

汽车车门外露焊点压痕深度的综合优化

颜丹丹¹, 彭其飞², 潘远安¹

1. 长春汽车职业技术大学电气工程学院 吉林长春 130013

2. 中国第一汽车集团有限公司蔚山工厂 吉林长春 130013

摘要: 为提升汽车整体焊接质量、改善用户对汽车产品的使用满意度,以某车型车门外露焊点压痕深度调试过程为依据,从人、机、料、法、环5个方面分析车门总成件外露焊点外观成形不良的产生原因,并总结出以下治理焊点外观不良的有效方法:调整机器人焊接姿态、控制焊钳电极对中度、改善修磨形状和修磨姿态、优化原材料表面油污、修正焊机参数及制定焊接循环水流的流量范围等。试验表明:通过综合治理方案,可以有效提升车门外露焊点外观质量,提高用户满意度,从而提高整车销售量,促进民族品牌快速发展。

关键词: 车门; 外露; 焊点; 压痕深度

Comprehensive optimization scheme for the indentation depth of the exposed solder joint of a vehicle door

YAN Dandan¹, PENG Qifei², PAN Yuanan¹

1. Changchun Technical University of automobile, Changchun 130013, Jilin, China

2. China FAW Group Corporation, Changchun 130013, Jilin, China

Abstract: In order to improve the overall welding quality of the automobile, increase users' satisfaction with the use of automobile products. Based on the debugging process of the indentation depth of the exposed soldering joints of a car door assembly, the causes of the poor appearance of the exposed soldering joints of the car door assembly were analyzed from five aspects: man, machine, material, method and ring and the following effective methods to control the poor appearance of the Solder joints were summarized: adjust the welding posture of the robot, control the electrode orientation of the welding gun, improve the grinding shape and grinding posture, optimize the surface oil of the raw material, modify the parameters of the welding machine, and set the flow range of welding circulation water. The test shows that the comprehensive treatment regimen can effectively improve the appearance of the door's exposed welded joints, reduce the extent of user complaints, and thus increase vehicle sales and promote the rapid development of national brands.

Keywords: vehicle door; exposed; soldering point; indentation depth

基金项目: 吉林省教育科学院“十四五”规划2023年度一般课题“市域产教联合体下机械类人才培养模式研究与实践”(项目编号: GH23828); 2023年度吉林省职业教育科研课题: 区域下汽车类产教联合体建设研究与实践(2023XHY179); 2024年度长春汽车职业技术大学校级课题“聚氨酯压料在修边模具中的应用及修复研究(XJKY202412)。

第一作者: 颜丹丹, 副教授, 硕士, 主要研究方向为汽车类人才培养、白车身制造工艺, E-mail: 49364102@qq.com。

通信作者: 潘远安, 正高级工程师, 硕士, 主要研究方向为汽车类人才培养、白车身制造工艺, E-mail: 116521719@qq.com。

1 序言

汽车制造是较为复杂的生产过程，为满足强度、性能、美观的产品需求，需要多个生产部门配合完成，焊装车间的焊点质量控制就是其中的一个重要环节^[1-3]，制件在焊接后常出现的焊接问题，例如：缩孔、焊接毛刺、焊点变形、过烧或是压痕过深。对于外露焊点来说，压痕过深缺陷较难控制，一直是汽车焊接质量提升难题，如焊接参数不当^[4]、焊接部件表面处理不当^[5]或焊接设备与工装设计问题等^[6]，均影响焊点压痕深度。朱军启^[7]通过焊钳高度、操作空间、电极头修锉、焊接电流与电弧电压等相关参数控制人工焊点，从而提升焊点质量；许腾飞等^[8]通过控制制件搭接间隙、焊钳对中度和修磨状态来控制焊点质量，有效控制了焊点部分质量问题，提高了整车的强度和性能；廉杰等^[9]重点介绍了焊接常出现的缺陷和通用的解决方法。学者们主要研究焊点常见问题的控制手段和解决办法，并未系统地针对某个问题（如焊点压痕过深）进行深入剖析。

本文以车门外露焊点压痕深度的调试为例，通过某车型多方位综合分析，前中后三阶段全过程总结，形成了一套有效的解决方法，可为行业内车门外露焊点压痕深度的优化提供参考。

2 制件问题描述

2.1 焊接工艺与车门材料

焊接工艺采用电阻点焊，由焊接机器人和伺服焊钳完成焊接作业，焊接过程由加压、焊接、维持和休止4个过程组成。车门相关制件材料、牌号及厚度见表1。

2.2 车门缺陷描述

本车型的车门总成制件在生产过程中出现的外露焊点压痕深度过深问题较为严重，缺陷总点数占外露焊点总数量的1/4以上，严重影响整车质量和客户满意度。车门外露焊点数量与缺陷数量的统计见表2。

电极加压在板材上留下压痕深度超过薄板厚度的50%时，焊点判定为压痕深。如图1所示，B表示上板厚度，D表示下板厚度，中间凹陷部分为成形焊点，虚线表示压入深度水平线。考虑重点关注外露面，故A的测量为主要测量数据。若测试结果

表1 车门制件材料牌号与厚度明细

车门分类	零件名称	材料牌号	材料厚度/mm
前门内板总成 (左右对称)	车门外板	FC180/340HD + Z-60/60-O5	0.65
	车门内板（拼焊）	St06D + Z-60/60	1.20（前侧）+ 0.65
	车门内窗台加强版	St280D + Z-60/60	1.20
	车门外窗台加强版	St04D + Z-60/60	0.65
	车门门锁加强版	St280D + Z-60/60	1.20
	车门防撞梁	St04D + Z-60/60	1.60
	车门门锁加强版	C500HS	2.00
	车门铰链安装支架	FC420/590LA	2.50
后门内板总成 (左右对称)	车门外板	FC180/340HD + Z-60/60-O5	0.50
	车门内板（拼焊）	St06D + Z-60/60	1.20（前侧）+ 0.65
	车门内窗台加强板	St280D + Z-60/60	1.20
	车门窗框前框	St14	0.90
	车门窗框后框	St14	0.90
	车门窗框后框连接板	St280D + Z-60/60	1.20
	车门门锁加强版	St280D + Z-60/60	1.20
	车门外窗台加强板	St04D + Z-60/60	0.65
	车门防撞梁	C1500HS	1.60
	车门上铰链加强版	St04D + Z-60/60	1.40

表2 车门外露焊点数量与缺陷数量的统计

车门类别	外露焊点数量/个	缺陷焊点数量/个	占比(%)
左前车门	22	3	13.6
右前车门	22	6	35
左后车门	20	7	27.3
右后车门	20	6	30
共计	84	22	26.2

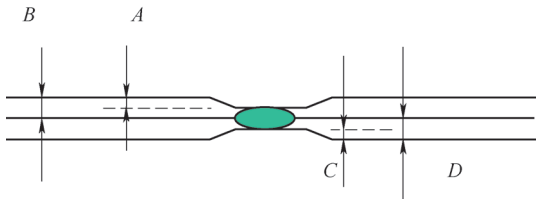


图1 压痕深判断标准

$A/B \geq 50\%$ 则视为不合格。反之， D 表示上板厚度， B 表示下板厚度，则 $C/D \geq 50\%$ 视为不合格。另外，内板与加强板焊接时，加强版材料性能一般是强于内板，内板变形量就会偏大，故而降低了整车的外观质量。

2.3 典型位置测量举例

针对缺陷较为严重区域进行数据测量，明确压痕深度数值。选取右前门后侧下部共计6个焊点为测量点，再次强调内板拼焊后侧厚度为0.65mm，按压痕深度判别标准， $\geq 50\%$ 的压痕深度均可认为是压痕过深，点焊位置如图2所示，压痕深度见表3。

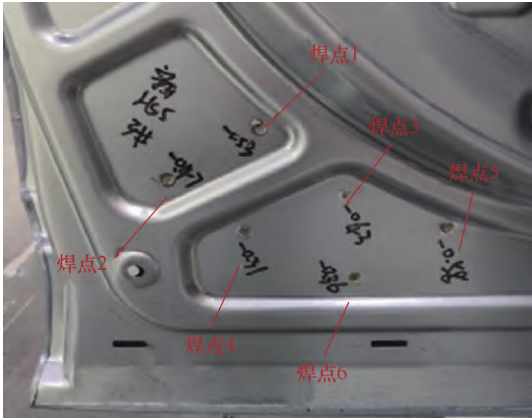


图2 典型车前门的测量位置

表3 车门外露焊点压痕深度 (mm)

焊点编号	测量件1	测量件2	测量件3
1	0.53	0.46	0.48
2	0.47	0.47	0.45
3	0.43	0.43	0.45
4	0.31	0.32	0.30
5	0.58	0.48	0.52
6	0.36	0.34	0.36

3 原因分析

从生产过程中的人、机、料、法、环5个方面进行系统分析，确定制件焊点压痕深度的主要原因（见图3）。

(1) 人 采用全自动焊接生产线，无人员参与作业，且制件位置定位全部使用销钉定位，位置固定，无人员因素。

(2) 机 这里分3个方面进行分析。

1) 机器人方面：机器人轨迹对焊接质量有直接的影响，要求焊接姿态与被焊工件垂直。经过现场确认，焊接过程中存在不垂直现象。

2) 焊钳方面：焊钳电极对中性对焊点外观影响明显，现场确认电极对中性，标准为同心度 $\leq 1\text{mm}$ ，实测约1.5mm，需要重新对焊钳电极进行对中调试。

3) 修磨器方面：主要影响因素有刀片状态以及修磨姿态，现场确认修磨器刀片状态良好，不存在磨损及破损问题。修磨姿态存在修磨后电极端面不良问题，因此需对修磨姿态进行优化。

(3) 料 通过来件状态进行检查，表面状态异常，存在油污等杂质；检查尺寸状态未发现异常，尺寸波动均在0.5mm以内。

(4) 法 焊接参数主要包括焊接电流、焊接压力和焊接时间。焊接的板材不同、厚度不同，采用的焊接参数也不同。焊接电流一般为6000~15000A，焊接压力为1900~3500N，焊接时间为10~20周波，这3个参数值是焊接的主要参数，会直接影响到焊点的强度。在焊接镀锌板时，一般需要二

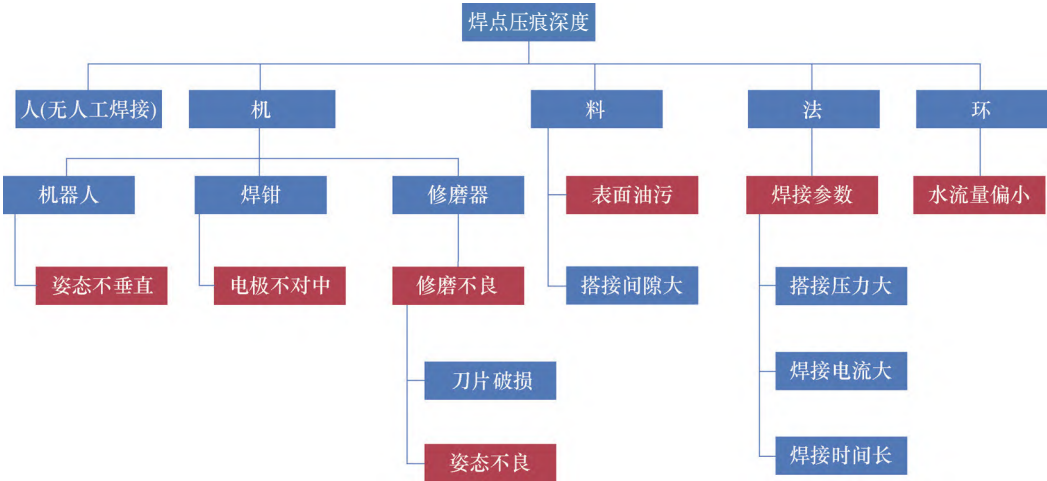


图3 制件焊点压痕深度的主要原因分析

次焊接，利用一次电流将镀锌层破坏，再利用二次电流进行焊接。且焊接电流、焊接压力及时间，要比普通板材提高20%~30%，因此电极头要经常修磨、更换。在现场确认后，发现焊接参数存在优化空间，可以开展优化。

(5) 环 水流量主要影响焊接过程散热状态，水流量不足时会导致焊接过程散热效果不良，从而导致焊点压痕过深，水流量一般控制在6L/min以上，现场确认水流量为5L/min，不符合工艺要求。

通过以上分析，机器人焊接姿态、焊钳电极对中度、修磨形状和修磨姿态、制件表面油污质量、焊接参数及焊接水流流量等因素都会对焊点压痕深度产生影响。值得注意的是，右前门焊点缺陷统计6个、下部5个，占总数的83.33%。虽然内板为拼焊板，前侧为1.2mm的板厚，但拼焊板材质均是St06D+Z-60/60，由此可见焊接工艺对焊点压痕的影响远高于材质本身。

4 措施制定及实施

4.1 调整机器人焊接姿态

机器人焊钳电极与工件不垂直，会导致焊接后焊点扭曲、飞溅增多、焊点压痕缺陷加重。

整改方法：将机器人调整到手工调试状态，人工调整机器人轨迹，使焊钳电极与被焊工件垂直，调整后使用钢板尺或辅具确认垂直状态，直至焊钳电极与被焊工件垂直（见图4）。每个缺陷焊点均要测量，不同焊点，产生的缺陷角度均不相同，如左前门门锁加强版2个缺陷焊点，机器人在焊接时角度与垂直状态相差11°，左前门防撞梁1个缺陷焊点，

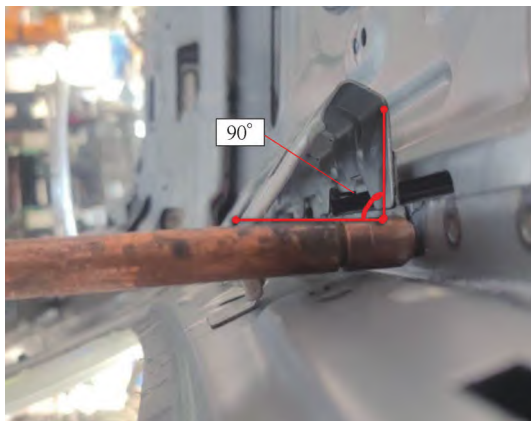


图4 角度测量

机器人在焊接时角度与垂直状态相差9°。

4.2 调整焊钳电极对中度

电极不对中导致焊钳加压过程中工件表面受扭曲力，焊接后导致焊点扭曲，焊点压痕缺陷加重。

整改方法：使用大力钳及扳手将焊钳电极杆卸下，根据所需位置及角度重新安装电极杆，安装后使用钢板尺确认对中性是否符合工艺要求（见图5），如调整后仍然无法满足工艺要求，则需更换新电极杆。



a) 对中

b) 不对中

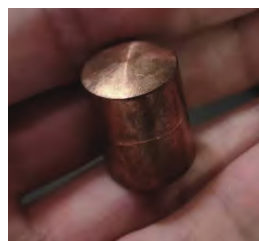
图5 电极对中和不对中的对比

4.3 优化修磨形状与修磨姿态

针对电极帽形状，将本车型的电极与市场某高端、外露焊点压合深度较浅的车型进行对比，某高端车型外露焊点使用平头电极帽（如北方品牌），而本车型使用圆头电极帽（如小原品牌），如图6所示。因此，电极形状有优化空间。



a) 圆头电极帽

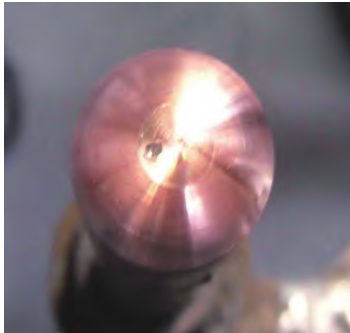


b) 平头电极帽

图6 电极帽形状对比

电极帽修磨不良会导致电极端面不平整，焊接过程中会导致零件表面受力不均，进而导致局部位置焊点压痕过深。

整改方法：根据电极帽端面实际情况调整机器人焊钳修磨姿态，使电极帽角度与修磨器保持垂直，同时使电极帽端面中心与修磨器旋转中心重合，直至修磨状态满足工艺要求（见图7），如无法满足，则需要更换修磨器刀片后重新按上述方法调整。



a) 修磨不良



b) 修磨良好

图7 修磨状态对比

4.4 控制制件表面油污

零件表面油污（见图8）会导致焊接过程中电极



图8 零件表面油污

与零件接触不充分，焊接电阻变大，焊接后易导致焊点表面过烧，压痕过深明显。

整改方法：零件上线前人工对零件表面进行目视及手触检查，确认零件表面无油污、灰尘等缺陷后再将零件上线进行焊接。同时，通知上一工序进行调整，确保工件质量。

4.5 优化焊接参数

根据现场实际情况对焊接压力、焊接时间及焊接电流进行调整优化，验证焊点压痕状态，调整后需对对应焊点进行半破坏及全破坏检查，确认焊接强度是否满足产品要求。

表4 焊接参数优化

参数	改善前	改善后
压力/N	2200	1960
1次焊接电流/kA	5	5
1次焊接时间/CYC	6	6
1次冷却时间/CYC	2	2
2次焊接电流/kA	8.8	8.4
2次焊接时间/CYC	14	14
2次冷却时间/CYC	5	5

4.6 控制焊接过程中冷却水流量

冷却水是保证焊接过程稳定的重要因素，冷却水流量不足时会导致焊接过程中散热不充分，电极易与零件产生粘连现象，使焊点表面不平整。

整改方法：对循环水供水管路流量及压力进行确认，同时对进水过滤网进行确认和清洗，保证水流量 $\geq 6\text{L/min}$ 的工艺要求，如图9所示。



图9 改善后水流量

5 效果验证

经过调整机器人焊接姿态保证垂直度、控制焊钳电极保证对中度、改善修磨形状和修磨姿态保证焊点形状,以及优化原材料表面油污减少焊接电阻、修正焊机参数优化焊点综合质量、制定焊接循环水流的流量范围调节焊接散热量等多方面整改后,自动生产线上连续生产10批次,每批次300件,从其中任意抽取3辆进行验证,焊点外观圆润无变形,如图10所示。测量数据见表5。由表5可知,压痕深度均未超过50%,无焊点压痕深度过深问题。



图10 改善后的焊点

表5 车门外露焊点压痕深度 (mm)

焊点编号	测量件1	测量件2	测量件3
1	0.28	0.30	0.28
2	0.31	0.30	0.30
3	0.22	0.25	0.24
4	0.30	0.31	0.28
5	0.27	0.28	0.28
6	0.31	0.31	0.30

6 结束语

汽车车门外露焊点压痕深度过深是生产中经常遇到的问题,也是一项综合性的问题。解决焊点压痕深度的问题对于保证焊接质量、提高焊件强度和承载能力、改善外观质量等方面都具有重要意义。焊点压痕深度过深问题的影响因素较多,要从人、

机、料、法、环等方面全面分析,按本文原因分析模型逐步分析并解决异常点,这样才能彻底解决焊点压痕深的问题。此外,在实际生产过程中,可以通过优化焊接参数、提高焊接技术水平等措施来减小焊点压痕深度,从而提高焊接质量和焊件的性能。未来,期待在工艺、技术和材料的不断进步中寻找更好的解决方案,以提升汽车车门总成的产品质量。

参考文献:

- [1] 吴彬勇,李婧,邱静萍,等.真空汽相焊冷却速率对多层板焊点质量的影响[J].宇航材料工艺,2023,53(6):87-92.
- [2] 戚才人,赵文业,李金峰,等.车身焊接质量超声波原位检测技术的发展趋势分析[J].汽车工业研究,2023(4):59-62.
- [3] 张旭强,万渤麟,于志浩.焊点压痕图像采集实验系统设计及图像预处理分析[J].实验技术与管理,2023,40(9):35-40.
- [4] 杨维乐,高向东,浮岩.电阻点焊质量Hopfield神经网络在线评估方法[J].精密成形工程,2023,15(3):181-188.
- [5] 韦乐乐,赵祖铨,黄建荏.焊钳电极偏置对汽车白车身焊点质量的影响[J].焊接技术,2021,50(12):89-92.
- [6] 彭其飞,潘远安,刘鑫,等.步增机制在焊点质量提升中的应用[J].热加工工艺,2023,52(1):131-134,140.
- [7] 朱军启.关于白车身人工点焊质量控制的研究[J].汽车实用技术,2021,46(11):136-138.
- [8] 许腾飞,薛清君,刘智红,等.浅谈焊装外观焊点控制策略[J].时代汽车,2022(10):155-156,175.
- [9] 廉杰,吴韩.汽车制造电阻点焊常见缺陷及质量控制措施[J].汽车维护与修理,2022(8):73-76.

MW 20240816