 有效消除由于蒙皮受热软化、屈服强度下降而导致的压痕缺陷和波浪纹^[16-17]。二是使用双组份聚氨酯胶粘接+边缘分段铆钉工艺。采用铆钉+粘接工艺可以避免蒙皮边缘焊接变形, 同时解决了粘接工艺效率低的问题^[18]。由于新材料和新技术的发展和广泛应用, 现在客车车身覆盖件已大量使用铝合金材料和玻璃钢复合材料。因此, 粘接工艺将是未来蒙皮固定的主流方法, 研究蒙皮粘接工艺将成为焊装工艺前沿技术的重要方向。

3 结束语

本文针对目前客车制造过程中焊装工艺存在的问题, 从工艺和技术层面, 深入分析和讨论了骨架焊接变形和蒙皮平整度差的原因, 并基于焊接变形控制最新研究成果和客车焊装技术进展, 提出了优化措施, 为分析和解决在客车焊装工艺中出现的类似问题提供理论支持和借鉴, 并为进一步提升焊装工艺水平、保证客车车身质量提供了创新思路和方案。

参考文献:

- [1] 黄天泽, 黄金陵. 汽车车身结构与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 5-8.
- [2] 程柯, 李军, 王聪. 刚性固定法焊接工字形钢梁的焊接变形控制[J]. 青岛理工大学学报, 2022, 43(2): 37-43.
- [3] 陈晨. 客车侧围蒙皮涨拉工艺简析[J]. 商用汽车, 2008

- (9):48-49.
- [4] MOINUDDIN Q S, HAMEED S S, DEWANGAN K A, et al. A study on weld defects classification in gas metal arc welding process using machine learning techniques[J]. *Materials Today: Proceedings*, 2021, 43: 623-628.
- [5] 杨春利,林三宝. 电弧焊基础[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003:71-75.
- [6] CASALINO G, HU S J, HOU W. Deformation prediction and quality evaluation of the gas metal arc welding butt weld[J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B -Journal of Engineering Manufacture*, 2003, 217(11): 1615-1622.
- [7] 那景新,幕文龙,袁正,等. 焊接工艺对客车骨架 T 形接头强度的影响[J]. *中国公路学报*,2018,31(1):137-142.
- [8] 彭斌,周平香,赵霞. 汽车车架焊接变形及控制方法[J]. *热加工工艺*,2011,40(7):164-165.
- [9] LIU Yong, WANG Ping, FANG Hongyuan, et al. Mitigation of residual stress and deformation induced by TIG welding in thin-walled pipes through external constraint[J]. *Journal of Materials Research and Technology*,2021(15):4636-4651.
- [10] PILKINGTON A,DYERSON R. Extending simultaneous engineering: Electric vehicle supply chains and new product development[J]. *International Journal of Technology Management*, 2002(23): 74-88.
- [11] 李占文,李树立. 焊接结构变形控制与矫正[M]. 北京:化学工业出版社,2008:214-215.
- [12] 吕治威. 浅谈客车电泳后侧围蒙皮质量的改善[J]. *企业技术开发*,2016,35(12):100-101.
- [13] GREBEN' KOV K S, SHATSOV A A, LARININ M D, et al. Strain hardening of low-carbon martensitic steels[J]. *The Physics of Metals and Metallography*, 2013(114): 868-876.
- [14] 吴江枫,许亮,刘其源,等. 1Cr18Mn18N 钢护环热成型工艺及冷变形强化[J]. *金属热处理*,2019,44(11):171-174.
- [15] JOU MIN. Real time monitoring weld quality of resistance spot welding for the fabrication of sheet metal assemblies [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, 132(1-3): 102-113.
- [16] 沈阳飞机工业(集团)有限公司. 薄壁蒙皮内置加强筋镜像激光焊接变形抑制方法:202210712191.9[P]. 2022-09-06.
- [17] HERU S, TRIYONO T, MUHAYAT N. Design and Application of The Stretching Technology on the Welding Process of Stiffened Sheet Metal Structure [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2014(493): 541-545.
- [18] 南京金龙客车制造有限公司. 一种铝合金车身侧围蒙皮粘接结构:201721288369.2[P]. 2018-05-29.

(上接第 58 页)

- [3] 韩利,陈忠,任文超,等. 全承载客车车架制作工艺方法[J]. *安徽科技*,2019(3):55-56.
- [4] 曹磊,郭旭红. 全承载纯电动公交车车架设计与分析[J]. *机械制造*,2018,56(2):12-14.
- [5] 孙苏华,张利. 全承载不锈钢客车车身制造工艺[J]. *安徽科技*,2010(4):43-44.
- [6] 冯朝明,周勇,郭帅. 不锈钢客车车体制造工艺深析[J]. *机电信息*,2019(20):79-80.
- [7] 吴自龙. 探讨客车不锈钢车身制造工艺[J]. *时代汽车*, 2021(5):125-126.
- [8] 郭士彬,宋鹏,孟繁祎. 轨道客车不锈钢车体焊接工艺分析[J]. *科技创新导报*,2021,18(8):72-74.
- [9] 王志超. 焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响及对策分析[J]. *中国科技期刊数据库工业版 A*,2021(4):37-39.
- [10] 马春辉,刘永超,孙泽新,等. 汽车车架焊接工艺和工装设计研究[J]. *产品可靠性报告*,2023(1):36-37.
- [11] 刘承. 客车生产制造工艺的研究与应用[J]. *汽车测试报告*,2021(20):35-36.
- [12] 陈丽丽. 轨道客车不锈钢车体焊接工艺[J]. *中文科技期刊数据库(全文版)工程技术*,2022(2):72-74.
- [13] 高建路. 客车底盘车架焊接结构分析及其精度工艺保证[J]. *客车技术与研究*,2008,30(2):53-55.