

# 交流频率及装配质量对单面自动焊接头性能的影响分析

厉晓笑 郝云飞 田堂振 杜岩峰 王道虎

(首都航天机械公司,北京 100076)

**文 摘** 开展了6 mm 2A14-T6 铝合金对接接头的单面焊双面成形焊接工艺研究,详细分析了交流频率和装配精度对焊缝成形及接头力学性能的影响规律。结果表明:随着交流频率从60 Hz 逐渐增加至80 Hz,2A14 铝合金对接接头的平均抗拉强度从356 MPa 降低至310 MPa,但接头延伸率没有显著变化。装配精度对焊缝质量的影响分析结果显示:随着装配间隙增大,焊缝背部成形效果变差。当间隙超过20%板厚时,焊缝易直接熔穿或单面切割,无法形成焊漏。随着装配错边增大,焊缝背部成形逐渐变差,出现咬边现象;接头力学性能测试显示,随着装配错边的增加,接头抗拉强度和延伸率均呈逐渐下降的趋势。在实际工程应用中,局部错边应控制在25%板厚范围内。

**关键词** 单面焊双面成形,交流频率,装配精度,接头性能

中图分类号: TG4

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.04.023

## Effect of Alternating Current Frequency and Assembly Quality on Properties of One-Side Automatic Welding Joint

LI Xiaoxiao HAO Yunfei TIAN Tangzhen DU Yanfeng Wang Daohu

(Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

**Abstract** This paper investigated the welding process of one-side welding with backing formation of 6 mm 2A14-T6 aluminum alloy, and analyzed the discipline of the alternating current frequency and assembly accuracy to the welding formation and the joint performance. The results showed that with the AC frequency gradually increased from 60 Hz to 80 Hz, the average tensile strength decreased from 356 MPa to 310 MPa, but the joint elongation did not change significantly. The analysis of assembly accuracy showed that the body material would be burnt through or single cutting by one-side when the assembly clearance exceeded 20% of thickness which was unable to form welding leakage. On the other way, when the larger assembly stagger was come out, the mechanical properties of joint decreased obviously. In addition, the influence of stagger on the performance was greater than the clearance. When the stagger was increased, the backing formation would be worse. The result of joint performance showed that if the stagger was greater, the joint tensile strength and elongation declined gradually. So in practical engineering applications, the local stagger of joints should be controlled within 25% of thickness.

**Key words** One-side welding both sides formation, Alternating Current frequency, Assembly accuracy, Performance of welding joint

### 0 引言

航天2A14 铝合金焊接性较差,易产生焊接裂纹。为提高接头力学性能,我国现役系列运载火箭贮箱广泛采用“内侧双层自动焊接+外侧手工封底”的两面三层焊接工艺,旨在通过手工封底工艺增加焊缝热输入以提高接头的延伸率。但是两面三层焊工艺

方法易导致贮箱焊缝产生气孔、夹渣和未熔合缺陷,且生产效率较低。为此逐步开展以“直流氩弧打底+交流脉冲氩弧盖面”的单面焊双面成形工艺的研究。实际工程应用中影响单面焊双面成形焊接接头性能的因素较多<sup>[1]</sup>,文中直流氩弧打底焊接工艺的所有参数及盖面焊接工艺的参数、焊接速度等参数均固定

收稿日期:2014-12-02

作者简介:厉晓笑,1987年出生,硕士,工程师,主要从事贮箱焊接及型号管理工作。E-mail:lixiaoxiao0809@163.com

不变,仅通过改变盖面交流频率方式分析其对接头力学性能的影响。另外考虑单面焊双面成形工艺对接头装配质量要求较高,本文将在不同装配条件下进行工艺试验,以确定装配精度(间隙、错边)对接头质量的影响情况,并摸索相应的控制措施。

## 1 试验

表 1 2A14 铝合金化学成分<sup>[2]</sup>

Tab.1 Chemical composition of 2A14 aluminium alloy

								wt%
Cu	Mn	Ti	Mg	Zn	Ni	Fe	Si	Al
3.90~4.8	0.40~1.0	0.15	0.40~0.8	0.30	0.10	0.7	0.60~1.2	余量

表 2 BJ380A 焊丝化学成分

Tab.2 Chemical composition of BJ380A welding material

							wt%
Si	Cu	Ti	Zr	B	Y	Al	
4.2~5.7	1.3~2.3	0.05~0.25	-	0.01~0.05	-	余量	

### 1.2 试样制备

焊前对试片进行酸洗及刮削打磨处理,清除表面油污。采用 ZF-2500 纵缝自动焊系统进行工艺试验,具体试验方案如下。

(1) 选用 60、70、80 Hz 的交流频率进行对接接头的盖面焊接,其余焊接参数保持一致,如表 3 所示。直流氩弧焊接时,采用弧压控制器进行弧压跟踪,控制钨极到工件距离,维持打底焊缝焊漏宽度均匀;盖面时采用变极性交流脉冲方式。

(2) 针对不同的间隙(0.5、1.0、1.5 mm)及错边(0、1.0、1.5 mm)情况,制备焊接接头。

表 3 2A14 铝合金单面焊双面成形技术部分工艺参数

Tab.3 The welding process parameters of 2A14 aluminium alloy

板材厚度 /mm	打底		盖面	
	焊接电流	焊接速度	焊接电流	焊接速度
	/A	/mm·min <sup>-1</sup>	/A	/mm·min <sup>-1</sup>
6.0	240~280	250~300	240~340	100~180

### 1.3 性能评价

用 X 射线探伤检测单面焊双面成形焊接接头是否存在焊接缺陷,合格后沿垂直于焊缝方向切取金相试样,用混合酸(1 mLHF+1.5 mLHCl+2.5 mLHNO<sub>3</sub>+95mLH<sub>2</sub>O)溶液对抛光后的试样进行腐蚀,在 OLYMPUS 光学显微镜下进行典型区域金相组织分析。在 MTS-810 电子拉伸试验机上进行拉伸试验,测试接

### 1.1 材料

2A14-T6 铝合金板材( $\sigma_b=422$  MPa, $\delta_5=5\%$ ),板材规格为 400 mm×150 mm×6.0 mm,主要化学成分如表 1 所示。焊丝材料为  $\Phi 1.6$  mm 的 BJ380A,其成分如表 2 所示。

头的拉伸力学性能。试验过程中,按照 GB/T228—2002 金属拉伸试验标准要求,采用拉伸试样宽度 20 mm,标距为 75 mm。

## 2 结果与分析

### 2.1 交流频率对接头性能的影响

表 4 为仅改变交流频率(分别为 60、70、80 Hz),其余焊接参数一致的情况下,焊接接头的力学性能情况。

表 4 6.0 mm 2A14 铝合金接头力学性能结果

Tab.4 Mechanical properties of 2A14 welding joint

功率/Hz	试样	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%
80	1#	305	4.5
	2#	310	4.5
	3#	310	5.0
	4#	315	5.0
	5#	310	4.5
	均值	310	4.7
70	1#	330	4.5
	2#	325	4.0
	3#	330	4.5
	4#	335	4.0
	5#	330	4.0
	均值	330	4.2
60	1#	350	5.0
	2#	360	5.0
	3#	360	5.0
	4#	355	5.0
	5#	355	5.0
	均值	356	5.0

从表 4 可知,随着交流频率的增加,接头抗拉强度有所下降,延伸率变化较小。分析认为这与较高的交流频率导致盖面焊熔深增大,从而使打底焊区域受到过多的热影响所致。交流频率较高,电弧电磁收缩明显,电弧集中且穿透能力增强。当采用氩弧打底+宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 4 期

氩弧盖面焊接工艺时,试片经打底后接头已形成焊漏,因此盖面焊接的主要目的是为保证焊缝成形,并与打底焊缝熔合良好,因此应尽量减少打底焊缝的重复受热影响区。对比频率为 60、70、80 Hz 的接头性能,可知当盖面熔深增加,已固化的焊缝金属重复受热加剧,接头抗拉强度下降。对于延伸率,因交流频率影响熔宽,熔宽的增加一定程度上会提高延伸率,因此交流频率变化对延伸率的综合影响较小。

图 1 为 60 Hz 频率下获得的焊缝接头组织,由于

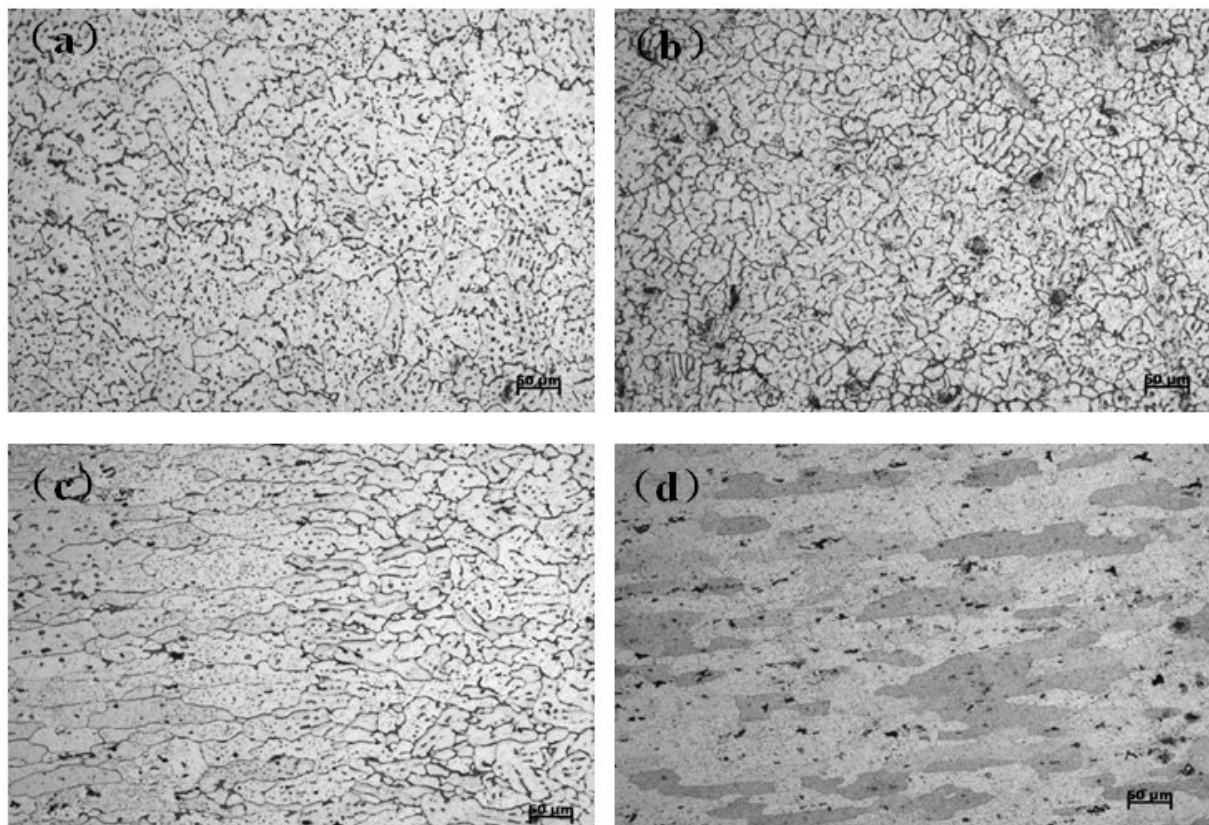


图 1 接头各区组织

Fig. 1 Morphology of 2A14welding joint

## 2.2 装配质量对接头性能的影响分析

### 2.2.1 间隙对焊缝质量的影响分析及控制措施

针对 6 mm 厚 2A14 铝合金平板对接接头,预制对接间隙 0.5、1.0、1.5 mm,用于分析对接间隙对焊缝质量的影响,试验过程装夹及焊漏情况如图 2 所示。从试验结果可知,当初始间隙为 0.5 mm 时,背部焊漏均匀饱满,一致性较好;当初始间隙为 1.0 mm 时,氩弧打底可形成焊漏,但初始阶段焊漏出现部分反抽现象;而当间隙为 1.5 mm 时,焊缝直接熔穿或单面切割,无法形成有效的焊漏。对形成有效焊缝的试板进行 X 光无损检测,未发现超标缺陷,在此基础上进行力学性能测试,所获得的接头抗拉强度大于 320 MPa,延伸率大于 3.5%,满足设计指标及图纸的宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 4 期

2A14 铝合金的再结晶温度起始温度为 250 ~ 310℃,终止温度为 350℃,因此焊缝区已发生完全再结晶,焊缝区域组织以枝晶组织为主,加上变极性方式对熔池有较强的搅拌作用<sup>[4]</sup>,使组织晶粒细化;热影响区组织相对粗大,局部存在柱状树枝晶,在外力作用下更容易发生断裂。母材区组织为扁平晶粒<sup>[5]</sup>,以  $\alpha$  (Al) 为基体,沿轧制方向生长,并伴随强化相析出,晶界清晰。与焊缝区相比,热影响区及母材区晶粒较粗大。

要求。通过试验分析认为,为保证焊缝质量,建议对接间隙不超过板厚的 20%。

在工程应用中,焊接间隙难以避免。操作中,一方面应在焊前采取有效措施尽可能的减小对接间隙,具体可通过焊前预铣切、提高制边精度或采用手工吻合等方式,将间隙控制在板厚的间隙容限之内,保证焊接质量;另一方面,当无法采用冷加工方式控制对接间隙时,需采用一定的工艺措施予以解决。对于超标的对接间隙,常用的方式为小电流定位焊接,即采用较小的束流先将焊缝弥合一遍,再进行打底焊接。研究过程中,从焊漏成形、内部 X 光质量及接头力学性能等方面进行实验综合评价,结果表明,该工艺是可行的,满足设计指标要求。同时研究认为,若起弧

位置不塌陷,正常起弧,则后续含间隙对接处,因焊接

收缩作用,能有效减少间隙,可保证正常焊接。

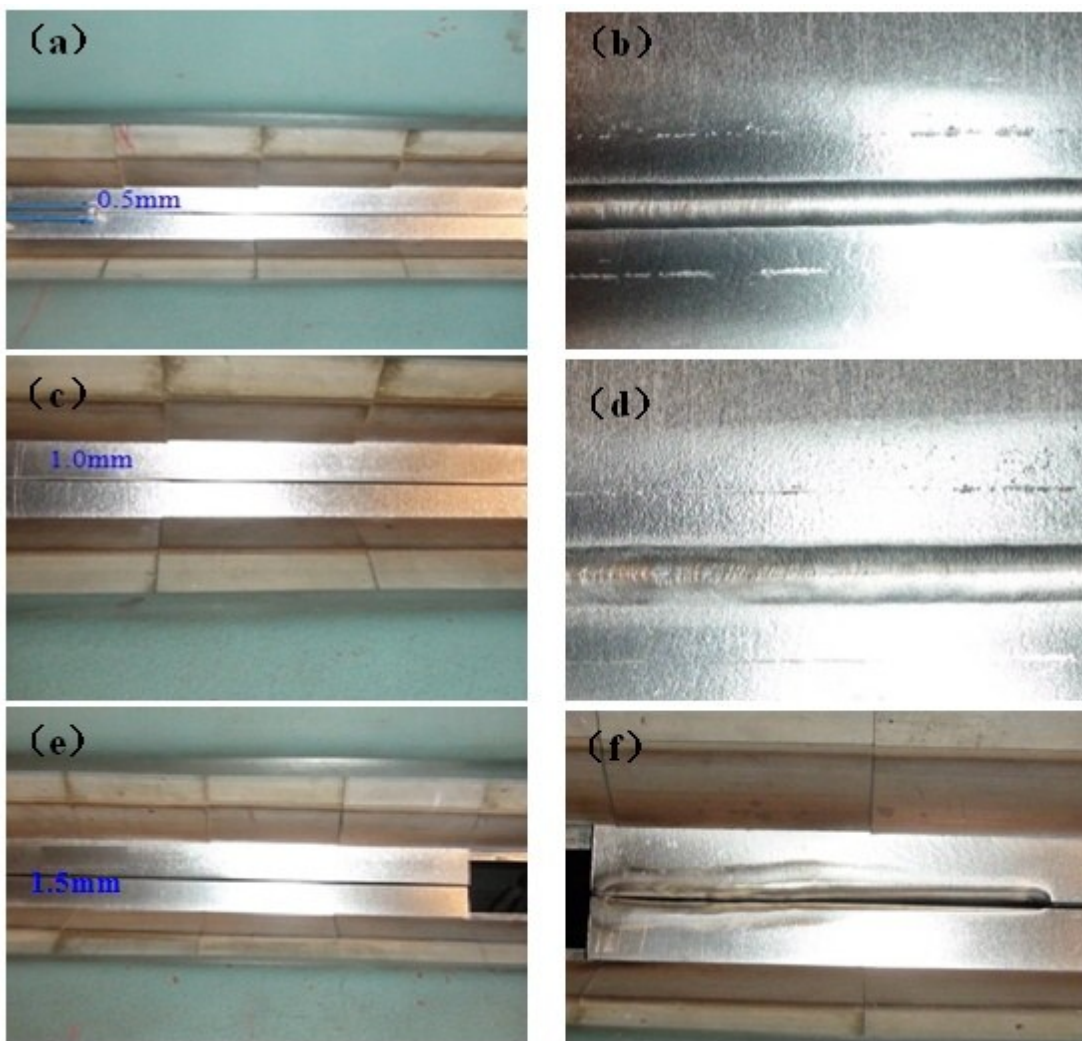
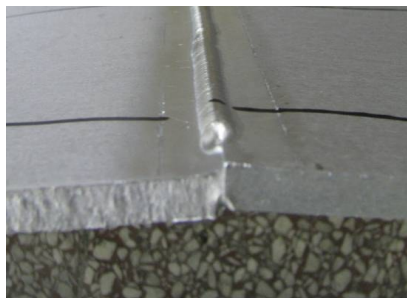


图2 0.5、1.0、1.5 mm 间隙试验接头装配及焊漏成形情况

Fig.2 Assembly and welding result of 0.5、1.0 and 1.5 mm clearance

### 2.2.2 错边对焊缝质量的影响分析及控制措施

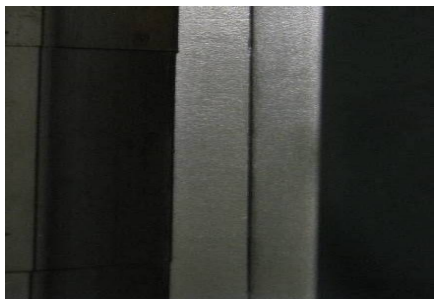
考虑 QJ2698A—2011 技术条件中铝合金 I 级焊接接头整条错边要求不超过板厚的 15%,局部错边要求不超过板厚的 25%。因此试验过程预设整条理论焊接错边分别为 0、1.0、1.5 mm,分析错边程度对焊缝质量的影响规律。从图 3 中可以看出,1.5 mm 焊接错边在单面焊双面成形工艺下仍可以形成焊漏,但成形欠佳,出现焊漏金属铺展不均、咬边等现象。不同错边情况下的接头进行力学性能测试,具体情况如表 5 所示。



(b) 焊接后

图3 1.5 mm 对接错边焊接前后情况

Fig.3 Welding result of 1.5 mm staggered joint



(a) 焊接前

从表 5 可知,随着错边的增大,接头抗拉强度及延伸率均逐步降低,当错边达到 1.5 mm 时,接头性能明显下降,部分试样出现力学性能不合格的现象。尽管当整条焊缝错边预制为 1.0 mm (~15% 板厚) 时,性能合格,但延伸率下降较明显。因此,在实际生产过程中,应尽量减少错边,避免因错边造成接头畸

变,导致承载能力下降。错边对力学性能的影响程度高于间隙影响,操作过程应按设计要求将局部错边控制在 25% 板厚范围内。

表 5 不同错边情况下的接头力学性能

Tab. 5 Mechanical properties of different staggered joint

错边/mm	试样	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%
0	1#	355	4.0
	2#	360	5.0
	3#	350	4.5
	4#	355	5.0
1.0	1#	330	3.5
	2#	330	3.5
	3#	335	3.5
	4#	320	3.0
1.5	1#	270	3.0
	2#	245	2.5
	3#	240	2.0
	4#	255	2.5

同间隙情况类似,焊接过程的错边情况也不可避免。从工程应用角度出发,一方面可通过机械控制方式尽可能的减小对接错边;另一方面,当出现超标的对接错边时,需要有相应的工艺措施予以解决。机械控制方式主要通过外部琴键压板,加严对接区域板厚等方案。对于出现超标的错边问题,目前主要采用锉修错边区域使其圆滑过渡的工艺措施来解决。若焊后局部区域错边严重,采用对错边区域进行局部加热,并锤击矫形处理。

通过间隙及错边对性能影响程度的研究,若焊接间隙在可控范围内,其变化对接头性能影响较小,且部分小间隙的存在反而减缓间隙过小导致焊接收缩

应力集中现象。而对于焊接错边,QJ2698A—2011 铝及铝合金焊接技术条件中对错边有严格要求,且通过试验证明,随着错边的增加,接头性能急剧下降,影响焊缝质量。因此,在焊前装配过程中,应采取相应措施尽量减少错边。

### 3 结论

(1)随着交流频率从 60 Hz 逐渐增加至 80 Hz, 2A14 铝合金对接接头的平均抗拉强度从 356 MPa 降低至 310 MPa,延伸率没有显著变化。

(2)随着装配间隙增大,焊缝背部成形效果变差,当间隙超过 20% 板厚时,焊缝易直接熔穿或单面切割,无法形成焊漏。

(3)随着装配错边增大,焊缝背部成形逐渐变差,出现咬边;抗拉强度和延伸率均呈逐渐下降的趋势。在实际工程应用中,局部错边应控制在 25% 板厚范围内。

### 参考文献

- [1] 梁文博,闫辉. 单面焊双面成形的焊接技术[J]. 煤矿现代化,2011(1):116-117
- [2] 周万盛,姚君山. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京:机械工业出版社,2006
- [3] 谢美蓉. LD10 铝合金变极性 TIG 焊试验[J]. 焊接,2005(10):40-43
- [4] 王亚荣,黄文荣,等. 2A14 高强铝合金电子束焊接工艺优化及接头组织分析[J]. 焊接学报,2011,32(12):93-96
- [5] 赵志远. 铝和铝合金牌号及金相图谱速用速查及金相检验技术创新应用指导手册[M]. 北京:中国知识出版社,2005
- [6] 熊欢,庄来杰,等. 2219-T87 铝合金变极性 TIG 接头微观组织与力学性能[J]. 航空制造技术,2014(10):7578

(编辑 任涛)