

# 铝合金搅拌摩擦焊焊接缺陷分析

张忠科, 孙丙岩, 王希靖, 王丽

(兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 采用搅拌摩擦焊方法对 6 mm 厚的 2A12 及 3A21 铝合金进行焊接。对其焊接速度、旋转速度及压入量等工艺参数选择不当所产生的接头缺陷进行了分析; 焊接缺陷的产生与焊接热输入及焊缝塑性金属的软化相关。当热输入不足或者塑性金属的软化程度较差时都会导致焊接缺陷的形成。

**关键词:** 搅拌摩擦焊; 缺陷; 2A12 铝合金; 3A21 铝合金

中图分类号: TG453

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2006)19-0013-02

## Analysis on Weld Defect of Friction Stir Welding of Aluminum alloy Plate

ZHANG Zhong-ke, SUN Bing-yan, WANG Xi-jing, WANG li

(State Key Lab. of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou Univ. of Techn., Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** 2A12Al and 3A21Al alloy in 6mm thickness was friction stir welded using the process of weld. The reasons for forming defects, welding speed, rotating speed and pressure of the shoulder, were analyzed. The results show that the defect formations is related to the heat input and deficiency material flow in the welding process. Insufficient heat input or deficiency material softening will result in the joint defect in the process.

**Key words:** friction stir welding (FSW); defect; 2A12Al alloy; 3A21Al alloy

随着搅拌摩擦焊(FSW)技术的推广,需要对其焊接工艺参数进行调整,以提高接头性能和焊接生产率;但工艺参数的调整会引起一些焊接问题,参数不当时会在接头中出现一些焊接缺陷。本文就影响FSW焊缝质量的工艺因素——焊接速度、旋转速度和压入量,当其参数选择不当时会使焊缝产生什么样的缺陷进行了试验和分析。

## 1 试验用材料及方法

试验采用 2A12 及 3A21 两种不同铝合金进行对接焊,2A12 为加工硬化状态,3A21 为退火状态。试板尺寸为 300 mm×100 mm×6 mm,焊前用砂纸除去表面氧化物,然后将其刚性固定在钢垫板上,进行 FSW 焊接。试验用搅拌头参数为:轴肩直径 24 mm;搅拌针直径 6 mm,长 5.8 mm。焊接时搅拌头倾斜角度为 2°。

焊后沿焊缝横截面、纵截面方向制取截面金相

试样,并用 Keller's 试剂对抛光后的试样进行腐蚀 50s,然后在光学显微镜下对接头形貌进行观察分析。

## 2 试验结果和分析

### 2.1 焊接缺陷与焊速

当旋转速度一定时,焊接速度过快及过慢均不能得到成形良好的焊缝。

由于 FSW 是一种固相连接方法,所以焊接时被焊材料并没有熔化,而是在摩擦热的作用下发生软化,焊缝处金属达到塑性状态,因而焊缝内金属的塑性状态与热输入的大小相关。FSW 焊接中焊接热量主要来源于搅拌头与被焊工件之间的摩擦热。当搅拌头转速一定时,由摩擦生成的热量一定,焊缝单位长度上的热输入则随着焊接速度的增加而减少,被焊金属的软化程度也就随着焊接速度的增加而变差。若焊接速度过快就使得焊缝处金属达不到塑性状态,因而金属的流动性差,则在焊缝表面形成如图 1 所示的空洞。若焊接速度过慢,则会在焊缝横截面焊核区底部形成如图 2 箭头所指的孔洞缺陷。此孔洞缺陷一般沿着焊缝走向分布,从焊接开始到终止一直存在,最终形成如图 3 所示的隧道型缺陷。

收稿日期: 2006-07-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(10577010)

作者简介:张忠科(1978-),男,山东济南人,博士生。研究方向:焊接设备及其自动化,新型连接技术;

电话:0931-2806865;E-mail: zhangzke@lut.cn.

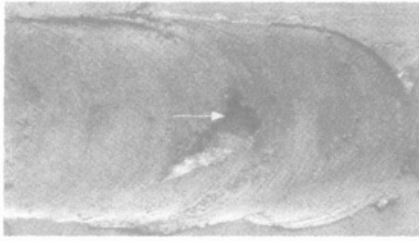


图1 转速 1300r/min, 焊速 110mm/min 时焊缝上表面出现的孔洞缺陷



图2 转速一定、焊速 30mm/min 时焊缝横截面焊核区底部形成的孔洞缺陷

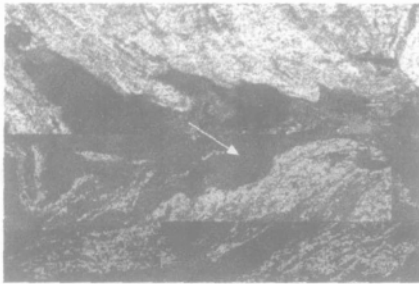


图3 焊缝纵截面焊核区隧道缺陷

图2左侧为返回侧,右侧为前进侧,从图中可看出孔洞缺陷主要存在于前进侧。孔洞形缺陷的形成主要是FSW焊接过程中焊缝前进侧与返回侧金属的流动方式不同。焊缝前进侧与返回侧塑性金属受到搅拌针的剪切力作用及搅拌针前方塑性金属向后的挤压力作用而流动。在前进侧塑性金属受到搅拌针的剪切力及焊接方向的塑性金属的挤压力方向相反。同时由于低的焊接速度降低了搅拌针前方塑性金属向后的挤压作用,因而在焊接过程中前进侧大量塑性金属被搅拌针剪切到返回侧且前方的塑性金属无法及时的填充搅拌针后方空间而形成孔洞。而返回侧金属所受搅拌针剪切力与焊接方向的塑性金属的挤压力方向相同,焊后大量金属沉积在返回侧,因而焊接过程中的孔洞缺陷大多出现在前进侧。

## 2.2 焊接缺陷与转速

焊接速度不变,转速不同时,其焊接热输入不同。图4为不同转速下用ANSYS软件模拟出的FSW进行到50s时被焊件表面的温度分布,可看出不同转速下被焊件上的温度差异。转速较大时

工件上任意一点的温度都比转速较小时工件上同一点的温度要高<sup>[1-3]</sup>。转速增加,单位时间内搅拌

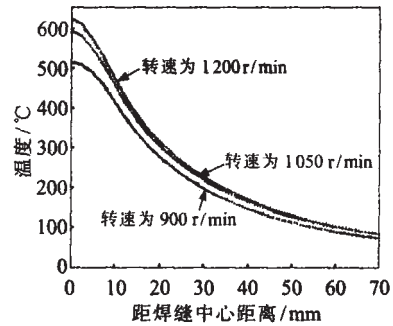


图4 不同转速下工件表面的温度分布 (焊速为 120mm/min)

针周围塑性金属之间的摩擦次数增加,因而所产生的摩擦热也随着转速的增加而变大。当热输入合适时,被焊金属达到一个很好的软化状态,在搅拌针的搅拌作用下发生充分的塑性流动,最终形成理想的焊缝。转速过低则热输入不足,焊缝内塑性金属软化不足,就会形成如图5所示的焊缝前进侧焊核区与热力影响区的界线。界线左侧为焊核区,晶粒为近球形的精细等轴晶,右侧为3A21防锈铝热力影响区。由于焊接过程中焊缝前进侧塑性金属受到搅拌针的剪切力方向与焊接方向的塑性金属的挤压力方向相反,同时由于焊接热输入不足,降低了前进侧焊核区与热力影响区金属的软化程度,因而影响了金属层之间的结合而形成明显的界线。

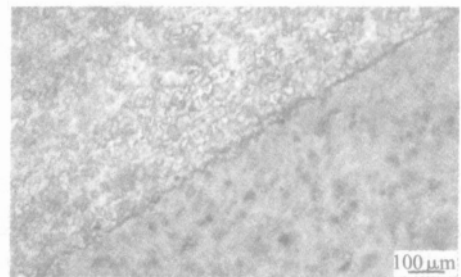


图5 前进侧焊核与热力影响区界线

## 2.3 焊接缺陷与压入量

为了保证焊后能得到良好的焊缝,FSW时必须保证一定的焊接压入量,但过多及不足的压入都会导致焊接缺陷的产生。压入量过大,会使金属从焊缝两边溢出而形成如图6所示的飞边;压入量过小时则使得轴肩对焊缝塑性金属的压力减小,焊接过程中焊缝处的塑性金属只受搅拌针的作用而会出现轴肩旋转痕迹不连续的现象。更重要的是,压入量过小就减少了轴肩与上表面的摩

# 车辆热交换器铝合金管的高频焊接

胡瑞玲<sup>1</sup>, 李志强<sup>1</sup>, 解剑英<sup>2</sup>

(1.湖北汽车工业学院 材料工程系,湖北 十堰 442002; 2.广州高技汽车技术有限公司,广东 广州 510540)

**摘要:** 管材所用铝合金带料为三层复合材料,外层为 Al-Si 钎料层,中间为 Al-Mn 芯材,内层为 Al-Zn 防腐层。带材经成型机组成型后经高频焊接而成。研究表明:采用高频焊接铝合金管焊缝成形美观、无气孔等缺陷,焊速高,焊缝微观组织均匀,是一种理想的焊接工艺。

**关键词:** 高频焊接; 铝合金管; 热交换器

中图分类号: TG458

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2006)19-0015-02

## High Frequency Welding of Vehicle Heat Exchanger Tube of Aluminium Alloy

HU Rui-ling<sup>1</sup>, LI Zhi-qing<sup>1</sup>, XIE Jian-ying<sup>2</sup>

(1.Dept. of Materials Engineering,Hubei automobile industry institute,Shiyan 442002,China;

2.Guangzhou gaoji automobile technology Ltd., Guangzhou 510540,China)

**Abstract:** The strap material for tube is three-layer complex aluminum alloy, the outside Al-Si brazing material, the middle Al-Mn core material, the inner Al-Zn resistant corrosion material. The strap is welded together by high frequency welding after molding set. The experiments show that the weld formation is very sound ,the welding speed is obviously increased, and also the microstructure of welding line is uniformity. It is proved that high frequency welding for heat exchanger tube of aluminium alloy is a perfect process.

**Key words:** high frequency welding; aluminum alloy tube; heat exchanger

车辆热交换系统的轻量化是车辆轻量化的一

个重点领域,而在该系统中,热交换器用管的轻量化是关键。用铝管代替铜管是热交换器的一大发展趋势,而铝管的制造多用钎焊方法,但铝表面易形成氧化膜,且不易除去,故成为其工艺上的难点<sup>[1]</sup>。我们采用高频焊接工艺来焊制热交换器用

收稿日期: 2006-07-19

基金项目: 湖北省教育厅自然科学基金资助项目(D200523005)

作者简介: 胡瑞玲(1971-),女,湖南临武人,讲师,硕士;

电话: 0719-8241472; E-mail: huruilin5440@163.com

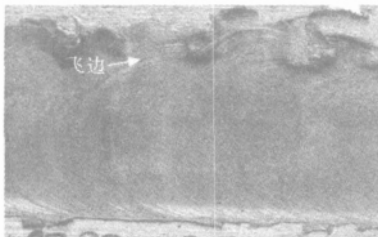


图6 焊缝表面的飞边缺陷

个重点领域,而且由于搅拌作用使内部金属被搅至表面,焊缝无法填充因而形成了如图7所示的焊接缺陷,从而影响焊缝的成形。

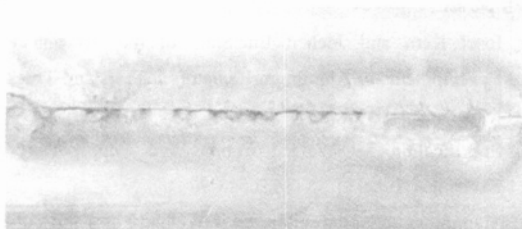


图7 焊缝背面缺陷

(1) 搅拌头旋转速度一定,焊接速度过快与过慢时均不能得到良好的焊缝。焊速过低使得焊缝前方塑性金属向后挤压力变小而无法填充搅拌针行走时的空腔;焊速过快,焊缝单位面积热输入减少,焊缝表面易形成孔洞缺陷。

(2) 搅拌头旋转速度的大小决定FSW时热量的大小,转速过低会使焊缝前进侧焊核区与热力影响区塑性金属流动趋势不同而易形成界线。

(3) 焊接时压入量过大易产生大量的飞边,而压入量不足时则会在焊缝背面形成沟槽缺陷。

### 参考文献:

- [1] 张彦富,柯黎明,孙德超,等.搅拌摩擦焊焊缝区温度分布及对材料流动的影响[J].南昌航空工业学院学报,2003,17(3):12-16.
- [2] 郭瑞杰.搅拌摩擦焊温度场数值模拟[D].兰州:兰州理工大学,2004.
- [3] 王希靖,郭瑞杰,阿荣,等.铝合金薄板搅拌摩擦焊温度场模拟[J].电焊机,2004,(增刊):116-119.

## 3 结论