

# 电阻点焊自适应控制技术在白车身热成型件中的应用

黄昌军 童恬 陈阿平

(宝钢金属有限公司技术中心 上海 200940)

**摘要:** 该文介绍电阻点焊自适应控制技术在白车身热成型零件的应用过程。通过初步设定点焊参数后经试片试验参数优化及实际零件参数优化两个阶段获得优质焊点,记录这些焊点的动态电阻曲线并计算出样本动态电阻曲线。零件焊接时自适应控制系统对各种扰动因素进行焊接电流和时间的调节,消除了热成型钢的点焊毛刺和飞溅,同时显著提高了生产中热成型钢零件的焊接质量的稳定性。

**关键词:** 电阻点焊; 动态电阻曲线; 自适应控制技术; 白车身; 热成型件

中图分类号: U461

文献标识码: A

文章编号: 1671-3567(2023)01-0088-03

## Application of UIR Technology in Resistance Spot Welding of Body-in-white Hot Stamping Part

HUANG Changjun TONG Tian CHEN Aping

(R&D Center, Boatel Metal Co., Ltd., Shanghai, 200940 China)

**Abstract:** UIR technology of resistance spot welding application in body-in-white hot stamping parts is introduced in this paper. Good spot welding points are obtained after preliminary welding parameters are set, and the parameters are optimized twice -- sheet sample test and actual parts test. Then, record their dynamic resistance curves and calculate the sample dynamic resistance curve. The UIR system regulates the welding current and time to adapt the various disturbance factors when welding. The welding spatter and burr of the hot stamping parts are eliminated, meanwhile steady of the spot welding quality is significant improved during production.

**Key Words:** Resistance spot welding; Dynamic resistance curve; UIR technology; Body-in-white; Hot stamping part

### 1 前言

电阻点焊是汽车白车身制造的主要连接方式,自适应控制技术(Voltage/Current Regulator,即UIR)可以显著提高点焊焊接质量,目前在国内各大汽车厂商中得到广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。热成型钢车身零件超高的材料强度极大地提高了车身的抗碰撞能力和整体安全性,在设计时可以用一个热成形钢零件代替多个普通钢板的零件。同时,热成型钢零件可以具有很薄的厚度,相比冷冲压件,热成型钢零件回弹性小,适合制造汽车A柱加强版、B柱加强版、地板中央通道等部件。

热成型钢点焊的焊接性能非常特别,焊接参数带

非常窄,不同的厂家提供的热成型钢板的焊接电阻也差别大,容易造成大的飞溅和明显的毛刺,这给点焊工艺提出了严峻的挑战。这不但污染了环境,后续的打磨也造成了人力物力的浪费,而且也整体降低了生产效率。

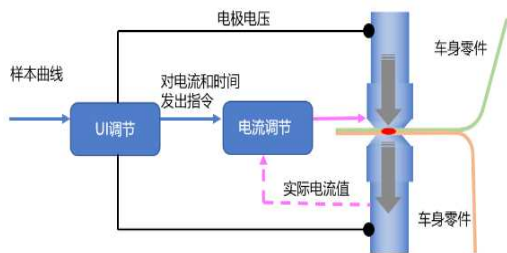
### 2 自适应控制技术原理

自适应控制技术是通过监控点焊的动态电阻曲线的峰值之后的电阻曲线来控制焊接质量。自适应控制系统在点焊焊接过程中采集次级电流信号和次级电压信号。次级电流信号从变压器中电流传感器测量出,次级电压信号是通过安装在焊钳上下电极之间的传感器得到,再根据欧姆定律计算出焊接过程中的动态

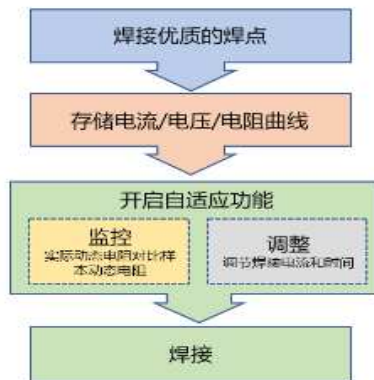
作者简介:黄昌军(1985—),男,硕士,工程师,研究方向为汽车车身焊接与连接。

电阻。

自适应控制是在恒流的模式下记录优质焊点的动态电阻曲线作为样本动态曲线并存储在控制器中，在其后的焊接过程中监控点焊的实际动态电阻，并与样本动态电阻进行比较、计算出控制调整量，通过调整焊接电流以及焊接时间来达到控制焊点质量的目的。由于中频逆变控制器的频率是 1 000 Hz，所以测量和调整周期为 1 ms，即在每一毫秒都对焊接电流及电压进行测量和反馈，使得控制精度得到极大提高。自适应控制系统的硬件、工作原理和工作流程见图 1。



(a) 自适应控制原理



(b) 自适应控制工作流程

图 1 自适应控制系统工作原理和流程

自适应控制系统对焊接产生中的多种扰动进行补偿，例如板件装配不良、焊点之间的分流、不同的涂层、板件之间有胶、多层板焊接以及不同厚度的板件焊接等。对各种扰动自适应控制系统会自动根据不同的情况（例如多个板件组合、不同材料组合，添加涂胶等）发出调整命令，使用这些情况的一套特定的程序来焊接并得到最终的样本动态电阻曲线。

### 3 点焊参数初步设定

通过点焊检验，从熔核大小、压痕深度、焊点外观等方面，焊出优质的焊点，并保证焊点无飞溅和毛刺等缺陷。其动态电阻曲线在一定范围内是平滑的，没有大的电阻的突变。如果发生飞溅，动态电阻值会突然减少，例如瞬间减少 4%，在动态电阻的图形显示出锐利的陡降，那么该焊点的焊接需要优化。

将零件板材搭接组合信息筛选出来，包括焊点所在组合零件的零件名称，材料种类，零件厚度，搭接板的数量，是否有镀锌层等。该文使用某车型白车身侧围 A 柱区域的零件，A 柱上加强板为含硼的热成型钢，A 柱下加强板使用含有镀锌层的高强钢，其信息见表 1 所示。打开点焊设置软件，将零件的工艺设计焊点号及板材组合信息添加进去，然后将该列表导入到焊接控制器里。焊点焊接程序的焊接参数由板材的信息来决定，初版参数的设定需要考虑为平均板厚、最薄板厚及总板厚。

表 1 点焊焊接零件信息

零件	材料	厚度/mm	是否有镀锌层
A 柱上加强板	含硼的热成型钢	2	否
A 柱下加强板	先进高强钢	1.5	是

以该参数作为初始试片试验焊接参数，在焊接过程中出现飞溅并且热成型钢板一侧上出现的明显的毛刺，并且先进高强钢一侧存在较大的热影响区，点焊的表面质量明显不合格。使用工具将试片撕开，用游标卡尺测量点焊焊核直径为 8 mm，大于要求的 6 mm。综合分析，该组零件材料点焊的焊接参数需要优化。

### 4 点焊参数优化

点焊参数的优化可以通过观察该点焊的动态电阻曲线的趋势与典型低碳钢的动态电阻曲线对比法可以实现优化点焊参数。具体调整策略就是电流和时间由大到小调整，压力保持适中<sup>[3]</sup>。初始电流偏大易出现过烧，飞溅大等有害情况。焊点的压痕深度随着焊接电流的增大而增大，但当电流达到某一临界值后，若电流继续增大，压痕深度略微下降，但总体保持平稳趋势<sup>[4]</sup>。焊点的熔核直径和焊透率随着焊接电流的逐渐增加，焊点的熔核直径、焊透率都呈现出上升趋势。电流达到某一临界值后，熔核直径和焊透率反而随着电流的增加出现下降。

飞溅发生时可以通过动态电阻曲线很容易判断是早期飞溅还是后期飞溅。早期飞溅是焊点的焊接电流过大引起的，后期飞溅是焊点焊接时间过长引起的<sup>[5]</sup>，所以对相应的焊点参数做适当的调整后，飞溅便可消除。反复调整后的焊接参数见表 2 所示。调整焊接参数后进行多次焊接，焊接过程中没有再出现飞溅，并且热成型钢板的焊点没有明显的毛刺，焊点压痕适中，先进高强钢一侧的焊点过烧现象明显改善，热影响区有了较为明显的减小。

试片试验阶段使用优化的焊接参数连续多次点焊得到优质焊点, 则把该参数确定用来进行实际零件的焊接。在试片焊接阶段无飞溅的焊点, 可能在实际零件焊接时因零件匹配等因素的影响发生飞溅, 则需要进一步调整参数并需要分析发生飞溅的时间和部位<sup>[6]</sup>。

表 2 优化前与优化后的点焊参数

焊接参数	焊接时间 /ms	焊接电流 /kA	焊接压力 /kN
初始预估参数	250 ms	8.5	3.5
试片试验参数	300 ms	7	3.0
零件焊接参数	250 ms	7	3.0

## 5 记录动态电阻曲线

在实际零件焊接时, 经观察目标焊点有时候出现飞溅, 初略其发生的频率约为 20%, 所以需要针对目标焊点再次优化工艺参数。经观察动态电阻曲线及考虑零件在夹具中的搭接, 再次优化参数, 见表 2, 经观察使用该参数出现飞溅的频率已小于 5%。使用表 2 零件焊接参数来记录动态电阻曲线。在控制器的软件中开启点焊动态电阻曲线记录功能并焊接多个焊点, 记录这些焊点的动态电阻曲线, 删除有飞溅或有毛刺的曲线, 剩下至少 20 根较好的电阻曲线, 求这这些动态电阻曲线的平均值。该平均的动态电阻曲线就是样本动态电阻曲线, 将其保存在焊接控制器里。

## 6 设定焊接质量监控

自适应控制系统可有效提高焊点质量, 配合系统中的监控功能监控焊接质量, 避免板材匹配差等导致的焊接批量缺陷。自适应系统的监控功能是通过监控 PSF (Process Stability Factor 过程稳定因子) 及 UIP (质量指标点) 这两个参数来实现的。过程稳定因子 PSF 显示的是实际焊接的情况和样本曲线之间的差异量。PSF 值稳定在 70~100 之间, 且飞溅小于 5%, 则比较好。点焊焊接时系统检查到任意一个数值超过设定的公差带, 则控制器报警并停止工作。实际焊接过程中电流波动的偏差范围进行设定, 一般为 [7kA, 10kA], 同时还可以增加适当的预热电流来使板材软化, 从而有利于降低通电阶段的焊接飞溅。

## 7 热成型钢点焊焊接

点焊焊接经常出现飞溅, 并且焊后热成型钢处出现毛刺。这不仅不满足焊接质量的要求, 给车间带来安全隐患, 同时大大降低焊钳电极帽的寿命。点焊焊接控制器存储样本动态电阻曲线, 设定焊接质量监控

参数, 然后开启自适应功能对焊装生产线的目标焊点进行焊接作业。焊接完成后的侧围内板及 A 柱加强板区域的目标焊点见图 2。通过多个零件观察, 目标焊点已经完全消除热成型钢侧的焊接毛刺。而先进高强钢侧也没有出现过烧现象, 同时热影响区也不在出现明显偏大的现象。目标焊点经车间统计观察, 焊点飞溅的频率已经小于 5%, 基本消除的焊接飞溅。多次对目标焊点进行拆解检验及金相观察, 结果表明焊核及压痕完全符合点焊的质量要求。随着产量爬坡, 生产节拍加快, 经检验发现该区域的点焊焊接质量稳定, 焊点外观较好。



图 2 侧围内板 A 柱上加强板与 A 柱下加强板间的点焊焊点

## 8 结论

(1) 以样本动态电阻曲线为基础的自适应控制技术在点焊焊接热成型钢与先进高强钢零件时通过焊接过程中调节电流和时间基本消除了飞溅, 完全消除了高强钢零件的点焊毛刺, 获得了优质的焊点。

(2) 自适应控制技术设定合适的焊接质量监控参数, 在焊接目标焊点过程中对各种扰动因素进行适当的电流和时间调节, 保证动态电阻时刻在样本动态电阻曲线范围内波动, 从而极大提高焊点质量的稳定性, 对白车身的制造有重大意义。

## 参考文献

- [1] 刘东阳, 张正林, 徐洋, 等. 博世 UIR 技术在汽车高强钢电阻点焊上的应用[J]. 电焊机, 2017, 47(3): 109-112.
- [2] 王颖, 仲颖鑫, 张麒麟, 等. 汽车车身电阻焊接自动控制系统[J]. 2014, 36(9): 147-148.
- [3] 刘浩, 刘发清, 元涵. 动态电阻曲线在电阻点焊参数调整中的应用[J]. 热加工工艺, 2018, 9(47): 191-195.
- [4] 徐松, 黄治军, 孙宜强, 等. 超高强热成型钢板的点焊工艺性能研究[J]. 钢铁研究, 2012, 40(2): 36-40.
- [5] 朱尧明, 王东林. 如何通过动态电阻曲线的自适应控制来优化焊接飞溅率[J]. 自动化博览, 2011 (S1): 107-113.
- [6] 叶绿, 孔锐斌, 蒋冬. 电阻点焊自适应功能启用流程及方法研究[J]. 汽车工艺与材料, 2017(2): 14-18.