

不同孔径节流阀对铝合金 MIG 焊气体流向及保护效果的影响规律

王新, 陈超, 谷孝满, 李佳兴, 王晓宇

(唐山松下产业机器有限公司, 河北 唐山 063000)

摘要:针对 10 mm 厚硬铝 6061 焊接过程中的气孔问题进行了分析,认为送丝机上的节流阀对铝合金气孔的产生具有较大影响,因此针对不同孔径的节流阀和气体流量,采用气体成像仪对焊枪出口处的气流形态、气流流速以及对电弧的压缩性进行了对比分析,同时又进行了实际焊接验证。为进一步研究不同孔径的节流阀对铝合金焊接气孔及电弧稳定性的影响规律提供了依据,也为送丝机节流阀孔径的选择提供了参考依据。

关键词:铝合金;6061;气孔;节流阀;MIG

中图分类号:TG443

文献标识码:A

文章编号:1672-1152(2024)02-0014-04

0 引言

铝合金在车辆、飞机等结构零件上有着广泛的应用,而 MIG 熔化焊是其成形中最常用的焊接方法之一,但是由于铝合金本身的物理性能,焊接气孔是造成焊接件废品的最主要原因,因此,很多学者对铝合金焊接气孔的产生原因进行了大量的研究工作。如:段金龙^[1]综合论述了铝合金焊接接头气孔缺陷的形成机理、抑制机理,提出气孔的形成和氢的溶解度变化有着密切关系;唐良喜^[2]研究了铝及铝合金 MIG 焊接预防气孔的措施,针对铝及铝合金 MIG 焊接过程中容易产生气孔的情况,分析了产生气孔的原因;杨小坡^[3]研究了不同保护气体对铝合金焊接气孔敏感性的影响规律,综述了铝合金焊缝气孔的形成机理,并讨论了纯氩气保护气体和氩氮混合保护气体对焊缝中气孔数量的影响;张宗来^[4]研究了不同焊接位置铝合金接头的气孔敏感性;万加新^[5]研究了焊缝厚度对铝合金机器人焊接气孔的影响规律;张习羽^[6]研究了 6061 铝合金 CMT 焊接气孔的影响因素;王金涛^[7]研究了 6061 铝合金焊接气孔问题的解决方法;程石来^[8]研究了 6005A 铝合金焊接气孔与环境湿度关系。目前对铝合金焊接气孔的研究,大部分都集中在保护气体、焊接材料、焊接工艺等方面,很少涉及到焊接设备本身的原因,本文主要是研究 MIG 焊接设备气路与焊接气孔直接的关系,希望可以为 MIG 焊接气路的进一步优化提供参考依据。

作者在采用 500GP5 手工数字化焊机(标准节流阀 $\Phi 1.0$ mm)焊接硬铝 6061 时,发现焊接效果不理想,经常存在气孔缺陷和气保护效果差等问题。其中,采用的材料及焊接工艺规范:焊接设备为 500GP5 手工数字化焊机;焊接模式为脉冲;母材材质为 6061;保护气体为 99.99% 纯 Ar;保护气体成分和流量为林

德 99.99% Ar、20 L/min;焊丝为奥森 ER5356;焊丝直径为 $\Phi 1.2$ mm;板厚为 10mm;坡口角度为 45° ,无钝边;接头形式为平对接;预热/层间温度为 $80\sim 100^\circ\text{C}$;空气湿度为 45%。

焊接结束后,用铝合金专用打磨砂轮对焊缝进行打磨,打磨后发现焊缝中存在很多气孔,尤其是在焊缝引弧端附近处,还存在链状气孔,作者认为焊缝引弧端附件存在链状气孔与起弧焊接后的气流状态不稳定有关系,故去掉 500GP5 焊机送丝机上的节流阀($\Phi 1.0$ mm)再次进行上述试验,此时焊接接头中的焊接气孔明显减少。

由于脉冲小电流段(30 A)的基值电流较小,维弧能力差,所以将去掉送丝机节流阀($\Phi 1.0$ mm)的 500GP5 焊机进行小(30 A)电流段的焊接效果验证试验,试验发现 30 A 小电流段焊接过程中的断弧现象非常严重,这说明送丝机节流阀孔径不是越大越好,因此,多大孔径的节流阀既可以保证 30 A 小电流焊接时的电弧稳定、不断弧,又可以保证 10 mm 平对焊(大电流焊接)时无气孔就成为了需要研究的课题。所以针对不同孔径的节流阀和气体流量,采用气体成像仪对焊枪出口处的气流形态、气体流速以及气体对电弧的压缩性进行了对比研究,最终采用实际焊接进行验证,并采用波形记录仪记录相关电流、电压波形进行分析。

1 实验材料与方法

为了改善 $\Phi 1.0$ mm 节流阀焊接时的气孔问题和无节流阀时的断弧课题,专门制作了 $\Phi 2.0$ mm、 $\Phi 1.5$ mm、 $\Phi 1.2$ mm 孔径的节流阀。然后在不同气体流量下(15 L/min、20 L/min),采用气体成像仪对焊枪出口处的气流形态、气体流速进行了观察、分析。下述所有试验均是在检气(或焊接)开始时进行测量,整个过程大约持续 3 s。之后又在 20 L/min 气流量下,验证了

收稿日期:2023-12-19

第一作者简介:王新(1988—),男,硕士研究生,毕业于太原科技大学,工程师,主要从事数字化焊机波形控制技术研究。

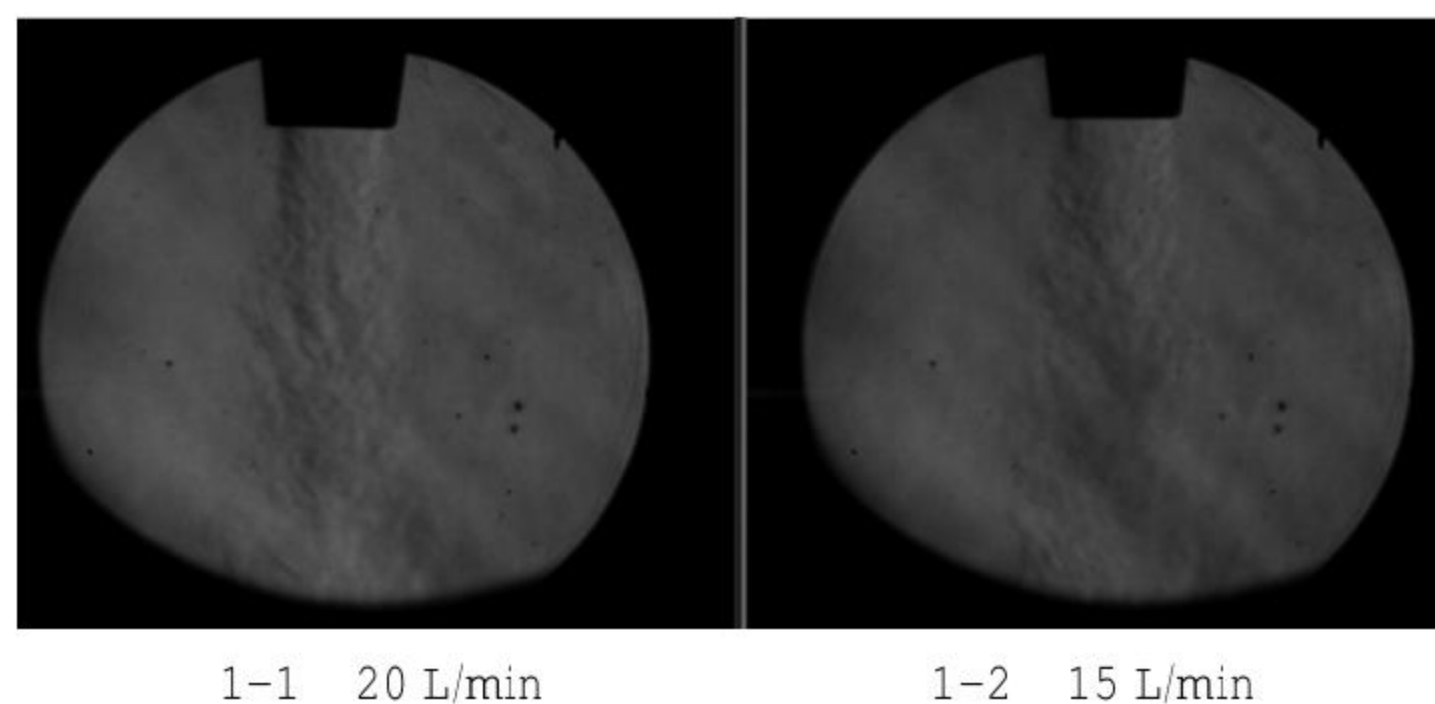
30 A小电流在不同节流阀孔径下的断弧倾向和在 $\Phi 1.2$ mm节流阀平对接时的气孔倾向。

2 试验结果与分析

2.1 不同气流量对气流形态的影响

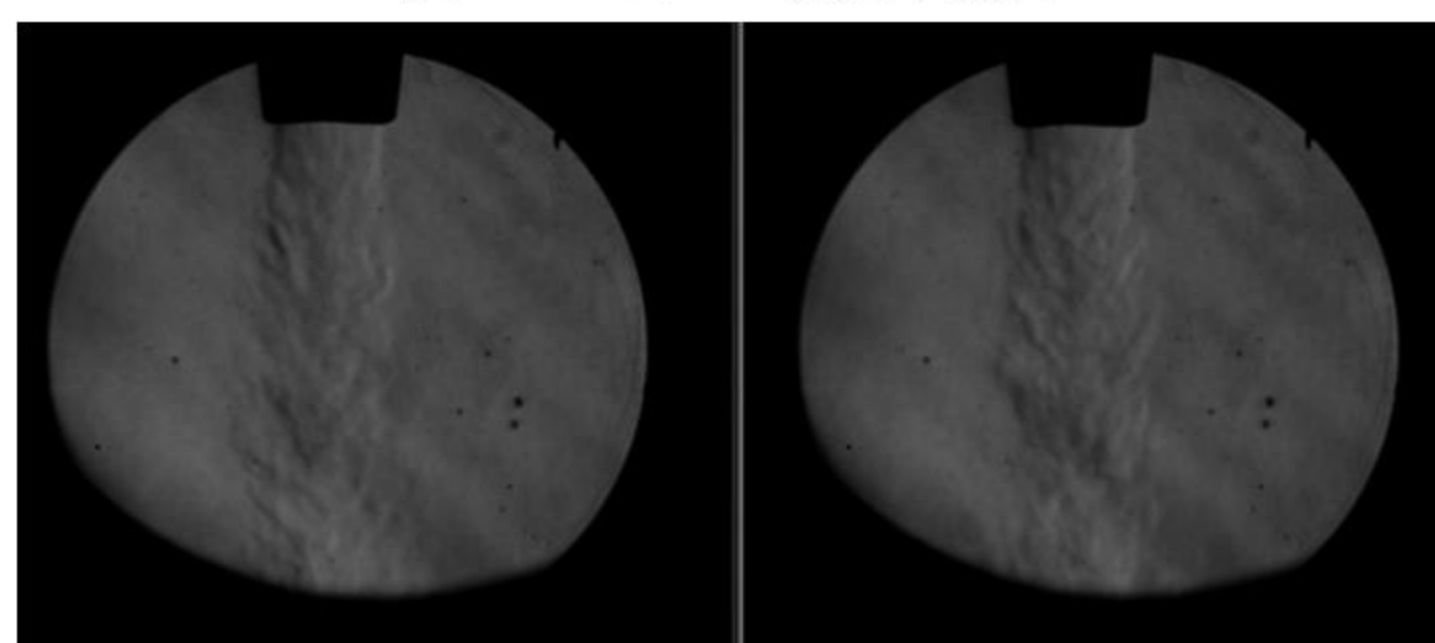
气体流量和气体流速对焊接质量有着十分重要的影响,不合适的气体流量和气体流速会对焊接效果产生不利的影响,本实验只讨论不同孔径的节流阀和气体流量对铝合金焊接性能的影响,首先对比 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀分别在15 L/min,20 L/min气流量下的气流状态,然后再对比 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀在15 L/min,20 L/min气流量时的气流状态。

如图1和图2所示,在不同气体流量(15 L/min与20 L/min)下,无论是 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀还是 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀,气流的流速基本相当,没有明显差异,气流形态也没有明显差异,但严格来讲,20 L/min时的气流挺度略微好于15 L/min时的气流挺度。如表1所示, $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀在20 L/min气流量下的气流挺度直线段长40 mm左右,在15 L/min气流量下的气流挺度直线段长度32 mm左右; $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀在20 L/min气流量下的气流挺度直线段长40 mm左右,在15 L/min气流量下的气流挺度直线段长度35 mm左右; $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀层流效果较好, $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀存在少量的紊流。



1-1 20 L/min

1-2 15 L/min

图1 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀

2-1 20 L/min

2-2 15 L/min

图2 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀

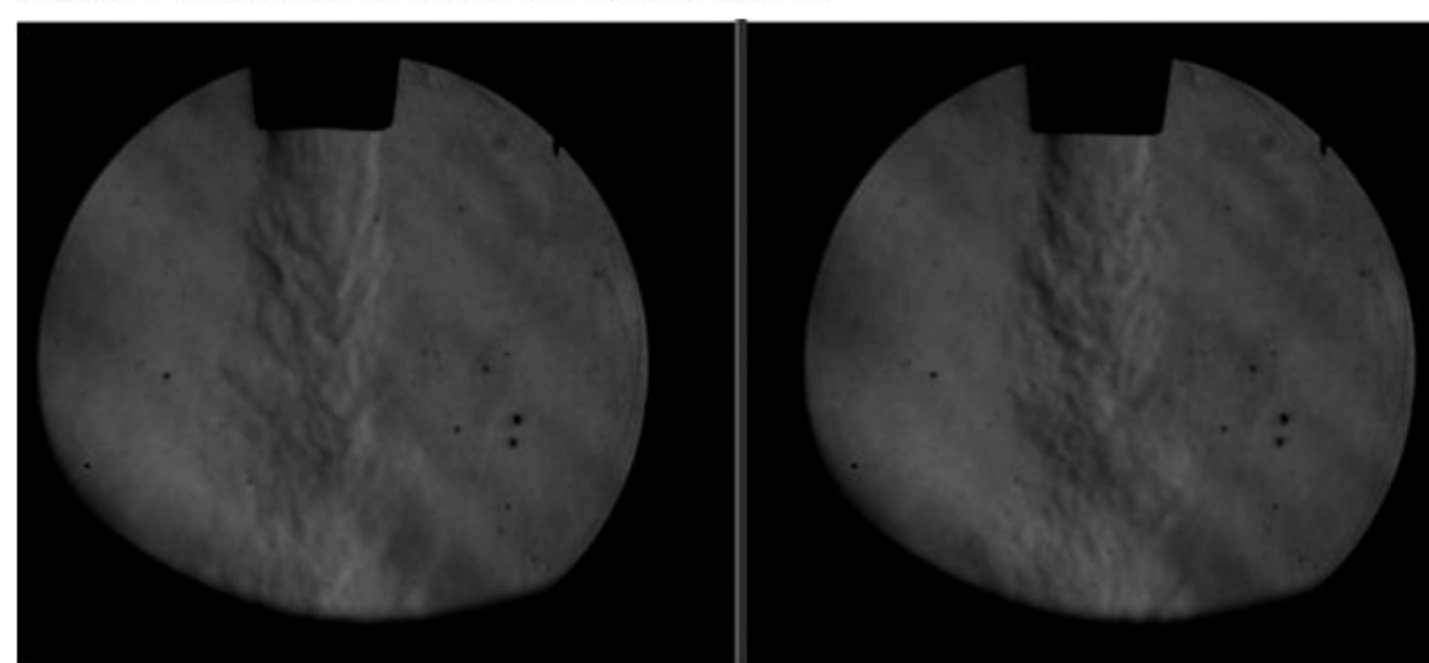
2.2 不同孔径节流阀之间的气流形态对比试验

在20 L/min气流量情况下,对比测试 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀和 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的气流形态以及流速之间的差异(见图3),实验发现:在20 L/min气流量时, $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀的气体流速明显快于

表1 不同气体流量在不同孔径节流阀下的气流挺度直线段长度

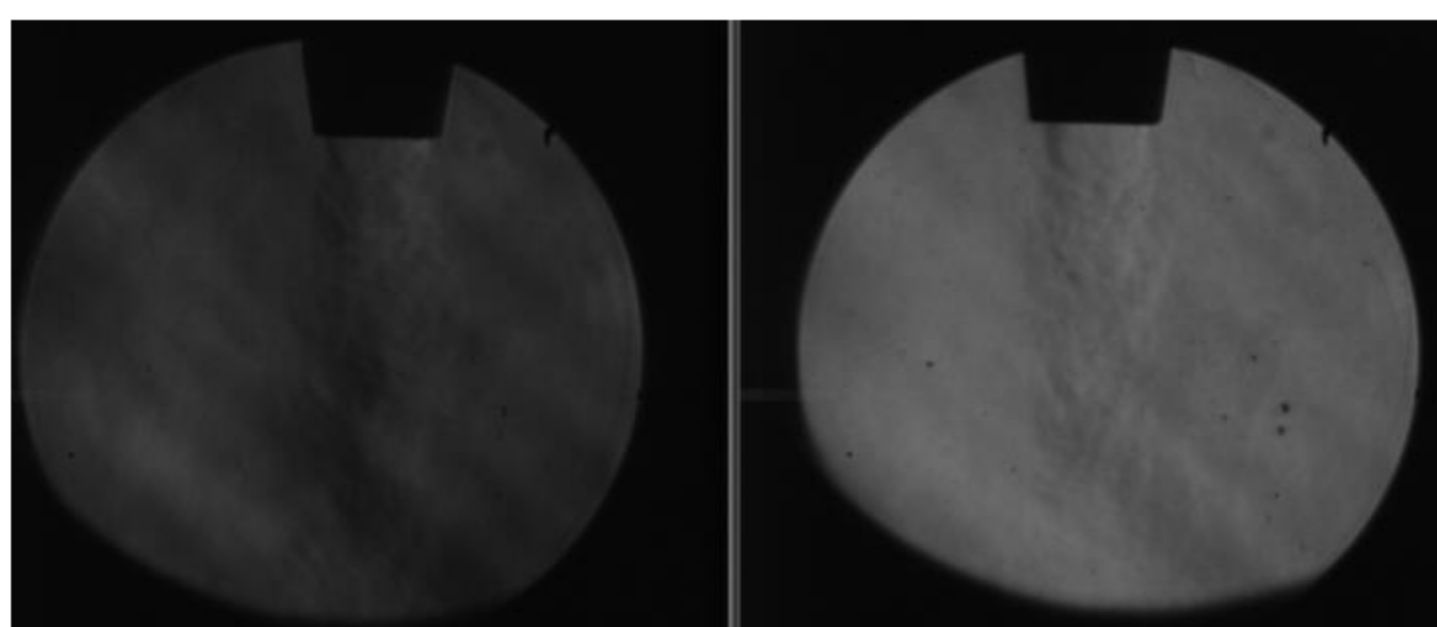
节流阀孔径/mm	气体流量大小/(L/min)	气流挺度直线段长度/mm
$\Phi 2.0$	15	32
	20	40
$\Phi 1.5$	15	35
	20	40

$\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的气体流速,大约为 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀流速的两倍;并且,在离喷嘴大约15 mm的距离内, $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的气流是层流,比较稳定,而 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀气流虽然也是层流,但出现了细小的紊流,初步判断认为跟 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀气流的流速较快有关。虽然 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀气流的流速较快,但挺度明显优于 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的气流挺度,而且在电弧压缩性上要明显优于 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀,实际焊接也再次证明了此结论,但值得进一步考虑的是实际焊接中需要多大的气流压缩力才是最合适的,这一问题需要结合实际焊接,才能给出更加合理的判断。

3-1 $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀3-2 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀图3 $\Phi 2.0$ mm和 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀产品对比图(20 L/min)

由上述试验结果来看, $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀与 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的差异主要体现在气流的流速和对电弧的挺度方面, $\Phi 2.0$ mm孔径节流阀的流速明显快于 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀,而且气流挺度也明显优于 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀,但在距离喷嘴15 mm的范围内,不如 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的层流效果好,这主要是由于气流的流速过快造成的。所以为了验证并得到更加准确的结果,再次对送丝机加装 $\Phi 1.2$ mm孔径节流阀,以进一步降低喷嘴处的流速,把送丝机加装 $\Phi 1.2$ mm孔径节流阀的气流效果与加装 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的气流效果进行对比,如图4所示。

从图4可以看出:无论是 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀还是 $\Phi 1.2$ mm孔径节流阀,喷嘴出口处的气流形态均比较稳定,且两者距离喷嘴15 mm处是明显的层流,但 $\Phi 1.5$ mm孔径节流阀的流速比 $\Phi 1.2$ mm孔径节流阀的流速略快,这与上述结论基本一致,即:节流阀的孔径越大,流速越快,气流挺度越好。为了能够进一步确认实际焊接时的气流状态和焊接效果,后续又

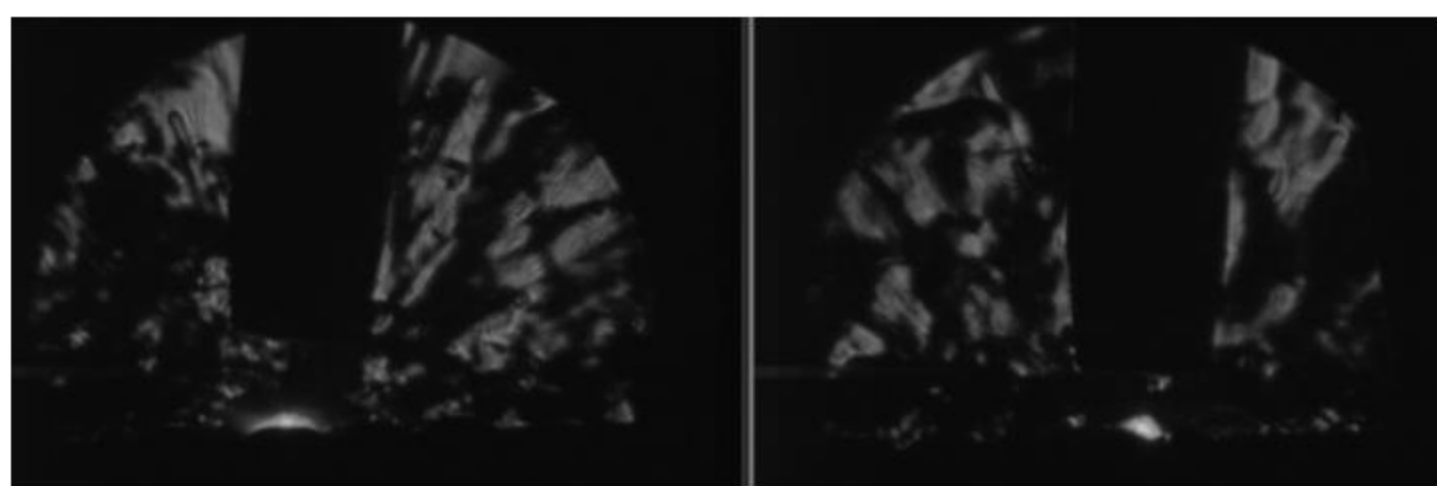


4-1 $\Phi 1.5$ mm 孔径节流阀 4-2 $\Phi 1.2$ mm 孔径节流阀

图 4 $\Phi 1.5$ mm 和 $\Phi 1.2$ mm 孔径节流阀产品对比图(20 L/min) 专门增加了实际焊接对比实验。

2.3 不同孔径节流阀在实际焊接时的电弧形态对比试验

为了研究气流状态对电弧形态的影响,以及观察不同孔径节流阀在实际焊接时的气流形态及电弧形状,由图 5 明显看出:选择 $\Phi 1.5$ mm 孔径节流阀时的流速缓慢并且均匀,选择 $\Phi 2.0$ mm 孔径节流阀时的气流挺度好,并且前端气流十分均匀;从气流形态和电弧的压缩效果来看, $\Phi 2.0$ mm 孔径节流阀对电弧的压缩效果更加明显。

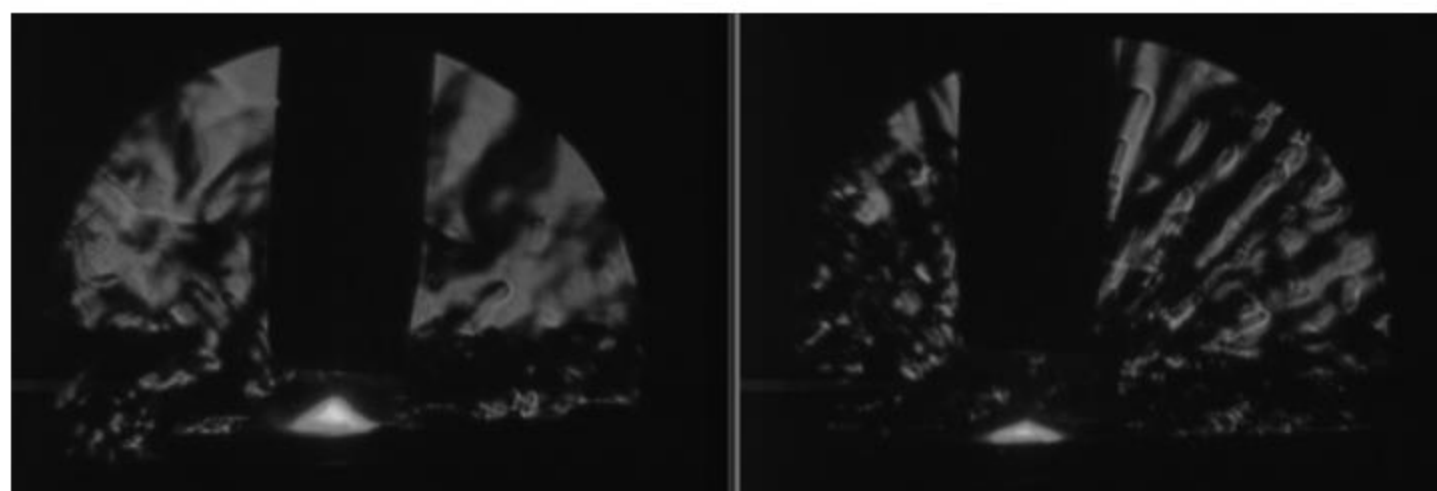


5-1 $\Phi 1.5$ mm 孔径节流阀 5-2 $\Phi 2.0$ mm 孔径节流阀

图 5 $\Phi 1.5$ mm 和 $\Phi 2.0$ mm 孔径节流阀电弧对比(20 L/min)

从图 5 可以看出,采用 $\Phi 1.5$ mm 孔径节流阀时电弧比较宽,并且发散;采用 $\Phi 2.0$ mm 孔径节流阀时电弧窄,并且集中。这也从侧面证明了 $\Phi 2.0$ mm 孔径节流阀气流对电弧压缩性较好。

在加装 $\Phi 1.2$ mm 孔径节流阀后,与加装 $\Phi 1.5$ mm 孔径节流阀时进行实际焊接对比,如图 6 所示,采用 $\Phi 1.2$ mm 孔径节流阀时电弧更宽、并且更加发散,加装 $\Phi 1.5$ mm 孔径节流阀时的电弧压缩性明显较加装 $\Phi 1.2$ mm 孔径节流阀时的电弧压缩性要强,而加装 $\Phi 2.0$ mm 孔径节流阀时的电弧集中性最佳。



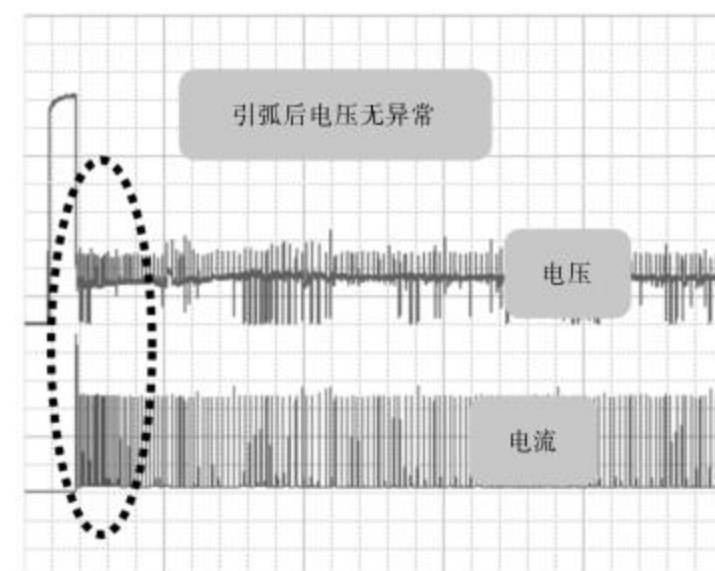
6-1 $\Phi 1.2$ mm 6-2 $\Phi 1.5$ mm

图 6 $\Phi 1.2$ mm 和 $\Phi 1.5$ mm 孔径节流阀电弧对比(20 L/min)

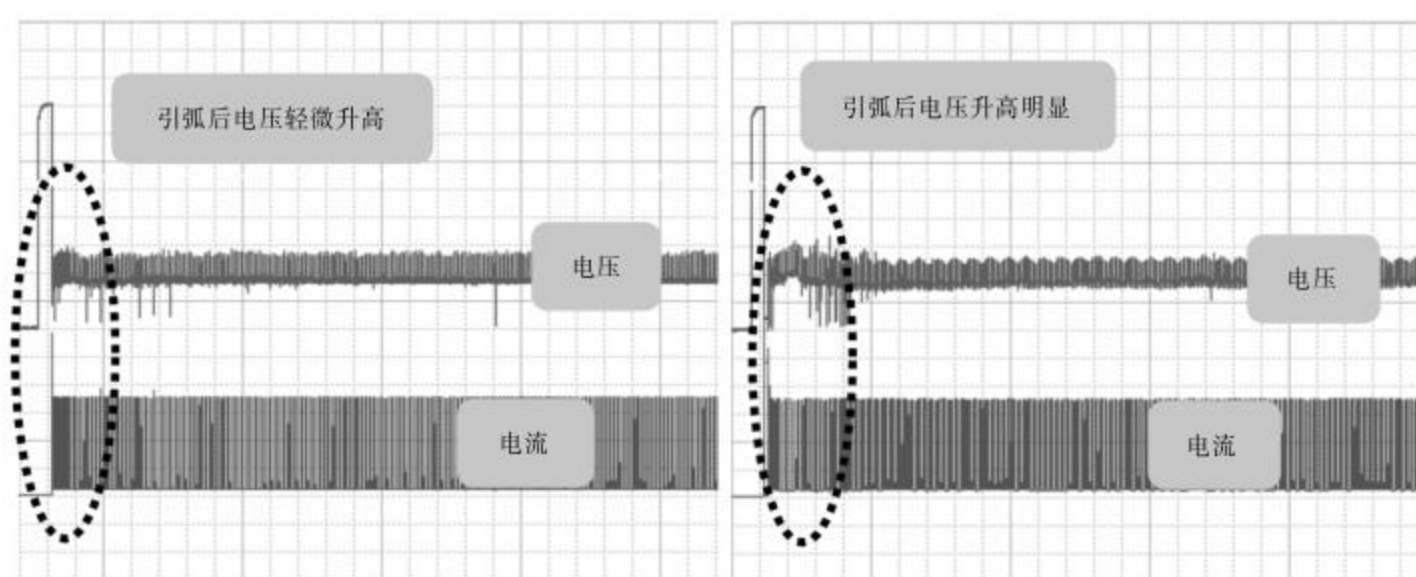
2.4 不同孔径节流阀在 30 A 小电流焊接时对比试验

在 20 L/min 较大气流量状态下,对比不同孔径节

流阀($\Phi 2.0$ mm、 $\Phi 1.5$ mm、 $\Phi 1.2$ mm)在 30 A 小电流引弧后的电弧稳定性,其焊接波形如图 7 所示。



7-1 $\Phi 1.2$ mm



7-2 $\Phi 1.5$ mm

7-3 $\Phi 2.0$ mm

图 7 500GP5 焊机 30 A 小电流在不同孔径节流阀的焊接波形

由图 7 可知,当节流阀孔径为 $\Phi 1.2$ mm 时,引弧之后的电压基本没有异常;随着节流阀孔径的不断增大,引弧之后的电压异常程度也逐渐增大,当节流阀孔径为 $\Phi 1.5$ mm 时,引弧之后的电压已经开始出现轻微的波动,这是因为小电流时电弧稳定性较差,而气体速度较快所导致的;当节流阀孔径为 $\Phi 2.0$ mm 时,引弧后的电压波动最大,出现断弧的风险也最大,因此,从小电流焊接的稳定性而言,节流阀孔径越小,气体流速越小,引弧后的电弧也越稳定。

2.5 采用 $\Phi 1.2$ mm 孔径节流阀焊接 10 mm 硬铝平对接焊

将送丝机中的节流阀更换为 $\Phi 1.2$ mm,然后采用上述焊接工艺规范再次进行 10 mm 试板多层多道焊接,焊接结束之后将焊缝打磨,发现焊缝无气孔,如图 8 所示。



图 8 500GP5 加装 $\Phi 1.2$ mm 孔径节流阀时, 10 mm 平对接焊接效果

因此,将送丝机中的节流阀更换为 $\Phi 1.2$ mm 孔径时,既可以保证 30 A 小电流焊接时的电弧稳定性,又可以避免 10 mm 平对接的气孔课题,是比较理想的节流阀孔径选择。

3 结论

经上述试验,可得出以下结论如下:

1)在焊枪出口处的气流中,影响最大的因素为流速,其次为层流效果。

2)通过加装节流阀会改变气流的流速;当节流阀孔径较大时,气体流速大,层流效果差,但气流挺度好,对电弧的压缩性较强,小电流焊接时的电弧稳定性差;当节流阀孔径较小时,气体流速小,层流效果好,小电流焊接时的电弧稳定性好。

3)节流阀孔径为 $\Phi 1.0$ mm 时,保护气体流量过小,气体保护作用减弱;无节流阀时,保护气体流量过大,导致紊流的产生,两种情况下都会使周围空气大量卷入,使气孔数目增多。

4)送丝机中的节流阀孔径更换为 $\Phi 1.2$ mm 时,既可以保证小电流焊接时的电弧稳定性,又可以避免10 mm 平对接的气孔课题,是比较理想的节流阀孔径选择。

参考文献

- [1] 段金龙.探析铝合金焊接接头中气孔产生的机理与控制方法[J].中国金属通报,2019(8):276-277.
- [2] 唐良喜,肖云,兰志刚,等.铝及铝合金MIG焊接预防气孔的措施[J].机械制造文摘:焊接分册,2011(5):35-39.
- [3] 杨小坡,童彦刚,王能庆.保护气体对铝合金焊接气孔敏感性的影响[J].热加工工艺,2012,41(3):139-141.
- [4] 张宗来,兰玲,陆雷俊,等.不同焊接位置铝合金接头的气孔敏感性分析[J].电焊机,2020,50(3):133-136.
- [5] 万加新,李科颖.焊缝厚度对铝合金机器人焊接气孔影响的研究[J].世界有色金属,2018(9):166-167.
- [6] 张习羽,王晓帅,叶昕,等.6061铝合金CMT焊接气孔影响因素研究[J].热加工工艺,2019,48(19):127-132.
- [7] 王金涛.6061铝合金焊接气孔问题的解决[J].金属加工:热加工,2011(8):69.
- [8] 程石来,张永杰,唐海鹰,等.6005A铝合金焊接气孔与环境湿度关系[J].轨道交通装备与技术,2013(6):112-114.

(编辑:苗运平)

Influence of Throttle Valve with Different Aperture on Gas Flow Direction and Protection Effect of Aluminum Alloy MIG Welding

Wang Xin, Chen Chao, Gu Xiaoman, Li Jiaying, Wang Xiaoyu

(Panasonic Welding Systems (Tangshan) Co., Ltd., Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: An analysis was conducted on the porosity problem of 10 mm thick hard aluminum 6061 welding, and it was found that the throttle valve on the wire feeder has a significant impact on the generation of porosity in aluminum alloy. Therefore, for throttle valves with different apertures and gas flow rates, a gas imaging instrument was used to compare and analyze the airflow morphology, flow rate, and compressibility of the arc at the outlet of the welding gun, and actual welding verification was also carried out. This provides a basis for further studying the influence of throttle valves with different apertures on the welding porosity and arc stability of aluminum alloys, as well as a reference for the selection of throttle valve apertures for wire feeders.

Key words: aluminum alloy; 6061; porosity; throttle valve; MIG

(上接第8页)

[12] 崔春利,张锦瑞,赵礼兵,等.青海某铜矿选矿工艺优化试验[J].矿业研究与开发,2019,39(3):20-24.

[13] 刘松.铜硫矿石中低品位伴生金的回收技术研究[D].赣州:江西理工大学,2013.

[14] 吴熙群,李成必,杨菊,等.高效选择性捕收剂AP的应用[J].有色金属(选矿部分),2002(2):36-40.

(编辑:武倩倩)

Comprehensive Recovery Test of a Copper-sulfur Ore in Jiangxi Province

Huang Yingjian¹, Liu Zhaoyang¹, Hong Qingyao¹, Zhang Zhihui²

(1. Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan 411100, China; 2. Jiangxi Copper Group Yinshan Mining Company, Dexing Jiangxi 334200, China)

Abstract: In order to improve the recovery rate of copper sulfur and associated gold and silver and simplify the process, flotation process optimization tests were carried out based on the research of process mineralogy of copper sulfur ore in Jiangxi copper mine. The results show that under the conditions of 28 g/t of collector AP-II, 65% of ore fineness of -0.074 mm, 2 400 g/t of lime and 21 g/t of foaming agent, the closed-circuit test of "3 coarse, 3 sweep and 4 fine" was carried out. The final index is that the grade of copper, gold and silver in copper concentrate is 20.22%, 5.52 g/t and 108.37 g/t, and the recovery rates are 82.70%, 18.36% and 42.94%, respectively. The grades of sulfur, gold and silver were 45.86%, 2.13 g/t and 12.58 g/t, respectively, and the recoveries were 90.33%, 57.08% and 40.16%, respectively. Under the premise of ensuring the copper grade of the concentrate, the copper recovery rate of the copper concentrate is increased by 1.85%, which simplifies the flotation process steps, reduces the pharmaceutical consumption, and obtains a certain grade of gold and silver, ensuring the comprehensive recovery and utilization of the associated gold and silver.

Key words: copper sulfide ore; flotation; AP-II; recovery test