

· 结构与工艺 ·

铝合金薄板点焊工艺研究

张秀梅, 佟尚锋

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要:对利用改进的小型储能式点焊机对进口铝合金材料 AMr-3M(0.5 mm)和国产铝合金材料 3A21 和 2A12(0.8 mm 以下)的点焊工艺进行深入系统地试验和研究,确定了焊接工艺参数,掌握了焊接过程的控制方法.提出了多种工艺验证手段.结果表明,利用小型储能式点焊机,代替大型直流点焊机进行铝合金薄板焊接的工艺过程合理可行,设备经济实用.

关键词:国内外铝合金薄板;点焊工艺;小型储能式点焊机;工艺验证

中图分类号: TG166.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)03-0075-05

Research on Spot Welding Process of Aluminum Alloy Sheets

ZHANG Xiu-mei, TONG Shang-feng

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The process of welding foreign aluminum alloy material AMr-3M(0.5 mm) and domestic aluminum alloy material 3A21/2A12(<0.8 mm) by improved small condenser spot welder was further studied and tested. The parameters of welding process were confirmed, the methods of welding process control were acquired, as well as various means of process tests were put forward. The results tests show that the small condenser spot welder can be used to weld the aluminum alloy sheets in stead of large DC spot welding machines, with feasible welding process and low costs.

Key words: domestic and foreign; spot welding process; small condenser spot welder; process test

铝合金薄板(0.8 mm 以下)的点焊十分困难.过去铝点焊大多采用大功率直流焊机,其功率通常在 600~1 000 kW 之间,设备庞大,价格昂贵,特别是在产品售后服务现场维修更换备件时,极其不便.如果采用小型储能式点焊机,严格控制焊接工艺过程,就可解决这些问题.

1 焊接技术难点

1.1 铝的焊接特性

由于铝材自身的特性,铝的焊接较一般金属材料更为困难.铝的导热性好,导热系数是铁的 4 倍,焊接时热传导迅速,能量散失快,难以保证稳定的熔

核温度.铝的电阻小,熔点低.熔点为 660 ℃,为铁的 1/4,通过熔核的电流密度难以控制.铝的线膨胀系数大,冷凝时体积收缩率达 6.5%,容易变形和产生应力.铝易氧化,表面生成 Al₂O₃,且极其稳定,熔点高达 2 050 ℃,给焊接过程中的电流和热传导都增加了不稳定的因素.铝在焊接过程中易产生气孔,易变形,熔池周围形成陷坑,影响焊接质量^[1].

1.2 点焊工艺参数的控制

铝合金薄板的点焊过程中存在母材金属熔化后,流动快、散热凝固时间短的问题.在焊接压力的作用下,焊接表面易产生焊穿、飞溅等焊接缺陷,对焊接参数的合理匹配是形成良好焊点的重要因素.目前能够查阅的国外资料仅有在大功率直流焊机上

收稿日期:2009-04-20

作者简介:张秀梅(1963-),女,辽宁盘锦人,工程师,从事机械加工设备工艺研究.

进行点焊的工艺流程,没有提及小型储能焊机的应用.国内也仅有0.5 mm以上铝合金板材的点焊工艺流程,对于0.5 mm以下板材的点焊^[2],无成熟工艺可以借鉴.

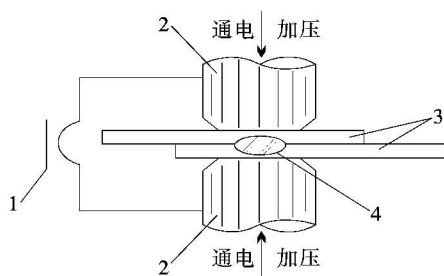
1.3 小型储能式点焊机的改造

市面上已有的新型储能式点焊机,并没有主要为铝点焊而设计生产的.由于铝点焊的特点,要保证焊接质量,必须严格控制电流密度和吸能时间.这就要求点焊时的触点接触面积、压力大小、通过稳定电流的时间,都能得到严格有效的控制,因而需要对市面上的这种点焊机进行大量试验,才能掌握焊接参数和焊接工艺.

2 点焊工艺的研究试验

2.1 技术参数的获取依据

在点焊焊接过程中,焊接区金属熔化并同时被施加压力,焊接区金属发生熔化-冶金反应-凝固-固态相变-形成焊点,同时由于压力的作用,焊点的质量得到提高.点焊原理如图1所示.



1—焊接变压器; 2—电极; 3—焊件; 4—熔核。

图1 点焊原理图

(1)温度场的分布.把热源看作点热源或二维面热源处理,其能量分布主要为高斯分布,发热量为

$$Q = \int_0^t I_{(t)}^2 R_{(t)} dt \quad (1)$$

式中, $I_{(t)}$ 为通过焊接点的瞬时电流值(A); $R_{(t)}$ 为两电极间的总电阻(Ω); t 为电流通过时间(s).

$$\text{若以平均值计算,式(1)则为: } Q = I_w^2 R t_w \quad (2)$$

式中, I_w 为焊机电流(A); t_w 为焊接时间(s).

$$R = 2R_w + R_e + 2R_{ew} \quad (3)$$

式中, R_w 为焊机本身电阻(Ω); R_e 为焊件接触电阻(Ω); R_{ew} 为电极与焊件间接触电阻(Ω).

$$\text{焊件接触电阻 } R_e = \rho L / s \quad (4)$$

式中, ρ 为材料电阻率; L 为导体长度; s 为导体截面积.

电阻率不仅取决于金属种类,还与热处理状态有关,如2A12的电阻率为 $4.3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$,淬火时高达 $7.3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$.冷作加工后电阻率也会增高,温度升高时电阻率也会升高,熔化时比熔化前提高1~2倍.

(2)电极压力的确定.压力大,则铝板变形,接触面及接触点改变,接触电阻下降,电流分布状态改变,变形大,焊接强度降低.压力小,会引起接触不实,产生飞溅,熔核不稳,同样引起焊接强度降低.

(3)表面形状条件的影响.通常铝材的表面粗糙度 $R_a \leq 6.3$,如表面十分清洁时,接触电阻只在刚通电时的极短时间内存在,随后迅速减小以至消失.但由于铝表面存在氧化膜 Al_2O_3 和其他不洁物质,会影响焊接质量,因此必须对焊件表面做焊前处理^[3].

2.2 对小型储能式点焊机进行改造

如上所述,由于铝的特性,要求点焊时压力适中而稳定,保压时间一致而准确.但小型储能式铝点焊机结构简单,完全靠人工操作来施加压力,无法保证压力和时间的准确,因此要对小型储能式铝点焊机进行技术改造.改造分两部分,一是压力保障机构,即在活动电极的架上增加保持板,使加压系统加在保持板上的力始终大于所需压力.二是保压时间机构,即把活动电极架与一直旋转着的擒纵机构相连接,每转一次就使焊接零件移动一个焊点,同时保持压力一定时间,实现完整规则的梯形时间波.

2.3 焊接工艺参数的确定

焊接参数主要有:焊接电流、焊接时间、电极压力.必须对焊接参数进行合理的匹配,才能形成良好的焊点^[4].

在一台功率为800 J的国产小型储能式点焊机上对0.5 mm及0.8 mm的进口铝板和国产铝板进行点焊连接的工艺研究和试验.经过对点焊机能力的确定和对点焊工艺参数的调整并大量试验,确定了适宜的焊接工艺参数.见表1、表2、表3.

铝合金零件的焊接循环规范如图2所示.

表1 材料为AM Γ -3M的焊接工艺参数

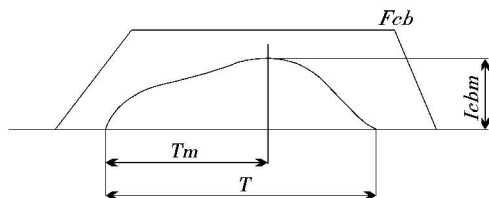
零件 厚度	电极参数		焊接参数			
	直径 $D/(mm)$	球面半径 $R/(mm)$	电极压力 $F_{cb}/(N)$	焊接电流 $I_{cbm}/(A)$	焊接时间 $t_m/(s)$	电容电压 $/(V)$
0.5+0.5	16	25	19 600~20 000	25 000~28 000	0.02	225~250
0.8+0.8	16	50	2 000~2 600	28 000~30 000	0.04	250~300

表2 材料为3A21、5A03、5A05的焊接工艺参数

零件 厚度	电极参数		焊接参数			
	直径 $D/(mm)$	球面半径 $R/(mm)$	电极压力 $F_{cb}/(N)$	焊接电流 $I_{cbm}/(A)$	焊接时间 $t_m/(s)$	电容电压 $/(V)$
0.5+0.5	16	25	1 960~2 450	19 500~23 500	0.02	225~250
0.8+0.8	16	50	1 500~2 450	25 000~28 000	0.04	250~300

表3 材料为2A12的焊接工艺参数

零件 厚度	电极参数		焊接参数			
	直径 $D/(mm)$	球面半径 $R/(mm)$	电极压力 $F_{cb}/(N)$	焊接电流 $I_{cbm}/(A)$	焊接时间 $t_m/(s)$	电容电压 $/(V)$
0.5+0.5	16	25	1 500~1 900	19 000~26 000	0.02	225~250
0.8+0.8	16	50	1 900~2 450	26 000~36 000	0.04	250~300



F_{cb} —电极压力(N); I_{cbm} —焊接电流脉冲幅值;
 T_m —电流脉冲从0~max的时间; T —总持续时间。

图2 铝合金零件的焊接循环规范

2.4 焊接过程控制

(1)焊前处理:焊前必须对零件表面进行仔细的化学清洗,并规定焊前存放时间,一般规定不可超过5 h,以保证焊前工件表面具有较小的、稳定的接触电阻值(一般不超过 $120 \mu\Omega$)。

(2)焊接:由于电流大,母材表面易过热,电极易变形并粘连,生成 $CuAl_2$,使焊接表面发黑,降低抗蚀性,并恶化其导电性和导热性。因此要经常清洁电极表面,保持良好的导电性。

3 工艺验证

焊前应进行试焊,即用与零件相同厚度和相同材质,且经过清洗的试件,在调整好焊接参数后进行试焊。样件经质量检测合格后方可进行批量生产。对焊接试件进行以下工艺验证:

(1)外观检查. 检验内容及参数为:

①检查焊点位置的一致性,搭边尺寸10 mm,焊点间距10 mm。

②压痕的尺寸及形状应满足其椭圆度3:2的要求。

③焊件两层间的间隙为:母材金属厚度(mm) $\times 25\%$ 。

(2)撕裂试验. 在材料试验机上对试样进行撕裂,破坏应发生在热影响区的母材上。在未发生穿孔的情况下,对母材金属凹陷或凸出部分进行测量,其高度应大于母材金属厚度(mm) $\times 30\%$ 。试验结果见表4。

表4 焊点撕裂试验统计表

材料:AMr-3M		厚度:0.5 mm					厚度:0.8 mm				
焊点序号		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
母材金属拉伸高度/mm		穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔
合格判定		穿孔或大于 $0.5 \times 30\% = 0.15$					穿孔或大于 $0.8 \times 30\% = 0.24$				
结论		合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
材料:2A12		厚度:0.5 mm					厚度:0.8 mm				
焊点序号		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
母材金属拉伸高度/mm		穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	0.22	0.42
合格判定		穿孔或大于 $0.5 \times 30\% = 0.15$					穿孔或大于 $0.8 \times 30\% = 0.24$				
结论		合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	不合格	合格
材料:3A21		厚度:0.5 mm					厚度:0.8 mm				
焊点序号		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
母材金属拉伸高度/mm		穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔	穿孔
合格判定		穿孔或大于 $0.5 \times 30\% = 0.15$					穿孔或大于 $0.8 \times 30\% = 0.24$				
结论		合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

(3)显微组织检验.对合格零件的焊点进行显微组织检验,按 QJ2205-91、QJ2206-91 标准制做磨片,由检验部门进行渗透检测,焊点应满足设计要求。

(4)X 射线探伤.根据国标规定对焊点进行 X 射线探伤检验,焊点应满足设计要求。

(5)力学性能检验.按 QJ2205-91、QJ2206-91 标准制作力学性能检验试样,在材料试验机上进行该项检测.试验结果如下:

①接头强度.按 QJ2205-91 标准第 5.1.1 条

规定,Ⅲ级点焊接头的焊点单点抗剪力值应不低于规定数值的 1/2.铝及铝合金厚度为 0.5 mm 的Ⅲ级点焊焊点剪切力为 350 N,厚度为 0.8 mm 的Ⅲ级点焊焊点剪切力为 750 N.

因此厚度为 0.5 mm 单点焊点剪切力为

$$350 \text{ N} \times 1/2 = 175 \text{ N} = 0.175 \text{ kN}$$

厚度为 0.8 mm 单点焊点剪切力为

$$750 \text{ N} \times 1/2 = 380 \text{ N} = 0.38 \text{ kN}$$

焊点剪切强度试验数据见表 5.

表5 焊点剪切强度试验数据

材料及料厚	材料:AMr-3M									
	0.5 mm					0.8 mm				
焊点剪切力/kN	0.42	0.48	0.32	0.39	0.50	0.45	0.60	0.40	0.49	0.57
合格判定	焊点剪切力不小于 0.18 kN					焊点剪切力不小于 0.38 kN				
结论	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
材料及料厚	材料:2A12									
	0.5 mm					0.8 mm				
焊点剪切力/kN	0.39	0.43	0.30	0.41	0.42	0.42	0.56	0.28	0.46	0.5
合格判定	焊点剪切力不小于 0.18 kN					焊点剪切力不小于 0.38 kN				
结论	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	不合格	合格	合格
材料及料厚	材料:3A21									
	0.5 mm					0.8 mm				
焊点剪切力/kN	0.34	0.14	0.35	0.24	0.19	0.22	0.12	0.34	0.17	0.25
合格判定	焊点剪切力不小于 0.18 kN					焊点剪切力不小于 0.38 kN				
结论	合格	不合格	合格	合格	合格	不合格	不合格	不合格	不合格	不合格

材料为 AMr-3M 焊点剪切强度试验曲线如图 3 所示.

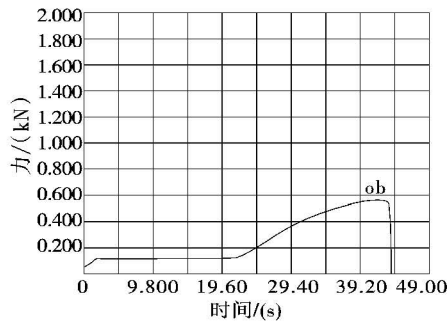


图 3 焊点剪切强度试验曲线

材料 AMr-3M 的焊点剪切强度稳定性试验曲线(5 点)如图 4 所示.

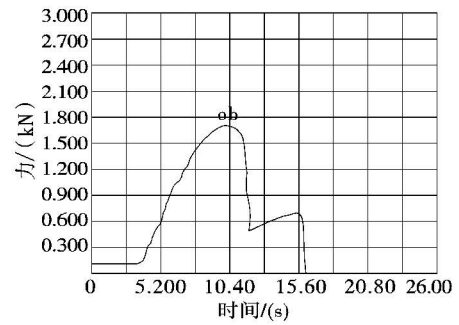


图 4 焊点剪切强度稳定性试验曲线(5 点)

②焊点剪切强度稳定性.按 QJ2206-91 标准第 5.1.3 条规定,Ⅲ级点焊接头全部试验焊点剪切力应为该组抗剪力平均值的 0.65~1.35 倍.对焊点进行单点和 5 点剪切试验^[1].试验数据及合格判定见表 6.

表 6 焊点剪切强度稳定性试验数据及合格判定(5 点)

材料及料厚	材料:AMr-3M									
	0.5 mm					0.8 mm				
焊点剪切力/kN	1.69	1.60	1.50	1.70	1.63	1.09	1.40	1.08	1.10	1.52
焊点剪切力平均值	1.62					1.24				
合格判定	1.05~2.19					0.81~1.67				
结 论	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
材料及料厚	材料:2A12									
	0.5 mm					0.8 mm				
焊点剪切力/kN	1.00	0.97	1.20	1.01	1.38	1.06	0.80	1.35	1.02	0.92
焊点剪切力平均值	1.11					1.03				
合格判定	0.72~1.349					0.72~1.40				
结 论	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
材料及料厚	材料:3A21									
	0.5 mm					0.8 mm				
焊点剪切力/kN	1.67	1.70	1.57	1.48	1.60	0.07	0.05	0.05	0.07	0.05
焊点剪切力平均值	1.60					0.06				
合格判定	1.04~2.16					0.038~0.081				
结 论	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

工艺验证结果表明,小型储能式点焊机对(0.5+0.5)mm 的铝合金薄板焊接性能良好,对材料 2A12(0.8+0.8)mm 的焊接性能较差,对于材料 3A21(0.8+0.8)mm 则无法焊接.

4 结 论

通过对铝合金薄板的点焊工艺研究试验和工艺验证,以及对小型储能式点焊机的技术改造,总结出一套行之有效的,对进口和国产铝合金薄板 0.5 以下进行点焊连接的工艺方法.同时对不锈钢、钛合

金、黄铜等材料在小型储能式点焊机上点进行点焊连接有实际参考价值.

参考文献

- [1] QJ2206-91 铝合金电阻点、缝焊技术要求[S].
- [2] 王爱珍.板筋连接技术[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [3] 李亚江,刘强,王娟.有色金属焊接及应用[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [4] 孟庆森,吴志生.金属材料焊接基础[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [5] 李亚江.焊接组织性能与质量控制[M].北京:化学工业出版社,2005.