

先进焊接与连接

白车身顶盖激光钎焊焊缝装配尺寸控制方法研究

余魁¹, 朱亮², 陆磊², 柳玉起¹

(1. 华中科技大学 材料成形与模具技术国家重点实验室, 武汉 430074;
2. 东风汽车公司技术中心, 武汉 430058)

摘要: **目的** 研究白车身顶盖与侧围激光钎焊装配尺寸控制方法, 提高顶盖侧围激光钎焊焊缝装配精度, 降低激光焊缺陷率。**方法** 顶盖与侧围焊接配合形面由传统的面贴合设计更改为线贴合, 降低对车身焊接拼接精度的要求; 顶盖与侧围模具结构上采用整体整形及压料镶块提升零件的尺寸精度, 避免因镶块交接造成的翻边面缺陷而影响激光钎焊质量; 顶盖与侧围的成形焊夹具设计成 y 向浮动以及在激光焊夹具上设计 z 向夹紧功能, 来实现侧围与顶盖装配间隙的调整。**结果** 实际应用表明, 侧围与顶盖激光钎焊装配尺寸得到了有效控制, 满足激光钎焊的要求。**结论** 顶盖与侧围产品的设计优化、冲压模具工艺和结构的创新和优化以及焊装焊接夹具的柔性化适配功能, 可以有效保证白车身顶盖钎焊搭接部位尺寸精度。

关键词: 激光钎焊; 整体整形镶块; 浮动工装; 尺寸控制

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2019.04.019

中图分类号: U466 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2019)04-0140-07

Control Method of BIW Roof Laser Beam Braze Welding Joint Assembly Dimensional Accuracy

YU Kui¹, ZHU Liang², LU Lei², LIU Yu-qi¹

(1. State Key Laboratory of Materials Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Technical Center of Dongfeng Motor Corporation, Wuhan 430058, China)

ABSTRACT: The paper aims to research control methods for dimensional accuracy of laser beam braze welding for BIW roof and side panel to improve the assembly joint dimensional accuracy of side panel and roof for laser beam braze welding (LBBW) and decrease the defects of LBBW. First, the match mode of side panel and roof at the assembly joint was changed from surface match to line match to decrease the requirement on the welding assembly accuracy of body. Second, the integral restrike and pressing insert block were introduced to increase the dimensional accuracy of the parts to avoid the flange defect at the joint area of the inserts from affecting the LBBW quality. Thirdly, the y floating fixture and special z clamps were used at the roof forming station and the LBBW station to adjust the assembly clearance between side panel and roof. The practical application indicated that the assembly joint dimensional accuracy of the side panel and roof for LBBW was well controlled and the requirements on LBBW were met. Design optimization of roof and side panel product, innovation and optimization of DIE casting process and structure as well as the flexible self-adaption function of weld fixture, could effectively guarantee the LBBW dimensional accuracy of BIW.

KEY WORDS: laser beam braze welding; integral restrike and pressing insert block; flexible self-adaption weld fixture; dimensional control

收稿日期: 2019-04-24

作者简介: 余魁(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为轿车车身制造、车身尺寸工程。

激光钎焊因其功率密度高、焊接速度快、热变形小、焊缝强度普遍高于母材、易于实现远程焊接和自动化、生产效率高特点在汽车行业广泛应用^[1-5]，尤其在轿车车身顶盖与侧围焊接方面，激光钎焊正逐渐替代传统的点焊成为主流^[6-7]。

由于激光经过聚焦后光斑尺寸小，产生的焊缝窄，进行激光钎焊时要求激光束在工件焊缝上的位置不能有显著的偏移，否则容易造成焊接缺陷^[8-9]，因此，激光钎焊对焊接前工件的装配、定位质量要求非常高。对于白车身顶盖与侧围激光钎焊工艺而言，顶盖与侧围装配定位后的焊接表面不能有明显的棱线和凸起，同时整段焊缝配合间隙必须小于 0.3 mm 且均匀过渡。然而，冲压件焊接面的位置精度一般为 ± 0.5 mm，若按常规的点焊工艺来进行产品工艺设计，顶盖与侧围焊缝装配间隙将很难保证。

现有的文献中大都侧重于焊接设备、焊接技术参数等研究，而对于激光钎焊所要求的工件装配尺寸精度鲜有提及^[10-15]。

文中从顶盖侧围焊接断面设计、模具工艺和结构、焊接夹具柔性化适配等方面对白车身顶盖钎焊焊缝装配尺寸精度问题进行研究。

1 顶盖与侧围焊接部位断面结构设计

常见的激光钎焊焊接部位断面结构有搭接式和对接式。

搭接式结构如图 1 所示，顶盖翻边面与侧围翻边面 z 向贴合并焊接。该结构对车身的 y 向开度精度要求不高，但对顶盖在焊缝处的切边线的轮廓度要求较高，而且顶盖和侧围 z 向贴合面必须要保证贴合良好无间隙，并且在焊接完成后一般需要采用装饰件遮蔽顶盖和侧围的这条缝隙，会增加整车的制造成本。

对接式结构如图 2 所示，顶盖翻边面与侧围翻边面 y 向贴合并焊接。该结构对车身的 y 向开口尺寸精度要求非常高，若车身的 y 向开口尺寸小于顶盖的 y 向尺寸，会导致顶盖无法装配到车身上去；若车身的 y 向开口尺寸大于顶盖的 y 向尺寸，会导致顶盖和侧围之间有间隙从而导致激光焊不上。车身的 y 向开口尺寸一般控制在 ± 1.0 mm，难以满足对接式激光钎焊焊缝 0.3 mm 的要求。

为解决上述问题，将侧围形面设计成 V 形，顶盖与侧围配合由传统的面贴合设计成线贴合，通过焊装夹具柔性化适配车身开度改变顶盖的 z 向位置，确保顶盖圆角边线与侧围形面接触，这样既能降低顶盖激光焊对车身精度的要求，又能保证激光焊焊缝的美观。新的顶盖与侧围断面形状如图 3 所示。

设计要求为：① 顶盖圆弧与侧围立面贴合；② 为保证顶盖的强度，在顶盖的翻边上创建折边；③ 顶

盖翻边到侧围立面最小间隙为 2.5 mm；④ 顶盖下边缘距侧围翻边最小间隙为 2.5 mm；⑤ 顶盖圆角建议设计为 2 mm。

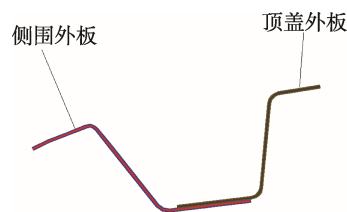


图 1 搭接式顶盖侧围断面结构
Fig.1 Lap joint of roof and side panel section

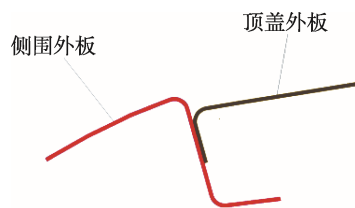


图 2 对接式顶盖侧围断面结构
Fig.2 Butt joint of roof and side panel section

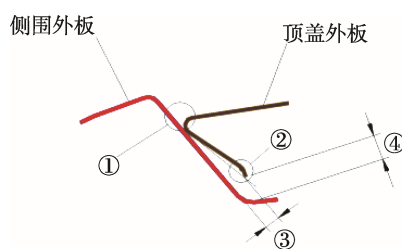


图 3 新的顶盖侧围断面结构
Fig.3 Proposed roof and side panel section

2 白车身顶盖激光钎焊冲压模具工艺及结构控制

2.1 顶盖与侧围激光钎焊部位公差要求

由于顶盖与侧围焊接装配采用自适应匹配技术，焊缝间隙主要与顶盖及侧围匹配面的轮廓度相关，而与车身位置度关系较小。

侧围以及顶盖冲压单件的激光钎焊面的公差要求为位置度 ± 0.5 mm，与常规要求无异，而整条焊接面的轮廓度为 0.6 mm，每 300 mm 轮廓度 0.3 mm，较常规的冲压件要求高。由此可见，减小冲压件的轮廓度是确保焊接间隙的关键。侧围外板及顶盖外板公差要求如图 4 和图 5 所示。

2.2 顶盖与侧围冲压工艺及模具结构

侧围零件成形工艺流程为：① OP20 拉延；② OP30 粗修边；③ OP40 夹持整形；④ OP50 精修。具体流程如图 6 所示。

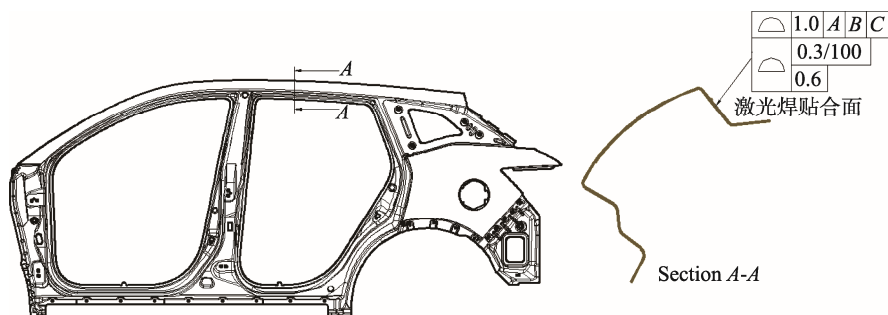


图4 侧围外板激光钎焊匹配面公差要求
Fig.4 GD&T of LBBW matching region of outer side panel

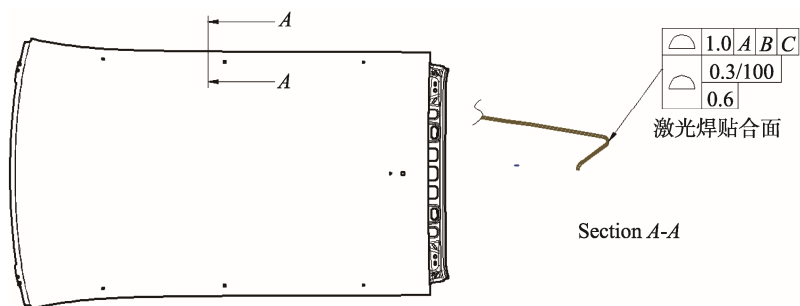


图5 顶盖外板激光钎焊匹配面公差要求
Fig.5 GD&T of LBBW matching region of roof

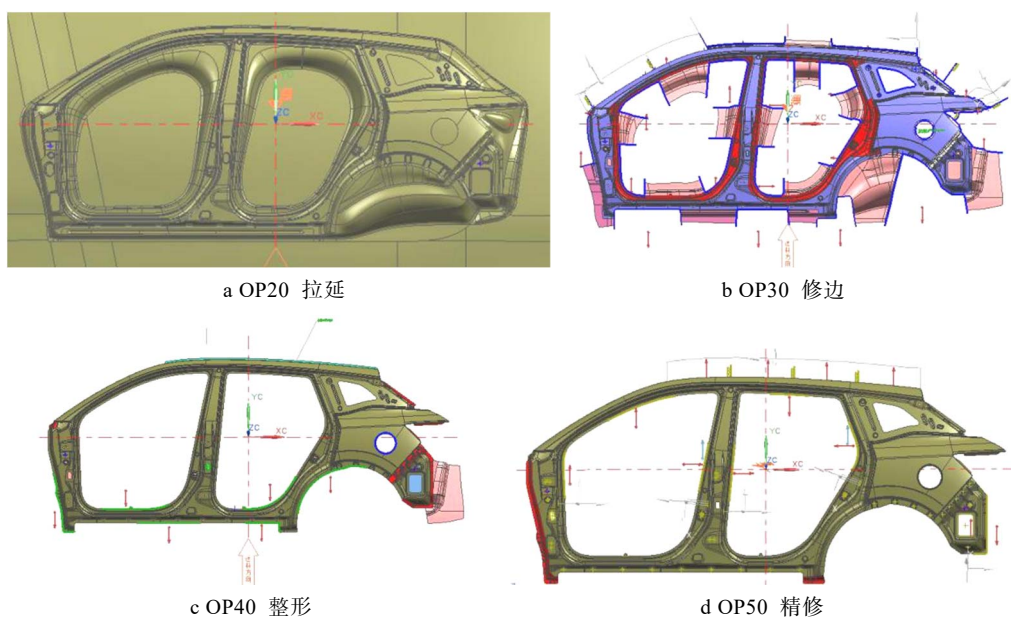


图6 侧围外板冲压工艺流程
Fig.6 Pressing process of outer side panel

为保证激光钎焊形面的轮廓尺寸,对侧围顶盖激光钎焊型面采用整体镶块整形,避免镶块交接造成翻边面缺陷,同时采用整形翻边内外压料的方式避免侧壁起皱,如图7所示。

传统翻边整形只进行内压料,翻边整形属于自由状态,外面材料流动不受控制,产品质量得不到保证;

采用内外压料,能够很好控制材料的流动,翻边整形质量能够得到保证。

整体式镶块与传统的分体式相比能有效控制零件的质量,但其模具制造难度大,铸件加工容易变形,需要花大量时间调整,在模具结构设计中一般不常使用。

分体式镶块分序部位一般为侧围与顶盖焊接区域，两序搭接的地方通常会出现零件起皱问题，影响激光焊质量，因此不适用于激光钎焊工艺。某传统车型侧围外板与顶盖搭接处采用两次整形的工艺布置见图 8。

整体式镶块与分体式镶块优缺点见表 2。

通过整体镶块与分体式镶块零件实物（如图 9a 和图 9b）对比可以看出，整体采用整体镶块整形的零件表面光滑，精度有保证。

侧围整体式镶块的实物如图 10 所示。侧围外板激光焊匹配面扫描结果见图 11，从扫描结果来看，达到公差设计要求。

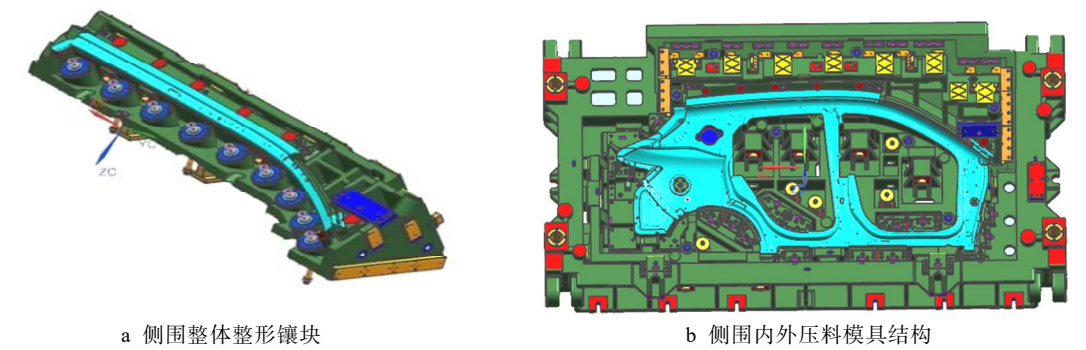


图 7 侧围整体整形镶块及内外压料模具结构

Fig.7 Integral restrike and pressing insert block & internal and external pressing die structure of side panel

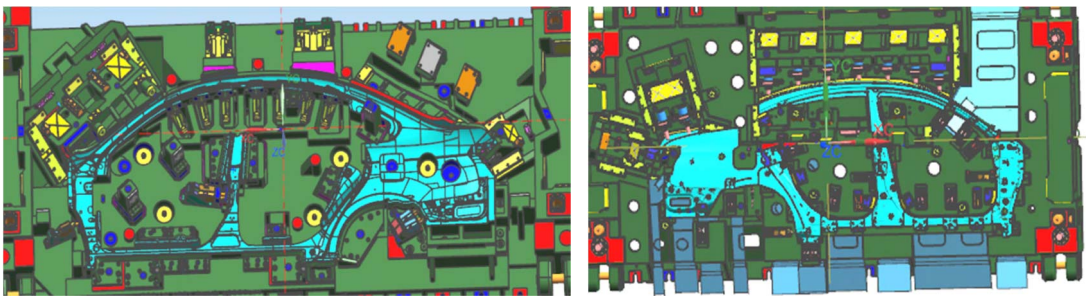


图 8 传统侧围两序翻边整形工艺布置

Fig.8 Traditional flanging and reshaping process layout of side panel

表 2 整体式镶块与分体式镶块优缺点及适用范围

Tab.2 Merits and demerits and application range of integral and split insert blocks

镶块类型	优点	缺点	适用范围	备注
分体式	模具结构简单，加工制造方便	在两序搭接的地方会出现零件起皱问题	常规点焊	起皱部位由装饰条遮挡
整体式	零件质量能够有效控制，状态好	模具制造难度大，铸件加工容易变形，需要花大量时间进行调整	顶盖激光钎焊	

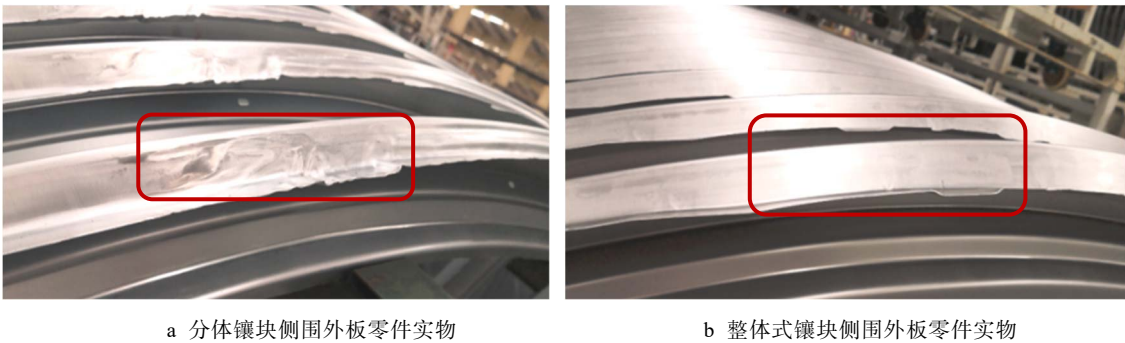


图 9 分体式与整体式镶块侧围外板零件实物图对比

Fig.9 Physical contrast of both split and integral insert blocks of outer side panel



图 10 侧围整体式镶块实物
Fig.10 Integral insert block of side panel

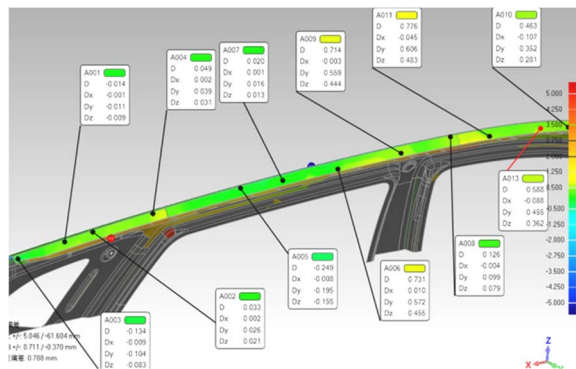


图 11 侧围外板激光焊匹配面扫描报告
Fig.11 Report of side panel LBBW matching region

3 焊装工艺对白车身顶盖钎焊焊缝尺寸控制

白车身顶盖焊接分为车身成形工位、顶盖成形工位、激光焊工位、激光焊返修工位、顶盖后续焊工位，如图 12 所示。

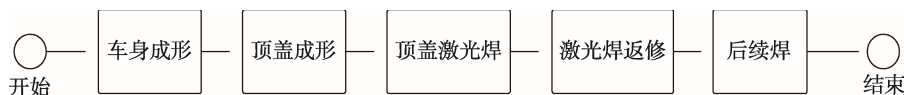


图 12 白车身顶盖激光钎焊工艺布置
Fig.12 Layout of BIW roof LBBW process

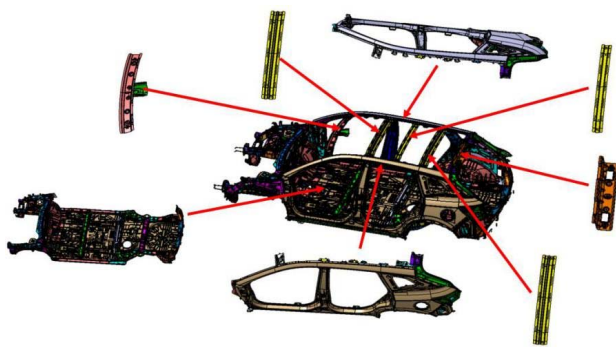


图 13 车身成形工位零件构成
Fig.13 Components of body forming station

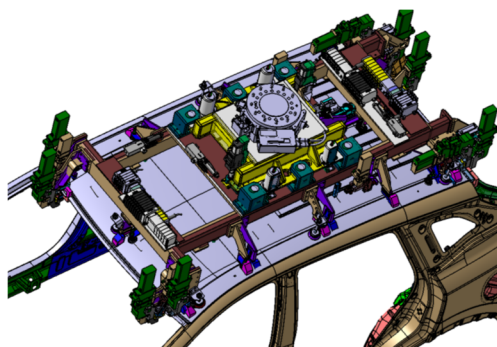


图 14 顶盖成形工位浮动工装定位
Fig.14 Flexible self-adaption weld fixture positioning of roof forming welding station

车身成形工位完成地板、侧围、顶盖横梁的焊接，实现白车身的主体框架的成形，如图 13 所示，激光钎焊工艺在车身成形工位与传统点焊工艺并无太大差别。

通过在顶盖与前后横梁焊接若干焊点来确定顶盖成形工位相对于车身的位置。该工位设计顶盖浮动工装来实现顶盖对车身 y 向开口的柔性自适应匹配，如图 14 所示。

顶盖浮动工装的工装原理：① 顶盖在端拾器上的装配。顶盖端拾器定位销插入顶盖中，并将吸盘吸住顶盖，完成顶盖在端拾器上的定位；② 顶盖在车身上的装配。端拾器将顶盖转运到车身上方，顶盖在下落过程中，由于端拾器的 y 向是活动的，因此顶盖在端拾器上 z 向往下压紧过程中，左右侧围形成 V 字型开口，无论开口 y 向尺寸偏大或者偏小，顶盖总能够与侧围接触从而实现 y 向自动对中，当顶盖和侧围线接触以后，端拾器给顶盖一个 z 向的压紧力，保证顶盖成形焊过程中顶盖位置不发生变化。顶盖可根据车身 y 向开口尺寸变化实现 z 向悬浮式自适应线贴合，可以很好保证激光焊接时侧围和顶盖的间隙。顶盖在车身上浮动装配示意如图 15 所示。

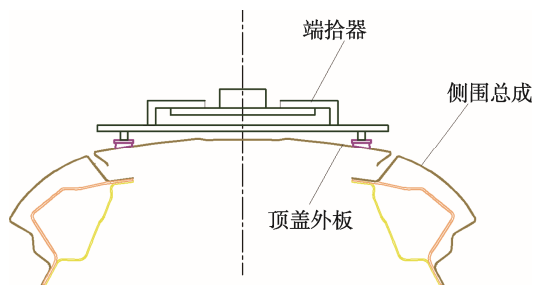


图 15 顶盖在车身上浮动装配示意图
Fig.15 Flexible self-adaption weld assembly scheme by roof and side panel

激光焊工位实现顶盖与车身的激光钎焊,该工位设计若干弹性压头,通过弹簧压力使顶盖与侧围贴合,如图 16 所示。

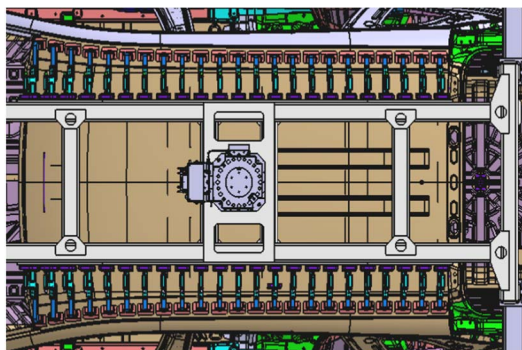


图 16 激光钎焊工位工装定位
Fig.16 Fixture positioning at LBBW station

弹性压头的工作原理:端拾器将激光焊工装运转到车身上方。工装上密集设计了若干弹性压头,端拾器在下落的过程中弹性压头对顶盖施加 z 向压力,使顶盖圆角边线与侧围立面贴合,从而确保激光焊焊缝的装配质量。弹性压头示意图如图 17 所示。图 18 为激光焊工位实物。

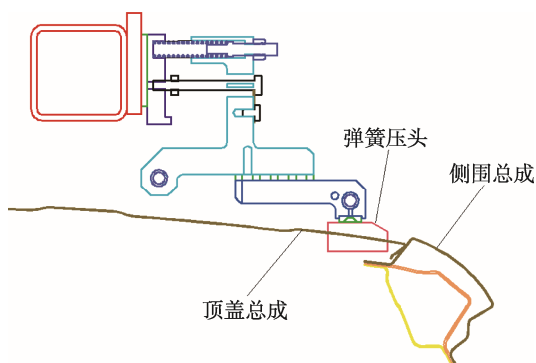


图 17 弹性压头工作示意图
Fig.17 Working scheme of elastic clamp



图 18 激光焊工位实物
Fig.18 Picture of LBBW station

在白车身顶盖钎焊工艺中,预留返修工位,对激光焊的缺陷进行在线处理,并在后续焊工位,完成顶盖与车身后横梁剩余焊点的焊接。

白车身顶盖钎焊完成效果如图 19 所示,顶盖与侧围焊接焊缝无偏移、凹陷、缩孔等缺陷,达到了预期的效果。

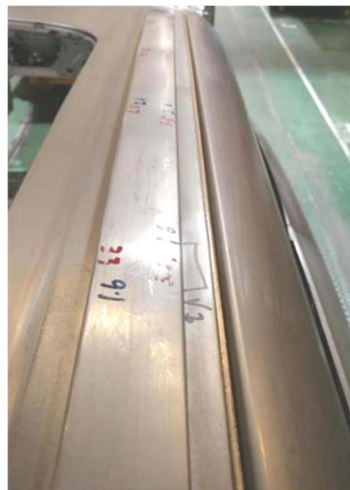


图 19 白车身顶盖钎焊效果实物
Fig.19 Physical layout of BIW LBBW

4 结论

为了保证白车身顶盖激光钎焊的焊缝装配质量,从顶盖与侧围的断面设计、侧围/顶盖冲压工艺及模具结构、焊装顶盖成形及激光钎焊夹具结构 3 个方面进行分析。

顶盖与侧围断面由传统的面贴合改为线贴合,减少对车身开口尺寸精度的要求。

为了保证顶盖、侧围冲压件焊接形面的轮廓度,零件的整形工艺采用整体镶块以及内外同时压料的模具结构。

在顶盖成形焊接工位端拾器上设计 y 向浮动工装,使顶盖自适应车身开口,保证顶盖居中焊接;在激光钎焊工位上设计密集弹性压块,给顶盖施加 z 向压力,强制保证顶盖与侧围的贴合,保证焊缝的装配间隙。

参考文献:

- [1] 袁志鹏, 赵广涛, 周澍. 激光拼焊侧围加强板用材分析及性能控制技术[J]. 精密成形工程, 2017, 9(6): 103—108.
YUAN Zhi-peng, ZHAO Guang-tao, ZHOU Shu. Material Analysis and Performance Control Technology of Laser Tailor Welded Side Reinforcement Panel[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2017, 9(6): 103—108.
- [2] 林平. 激光钎焊在汽车行业的焊接应用[J]. 电焊机, 2010, 40(5): 39—44.

- LIN Ping. Research for Laser Brazing in Automobile Industry[J]. Electric Welding Machine, 2010, 40(5): 39—44.
- [3] 陈龙, 曹婷婷, 李萍, 等. 激光拼焊板前纵梁拉延成形数值模拟研究[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6): 43—46.
- CHEN Long, CAO Ting-ting, LI Ping, et al. Numerical Simulation Study on Stamping Process of Laser Tailor-welded Front Longitudinal[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6): 43—46.
- [4] 孙莉莉. 浅析激光钎焊技术在白车身焊接中的应用[J]. 机械制造, 2015, 53(7): 82—84.
- SUN Li-li. Application and Analysis of BIW Laser Brazing Technology[J]. Machinery, 2015, 53(7): 82—84.
- [5] 张士宏, 许沂, 王忠堂, 等. 拼焊板材冲压成形技术(I) [J]. 精密成形工程, 2001, 2(5): 1—3.
- ZHANG Shi-hong, XU Yi, WANG Zhong-tang, et al. State of the Art of the Stamping Technology of Tailor-Welded Blanks(I) [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2001, 2(5): 1—3.
- [6] 宋扬, 李银宗. 轿车白车身顶盖激光钎焊的应用研究[J]. 金属加工(热加工), 2015(4): 29—32.
- SONG Yang, LI Yin-zong. Research on the Application of BIW Roof Laser Brazing[J]. Metal Working, 2015(4): 29—32.
- [7] STAUFER H. Laser Hybrid Welding and Laser Brazing at Audi And VW[J]. Welding in the World, 2006, 50(7/8): 44—50.
- [8] 王军. 浅析激光钎焊缺陷形成原因及控制措施[J]. 汽车工艺与材料, 2010(9): 31—34.
- WANG Jun. A Brief Analysis on the Cause of Laser Brazing Defect and Control Measures[J]. Automobile Technology & Material, 2010(9): 31—34.
- [9] YOU D, GAO X, KATAYAMA S. WPD-PCA-Based Laser Welding Process Monitoring and Defects Diagnosis by Using FNN and SVM[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(1): 628—636.
- [10] QUINTINO L, COSTA A, MIRANDA R, et al. Welding with High Power Fiber Lasers-A Preliminary Study[J]. Materials & Design, 2007, 28(4): 1231—1237.
- [11] 邱星武. 离焦量对激光熔覆层组织及性能的影响[J]. 精密成形工程, 2017, 9(2): 103—106.
- QIU Xing-wu. Effects of Defocusing Distance on Microstructure and Properties of Laser Cladding Layer[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2017, 9(2): 103—106.
- [12] 汪芦婷, 黄永德, 陈玉华. GH4145 激光点焊工艺及接头性能研究[J]. 精密成形工程, 2018, 10(5): 22—26.
- WANG Lu-ting, HUANG Yong-de, CHEN Yu-hua. Micro-laser Spot Welding Technology and Joint Performance[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2018, 10(5): 22—26.
- [13] 潘波. 汽车生产用激光钎焊系统设计[J]. 电焊机, 2010, 40(11): 17—22.
- PAN Bo. Design of Laser Brazing System Applied in Automobile[J]. Electric Welding Machine, 2010, 40(11): 17—22.
- [14] 汤达, 刘海江, 时轮, 等. 柔性化车顶激光钎焊夹具的设计与研究[J]. 热加工工艺, 2016, 45(1): 204—208.
- TANG Da, LIU Hai-jiang, SHI Lun, et al. Design and Research of a Flexible Fixture Used for Vehicle Roof Laser Welding[J]. Hot Working Technology, 2016, 45(1): 204—208.
- [15] MA J, KONG F, KOVACEVIC R. Finite-element Thermal Analysis of Laser Welding of Galvanized High-strength Steel in a Zero-gap Lap Joint Configuration and its Experimental Verification[J]. Materials & Design, 2012, 36: 348—358.