

焊接方式对铝合金搅拌摩擦焊 T 型接头性能的影响

范开春¹ 郭辉荣¹ 李宝华² 唐众民²

(1 中国航天三江集团设计所 武汉 430040)

(2 中国航天三江集团红阳公司,孝感 432100)

文 摘 采用 4 种规格的搅拌头进行了 2A70-T6 铝合金 T 型接头搅拌摩擦焊试验,并对焊缝横截面进行了观察以及焊缝抗拉强度的测试。结果表明:焊缝中前进侧熔合过渡区的金属变形比返回侧剧烈,焊缝断裂往往发生在前进侧;在相同的焊接参数下,单道焊缝的焊核宽度与抗拉强度随着搅拌针直径的增大而增大,但增大的幅度较小,并列焊的焊缝抗拉强度仅为单道焊缝的 93% 左右;为了获取相同宽度的焊核,采用加粗搅拌针单道焊比并列焊更具有优势。

关键词 搅拌摩擦焊,T 型接头,单道焊,焊核

Effects of Welding Ways on Property of Aluminum Alloy T-Joint During Friction Stir Welding

Fan Kaichun¹ Guo Huirong¹ Li Baohua² Tang Zhongmin²

(1 China Aerospace SanJiang Group Design Corporation, Wuhan 430040)

(2 China Aerospace SanJiang Group Hongyang Machinery Plant, Xiaogan 432100)

Abstract Friction stir welding for T-joint of 2A70-T6 aluminum alloy is carried out by using four different kind of welding tools, the weld cross section is observed and the tensile strength of weld is tested. The results show that the transition metal at the advancing side deform excessively compared to the retreating side. The joints often break at the advancing side, under the same welding parameter. The nugget width and the tensile strength increase along with the diameter of the pin increases in the single-pass weld, but the increment is small. The tensile strength of parallel weld is about 93% of the single-pass weld. In order to get the same width nugget, it is advantage to adopt single-pass welding by using big diameter pin over parallel welding.

Key words Friction stir welding, T-joint, Single-pass weld, Nugget

0 引言

搅拌摩擦焊(FSW)是英国焊接研究所(TWI)于 1991 年发明的一项固相摩擦焊技术^[1],开发初期主要用于铝合金的连接。FSW 作为一种固相连接技术,具有传统熔焊方法无法相比的许多优势:如焊接过程不需要坡口准备、填充金属及保护气体;焊接接头质量及力学性能获得明显改善;焊接变形小、容易实现自动化及生产效率高等^[2]。2A70 铝合金是一种高强耐热铝合金,广泛应用于航空发动机及其他较高温度的零部件^[3]。

国外研究表明搭接界面宽度及焊道边缘的界面畸变对接头的性能有重大影响,其中前进侧的界面畸变对接头性能影响最大^[4]。国内目前关于 2A70 铝

合金 T 型接头的焊接工艺研究较少,由于 T 型接头焊接界面不同于对接或搭接接头,其界面与搅拌头呈垂直状态,其焊接缺陷形成机理和分布状态与对接接头不大相同^[5-6]。

本文针对铝合金的 T 型接头开展了工艺研究,采用不同的焊接方式进行焊接,研究焊接方式对 T 型接头性能的影响。

1 实验

T 型焊接试板由轧制蒙皮板和锻造的搭接板组成,其材料均为 2A70-T6 铝合金,蒙皮板的厚度为 6 mm,外形尺寸为 500 mm×200 mm;搭接板的厚度为 8 mm,外形尺寸为 500 mm×40 mm,图 1 为 T 型接头搅拌摩擦焊的示意图。

收稿日期:2013-05-03

作者简介:范开春,1965 年出生,高级工程师,主要从事弹体结构设计及成形工艺研究。E-mail:ghrr@tom.com

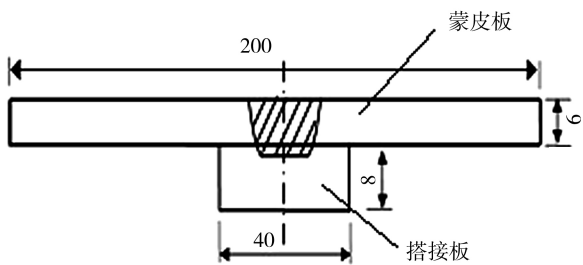


图1 T型接头焊接示意图

Fig. 1 Schematics of T joint during FSW

焊接时选用了4种不同规格带右旋螺纹的搅拌头,搅拌头主轴逆时针旋转,搅拌针的直径分别为10、12和14 mm,搅拌针长度均为6.3 mm,另一种搅拌头的轴肩直径为10 mm,搅拌针的长度为7.4 mm,使用型号为FSW-3LM-006的设备进行焊接,分别进行单道焊和并列焊,分别采用搅拌针的直径为10、12和14 mm的搅拌头进行单道焊;采用搅拌针的直径为10 mm的搅拌头进行并列焊,其中并列焊分为两种方式,焊缝中心间距均为4 mm,一种方式是第1条焊缝在第2条焊缝的下方,即第2条焊缝的返回侧将第1条焊缝的前进侧覆盖,规定该方式为ARR,另一种方式则相反,规定其方式为AAR,图2为不同焊接方式的示意图。

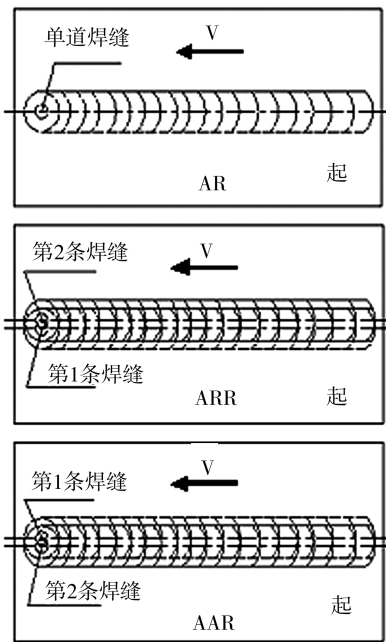


图2 不同焊接方式示意图

Fig. 2 Schematics of different welding way

对焊缝进行相关实验,主要包括焊缝界面检测、焊缝形貌检测、焊缝显微组织检查和接头力学性能测试。按照标准GB/T228—2010《金属材料拉伸试验方法》的规定制作拉伸试样时,先将底部的搭接板去掉,然后分别将上表面和下表面加工1.5和1 mm,保证拉伸试样的厚度为3.5 mm,最后将试样铣加工成

哑铃状,并用细砂纸抛光拉伸区域,最后利用AG-1材料试验机(规格250 kN)完成拉伸试验。每种试板取3件拉伸试样,统计时取其平均值。

2 结果与分析

2.1 T型接头的界面缺陷

图3为采用轴肩直径为10 mm、搅拌针长度为7.4 mm焊接后的焊缝形貌,可以发现:前进侧和返回侧的水平界面均发生了畸变,靠近前进侧的界面线沿着焊核边缘向焊缝中延伸,靠近返回侧的界面线在焊核边缘形成一个向上凸起的波峰,并且前进侧向焊缝中延伸的深度比返回侧深。形成该现象的原因是焊缝两侧受搅拌针的作用方式不同,前进侧焊核金属主要受到剪切作用,而返回侧的金属主要受到挤压作用,在搅拌针行进过程中,在靠近前进侧位置会形成一个瞬时空腔,在焊缝金属填充瞬时空腔时,返回侧界面处的金属受挤压,导致此处的金属微微向上隆起,形成一个小小的波峰;而前进侧界面处的金属开始受到剪切作用,在焊缝金属填充瞬时空腔时又受到挤压作用,两者的综合作用使得前进侧界面处的金属向焊缝中延伸。

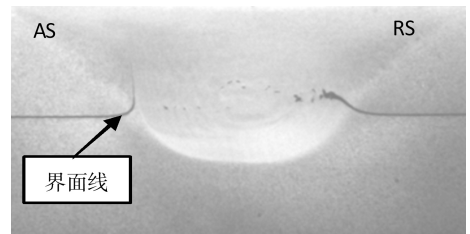


图3 T型接头的界面缺陷

Fig. 3 Defect of the T joint

搅拌针的长度过长会引起T型接头水平界面的畸变,水平界面线在搅拌针的作用下向焊核中延伸,从而使得有效的焊接厚度减小,影响焊缝接头的性能,改变搅拌针的长度可有效的改善T型接头的水平界面成形,一般要求搅拌针的长度比蒙皮的厚度长约0.3 mm。

2.2 焊缝截面形貌

图4为不同搅拌针直径、搅拌针长度均为6.3 mm搅拌头焊接的焊缝截面形貌,焊接参数均为:旋转速率300 r/min、焊接速率250 mm/min,图4(a)~(c)中焊缝洋葱环环貌清晰可见,焊缝底部的水平界面线与焊核熔合成一体,其水平界面处焊核的宽度分别为9.4、11.3和13.2 mm,随着搅拌针直径的增大,焊核区域的宽度也随之增大,这是由于当焊接参数一定时,焊缝中塑性金属的变形程度取决于搅拌针直径的大小,搅拌针直径越大,其作用于焊缝金属的表面积越大,当搅拌头旋转一周时,能促使更多的塑性金属在搅拌针周围迁移,从而形成焊核的直径也越大。此外,为了获得较大的焊核,采用搅拌针直径为10 mm的搅拌头进行了并列焊,两条焊缝中心的间距为4 mm,如图4(d)和

(e)所示,可以发现,并列焊焊缝洋葱环状貌没有单道焊缝的明显,图4(d)和(e)中焊核直径相差不大,约为13.5 mm,焊缝中均有3个分界线,两边分别为前进侧和返回侧的分界线,图4(d)中间分界线为第2条焊缝的返回侧,界面较为模糊,而图4(e)中间分界线为第2条焊缝的前进侧,界面较清晰。

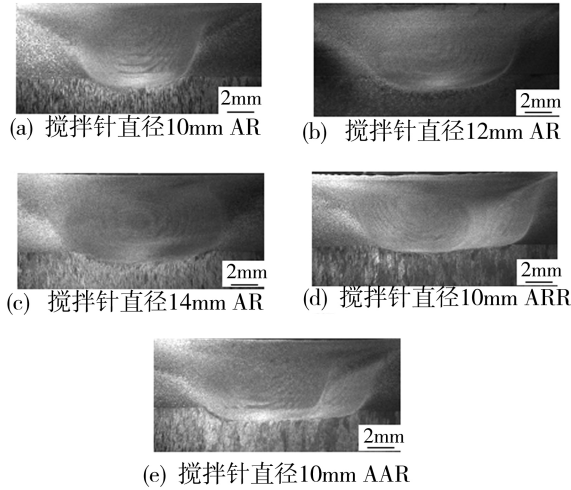


图4 不同搅拌针直径作用下的焊缝横截面形貌
Fig.4 Morphology of the weld transverse section under action of different diameter of the pain

2.3 焊缝显微组织

图5为焊缝的显微组织形貌。从图5(a)中看出,焊缝金属变化剧烈,塑性金属呈现拉长状流变形成,焊核区的晶粒细小;图5(b)中焊核区由细小晶粒缓慢过渡至母材较大的晶粒,塑性金属变形的梯度较前进侧缓和。从图5(c)和5(d)中看出,两侧的组织形貌与单道焊的类似,不同的是过渡区晶粒比单道焊的大,这可能与焊缝的热输入量有关,并列焊时焊缝金属经历了两次焊接,较多的热量输入促使了晶粒的长大。

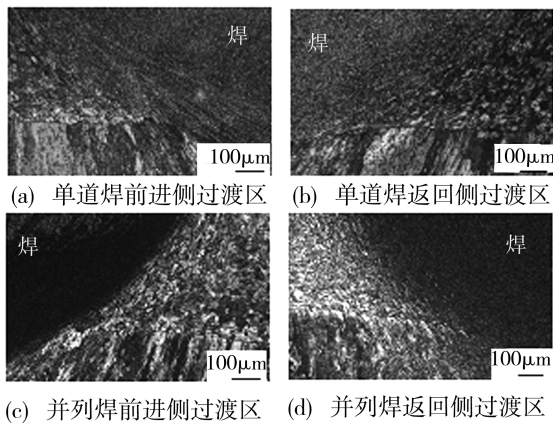


图5 T型接头焊缝显微组织金相图

Fig.5 Metallographic picture of T joint

2.4 接头力学性能

焊缝的抗拉强度统计结果见表1。

表1 T型接头焊缝抗拉强度

Tab.1 Tensile strength of T joint MPa

试样	抗拉强度	试样	抗拉强度
a	372	d	350
b	375	e	345
c	379		

从表1中看出,3种不同搅拌针直径的搅拌头在相同的焊接参数下进行焊接,焊缝的抗拉强度均在370 MPa左右,随着搅拌头直径的增大,其焊缝的抗拉强度逐渐增大,但增大的幅度较小;试样d和e对应并列焊缝的抗拉强度,是单道焊缝抗拉强度的93%左右。这与焊缝的热输入量有关,并列焊时焊缝金属经历了两次焊接,第2条焊缝热输入量对第1条焊缝晶粒影响较大,较大的热输入量促使焊缝中的晶粒长大,从而导致并列焊比单道焊接缝的抗拉强度低。此外,由于返回侧熔合过渡比前进侧的缓和,因而,并列焊中间界面为返回侧比中间界面为前进侧的抗拉强度高。

3 结论

(1)在相同的焊接参数下,单道焊缝的焊核宽度与抗拉强度随着搅拌针直径的增大而增大,但增大的幅度较小;并列焊的焊缝抗拉强度仅为单道焊缝的93%左右。

(2)焊缝中前进侧熔合过渡区的金属比返回侧的变化剧烈,焊缝断裂往往发生在前进侧,其中并列焊中间界面为第2条焊缝的前进侧即(AAR)时,焊缝抗拉强度最低。

(3)为了获取相同宽度的焊核,采用加粗搅拌针单道焊比并列焊更具有优势。

参考文献

[1] Li Ying, Trillo E A, Murr L E. Friction-stir welding of aluminum alloy 2024 to silver[J]. Journal of Materials Science Letters, 2000, 19: 1047-1051

[2] Terry Khaled. An outsider looks at friction stir welding [R]. Federal Aviation Administration. California, USA, 2005

[3] 聂波,王志超,刘显东,等. 2A70 铝合金预拉伸厚板热处理工艺研究 [J]. 轻合金加工技术, 2004, 32(7): 41-45

[4] Dolby R E, Thomas W M. Friction stir welding and related friction based technologies [C]//6th International conference on Trends in welding Research, Callaway Gardens Resort. Pine Mountain, Georgia [R]. Federal Aviation Administration. California, USA, 2005: [s. n.], 2002

[5] 罗凯,邢丽,杨成刚. 搅拌摩擦焊搭接接头的研究现状与展望 [J]. 电焊机, 2010, 40(6): 5-8

[6] 柯黎明,潘际銮,邢丽,等. 铝合金搅拌摩擦焊焊缝形成的物理机制 [J]. 材料工程, 2008(4): 33-37

(编辑 李洪泉)