

一种钢-钢、铝-铝电阻点焊共用电极帽及焊接方法

周林柱 谷 昊 崔 颖 周川川 陈 明 姜一帆
中国第一汽车股份有限公司工程与生产物流部 吉林 长春 130062

摘要: 基于传统的电阻点焊在连接钢材与铝合金方面使用的电极帽规格不一致,点焊设备无法共用的情况,本研究使用一组异形电极帽对三组钢点焊和三组铝点焊进行了焊接,并进行了拉剪实验,证明了共用电极帽是可以通过调整焊接参数来实现钢铝的不同搭接组合的电阻点焊连接,解决了传统钢点焊与铝点焊电极帽不能共用的问题,降低生产线设计难度、提高柔性化程度、降低了焊接设备投资成本。同时本实验的焊接参数为后续研究使用此电极帽的应用提供了一种方法。

关键词: 电阻点焊; 电极帽; 焊接工艺

引言

目前汽车制造行业中,目前常见的电阻焊接设备分为钢点焊和铝点焊连接设备。在生产线的工艺规划过程中,出于产线柔性化考虑,不同产品会出现钢-钢、铝-铝的搭接组合,如果设备无法通用,增加设备投资成本,降低设备利用率,影响生产节拍。

电阻点焊是一种快速、经济的连接方法。点焊是一种将焊件装配成搭接接头,并压紧在两接头之间,利用电流通过焊件时产生的电阻热,融化母材金属,冷却后形成焊点的焊接方法。大多数汽车车身都采用电阻点焊焊接^[1],因成本低,速度快。碳钢的点焊技术已经相当成熟^[2],随着铝合金在汽车中的应用^[3-4],汽车制造商期望能继续采用电阻点焊对铝合金进行连接^[5-6]。然而,铝合金材料表面存在氧化层,若采用点焊工艺进行焊接将存在重大问题。相应地铝合金之间的连接技术也成为新的研究方向。

铝合金和钢材相比具有更低的熔点,低电阻率与高导热系数,塑性变形温度差距较大,凝固过程中铝合金更容易形成裂纹,焊接电极需要更多的冷却水,最重要的是,铝合金表面具有高电阻及高熔点的氧化物阻碍电流形成回路。所以铝合金在点焊时比钢材更容易损失热量,这就要求焊接时需要短时间,大电流^[7-8]。还有铝合金的电阻率远小于钢材,约为钢材的40%,这也要求铝点焊需要短时间,大电流。

通常钢点焊使用的电极帽直径为16mm,而铝点焊使用更大直径(一般20mm)的电极帽^[9-10],目前铝点焊使用的电极帽主要有GM专利MRD同心环电极、obara聚能环电极、森德莱球面电极等,其次铝点焊修磨次数更频繁,约为钢点焊5倍,对应特殊螺纹电极头还需配置四刀头修磨器。

基于目前钢点焊与铝点焊所使用的电极帽规格不同,无法实现不同搭接组合的电阻点焊焊接设备共用的现状,本研究采用我国某公司研制的一种钢-钢、铝-铝电阻点焊共用电极帽开展1.2mmHC420/780DPD+Z+1.2mmHC420/780DPD+Z钢点焊试验以及1.5mm5182+1.2mmFAE63铝点焊试验。重点研究搭配此种共用电极帽的点焊设备通过调整焊接电流、焊接压力、焊接时间等焊接参数分别进行三组钢点焊与三组铝点焊的可行性,并为安装此共用电极帽的设备进行后续电阻点焊焊接性能研究提供了一组基础焊接参数与连接方式。

1 电阻电焊特点与原理

1.1 电阻点焊原理

式样装配成搭接接头,并压紧在两电极之间,利用电流通过焊件时产生的电阻热,融化母材金属,冷却后形成焊点,这种电阻焊方法称为点焊。电阻点焊原理示意图如图1所示。

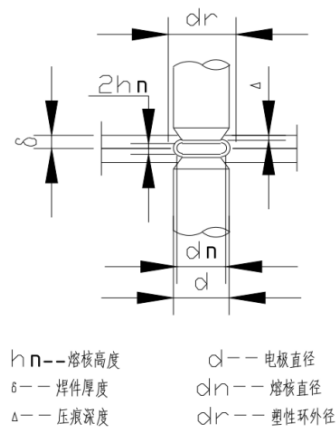


图1 电阻点焊原理示意图

1.2 钢点焊焊接流程

如图2所示，钢点焊焊接流程分为以下几个阶段：

第一阶段：预压阶段，电流数值为0，所施加压力为焊接压力，焊接压力选取2.5-3kN。

第二阶段：焊接阶段，在压力的作用下，对连接位置接通焊接电流，焊接电流选取7-8kA。

第三阶段：维持阶段，此时压力保持为焊接压力，电流减小为0，目的是继续对连接位置施加压力，保持连接位置的稳定，避免因压力的突然撤销而导致连接位置的反弹问题，保证连接位置的质量，维持时间选取20-40ms。

第四阶段：休止阶段，电极压力降低至0，冷却时间选取20-40ms，电极退回到原位置等待下一个焊点焊接过程的开始。

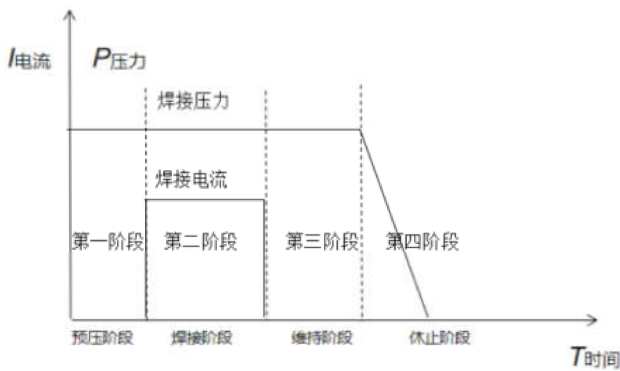


图2 钢点焊焊接流程示意图

1.3 铝点焊焊接流程

如图3所示，铝点焊的焊接流程分为以下几个阶段：

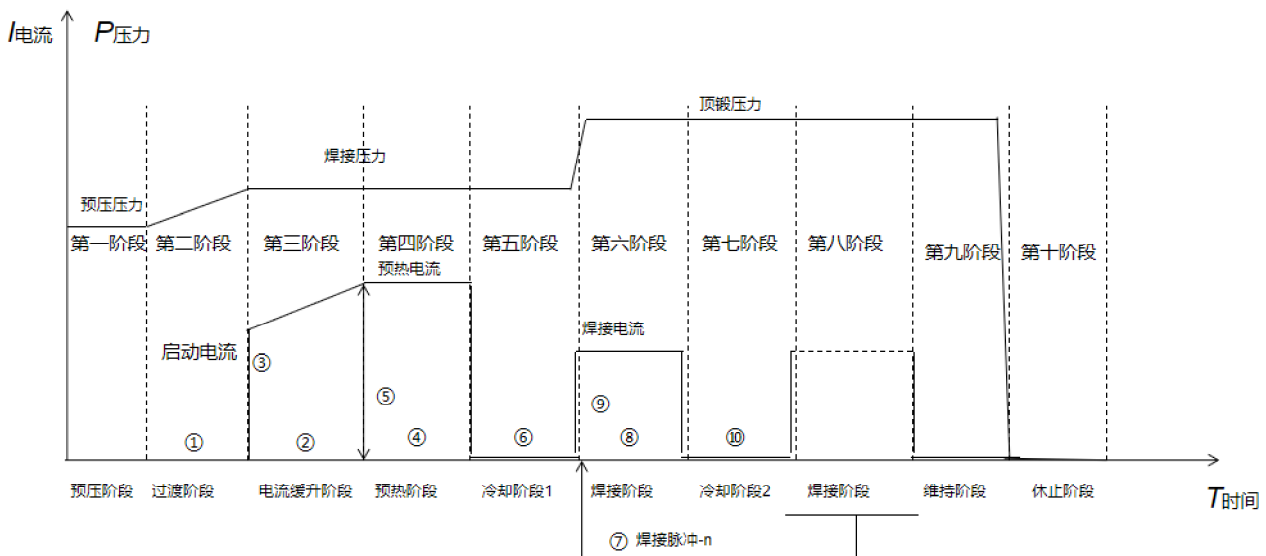


图3 铝点焊焊接流程示意图

1.4 铝合金和钢材性能对比

第一阶段：预压阶段，电流数值为0，所施加压力为预压压力。

第二阶段：过渡阶段，电极压力从预压压力向焊接压力递增，焊接压力选取4-5kN。

第三阶段：电流缓升阶段，首先在过渡阶段结束后出现一个启动电流，在该时间内电流从启动电流上升到预热电流，预热电流选择11-13kA，该过程电极压力一直保持焊接压力。

第四阶段：预热阶段，压力继续保持焊接压力不变，电流采用预热电流，预热时间选取100-150ms。

第五阶段：冷却阶段1，电流下降为0，电极压力保持焊接压力不变，冷却时间1选择40-50ms。

第六阶段：焊接阶段，再次加热熔焊核，同时加大压力至顶锻压力顶压焊核，电流采用焊接电流，选取25-30kA，实现焊接，顶锻压力选取5-6kN，焊接时间选取350-450ms。

第七阶段：冷却阶段2，电流下降为0，电极压力保持顶锻压力不变，冷却时间2选择20-30ms。

第八阶段：此过程重复第六、第七两个过程，实现二次加热循环，循环次数采用焊接脉冲来控制，输入数字n表示将第六、第七过程循环n次，焊接脉冲数选取6-8个。

第九阶段：维持阶段，在将第八阶段循环后，在顶锻压力不变的情况下，维持时间选择80-100ms。

第十阶段：休止阶段，电极压力和焊接电流的数值均为0，电极退回到原位置等待下一个焊点焊接过程的开始。

铝和钢的物理性能存在较大差距，铝合金具有更低

的熔点（过程时间短），低电阻率与高导热系数，最重要的是，铝合金表面具有高电阻及高熔点的氧化物阻碍电流形成回路。具体的对比项目如表1所示：

表1 钢与铝性能对比

对比项目	铝	钢
熔点	480-640℃	1480-1540℃
塑形温度范围	90℃	540℃
导热系数	高	低
电阻率	< 5 $\mu\Omega\text{Cm}$	< 15 $\mu\Omega\text{Cm}$
凝固收缩率	高	低
表面氧化物	Al ₂ O ₃	FeO, Fe ₂ O ₃
表面氧化物熔点	2050℃	1370℃, 1565℃

由此可知铝合金的热导率比钢材的更大，可想而知铝合金在焊接时比钢材更容易损失热量，这就要求焊接时需要短时间，大电流。其次铝合金的电阻率远小于钢材，约为钢材的40%，这也要求铝点焊需要短时间，大电流。这就使得钢点焊与铝点焊所使用的电极帽也不相同。

1.5 钢点焊与铝点焊对比

由铝合金与钢材的性能对比得出铝合金点焊时需要大直径的焊接面电极帽，从而覆盖铝合金焊核及其软化区域（导热快）。钢铝点焊的电极头对比如图4所示。

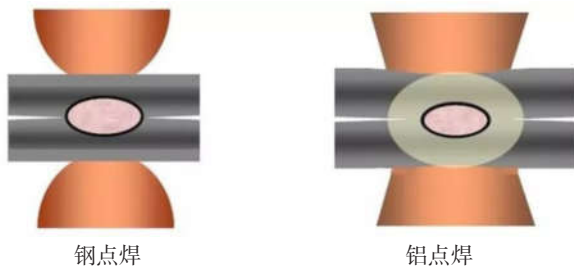


图4 钢铝点焊电极帽区别

根据铝点焊需要短时间、大电流的特点，钢点焊与铝点焊所使用的电焊机参数配置情况也不相同，具体对比如表2

表2 钢点焊与铝点焊对比

	钢点焊	铝点焊
焊接电流	≤ 14000A	28000-35000A
焊接压力	通常不超过3500N	通常5000N
焊接时间	/	时间较短
焊接工艺波形	最多三脉冲	预热+多脉冲
电极帽	直径Φ16mm	更大直径（一般Φ19/20mm）
修磨次数	长周期，使用寿命至少为铝点焊5倍	30-50次，铝点焊修磨次数更频繁，对应特殊螺纹电极头还需配置四刀头修磨器

1.6 试验所用的共用电极帽

本试验使用的电极帽如图5所示，为钢-钢、铝-铝电

阻点焊共用电极帽，包括：

焊接接触面1，此处为与焊接零件接触的工作面；

消耗段2，此处随着电极帽使用，被修磨消耗；

生命线3，此处为修磨的极限位置，电极帽修磨到此处需要更换；

安装段4，用以和焊钳电极杆的装配

安装配合面5，与电极杆连接在一起；

电极材料为氧化铝铜。

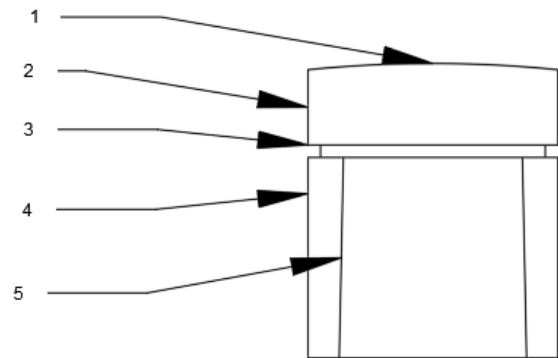


图5 共用电极帽示意图

共用电极帽的选用说明：

优选地，电极帽成分中Al₂O₃含量选取0.3%-0.9%。

优选地，在焊接的过程中，从焊接接触面1的圆弧半径选择75-150mm，焊接接触面1直径选择10-14mm时，对铝件表面氧化层有较好的破坏作用，并能覆盖铝件软化区域。

优选地，焊接接触面1与消耗段2之间夹角选择120°-130°时，在保证电极帽强度的同时，对钢件产品设计时焊接搭接边宽度反要求较低。

上面所述的钢-钢、铝-铝电阻点焊共用电极帽，在焊接铝件时，头部弧面的存在会使得电极帽成为无级递进的方式逐步增加与焊接位置的接触，零件逐步被挤压，此时可将表面的氧化层向外部排挤，消除了氧化层，利于焊核的形成；焊接接触面1与消耗段2之间夹角，保证了电极帽结构强度满足铝点焊的所需的大压力，同时焊接接触面小于铝点焊平面大电极帽，可实现钢点焊焊接^[11]。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料与方案

本实验对三组尺寸为100×40×1.2mmHC420/780DPD+Z+100×40×1.2mmHC420/780DPD+Z进行钢点焊连接，对三组尺寸为100×40×1.5mm5182+100×40×1.2mmFAE63进行铝点焊连接，具体焊接方案及试验用焊接工艺参数如下表3所示。

表3 电阻点焊接方案及焊接工艺参数

NO.	Material 1		Material 2		加胶 Y/N	表面 处理 情况	焊接 板厚	焊接 压力 (kN)	预热 电流 (KA)	预热 时间 (ms)	冷却 1	焊接 电流 (kA)	焊接 时间 (ms)	冷却 2	脉冲 个数	维持 时间 (ms)	电极帽 直径 (mm)
	Type 1	Thickn ess 1 (mm)	Type 2	Thickn ess 2 (mm)													
1	HC420/ 780DPD +Z	1.2	HC420/7 80DPD+ Z	1.2	N	无	2.4	2.8	0.0	0.0	0.0	7.6	200.0	20.0	1	20.0	20.0
2	HC420/ 780DPD +Z	1.2	HC420/7 80DPD+ Z	1.2	N	无	2.4	2.8	0.0	0.0	0.0	7.6	200.0	20.0	1	20.0	20.0
3	HC420/ 780DPD +Z	1.2	HC420/7 80DPD+ Z	1.2	N	无	2.4	2.8	0.0	0.0	0.0	7.6	200.0	20.0	1	20.0	20.0
4	5182	1.5	FAE63	1.2	N	无	2.7	5.2	12.0	100.0	40.0	28.0	400.0	24.0	7	80.0	20.0
5	5182	1.5	FAE63	1.2	N	无	2.7	5.2	12.0	100.0	40.0	28.0	400.0	24.0	7	80.0	20.0
6	5182	1.5	FAE63	1.2	N	无	2.7	5.2	12.0	100.0	40.0	28.0	400.0	24.0	7	80.0	20.0

2.2 实验设备

实验所用设备如图6所示。实验采用图6(a)所示的型号为40C-3020A的焊钳进行电阻点焊连接，采用图6(b)所示的型号为CMT4504的万能拉伸试验机进行拉剪实验。

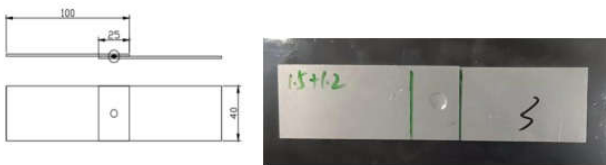


(a)40C-3020A点焊机 (b)CMT4504万能拉伸试验机
图6 实验设备

2.3 实验说明

试验使用图6(a)所示的型号为40C-3020A点焊机安装图5所示的钢-钢、铝-铝电阻点焊共用电极帽，电极帽直径Φ20mm，依据表3电阻点焊焊接方案及焊接工艺参数依次对各试样组合进行电阻点焊连接，将所用试样焊接完成后使用图6(b)所示的型号为CMT4504的万能拉伸试验机进行拉剪实验，进行力学性能分析。

拉剪实验搭接形式如下图7所示，



(a) 电阻点焊搭接示意图 (b) 点焊试样实物图
图7 拉剪实验示意图

3 试验结果分析

3.1 钢点焊

对三组搭接组合根据表3的钢点焊焊接工艺参数进行

焊接，然后对三组试样进行拉剪实验，结果如表4所示。三组实验最大载荷及抗拉强度数据接近，差值未超过10%，满足电阻点焊拉剪实验判定标准。此组钢点焊平均最大载荷为19.03KN，平均抗拉强度为862.82MPa。

表4 钢点焊拉剪实验结果

实验 1		实验 2		实验 3	
最大载荷 (KN)	抗拉强度 (MPa)	最大载荷 (KN)	抗拉强度 (MPa)	最大载荷 (KN)	抗拉强度 (MPa)
18.79	852.06	18.55	841.07	19.75	895.33

3.2 铝点焊

对三组试样组合根据表3的进行焊接。然后对三组试样进行拉剪实验，拉剪结果如表5所示。三组实验最大载荷及抗拉强度数据接近，差值未超过10%，满足电阻点焊拉剪实验判定标准。此组铝点焊平均最大载荷为3.80KN，平均抗拉强度为171.91MPa。

表5 铝点焊拉剪实验结果

实验 4		实验 5		实验 6	
最大载荷 (KN)	抗拉强度 (MPa)	最大载荷 (KN)	抗拉强度 (MPa)	最大载荷 (KN)	抗拉强度 (MPa)
3.82	173.19	3.80	172.28	3.76	170.26

从钢点焊与铝点焊的拉剪实验数据可以看出,拉剪实验数据差值都在10%以内,说明安装此共用电极帽的点焊机在按照实验初始设定的焊接参数进行钢点焊和铝点焊时,这一种焊接方法是可行的,该共用电极帽的具体焊接性能还需要通过设计其他实验进行参数调整优化。

4 结论

4.1 本实验证明了安装此种钢-钢、铝-铝电阻点焊共用电极帽的点焊机可以通过设置不同的焊接规范实现对钢-钢、铝-铝两种板材的电阻点焊焊接。

4.2 根据实验前所设置的焊接参数焊接的各组试样拉剪数据较为平均,为以后验证此共用电极帽的综合焊接性能提供了一种焊接方法。

参考文献

- [1]崇玉良.汽车用钢与铝合金电阻点焊机理研究.上海交通大学,2012
- [2]蔡洪能,王雅生,张占伟,等.汽车用钢板电阻电焊工艺参数优化选择方法[J].材料工程,2016(增刊1):304-309.
- [3]王竑,陈昌明,吴宪等.铝在现代汽车轻量化中的应用[J].上海汽车,2014(12)
- [4]王正科.铝合金在汽车轻量化中的应用[J].时代汽车,2021(01)
- [5]袁波.车用铝合金的电阻点焊工艺研究.合肥工业大学,2019
- [6]李报,陈思杰,赵丕峰等.汽车轻量化先进焊接技术研究进展[J].热加工工艺,2018(03)
- [7]汤蓉蓉,唐学帮等.铝合金汽车轻量化与焊接技术探究[J].机电工程技术,2021(12)
- [8]陈宇豪,薛松柏,王博,韩翼龙等.汽车轻量化焊接技术发展现状及未来[J].材料导报,2019(S2)
- [9]常用电阻焊焊接电极,电焊机,2010(10)
- [10]帅歌旺,周平建,刘建彬.电阻点焊电极的研究进展与发展趋势[J].材料导报,2015,29(4):59-62.
- [11]朱鸿博,田坤,王志娟等.氧化铝铜电极帽在镀锌板焊接中的应用[J].汽车工艺师,2015(08)