

# 2219 铝合金 VPTIG 焊接接头拉伸性能分析

李来平<sup>1</sup> 刘学军<sup>2</sup> 曲文卿<sup>3</sup>

(1 上海航天精密机械研究所,上海 201600)

(2 武汉铁锚焊接材料股份有限公司,武汉 430084)

(3 北京航空航天大学,北京 100083)

**文 摘** 2219 铝合金气孔敏感性较强,变极性 TIG 焊接工艺可以有效减少和抑制气孔产生,是适合于 2219 铝合金的焊接工艺。本文介绍了 2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头的拉伸性能,进行了拉伸断口形貌分析和微观组织分析。结果表明:2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头强度系数可以达到 65% 以上,焊接接头为混合断裂方式,VPTIG 焊缝盖面层气孔相比打底层较多。

**关键词** 2219 铝合金,变极性钨极氩弧焊,焊接接头,拉伸性能

## Research on Tensile Properties of 2219 Aluminum Alloy VPTIG Welding Joint

Li Laiping<sup>1</sup> Liu Xuejun<sup>2</sup> Qu Wenqing<sup>3</sup>

(1 Shanghai Spaceflight Precision Machinery Research Institute, Shanghai 201600)

(2 Wuhan Anchor Welding Consumables Co., Ltd., Wuhan 430084)

(3 Beihang University, Beijing 100083)

**Abstract** 2219 aluminum alloy is sensitive to the gas porosity. Variable polarity TIG arc welding technology can independently adjust time and amplitude of positive and negative half period, therefore the VPTIG can be applied in new launch vehicle. The tensile property of 2219 aluminum alloy VPTIG welding joint, tensile fractography analysis and microstructure analysis are introduced in this paper. The results show that the strength factor of 2219 T62 aluminum alloy VPTIG welding joint can reach 65%, the welding joint hybrid fracture and gas porosity of top layer more than backing layer.

**Key words** 2219 aluminum alloy, Variable polarity TIG welding, Welding joint, Tensile property

### 0 引言

2219 铝合金属于 Al-Cu-Mn 系可热处理强化铝合金,从-253 ~ +200℃ 均有良好的力学性能和抗应力腐蚀性能,对焊接热裂纹的敏感性较低,焊接接头塑性及低温韧性较好。2219 铝合金被用于美国土星 V 号、前苏联的能源号、日本 H-2、H-2A、H-2B、欧洲航空局的 Ariane V 等运载火箭贮箱和美国航天飞机、前苏联暴风雪号航天飞机的外贮箱上。近几十年来,国外研制的大型运载火箭几乎均采用了 2219 铝合金作为贮箱材料<sup>[1]</sup>。在我国,2219 铝合金被选为新一代运载火箭的主体材料。

2219 铝合金焊接裂纹的倾向较低,但生成气孔的敏感性较强,尤其是熔合区、密集的微气孔是影响焊接接头性能的主要缺陷<sup>[2]</sup>。变极性氩弧焊波形正负半波电流幅值和时间可以独立调节,在保证阴极雾化作用的前提下,可以最大限度地减小钨极烧损,减少和抑制气孔的产生<sup>[3]</sup>,因此适合于 2219 铝合金的焊接。本文介绍了 2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头的拉伸性能,进行了焊接接头微观组织和拉伸断口形貌分析。

### 1 实验

#### 1.1 焊接接头试验条件

收稿日期: 2013-07-11

作者简介: 李来平,1974 年出生,博士,研究员,主要从事航天产品焊接、无损检测技术研究。E-mail: llp117@126.com

2219T62 铝合金变极性钨极氩弧焊接性能研究的试验条件如表1所示。表1中焊接电源采用 Miller Aerowave, 试板尺寸为 400 mm×100 mm×6 mm, 坡口形式为 Y 型, 坡口尺寸为钝边 2 mm, 坡口角度 30°。表2为经过优化后的焊接工艺参数。

表1 焊接试验条件

Tab.1 Condition of welding experiment

焊丝 型号	焊丝直径 Φ/mm	装配间隙 /mm	焊接 方法	焊接 工装	焊接 层数
ER2319	1.6	0~1	自动焊	快速夹紧	打底、盖面

表2 焊接工艺规范

Tab.2 Welding parameters

焊接 层数	频率 /Hz	焊接速度 /mm·min <sup>-1</sup>	送丝速度 /mm·min <sup>-1</sup>	熔深系数 /%	氩气流量 /L·min <sup>-1</sup>	电弧高度 /mm	电极正极性 电流/A	电极负极性 电流/A
打底	95~100	165	542	80	15	6	280~300	220~240
盖面	80~85	138	491	60	18	6.5	230~250	200~220

## 1.2 测试

拉伸试验内容包括抗拉强度  $R_m$ 、拉伸下屈服强度  $R_{eL}$ 、断裂伸长率  $A_{11.3}$ , 测试标准参照《GB/T 2649—1989 焊接接头机械性能试验取样方法》、《GB/T 2651—1989 焊接接头拉伸试验方法》的规定。

## 1.3 试验设备

拉伸试验在 MTS880 液压伺服材料试验系统上完成。2219 铝合金焊接接头的微观组织采用 Olympus B×51M 规格的光学显微镜观察与分析, 断口采用 SM-5800 扫描电镜分析。焊接接头金相采用 3.1% HF+1.5% HCl+2.5% HNO<sub>3</sub> 腐蚀混合溶液。

## 2 结果及分析

2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头的拉伸结果如表3所示, 可以看出, 焊接接头的强度系数可以达到 67.9%。

图1是2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头微观组织图, 从焊缝中心向外, 包括焊缝、熔合区和热影响区。焊缝区在冷却过程中以熔合线上局部半熔化的晶粒为核心向内生长, 生长方向为散热最快方向, 最终成长为柱状晶粒。晶粒前沿伸展到焊缝中心, 呈柱状铸态组织。

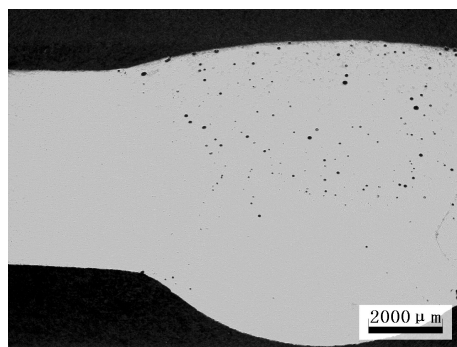
从图1(a)可以清楚地看到, 2219T62 铝合金 VPTIG 接头由打底层和盖面层组成。图1(b)给出的是2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头熔合区位置的微观组织, 是两次焊接工艺结合部位。熔合区的显微组织为柱状树枝晶和胞状树枝晶, 且垂直于熔合线, 向焊缝中心发展。图1(c)给出的是2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头下部焊缝区位置的微观组织, 焊缝中心位置由于焊接熔池结晶的方向性, 从熔合区生长过来的树枝晶由于盖面焊接过程中继续熔化, 其方向性发生了明

显的变化。图1(d)给出的是2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头热影响区的微观组织, 与图1(e)相比, 晶粒尺寸要大于母材原始组织的晶粒, 主要原因是在焊接过程中焊接热循环的作用下, 热影响区的原始板条状组织发生粗化。

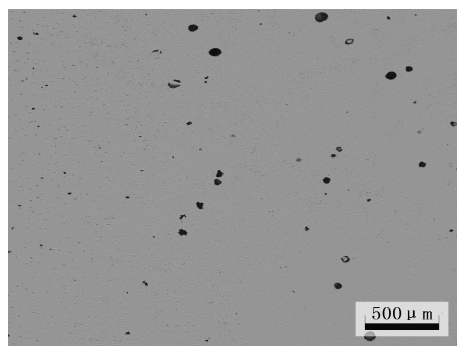
表3 2219T62VPTIG 接头拉伸性能

Tab.3 Tensile result of 2219 T62 aluminum alloy VPTIG welding joint

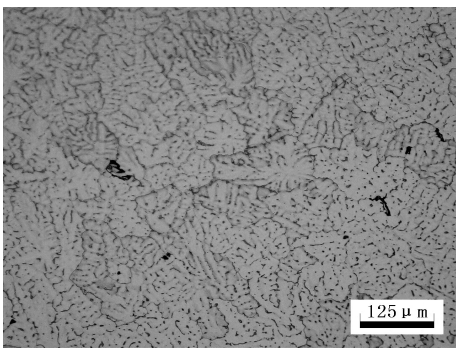
位置	抗拉强度 $R_m$ /MPa	下屈服强度 $R_{eL}$ /MPa	断后伸长率 $A_{11.3}$ /%
母材	404.4	285.6	13.4
焊接接头	274.6	132.0	4.2
接头系数/%	67.9		



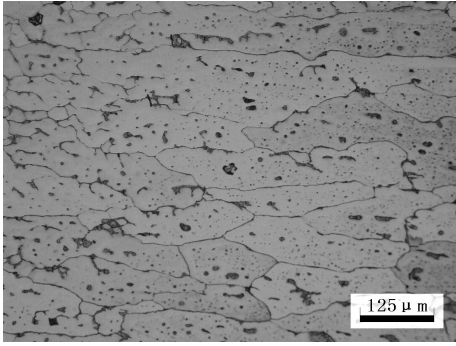
(a) 焊接接头



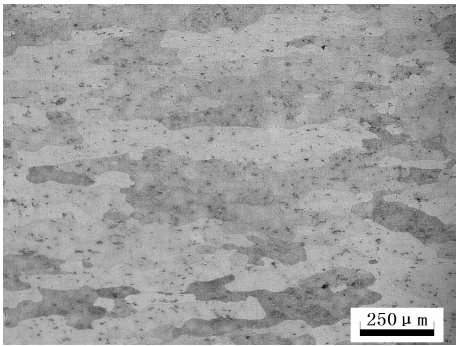
(b) 接头熔合区



(c) 焊缝区下部



(d) 热影响区



(e) 母材区

图1 2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头微观组织

Fig.1 Microstructure of 2219 T62 aluminum alloy VPTIG welding joint

图2是2219T87铝合金VPTIG焊接接头微观组织图。可以看出,与2219T62铝合金VPTIG焊接接头的微观组织相似,盖面层和熔合区的气孔倾向比打底层的大。铝合金焊接气孔的形成机理比较复杂。2219铝合金VPTIG焊接接头的气孔大部分为氢气孔,氢在液态铝合金中的溶解度为 $0.69 \text{ mL}/100 \text{ g}$ ,而在铝合金中溶解度仅为 $0.036 \text{ mL}/100 \text{ g}$ ,随着氢溶解度的突变,过饱和的氢来不及从凝固焊缝中析出,从而形成了气孔缺陷。熔合线处于熔池的固液界面,气泡形核所需能量大大低于熔池中心气泡形核所需能量,气泡极易在熔合线处形核;熔合线附近液态金属存在时间很短,这对熔合线处的气泡溢出极为不利。相比打底层而言,盖面层的熔池结晶速度大于气泡形核、长大、上浮速度,气泡残留在焊缝中形成气孔。

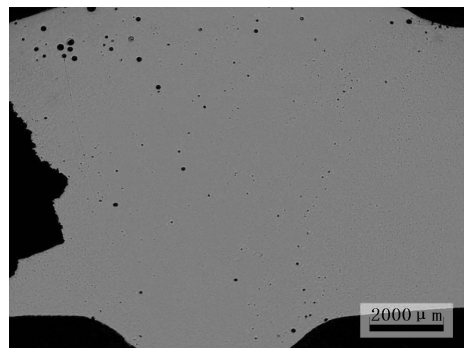
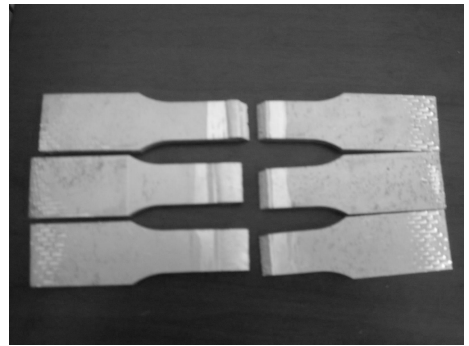


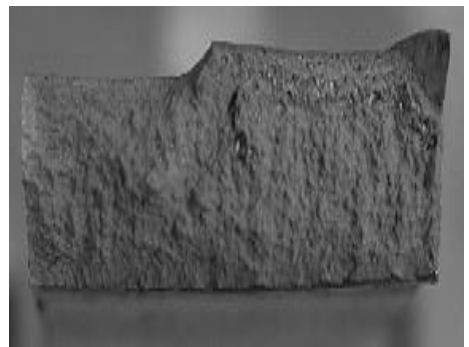
图2 2219T87 铝合金 VPTIG 焊接接头微观组织

Fig.2 Microstructure of 2219 T87 aluminum alloy VPTIG welding joint

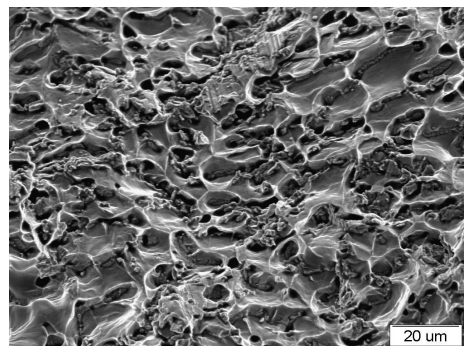
图3是2219T62铝合金VPTIG焊接接头的拉伸试样和断口形貌。



(a) 拉伸试样



(b) 宏观断口形貌



(c) 微观断口形貌

图3 2219T62VPTIG 焊接接头拉伸试样和断口形貌

Fig.3 Tensile sample and fracture of 2219 T62 aluminum alloy VPTIG welding joint

VPTIG 接头的拉伸断口呈混合型断裂,即以微裂纹源受力扩展开裂、晶界脆性断裂为主,微孔聚合型断裂为辅的混合型断裂。此外,由于大量的析出相等第二相粒子的存在导致局部微观裂纹的脆性断裂。2219T62 铝合金 VPTIG 接头韧窝深、小、密集,撕裂棱多。

### 3 结论

(1)2219T62 铝合金 VPTIG 焊接接头强度为 275 MPa,断后伸长率为 4.2%,接头强度系数为 67.9%。

(2)2219T62 铝合金 VPTIG 接头断口呈混合型断裂。

(3)2219T62 铝合金 VPTIG 焊缝盖面层气孔相

比打底层较多。

### 参考文献

- [1] 刘春飞. 运载贮箱用 2219 类铝合金的电子束焊[J]. 航天制造技术,2002(4):3-9
- [2] 李来平,吴龙飞,胡明华. 2219 铝合金 TIG 焊接性能分析[R]. 航天国防科学技术报告,HT-20090462
- [3] 张宏光,魏铀泉. 铝合金变极性 TIG/PAW 焊接技术及其应用[J]. 电焊机,2006,36(2):1-6
- [4] 宋民远,赵海云,曲文卿,等. 2219 铝合金及变极性 TIG 焊焊接接头的力学性能[J]. 铝加工,2010,194(3):30-34

(编辑 任涛)

## 欢迎订阅 2014 年《宇航材料工艺》

《宇航材料工艺》(双月刊)创刊于 1971 年,是经国家科委和国家新闻出版署批准出版的国家级技术类期刊,中国科技论文统计用刊,中国中文核心期刊,已被国际宇航文摘《IAA》、美国化学文摘《CA》、金属文摘《METADDEX》、《中国期刊网》、万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群、《中国学术期刊(光盘版)》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国科学引文数据库》等多种文摘和数据库收录。2002 年在第二届国家期刊奖评比活动中,《宇航材料工艺》获百种重点期刊奖。

《宇航材料工艺》主要报道我国材料及工艺的科技进展、科研成果和工程实践,内容丰富,信息量大。除大量刊登学术类技术论文、研究报告、综述和专论外,还刊登新材料、新工艺、新产品及技术改造、技术革新、生产经验、国外科技、科技见闻、成果简介及会议信息等。

刊号:  $\frac{\text{ISSN}1007-2330}{\text{CN}11-1824/\text{V}}$

国内订价:90 元/年

国外订价:120 美元/年

帐户名称:航天材料及工艺研究所

开户银行:北京市工商银行东高地支行

帐号:0200006509008800374

邮汇:北京 9200 信箱 73 分箱《宇航材料工艺》编辑部。 邮编:100076

联系电话:(010)68383269

(未收到订单的读者可直接邮汇至编辑部,留言务必注明开发票单位名称及订阅期次)