

2219 高强铝合金活性 TIG 焊工艺

Activating Flux TIG Welding Technology of 2219 High Strength Aluminum Alloy

栗 慧^{1,2}, 邹家生¹, 姚君山², 彭浩平³

(1 江苏科技大学 先进焊接技术省级重点实验室, 江苏 镇江 212003;

2 常州工学院 机械与车辆工程学院, 江苏 常州 213002;

3 常州大学 江苏省油气储运技术重点实验室, 江苏 常州 213164)

LI Hui^{1,2}, ZOU Jia-sheng¹, YAO Jun-shan², PENG Hao-ping³

(1 Provincial Key Laboratory of Advanced Welding Technology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, Jiangsu, China;

2 School of Mechanical and Vehicle Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, Jiangsu, China; 3 Jiangsu Key

Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation Technology, Changzhou University, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

摘要: 采用单组分活性剂(AlF_3 和 LiF)、3 组分($\text{AlF}_3 + 30\% \text{LiF} + 10\% \text{KF-AlF}_3$) 和 4 组分($\text{AlF}_3 + 30\% \text{LiF} + 10\% \text{KF-AlF}_3 + 10\% \text{K}_2\text{SiF}_6$) 混合组分活性剂进行 2219 高强铝合金直流正极性活性 TIG 焊(DCSP A-TIG), 研究 4 种类型活性剂对焊缝表面成型、焊缝内部质量(气孔)、焊缝熔深、电弧形态、接头组织与力学性能的影响。结果表明: 涂覆活性剂有助于去除 2219 铝合金表面的氧化膜, 提高焊缝表面成型质量, 涂覆 4 组分活性剂的 DCSP A-TIG 焊缝表面成型质量最佳; 与变极性 TIG 焊(VPTIG)焊缝内部质量相比, DCSP A-TIG 焊接方法可显著降低 2219 铝合金焊缝内部气孔的产生; AlF_3 单组分活性剂可显著增大焊缝熔深, 其电弧形态具有明显的拖弧现象; DCSP A-TIG 焊缝组织具有与母材相同的组织组成物, 电流对 A-TIG 焊缝组织影响较大, 增大焊接电流, 会造成接头晶粒组织粗大; 涂覆 4 组分活性剂的 DCSP A-TIG 接头强度和伸长率最高, 与 VPTIG 焊接接头力学性能具有相近的技术指标。2219 高强铝合金的 DCSP A-TIG 焊接方法具有很大的工程应用价值。

关键词: 2219 铝合金; A-TIG 焊; 活性剂; DCSP

doi: 10.11868/j.issn.1001-4381.2016.001169

中图分类号: TG44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2018)04-0066-08

Abstract: Straight polarity direct current method (DCSP A-TIG) was applied to join 2219 high strength aluminum alloy, and the effects of single-component(AlF_3 , LiF), three-component ($\text{AlF}_3 + 30\% \text{LiF} + 10\% \text{KF-AlF}_3$) and four-component ($\text{AlF}_3 + 30\% \text{LiF} + 10\% \text{KF-AlF}_3 + 10\% \text{K}_2\text{SiF}_6$) activating flux on weld face forming, weld quality (porosity), arc shape, weld penetration, joint microstructure and mechanical properties were studied. The results show that adding activating flux helps to remove the oxide film on the weld face of the 2219 aluminum alloy, improve the weld surface forming quality; the four-component activating flux of weld face forming is the best; compared with the weld quality of variable polarity TIG welding (VPTIG), DCSP A-TIG welding method significantly reduces the porosity generation in 2219 aluminum alloy weld; AlF_3 single-component activating flux obviously increases the weld penetration, which has obvious dragged arc phenomenon; DCSP A-TIG welded seam has the same structure component as the parent metal. Welding current has a greater influence on DCSP A-TIG weld microstructure, increasing current may result in the coarsening of the joint microstructure. The strength and elongation of the DCSP A-TIG welding joint, which are coated with four-component activating flux are the highest, and the mechanical properties are nearly the same

as VPTIG welding. The DCSP A -TIG welding method of 2219 high strength aluminum alloy is of great value to the engineering application.

Key words:2219 aluminium alloy;A-TIG welding;activating flux;DCSP

智慧制造是未来制造业的发展趋势,优质、高效、节能、降耗是其基本要求^[1]。铝合金具有高强轻质的特性,是节能降耗技术优选的结构材料^[2]。焊接作为铝合金关键制造技术之一,如何实现铝合金的优质高效焊接一直是国内外的研究热点和难点^[3-4]。直流正极性焊接方式能够在相同焊接电流条件下明显提高焊接速率,不但能实现高效焊接目标,而且能有效降低单位热输入量,实现低损伤目标,同时直流电弧稳定,可以减少气孔缺陷,提高焊缝成型的精度,是铝合金高效优质制造技术的优选^[5]。而表面致密氧化膜的存在是当前铝合金 TIG 焊无法实现直流正极性焊接的直接障碍,是影响铝合金优质高效焊接的关键^[6]。

目前去除铝合金氧化膜方面的研究成果主要包括阴极雾化去膜、直流正极性钨极氩弧焊、焊剂反应去膜等 3 个方面。其中,基于阴极雾化去膜机制的先进焊接技术^[7-8]主要有变极性焊接技术和变极性等离子弧焊,在保证去除氧化膜条件下尽可能提高正极性比例,重点研究焊接电源、电弧形态、焊缝熔透和焊接工艺性能等方面,而焊缝气孔缺陷仍是难题。直流正极性钨极氩弧焊方法能够实现氧化膜高温分解破碎效果而获得满意的焊接质量,但氦气成本太高,应用范围受到了极大的限制。焊剂反应去膜主要应用于气焊、铝焊条电弧焊、电弧钎焊以及激光电弧焊,而在 TIG 焊方面主要采用氯化物和氟化物活性剂进行 LF21 铝合金直流正接活性 TIG 焊^[9],重点研究增加焊缝熔深机理。

2219 铝合金是航天领域中重要的结构材料,是航天运载贮箱等部件最有发展前途的铝合金结构材料,一直以来,2219 铝合金的焊接性阻碍了其大范围应用,尤其是存在焊接气孔率高和接头强度系数低等问题^[10-11]。目前,采用常规 TIG 焊接工艺焊接 2219 铝合金厚板时,需要很大的焊接电流以及采用多层焊接工艺,这些会降低 2219 铝合金焊接接头强度系数,增大焊接变形,而且在焊缝中极易出现明显的气孔缺陷。因此,提出采用直流正极性活性焊技术(DCSP A-TIG)焊接 2219 铝合金,即在直流正极性条件下,采用专门的活性剂进行高强铝合金的焊接,达到去除 2219 铝合金表面氧化膜、内部气孔和提高焊接生产率的作用,并且可以简化工艺设备,对于铝合金电弧焊工艺创新和优质高效焊接具有重要的技术支撑和工程应用价值。目前 A-TIG 焊中活性剂的使用主要

为了增大焊缝熔深^[12-15],而本工作采用两种单组分和两种混合组分活性剂来开展 2219 铝合金直流正极性 TIG 焊接的工艺实验,旨在去除铝合金表面氧化膜,消除焊缝中气孔缺陷,实现 2219 铝合金直接正极性 TIG 焊。

1 实验材料和方法

直流正极性活性 TIG 焊实验采用 4mm 厚的 2219 高强铝合金板材,化学成分如表 1 所示;焊丝采用进口 ER2319,所使用的活性剂成分如表 1 所示:单组分活性剂(质量比为 AlF_3 和 LiF),3 组分活性剂(质量比为 $\text{AlF}_3 + 30\% \text{LiF} + 10\% \text{KF-AlF}_3$),4 组分活性剂(质量比为 $\text{AlF}_3 + 30\% \text{LiF} + 10\% \text{KF-AlF}_3 + 10\% \text{K}_2\text{SiF}_6$)。

表 1 2219 铝合金的化学成分(质量分数/%)
Table 1 Chemical compositions of 2219 aluminum alloy
(mass fraction/%)

Cu	Mn	Fe	Ti	V	Zn	Si	Zr	Al
6.8	0.3	0.2	0.06	0.08	0.04	0.09	0.2	Bal

焊前无需对焊接区域进行刮削,使用丙酮试剂擦拭工件表面以除去油污,将称好的活性剂用无水乙醇溶解,搅拌成悬浊液后用毛刷均匀涂敷在待焊表面,待酒精彻底挥发后,根据焊接工艺要求进行空烧、堆焊和对焊。焊接方法采用手工钨极惰性气体(70%(体积分数,下同)氩气+30%氦气)保护 TIG 焊,焊接设备为 MiL351 方波交、直流两用氩弧焊机,本实验采用直流正极性接法。焊接过程记录电压值的变化,实验采用 AcutEye 高速图像记录处理系统和 CoaxPress 接口进行高速图像信号的实时传输,并搭配 CP80-3-M-540 高速工业相机拍摄不同组分活性剂的直流活性 TIG 焊电弧形态变化。

焊后观察焊缝表面质量并拍照;采用 X 射线对焊缝内部气孔进行探伤检查;沿焊缝横截面截取试样,经磨制、抛光后,采用质量比为 1% $\text{HF} + 1.5\% \text{HCl} + 2.5\% \text{HNO}_3 + 95\% \text{H}_2\text{O}$ 的混合酸溶液进行腐蚀,使用金相显微镜和超景深显微镜观察焊接接头的微观组织和熔深;采用扫描电镜对焊缝组织进行扫描和 EDS 成分分析;参考焊接接头拉伸标准 GB/T 2651—2008 设计试样尺寸并进行拉伸实验。

2 实验结果与分析

2.1 活性剂对焊缝表面成型的影响

研究出能够在直流正极性 TIG 焊条件下有效去除 2219 铝合金表面氧化膜和焊缝内部气孔的活性剂是关键所在。首先采用上述 4 种活性剂进行 2219 铝合金 DCSP A-TIG 表面堆焊实验,焊接电流为 140A,焊后观察焊缝表面成型效果。

图 1 为 DCSP A-TIG 堆焊焊缝表面成型形貌。图 1(a)和图 1(b)是涂覆 AlF_3 和 LiF 活性剂对 2219 铝合金表面焊缝成型的情况,从图 1(a)和图 1(b)可见,焊缝表面光洁平滑,成形良好,两种活性剂对铝合金表面的氧化膜均具有良好的去除作用,采用 AlF_3 监测到的电弧电压为 13.5V,而采用 LiF 监测到的电弧电压为 11.7V,焊缝两侧出现了黑边。图 1(c)和图 1(d)为涂覆混合组分活性剂对 2219 铝合金表面焊缝成型的影响情况,可见,焊缝表面光洁平滑,混合组分活性剂均具有良好的去除氧化膜作用,此外,焊缝两侧都出现了较多的黑边。黑边是活性剂与活性剂之间、活性剂与母材或与表面氧化膜在电弧作用下的产物。采用 3 组分活性剂监测到的电弧电压为 13V,4 组分活性剂监测到的电弧电压为 12.3V。活性剂对焊缝的影响除体现在表面成型质量外,还体现在电压的变化上面。

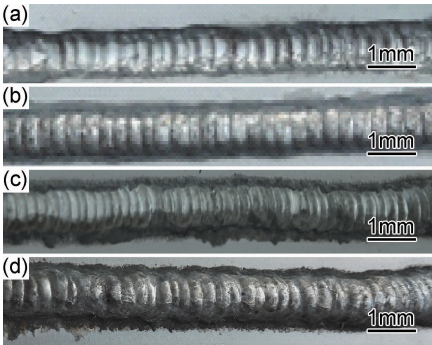


图 1 堆焊焊缝表面成型形貌

(a) AlF_3 ; (b) LiF ; (c) 3 组分; (d) 4 组分

Fig. 1 Surface forming morphologies of overlay welding seam

(a) AlF_3 ; (b) LiF ; (c) three-component; (d) four-component

表面堆焊实验研究活性剂去除 2219 铝合金表面氧化膜的效果,最终是要进行 2219 铝合金的 DCSP A-TIG 焊对接实验。图 2 所示为 DCSP A-TIG 对焊焊缝表面成型形貌。如图 2(a)所示,在保证背面熔合前提下,采用 AlF_3 作为对焊表面成型活性剂,焊接电流为 150A、电弧电压为 13.8V,实现了 2219 铝合金的对焊,焊缝表面不太光亮,焊缝成型质量一般。图 2

(b)给出的是涂覆 LiF 活性剂的成型照片,焊缝表面不太光亮,焊缝宽度基本一致,成型较好,焊接电流为 145A、电弧电压为 12.9V。图 2(c)是涂覆 3 组分活性剂的成型照片,焊缝表面较光亮,宽度均匀一致,鱼鳞纹明显,且两侧出现了较多的黑边,焊接电流为 145A、电弧电压为 13.5V。图 2(d)为涂覆 4 组分活性剂时表面质量照片,焊缝表面光亮,较其他成分活性剂焊缝宽度均匀一致,鱼鳞纹明显整齐,成型良好,焊接电流为 150A,电弧电压为 12.8V。与常规 TIG 焊相比,DCSP A-TIG 焊缝表面均呈暗灰色,这主要是由于活性剂在电弧作用下形成的残渣覆盖在焊缝表面形成的,焊后清理表面,即可获得光亮的表面,可见,氟化物活性剂可以有效去除铝合金表面的氧化膜。

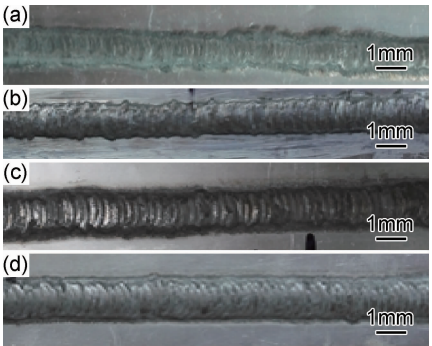


图 2 对焊焊缝表面成型形貌

(a) AlF_3 ; (b) LiF ; (c) 3 组分; (d) 4 组分

Fig. 2 Surface forming morphologies of butt welding seam

(a) AlF_3 ; (b) LiF ; (c) three-component; (d) four-component

2.2 活性剂对焊缝内部质量的影响

图 3 所示为采用 VPTIG 焊和 DCSP A-TIG 焊对焊焊缝内部质量情况。2219 铝合金材料是一种在焊接中容易产生气孔缺陷的材料,通常采用变极性 TIG 焊方法(VPTIG)进行 2219 铝合金的焊接,X 探伤表明 VPTIG 焊焊缝内部分布着链状气孔,如图 3(a)所示,而采用 DCSP A-TIG 焊技术,如图 3(b)~(e),4 种活性剂(AlF_3 , LiF , 3 组分和 4 组分)可以有效地避免焊缝气孔的产生,就焊缝气孔去除问题而言,直流活性 TIG 焊技术具有很大的优越性。4 组分活性剂中添加了质量分数 10%的界面活性物质 K_2SiF_6 ,有利于提高焊接过程的稳定性,因此涂覆 4 组分活性剂的焊缝表面鱼鳞纹形状均匀,焊缝宽度基本一致,如图 3 (e)所示。

2.3 活性剂对电弧形态的影响

图 4 是利用高速摄影设备拍摄的焊接过程中的电弧形态,采用表面空烧方法研究活性剂对电弧形态的

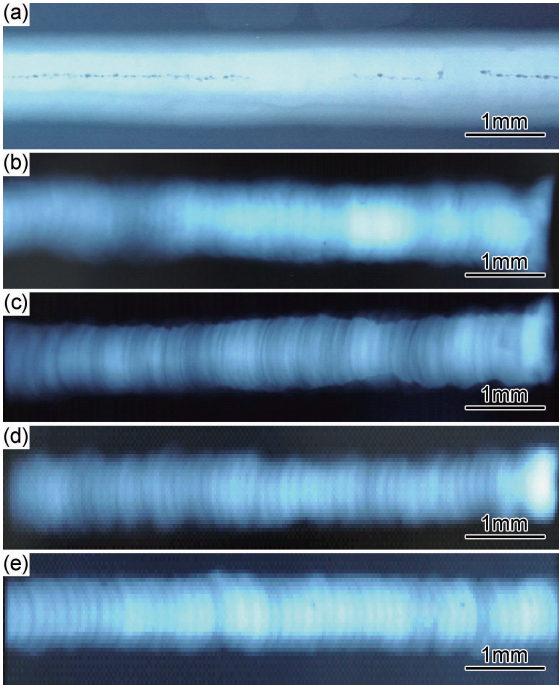


图 3 对焊焊缝内部质量的形貌

(a)VPTIG;(b)DCSP A-TIG(AlF_3);(c)DCSP A-TIG(LiF);
(d)DCSP A-TIG(3 组分);(e)DCSP A-TIG(4 组分)

Fig. 3 Internal quality morphologies of butt welding seam
(a)VPTIG;(b)DCSP A-TIG (AlF_3);(c)DCSP A-TIG(LiF);
(d)DCSP A-TIG (three-component);(e)DCSP A-TIG (four-component)

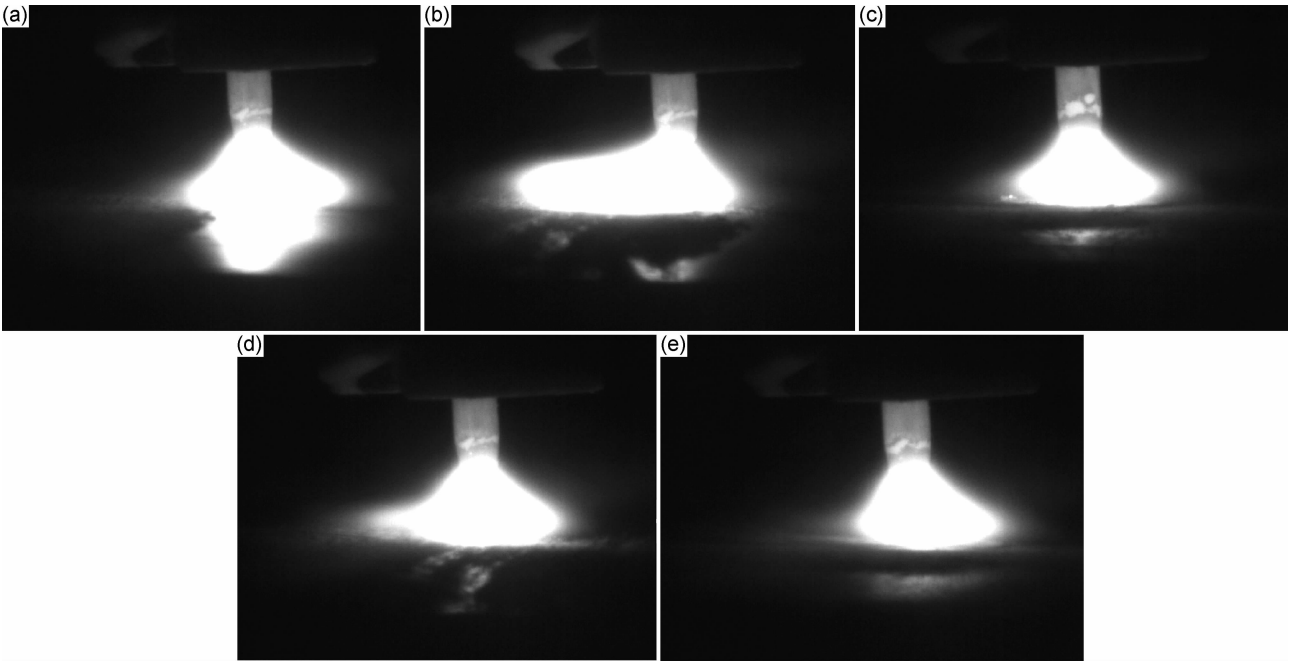


图 4 电弧形态的示意图 (a)无活性剂;(b) AlF_3 ;(c) LiF ;(d)3 组分;(e)4 组分

Fig. 4 Diagrams of arc shape (a)without activating flux;(b) AlF_3 ;(c) LiF ;(d)three-component;(e)four-component

由 2.1 节可知,DCSP A-TIG 堆焊过程使用 AlF_3 活性剂监测到的电弧电压值为 13.5V,在 4 种活性剂中最高;由 2.3 节表面空烧实验可知,涂覆 AlF_3 活性

影响。无活性剂的电弧形态如图 4(a)所示。与无活性剂的电弧形态相比,涂覆不同类型活性剂对电弧形态有着不同的影响。涂覆 AlF_3 活性剂使得电弧向后偏转,出现了明显的拖弧现象,如图 4(b)所示;图 4(c)是涂覆 LiF 的电弧形态,电弧形态基本不发生变化;涂覆 3 组分活性剂时电弧有轻微的拖弧和扩展现象,如图 4(d)所示;图 4(e)为涂覆 4 组分活性剂时,电弧形态基本没发生变化。通过对比 4 种活性剂对电弧形态的影响可发现,随着活性剂组分中 AlF_3 含量的减少,拖弧现象变得不明显。

2.4 活性剂对焊缝熔深的影响

图 5 是 2219 铝合金 DCSP A-TIG 堆焊焊缝熔深示意图。无活性剂的焊缝熔深平均值为 2.21mm,如图 5(a)所示;涂覆 LiF 活性剂增加熔深效果不明显,仅为 2.24mm,如图 5(c)所示;其余 3 种活性剂对增大熔深有着显著的作用,特别是涂覆 AlF_3 活性剂平均熔深可达 3.38mm,如图 5(b)所示;其次是 3 组分活性剂,平均熔深达 3.27mm,如图 5(d)所示;涂覆 4 组分活性剂的焊缝熔深为 2.84mm,如图 5(e)所示。随着活性剂中 AlF_3 含量减少,熔深也随之减小,4 组分活性剂熔深小于 AlF_3 单组分和 3 组分活性剂的熔深。

剂使得电弧形态出现了明显的拖弧现象;结合 2.4 节活性剂对焊缝熔深变化的影响可知,在 140A 相同的焊接电流条件下,涂覆 AlF_3 活性剂的焊缝熔深最大,

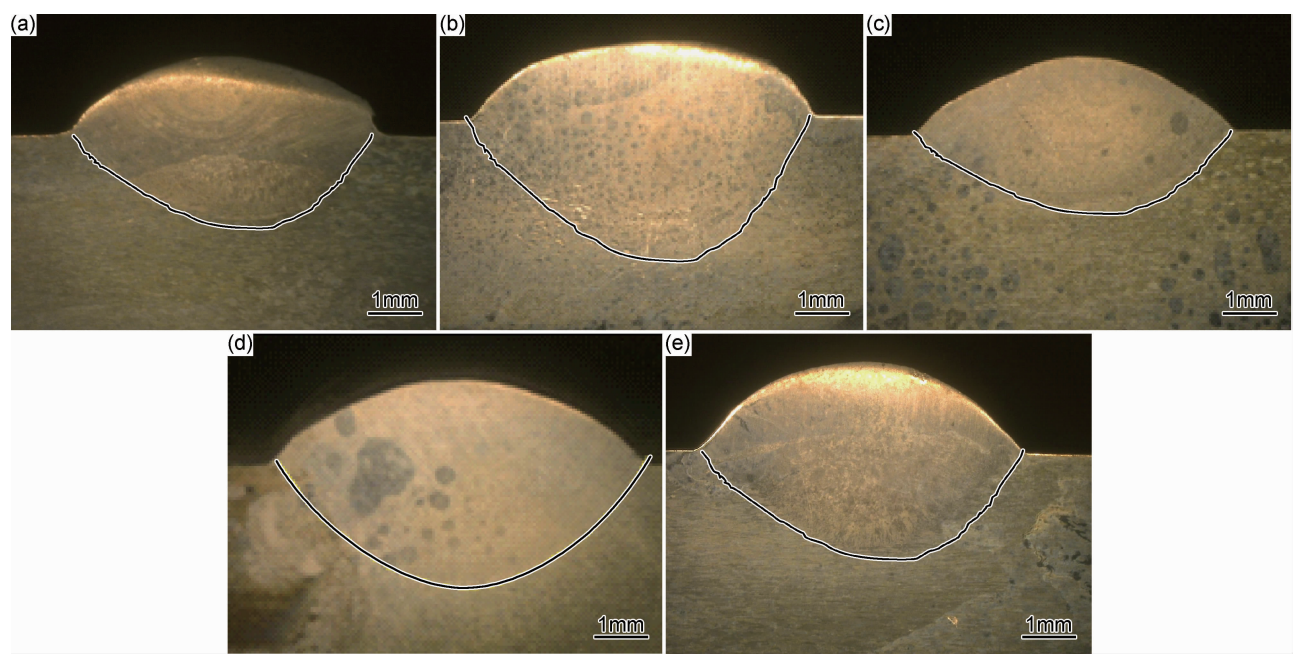


图 5 堆焊焊缝熔深示意图 (a)无活性剂;(b)AlF₃;(c)LiF;(d)3 组分;(e)4 组分

Fig. 5 Weld penetration diagrams of overlay welding seam (a) without activating flux; (b) AlF₃; (c) LiF; (d) three-component; (e) four-component

可达 3.38mm。可见电弧电压、电弧形态和熔深有着密切关系,AlF₃ 活性剂在增加电弧电压的同时增加了焊接熔深,说明其增加熔深的机理主要在于影响电弧形态。一方面,可能由于 AlF₃ 活性剂在熔池表面对电弧产生阻碍作用,在相同电流条件下,电弧导电通道电阻增大,使得焊接电压升高^[16]。另一方面,在焊接电流不变时,电弧电压的升高意味着电弧长度的增加。添加 AlF₃ 活性剂的电弧出现了明显的拖弧现象,造成电弧长度的增加,电弧电压也随之增加^[17]。

2.5 活性剂对接头组织的影响

焊缝力学性能与焊后接头的金相组织密切相关,

焊缝组织对焊接接头及整体焊接结构的使用性能有着重要影响。图 6 和图 7 为涂覆 4 组分活性剂的 2219 高强铝合金 DCSP A-TIG 焊接接头组织。图 6(a)为超景深显微镜所拍摄的照片,可见,焊缝组织以 $\alpha(\text{Al})$ 基体为主,在基体和沿晶界区域均分布着大量的 $\theta(\text{CuAl}_2)$ 强化相,CuAl₂ 强化相的存在一定程度上有利于改善和提高焊接接头的性能,在晶界和枝晶间分布着大量的呈网络状连续分布的 $\alpha(\text{Al})+\theta(\text{CuAl}_2)$ 共晶相。焊缝 SEM 照片如图 6(b)所示,通过 EDS 分析可以确定焊缝组织组成为 $\alpha(\text{Al})$ 固溶体和 $\theta(\text{CuAl}_2)$ 相,与 2219 高强铝合金母材具有相同的组织组成物^[18-19]。

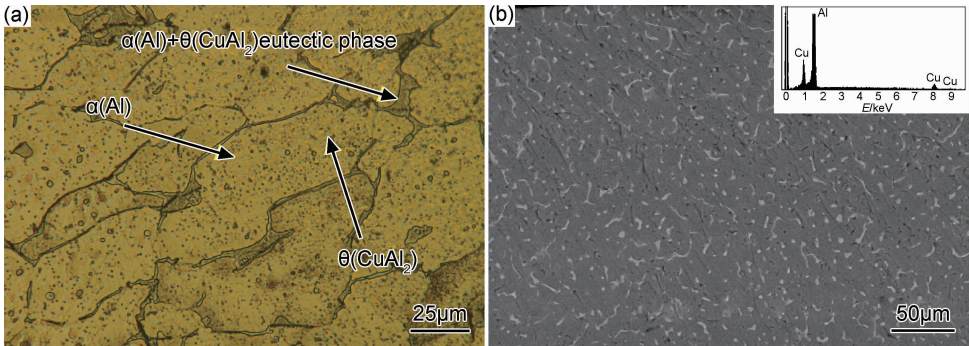


图 6 焊缝区组织 (a)金相;(b)扫描电镜

Fig. 6 Microstructures of the welding seam zone (a)OM;(b)SEM

图 7(a),(b)为涂覆 3 组分和 4 组分活性剂的 2219 铝合金堆焊接头组织照片,焊缝组织均由细小的等轴晶和微小的强化相构成;熔合区组织由大小不一

的晶粒组织和分布在其中的许多强化相构成;热影响区组织由轧制晶粒组织和分布在其中的强化相构成。其中 3 组分活性剂接头的熔合区还发现较多的微气

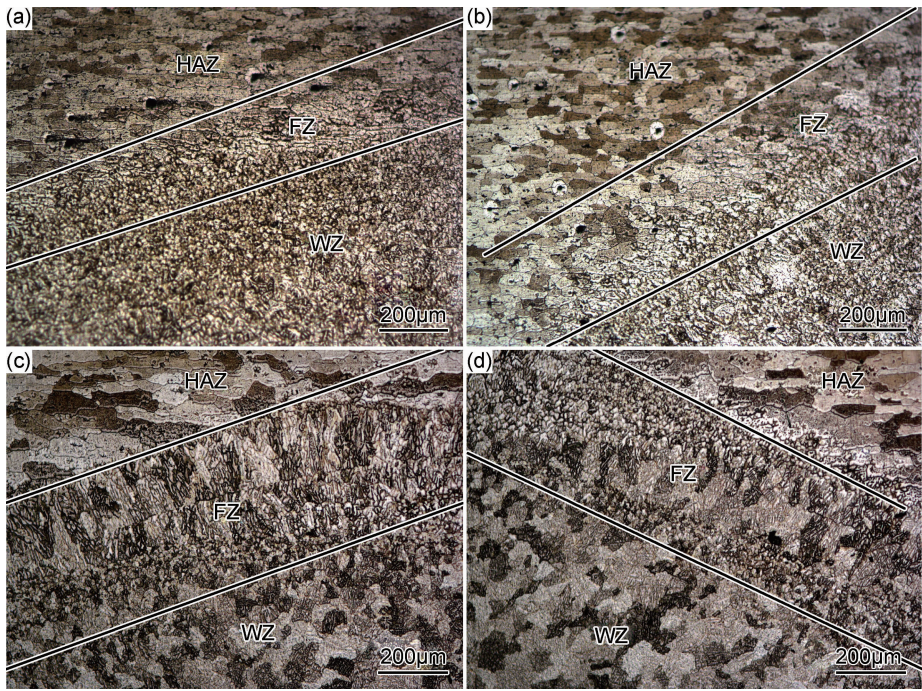


图 7 接头区显微组织 (a)3 组分堆焊;(b)4 组分堆焊;(c)3 组分对焊;(d)4 组分对焊
Fig. 7 Microstructures of the welded joint zone (a)three-component overlaying;
(b)four-component overlaying;(c)three-component butt welding;(d)four-component butt welding

孔,这会对接头力学性能造成一定影响。气孔的产生原因有很多,在焊接熔合区,固态母材与液态熔池瞬间共存,由于存在溶解度差异,固态母材所含的氢向熔池扩散和溶解,熔池快速结晶时,氢未及时析出,即形成熔合区气孔,另一方面由于焊接过程中电弧不稳定造成的,4 组分活性剂中添加 K_2SiF_6 成分,有助于提高焊接过程的平稳性,接头组织中很少发现微气孔存在。

图 7(c)和图 7(d)是涂覆 3 组分和 4 组分活性剂对焊接头微观组织照片,3 组分活性剂的熔合区晶粒组织大于 4 组分活性剂熔合区晶粒组织。与堆焊接头相比,对焊接头微观组织比堆焊组织粗大。为了保证对焊接头充分熔合,需使用较大电流,在相同条件下,电流的增加会引起焊缝区、熔合区和热影响区的晶粒粗大,因此,在焊接过程中,要合理选择电流,以免晶粒过分粗大造成接头力学性能的降低。此外,在拉伸实验中,还发现大多数的断口几乎位于熔合区内靠近焊缝的位置,这也在宏观上验证了熔合区晶粒组织不均匀或者气孔的存在^[20]。

2.6 活性剂对接头力学性能的影响

焊接电流是保证焊接质量最重要的工艺参数,焊接电流过小易造成 2219 铝合金背面出现未熔合缺陷;而电流过大,会造成焊缝熔宽大,余高较小,背面出现焊瘤,需要改变焊接速率,避免对接头质量不利的缺陷

产生。合适的焊接电流有助于消除焊缝气孔,提高焊缝表面成型质量,增大焊缝熔深、接头强度和伸长率。本工作研究了电流大小对涂覆四种活性剂的 2219 铝合金 DCSP A-TIG 接头强度和伸长率的影响。图 8 和图 9 是焊接电流对 DCSP A-TIG 对接接头抗拉强度和伸长率的影响。为了验证 DCSP A-TIG 的有效性,对 2219 铝合金 VPTIG 接头性能进行测试,平均强度为 266.86MPa,平均伸长率为 6.24%。从图 8 可以看出,涂覆活性剂的接头强度值只有在合适的电流条件下才能达到最高值,焊接电流为 150A 时,涂覆 AlF_3 和 4 组分活性剂的接头抗拉强度最高值分别为 258.48MPa 和 267.73MPa,而焊接电流为 145A 时,涂覆 LiF 和 3 组分活性剂的接头抗拉强度最高值分别为 256.32MPa 和 263.44MPa,4 组分活性剂的 DCSP A-TIG 接头强度为 267.73MPa 明显高于其他 3 种活性剂,略高于 VPTIG 接头强度。从图 9 可以看出涂覆 AlF_3 、 LiF 活性剂的接头平均伸长率在焊接电流为 150A 时,分别达到了 5.34% 和 5.38%;涂覆 3 组分活性剂的接头伸长率在 145A 时,达到了 5.52%;涂覆 4 组分活性剂的接头伸长率在 155A 时,达到 6.19%,略低于 VPTIG 焊的接头伸长率,由于 VP-TIG 采用了打底焊和盖面焊两层焊接工艺,接头的软化区域扩展,因此伸长率要略高于 DCSP A-TIG 焊接头的伸长率。

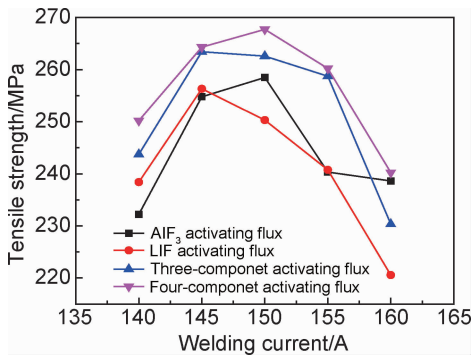


图8 焊接电流对DCSP A-TIG对焊接接头抗拉强度的影响

Fig.8 Effect of welding current on the tensile strength of DCSP A-TIG butt welding

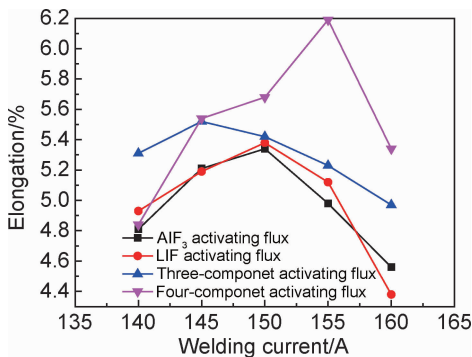


图9 焊接电流对DCSP A-TIG对焊接接头伸长率的影响

Fig.9 Effect of welding current on the elongation of DCSP A-TIG butt welding

3 结论

(1)采用4种活性剂均可以去除2219铝合金焊缝表面氧化膜,提高焊缝表面成型质量,有效去除焊缝内部气孔。涂覆单组分 AlF_3 活性剂的DCSP A-TIG对接接头成型质量差,鱼鳞纹不明显,而涂覆4组分接头成型质量最佳,鱼鳞纹明显。

(2) AlF_3 活性剂增加熔深的效果非常明显,熔深达3.38mm,3组分活性剂熔深达3.27mm,4组分活性剂熔深为2.84mm。涂覆 AlF_3 活性剂的电弧形态具有明显的拖弧现象,涂覆3组分活性剂时,电弧有轻微的拖弧和扩展现象,而LiF和4组分活性剂的电弧形态变化不明显。

(3)2219铝合金DCSP A-TIG焊缝组织具有和母材相同的组织组成物。电流大小对接头组织影响较大,过大的电流会造成晶粒组织粗大。

(4)采用直流正极活性TIG焊的2219铝合金接头性能与变极性TIG焊具有相近的性能指标。活性剂中的氟化物可以有效去除铝合金表面的氧化膜和焊

缝气孔,对于2219高强铝合金的焊接而言,采用直流活性正极性TIG焊具有很大的工程应用价值。

参考文献

- [1] 宋天虎. 用智慧推动焊接制造的进步[J]. 电焊机, 2013, 43(5): 1-9.
SONG T H. Promoting the progress of the welding a manufacturing by intelligence[J]. Electric Welding Machine, 2013, 43(5): 1-9.
- [2] 马晓丽, 华学明, 吴毅雄. 高效焊接技术研究现状及进展[J]. 焊接, 2007(7): 27-31.
MA X L, HUA X M, WU Y X. Research status and development of high efficient welding [J]. Welding & Joining, 2007(7): 27-31.
- [3] KIM S, JEONG Y, PARK J, et al. Fundamental study on electron beam weld sections and strengths using AA6061-T6 aluminum alloy plate[J]. J Mechan Sci Techn, 2013, 27(10): 2935-2942.
- [4] CHANG C C, CHEN C L, WEN J Y, et al. Characterization of hot cracking due to welding of high strength aluminum alloys[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2012, 27: 658-663.
- [5] 龙伟民, 乔培新, 曾大本. 基于药芯铝焊丝的T1正极性焊接[J]. 中国机械工程, 2002, 13(18): 1602-1604.
LONG W M, QIAO P X, ZENG D B. Based on the cored weld wire of straight polarity direct current TIG welding [J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(18): 1602-1604.
- [6] 姚君山, 周万盛. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
YAO J S, ZHOU W S. The welding of aluminium and aluminium alloy [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006.
- [7] 方臣富, 俞加俊, 陈树君, 等. VPTIG焊接电流参数对电弧形态及焊缝质量的影响[J]. 焊接学报, 2007, 28(12): 21-26.
FANG C F, YU J J, CHEN S J, et al. Effects of VPTIG welding current parameters on arc shape and weld quality[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2007, 28(12): 21-26.
- [8] FUERSHBACH P W. Cathodic cleaning and heat input in variable polarity plasma arc welding of aluminum [J]. Welding Journal, 1998, 77(2): 76-85.
- [9] 黄勇, 樊丁, 邵锋. 铝合金活性TIG焊熔池表面化学反应分析[J]. 焊接学报, 2010, 30(5): 41-45.
HUANG Y, FAN D, SHAO F. Analysis of chemical reaction on weld pool surface in activating TIG welding of aluminum alloys [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2010, 30(5): 41-45.
- [10] 孙玉娟, 宋永伦, 马云龙. 2219铝合金焊缝的气孔量及其对性能的影响[J]. 电焊机, 2015, 45(7): 84-87.
SUN Y J, SONG Y L, MA Y L. Quantitative of porosity in 2219 aluminum alloy weld and its effect on joint performance[J]. Electric Welding Machine, 2015, 45(7): 84-87.
- [11] DRITS A M, OVCHINNIKOV V V. Weldability and properties of welds of high strength aluminum alloys of the Al-Cu-Li system[J]. Metal Science and Heat Treatment, 2012, 53 (9/10): 445-449.
- [12] LI S, SHEN J, CAO Z, WANG L, et al. Effects of mix activated fluxes coating on microstructures and mechanical properties

- of tungsten inert gas welded AZ31 magnesium alloy joints[J]. Science & Technology of welding & Joining, 2012, 17: 467-475.
- [13] TSENG K H, CHEN K L. Comparisons between TiO_2 -and SiO_2 -flux assisted TIG welding processes[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2012, 12: 6359-6367.
- [14] ARIVAZHAGAN B, VASUDEVAN M. Studies on A-TIG welding of 2.25Cr-1Mo(P22) steel[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2015, 18: 55-59.
- [15] SRIRANGAN A K, PAULRAJ S. Experimental investigation of the A-TIG welding process of incoloy 800H[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2015, 30: 1154-1159.
- [16] 张兆栋. 镁合金活性焊接研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- ZHANG Z D. The study of activation flux welding for magnesium alloy[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007.
- [17] 李清明. T91 钢 TIG 焊活性剂的研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.
- LI Q M. Investigation on activating flux in tungsten inert gas welding of T91 steel[D]. Jinan: Shandong University, 2007.
- [18] 熊欢, 庄来杰, 曲文卿. 2219-T87 铝合金变极 TIG 接头微观组织与力学性能[J]. 航空制造技术, 2014(10): 75-78.
- XIONG H, ZHUANG L J, QU W Q. Microstructures and mechanical properties of 2219-T87 aluminum alloy TIG welded joints[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(10): 75-78.
- [19] 许飞, 陈俐, 何恩光, 等. 2024-T4 铝合金光纤激光填丝焊缝成形与组织性能的相关性[J]. 材料工程, 2017, 45(11): 90-95.
- XU F, CHEN L, HE E G, et al. Correlation of weld appearance with microstructure and mechanical properties of 2024-T4 Aluminum alloy welded by fiber laser with filler wire[J]. Journal of Materials Engineering, 2017, 45(11): 90-95.
- [20] 杜博睿, 张学军, 郭绍庆, 等. 激光快速成形 GH4169 合金显微组织与力学性能[J]. 材料工程, 2017, 45(1): 27-32.
- DU B R, ZHANG X J, GUO S Q, et al. Microstructure and mechanical properties of laser melting deposited GH4169 superalloy [J]. Journal of Materials Engineering, 2017, 45(1): 27-32.
-
- 基金项目:** 国家自然科学基金资助(51671037)
- 收稿日期:** 2016-09-30; **修订日期:** 2017-06-26
- 通讯作者:** 邹家生(1965—), 男, 教授, 博士, 研究方向: 先进材料的连接及钎焊技术, 联系地址: 江苏科技大学先进焊接技术省级重点实验室(212003), E-mail: zjzoujs@126.com
- (本文责编: 杨 雪)