

# 深冷处理对 5A06 铝合金 TIG 焊接头组织的影响

太原科技大学 材料科学与工程学院(030024) 高 珊 任树杰 吴志生 帅 鹏  
山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心(030003) 张心保

**摘要** 用手工氩弧焊,SAIMg-3 焊丝对 5A06 铝合金板进行了 TIG 焊,采用液氮对 5A06 铝合金焊接接头进行了深冷处理,深冷处理温度为  $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 4 h,8 h,10 h,并对深冷处理前后的 5A06 铝合金焊接接头进行了金相组织观察、XRD 衍射测试。研究结果发现,深冷处理可以使接头组织形成亚晶结构,使得晶粒细化, $\beta$  ( $\text{Mg}_2\text{Al}_3$ ) 相的数量明显增加,且分布更加均匀、弥散,形成了弥散强化,改善了铝合金接头的组织。

**关键词:** 铝合金 深冷处理 焊接接头 TIG 焊 显微组织

**中图分类号:** TG457.14

## 0 前 言

铝合金因具有独特的优点,其焊接结构已经成为民用及军工产品上的重要组成部分。所以各企业对铝合金的焊接方法和焊接工艺的研究也越来越广泛和深入。同时,人们也在不断的探索,寻求各种改善铝合金焊接接头组织和性能的方法<sup>[1-2]</sup>。材料的深冷处理作为具有积极应用前景的材料处理方法,其独特效果引起了人们重视。深冷处理作为改善材料组织和性能的重要处理工艺在传统的钢铁材料中已经得到了广泛的应用,在铝、铜、镁等有色金属中也有相关研究和报道<sup>[3-4]</sup>。文中首次初步研究了深冷处理对 5A06 铝合金 TIG 焊接头组织的影响,并对有关机理进行了探讨。

为探索改善铝合金焊接接头的软化提供了新途径。

## 1 铝合金焊接接头的深冷处理试验

### 1.1 试验材料与方法

焊接母材选择不能热处理强化的 AL-Mg 系 5A06-O 铝合金板,焊接试件尺寸为  $300\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ,平板对接焊接长度为  $300\text{ mm}$ ,V 形坡口(单边  $30^{\circ}$ ),焊缝填充焊丝选用与母材同质的  $\phi 3\text{ mm}$  的 SAIMg-3,母材及焊丝的化学成分见表 1。焊前用丙酮和酒精对焊丝和母材表面进行去油污处理,晾干后待焊。采用交流 TIG 焊焊接方法进行焊接,焊接设备选用阿尔泰 TIG 焊机,焊后进行 X 射线探伤,等级为 II 级。

表 1 5A06 和 SAIMg-3 化学成分(质量分数,%)

| 材料      | Si  | Fe  | Cu  | Mn      | Mg      | Zn   | Ti        | Al |
|---------|-----|-----|-----|---------|---------|------|-----------|----|
| 5A06    | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.5~0.8 | 5.8~6.8 | 0.20 | 0.02~0.10 | 余量 |
| SAIMg-3 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.5~0.8 | 5.8~6.8 | 0.25 | 0.5       | 余量 |

深冷处理前后的试样在 JVCTK-S350EG 光学显微镜下观察显微组织并拍金相照片,XRD 分析在 Rigakud/max-2500 型 X 射线衍射仪上进行,试验条件为:CuK $\alpha$  靶,工作电压为  $40\text{ kV}$ ,工作电流为  $100\text{ mA}$ ,连续扫描法,扫描速度为  $4^{\circ}/\text{min}$ ,起始角:  $20^{\circ}$ ,终止角:  $80^{\circ}$ 。

### 1.2 接头的深冷处理

深冷处理又称超低温处理(一般在  $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),是

指将被处理的对象置于特定的、可控的低温处理环境中,使材料的微观结构发生变化,从而改善材料性能的一种工艺方法<sup>[5-7]</sup>。

深冷处理试验设备应用的是中国科学院理化技术研究所研制的 SLX-30 深冷控制箱。制冷剂为液氮( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),试验采用的是气体法,即将液氮气化,以气体状态处理工件,液氮经喷管喷出后在深冷箱中直接汽化,利用液氮的汽化潜热及低温氮气吸热使深冷箱降温<sup>[6-8]</sup>。通过控制液氮的输入量来控制降温速度,温度自动调节。处理时将 5A06 铝合金焊接接头装

收稿日期: 2014-01-20

基金项目: 山西省 UIT 项目(2012243),太原科技大学博士启动基金(20122002),太原科技大学 UIT 项目(xj2012019)

入深冷处理箱中,控制降温速率,缓慢将接头的温度降到保温温度,保温一定时间,再按升温曲线缓慢升到室温。深冷处理工艺曲线如图1所示。

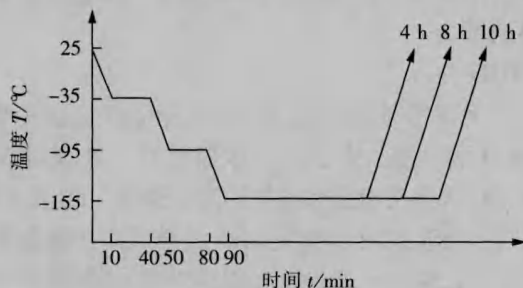


图1 深冷处理工艺曲线

试验深冷处理温度为  $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保温时间为 4 h, 8 h, 10 h,降温速率为  $6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。保温后在深冷处理箱中缓慢升至室温。

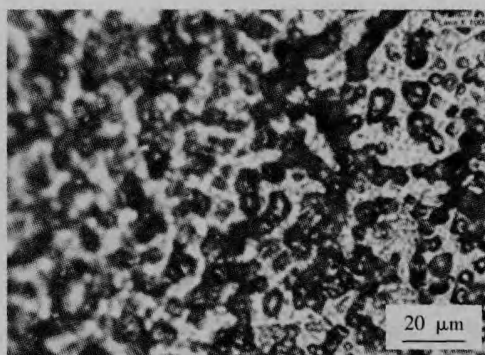
## 2 试验结果及分析

### 2.1 深冷处理对接头显微组织的影响

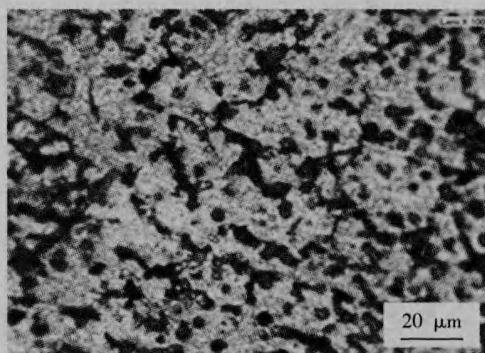
图2为深冷处理前后5A06铝合金焊接接头焊缝区的显微组织,图3为深冷处理前后5A06铝合金焊接接头热影响区的显微组织。从图2和图3中可以看出,5A06铝合金焊接接头焊缝的显微组织主要由白色的 $\alpha(\text{Al})$ 固溶体基体,以及在 $\alpha(\text{Al})$ 基体上分布着细小的、黑色的金属间化合物 $\beta(\text{Mg}_2\text{Al}_3)$ 相等组成。

从图2和图3中可以看到,深冷处理前后合金组织的变化,深冷处理前,白色的基体上分布着少量的 $\beta(\text{Mg}_2\text{Al}_3)$ 相,深冷处理后,随着深冷处理时间的延长,析出的第二相 $\beta(\text{Mg}_2\text{Al}_3)$ 相数量明显增加,且 $\beta$ 相得到了良好细化,形成细小均匀、弥散分布的粒状组织。深冷处理使焊接接头金属中 $\alpha-\text{Al}$ 相、 $\beta$ 相起到良好的细化作用,晶粒细小的 $\alpha-\text{Al}$ 相晶界的比表面积大,使合金的抗拉强度提高,细小弥散分布的第二相 $\beta(\text{Mg}_2\text{Al}_3)$ 使其对合金塑韧性的不利影响大为减弱,起到了弥散强化的作用。从而5A06铝合金接头的性能也会随之而显著提高。

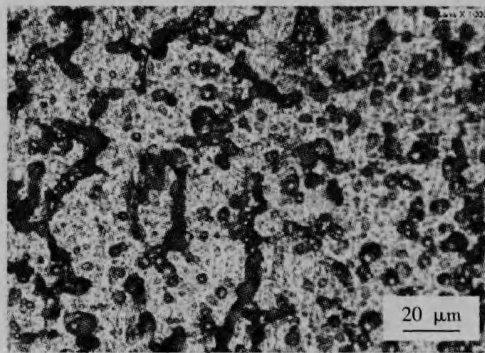
深冷处理后接头金属的组织得到细化,这主要是由于深冷处理过程中存在着较大的温度差,在试样中产生了内应力,并产生应力集中,致使基体组织中产生了亚晶,使得晶粒得到细化。这些亚晶与位错相互作用,大大提高了结构的稳定性,使得焊接接头的力学性能提高。另外,固态物质的热胀冷缩使得试样在深冷处理的过程中产生应力及变形能,其中一部分变形



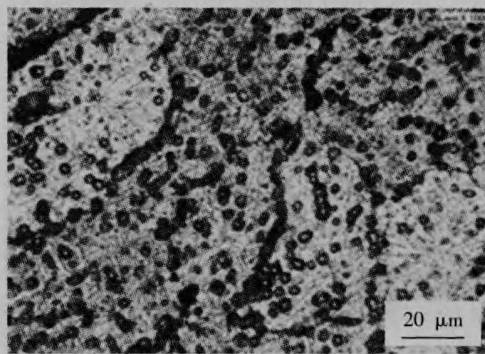
(a) 未深冷处理



(b)  $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 4 h

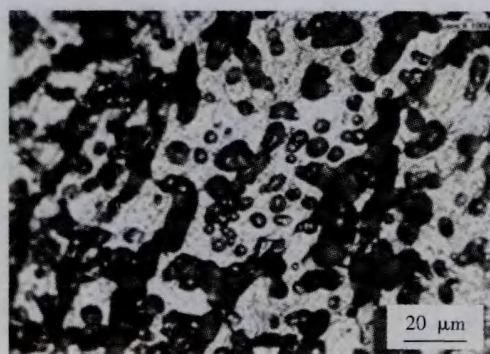


(c)  $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 8 h

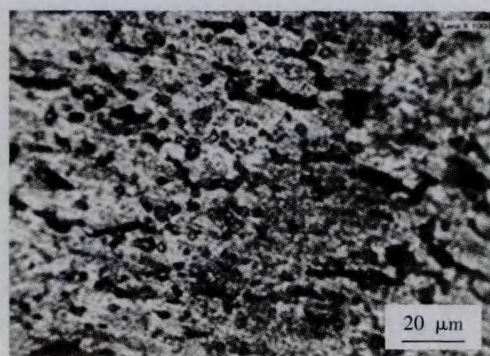


(d)  $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 10 h

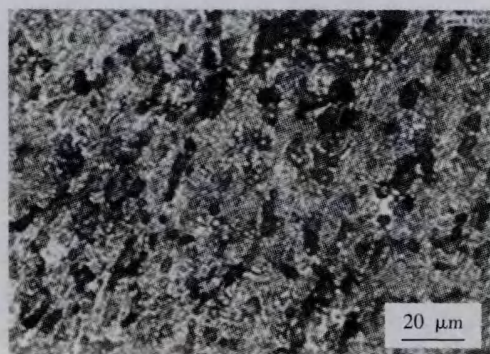
图2 深冷处理前后5A06焊接接头焊缝区显微组织



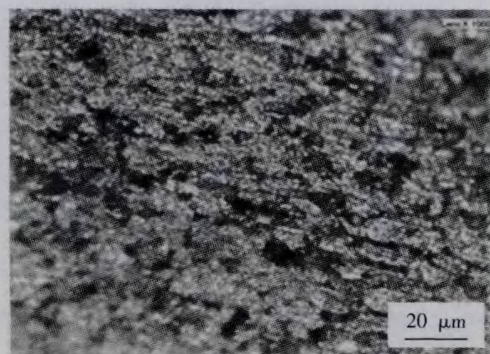
(a) 未深冷处理



(b) -155 °C, 4 h



(c) -155 °C, 8 h



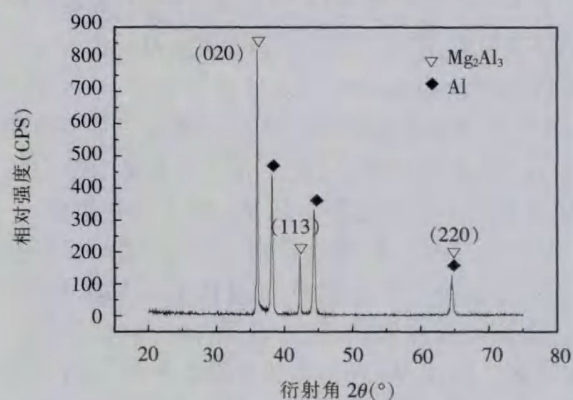
(d) -155 °C, 10 h

图3 深冷处理前后 5A06 铝合金焊接接头热影响区显微组织

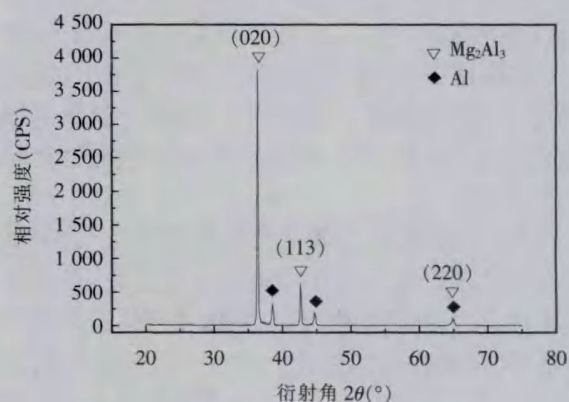
能转化为内能,使合金的内能升高,合金的组织处于亚稳态,再加上随着深冷处理温度的降低,合金中的固溶度降低,必然沿晶界及位错线析出强化相  $\beta$  ( $\text{Mg}_2\text{Al}_3$ ) 等,所以,随着深冷处理的时间的延长,析出的  $\beta$  相数量明显的增加。

## 2.2 XRD 分析

图4为深冷处理前后 5A06 铝合金焊接接头焊缝区的 XRD 衍射图。为了进一步探讨深冷处理对 5A06 铝合金 TIG 焊接接头组织和性能的改善作用,对比图 4a 和图 4b 可以看到,深冷处理前后焊缝金属中的物相都为 Al 和  $\text{Mg}_2\text{Al}_3$ ,深冷处理并没有相变发生,也就是没有新相产生。深冷处理并没有改变衍射最高峰的晶面取向,都为 (020) 晶面,但经不同时间深冷处理的试样较未经过深冷处理的试样的衍射峰值却发生了明显的变化。特别是 (020) 晶面在深冷处理 10 h 后,得到了大幅的加强,这就说明在经过深冷处理后,焊缝金属中的某些晶粒的晶面取向发生了偏转,向着 (020) 面偏转,因此, (020) 基面的峰值增强,而这种增强对位错的运动有阻碍作用,因此,接头的抗拉强度和屈服强度提高<sup>[8]</sup>。



(a) 未深冷处理



(b) 深冷处理 -155 °C, 10 h

图4 深冷处理前后 5A06 铝合金焊接接头焊缝区 XRD 衍射谱

# 焊接速度对 CO<sub>2</sub> 激光 - GMAW - P 复合焊接 等离子行为及熔滴过渡影响研究

上海交通大学 上海市激光制造与材料改性重点实验室(200240)

张 旺 华学明 廖 巍  
李 芳 王 敏

**摘要** 在 CO<sub>2</sub> 激光和 GMAW - P 复合焊接过程中,焊接速度是用来控制对工件热输入的重要参数,但是焊接速度的改变也会影响到等离子行为及熔滴过渡。文中研究了焊接速度对激光致等离子体形态、熔滴过渡和输出电信号的影响,通过高速摄影观察了焊接过程激光等离子体和熔滴过渡,采集了焊接过程电流电压信号,试验结果表明,较低的焊接速度会产生大量的激光致等离子体,这种等离子体的产生改变了熔滴内电流分布,阻碍了熔滴过渡,增加了弧长及熔滴尺寸。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 激光焊 GMAW - P 复合焊接 激光致等离子体 焊接速度  
**中图分类号:** TG403

## 0 前 言

CO<sub>2</sub>激光GMAW - P复合焊可以将激光焊和电弧焊的优势同时发挥出来,最终产生高速高效的焊接结果。激光复合焊具有如下优势:熔深大,良好的搭接能力,高速焊接,焊接气孔率低,焊接接头强度高,焊接

收稿日期: 2013 - 12 - 26

基金项目: 国家自然科学基金项目(51275299,51035004)。

热影响区小,焊后变形小<sup>[1-2]</sup>。目前该方法已经被广泛应用于造船业及汽车制造业,而且正在向其他制造领域发展<sup>[3]</sup>。

对于这种高速高效的焊接模式,焊接速度通常是焊接过程的重要参数,人们在单一激光焊已经发现不同的焊接速度对于焊后形貌、组织有很大影响<sup>[4]</sup>,但是 GMAW - P 复合焊接过程,是一个由电弧等离子体、熔滴、金属蒸汽及激光致等离子体组成的复杂热源,

## 3 结 论

(1) 5A06 铝合金 TIG 焊接头深冷处理后组织中形成亚晶结构,使得晶粒细化,形成细晶强化,提高了铝合金焊接接头的性能。

(2) 深冷处理后接头组织中  $\beta(\text{Mg}_2\text{Al}_3)$  相的数量明显增加,且分布更加均匀、弥散,形成了弥散强化,改善了铝合金接头的组织。

(3) 深冷处理后接头组织中的某些晶粒的晶面取向发生了变化,产生了晶粒转动,即某些晶粒出现了择优取向,在焊接接头组织中出现了织构,提高了焊接接头的力学性能。

## 参 考 文 献

- [1] 陈 鼎. 铝和铝合金的深冷处理[D]. 长沙:中南大学博士学位论文,2000.
- [2] 吴志生. 电极深冷处理与铝合金点焊的铜铝合金化[J].

中国机械工程,2005,16(2):172 - 175

- [3] 陈 鼎,夏树人. 镁合金深冷处理[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2008,35(1):62 - 65.
- [4] 吴志生. 深冷处理的铝合金点焊电极寿命研究[J]. 机械工程学报,2005(3):146 - 150.
- [5] Yon D, Xiaoping L, Hongshen X. Deep cryogenic treatment of high - speed steel and its mechanism[J]. Heat Treatment of Metals, 1998, 25 (3): 55 - 59.
- [6] 刘翠荣. 深冷处理对铝合金点焊电极烧损的影响[J]. 焊接学报,2004,25(3):57 - 60.
- [7] Molinari A. Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, (118): 350 - 355.
- [8] 陈 鼎,黎文献. 深冷处理下铝和铝合金的晶粒转动[J]. 中南工业大学学报:自然版,2000,31(6):544 - 547.

**作者简介:** 高 珊,1975 年出生,博士,副教授。主要研究方向:轻合金的连接技术与成形。