

# 车身覆盖件维修中电阻点焊焊接变形的试验与分析

胡明敏 迟英姿 王 明 唐徐平  
南京工业大学浦江学院 江苏南京 211222

**摘要:** 由于上下电极错位, 焊接三要素的数值选择不当或板件不洁等原因, 引起板件焊接变形, 故本文研究主要为了寻求使焊接变形最小的工艺参数。通过了解电阻焊接原理和焊接变形原理, 以冷轧低碳钢为例展开了电阻点焊变形试验研究, 根据正交试验得到板件变形最小的工艺参数。根据直接法得出在电极压力2200N, 焊接电流8.8kA, 点距16mm时焊接件变形最小, 以达到节约材料和节约时间的目的。

**关键词:** 电阻点焊; 焊接变形; 正交试验

## 前言:

近十年来, 我国汽车工艺研究开展迅速, 车身除部分立柱部位少量用气体焊外, 大部分使用电阻点焊<sup>[1]</sup>。造成焊接变形的原因是焊接应力变化等<sup>[2]</sup>。付扬帆对高强度钢、镀锌钢和多层板运用不同的工艺参数进行电阻点焊试验, 由此确定异种材料的焊接方案<sup>[3]</sup>。徐佳奇基于正交试验, 运用极差分析方法和方差分析法得出材料电焊性能影响规律<sup>[4]</sup>。周玉雷通过实验研究同厚和不同厚钢板的工艺参数对残存应力和焊接变形的影响法则<sup>[5]</sup>, 郑文对0.8mm和1.5mm厚的超高强度热成形低碳钢比较现有生产工艺参数、通过电阻点焊试验到合适点焊工艺参数<sup>[6]</sup>。Verena Psyk等人认为详细有关特定参数影响的内容对于设计优化工艺是必不可缺的<sup>[7]</sup>, Pereira A M等人运用电阻点焊试验研究了重要工艺参数变化对1.0mm厚铝合金车身的影响<sup>[8]</sup>。沈婵媛针对焊接质量的控制从设备、工艺、操作方式、温度等多个方面入手, 选择性能较好的设备, 正确使用各项工艺, 合理调控温度, 严格

控制焊钳垂直度<sup>[9]</sup>。

车身覆盖件以0.6-1.0mm厚度的薄板冲压成型件为主, 轿车装配阶段以全自动化机械臂点焊连接工艺为主, 参数固定值较少, 焊接变形可以忽略不计。但在事故维修中, 电阻点焊以人工半自动化为主, 变量较多, 加大板件焊接变形趋势。本文通过正交试验的方法和结果分析得出最优工艺参数, 减轻板件损害率。

## 1 材料与方法

### 1.1 焊接材料和设备

#### (1) 焊接材料

低碳钢有结晶温度窄、高温力度低、热膨胀系数小等长处, 点焊完成冷却后残余应力小, 故难以开裂失效, 本次试验用材料ST14的成分及力学性能见表1.1和表1.2。

表 1.1 材料化学成分

牌号	C	Mn	P	S	AI
ST14	<0.08	<0.40	<0.020	<0.030	>0.020

表 1.2 材料力学性能

牌号	屈服强度	抗拉强度	塑性应变比	应变硬化指数
ST14	120-210	270-350	≥1.6	≥0.18

#### (2) 焊接设备

本次实验所用为GYS100RX点焊机, 详情见表1.3。它的技术优势有: 原装进口, 配置X型焊枪, 适用于双面点焊各种软钢, 高强度钢板; 动态电流测量, 夹紧力自动调节, 数字化大屏幕中文操作系统; SD卡个人设置功能, 焊点追溯; 配置多款专用电极臂应对复杂多样的焊接位置。

### 1.2 试验方法和方案

#### 1.2.1 前期准备

由于板件表面不洁会放大板件疏松化的概率, 从而会使焊具电极头发生故障, 故试验之前对板件外在进行

## 作者简介:


胡明敏 (1993.01-), 男, 汉族, 山东济南人, 学士学位, 南京工业大学浦江学院, 助理实验师, 研究方向: 汽车车身焊接。

迟英姿 (1984.06-), 女, 汉族, 江苏南京人, 硕士学位, 南京工业大学浦江学院, 副教授, 研究方向: 自动化、机械制造。

王明 (1994.01-), 男, 汉族, 山东滨州人, 学士学位, 南京工业大学浦江学院, 助理实验师, 研究方向: 汽车车身焊接。

唐徐平 (1986.11-), 男, 汉族, 江苏南京人, 学士学位, 硕士在读, 南京工业大学浦江学院, 助理研究员, 研究方向: 自动化、人工智能。

表 1.3 点焊机信息

	产品名称	GYS 逆变风冷型电阻点焊机		
	配置	点焊机主体 (单面点焊枪, 枪线掉臂, 工具箱), RX1 型钳, RX2 型钳, RX3 型钳		
	外接交流电	三厢 400V50/60Hz	点焊 电流	≤ 10000A
	输出电压	≤ 16V	输入 电流	≤ 32A
	外接电源线	8m	焊枪 线	2.5m

清洁。清理方法有钢丝刷、打磨器或化学腐蚀。最后检查焊接设备是否正常。

### 1.2.2 方案设计

#### (1) 变量的选择

在实际焊接条件下, 由于存在电流分流作用前焊点对后焊点会有影响, 故点距为一个变量。由于焊接时间由设备自动控制, 其他两个变量选择电极压力和焊接电流。根据板厚, 试样将焊接时间定位 10ms, 选择直径为 6.4mm-13.0mm 的电极。

#### (2) 正交试验

根据变量的选择, 结合正交试验法一般思想, 设计完成方案, 分组数据见表 1.4。

表 1.4 正交试验表

因子水平	A	B	C
序号	电极压力/N	焊接电流/kA	点距/mm
1	2150	8.6	12
2	2200	8.7	14
3	2250	8.8	16
4	2300	8.9	18

根据 Minitab 软件完成三因子四水平分组正交试验表, 根据此表得出操作方案共 16 组实验利用点焊机进行焊接实验。

### 1.3 焊接质量检验及方法

#### (1) 焊点直径标准

合格的焊点的标准见表 1.5。在焊接完成后会利用游标卡尺多次测量多个焊点以求出焊点平均直径, 比对表格得出焊点是否合格, 如果合格可进行之后的试验。

表 1.5 焊点标准

工艺类别	点焊熔核直径/mm	加热带直径/mm
最小 (A)	4.0	无
最大 (B)	无	8.0

#### (2) 试验结果检测

工具: 基础测量工具如游标卡尺、钢尺等  
焊点合格检验: 目视检验和非破坏性检查

方法:

#### 1. 翘曲变形

利用游标卡尺测量得出实验材料上多个点试验前后的高度, 计算得其最大差值即为焊接所导致的翘曲变形。

#### 2. 扭曲变形

利用钢尺和塞尺等工具多次测量焊件表面的扭曲度得出最大值。

#### 3. 位移变形

使用游标卡尺测量得出两层板件偏移的长度。

### 2 焊接变形实验结果与分析

#### 2.1 试验过程展示

试验部分焊件见图 2.1, 焊件表面标注了该组实验的理论数据和实际设备所显示的数据, 此处以正交试验所拟定的数据为标准。



图 2.1 焊件展示

#### 2.2 试样实验

在试验之前进行焊点试样, 焊接效果见表 2.1。根据试焊点效果看设备和实验问题。

表 2.1 试样结果

焊接参数			焊接效果
焊接时间/ms	电极压力/N	焊接电流/kA	焊点无飞溅等问题
10	2250	8.8	

#### 2.3 焊点合格检验结果

实验完成后利用游标卡尺测算出平均焊点熔核直径, 结合合格标准得出焊点合格。焊点检验结果见表 2.2。比对焊点标准, 板件焊点均合格可以继续焊接变形的测试。

表 2.2 焊点熔核直径结果

试验序号	因子水平组合			平均焊点熔核直径/mm
	A	B	C	
1	2150	8.6	12	6.42
2	2150	8.7	14	6.72
3	2150	8.8	16	6.40
4	2150	8.9	18	6.50
5	2200	8.6	12	6.70
6	2200	8.7	14	6.44
7	2200	8.8	16	6.10

试验序号	因子水平组合			平均焊点熔核直径/mm
	A	B	C	
8	2200	8.9	18	6.22
9	2250	8.6	16	7.22
10	2250	8.7	18	7.26
11	2250	8.8	14	7.18
12	2250	8.9	12	6.61
13	2300	8.6	14	6.58
14	2300	8.7	16	6.55
15	2300	8.8	12	6.60
16	2300	8.9	18	6.71

#### 2.4 焊接变形结果

利用钢尺和塞尺测量板件扭曲最大的变形量，用游标卡尺测量它们的最大翘曲变形。具体数据见表2.3。

表2.3 变形测量结果

试验序号	扭曲变形/mm	翘曲变形/mm	试验序号	扭曲变形/mm	翘曲变形/mm
1	0.15	/	9	0.10	/
2	0.12	/	10	/	3.62
3	/	3.22	11	/	2.00
4	0.10	/	12	0.13	/
5	/	3.53	13	0.16	/
6	0.15	/	14	/	3.20
7	0.09	/	15	0.11	/
8	0.13	/	16	/	4.00

#### 2.5 最优方案

最后结果可采用两种方法—极差分析法和方差分析法。本实验用直观易懂的方差分析法，由于翘曲变形数值太大故不考虑只进行扭曲变形分析。将试验结果输入Minitab软件，扭曲变形与翘曲变形与3个因素分析，表2.4是均值响应表，由此可见影响主次为点距>电极压力>焊接电流。由于翘曲变形值太大，直接对扭曲变形和三个参数进行单因子方差分析，见表2.5。

通过表可以看出每一个因子和扭曲变形的关系，最后的回归方程便于我们了解某个因子和焊接变形的关联。

表2.4 均值响应表

水平	电极压力	焊接电流	点距
1	0.8975	0.9850	1.4475
2	0.9750	1.7500	0.1400
3	1.4400	1.3550	1.6525
4	1.8675	1.0900	1.9400
Delta	0.9700	0.7650	1.8000
排秩	2	3	1

表2.5 单因子分析

来源	自由度	AdjSS	AdjMS	F值	P值
点距	3	0.002940	0.000980	2.56	0.151
误差	6	0.002300	0.000383		
合计	9	0.005240			
电极压力	3	0.000407	0.000136	0.17	0.914
误差	6	0.004833	0.000806		
合计	9	0.005240			
焊接电流	3	0.001923	0.000641	1.16	0.399
误差	6	0.003317	0.000553		
合计	9	0.005240			
回归方程	扭曲变形/mm=0.12417-0.0008A <sub>1</sub> -0.0008A <sub>2</sub> -0.009A <sub>3</sub> +0.0108A <sub>4</sub> 扭曲变形/mm=0.12292+0.0137B <sub>1</sub> +0.0121B <sub>2</sub> -0.0229B <sub>3</sub> -0.0029B <sub>4</sub> 扭曲变形/mm=0.12000+0.0100C <sub>1</sub> +0.02000C <sub>2</sub> -0.0250C <sub>3</sub> -0.0050C <sub>4</sub>				

最后，选择最优焊接条件用直接法选择，按照变形量最小来选择，确定的“最佳”工艺条件是：1.0mm厚的冷轧低碳钢电极压力为2200N，焊接电流为8.8KA，点距16mm，并且焊接时间为320ms。最佳参数的板件见图2.2。



图2.2 第7组试验板件

#### 2.6 影响焊接变形的其他分析

综合手工电阻点焊操作上的误差，通过试验数据和操作过程分析，得到焊接变形主要有以下几个原因，并且提出控制建议。

##### (1) 电极错位

由图知焊点外形并不圆润，出现模糊的椭圆形表面。由于手工操作中工作人员操作不规范，电极头未与焊件表面垂直引起扭曲变形。

措施：按照操作手册规范操作并且多加培训。



图2.3 第六个实验板件

### (2) 点距设置不当

由图 2.4 看出由于焊件本身的圆孔导致焊接至板件边缘导致扭曲变形。

措施：焊接时保持直线并且量好最小边距。



图 2.4 第 12 组试验板件

### (3) 施加压力过大

第 16 组翘曲变形，由于施加压力太大焊点过度融合导致板件分离形成缝隙。

措施：实际操作中适当减小电极压力。



图 2.5 第 16 组试验板件

### (4) 焊夹位置不当

第 11 组翘曲变形由于操作时夹子与最后一个焊点距离较近，两个力同时作用导致板件边缘翘起。

措施：夹板选择合适位置。



图 2.6 第 11 组试验板件

## 3 结论

根据焊接变形试验我们得出以下结论：

(1) 利用 Minitab 软件单因子方差分析，它们与焊接变形的影响排序是：点距 > 电极压力 > 焊接电流。从回归方程中可以看出扭曲变形和三个工艺参数的关系。

(2) 以直接法选出板件焊接变形最小的最优工艺参数即电极压力 2200N，焊接电流 8.8KA，点距 16mm。实际操作中可以以此作为操作数据。

(3) 造成焊接变形的原因有很多，从试验中得出有上下电极错位、点距选择不当、施加压力过大或夹子位置不当。

### 参考文献：

- [1]刘亮.电阻点焊在事故车维修中的应用[J].汽车维护与修理, 2010(03): 88-89.
- [2]段文博.焊接变形的原因及控制方法[J].技术与市场, 2018(6): 117-119.
- [3]付扬帆.车身电阻点焊试验研究[D].南京:南京理工大学, 2013.
- [4]徐佳奇.电阻点焊工艺参数对高强度钢焊接性能的影响研究[D].上海:华东理工大学, 2016.
- [5]周玉雷.车身薄板件焊接变形 CAE 分析与工艺优化研究[D].长沙:湖南大学, 2015.
- [6]郑文.超高强度热成形钢板电阻点焊数值模拟及分析[D].上海:上海交通大学, 2013.
- [7]Verena Psyk, Christian Scheffler, Maik Linnemann, Dirk Landgrebe. Process analysis for magnetic pulse welding of similar and dissimilar material sheet metal joints [J].Procedia Engineering. 207 (2017) 353-358.
- [8]Sai-Nan W U, Ghaffari B, Hetrick E, et al. Microstructure characterization and quasi-static failure behavior of resistance spot welds of AA6111-T4 aluminum alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(12):3879 - 3885.
- [9]沈婵媛.轿车白车身电阻点焊焊接缺陷的控制[J].汽车实用技术, 2019(01): 148-149+164.