

DOI:10.13979/j.1007-7235.2022.03.010

环境温湿度对 6082-T6 铝合金型材 MIG 焊接接头 气孔和力学性能的影响

任思蒙,任毅斌,宋小雨,李英东,王国军
(中铝材料应用研究院有限公司,北京 102209)

摘要:在不同环境温湿度条件下,对 2 mm 厚的 6082-T6 铝合金型材进行熔化极气体保护焊(MIG),对焊接接头进行 X 射线、力学性能、弯曲性能检测。结果表明:随着绝对湿度的增加,焊缝中气孔率逐渐上升,气孔尺寸变大,气孔的分布形态由点状分布逐步转向密集状、链状分布,焊接接头断裂位置也由热影响区转变为焊缝区。气孔率的提高和链状气孔的存在使焊接接头力学性能下降,尤其是对弯曲性能的影响更为严重。

关键词:6082-T6 铝合金;MIG 焊;绝对湿度;气孔;力学性能

中图分类号: TG407 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7235(2022)03-0060-06

Effect of ambient temperature and humidity on porosity and mechanical properties of 6082-T6 aluminum alloy profile MIG welded joints

REN Si-meng, REN Yi-bin, SONG Xiao-yu, LI Ying-dong, WANG Guo-jun
(Chinalco Materials Application Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China)

Abstract: In different ambient temperature and humidity conditions, the welding experiment was carried out on the 2 mm-thick 6082-T6 aluminum alloy profile by using MIG welding method. X-ray test, mechanical property test and bending property test were carried out on the welded joints. The results show that the porosity and the size of porosity in the welded joints increase gradually with the increase of absolute humidity. The distribution pattern of weld porosity changes from point distribution to aggregation and chain distribution, and the fracture position of welded joint also changes from the heat affected zone to the weld zone. The increase of porosity and the existence of chain pores lead to the decrease of mechanical properties of the welded joint, especially on bending properties.

Key words: 6082-T6 Al alloy; MIG; absolute humidity; porosity; mechanical properties

铝合金因密度小,可焊,耐腐蚀,易加工成形等特点被广泛应用于汽车车身。我国新兴新能源汽车快速发展,铝合金作为汽车的首选材料,用量逐年提升,车辆及零部件主要依靠熔焊技术连接,因此保证车身焊接接头质量尤为重要。

在铝合金车身焊接中,接头气孔是常见的缺陷之一,气孔使焊缝致密性降低,有效承载面积减小,严重影响焊接接头的使用性能。分析气孔形成的主要因素,其中环境温湿度为最关键的一个影响因素。因此,在铝合金焊接生产中,将环境湿度控制在一个

收稿日期:2021-12-11

第一作者简介:任思蒙(1991-),女,河北唐山人,工程师,研究方向为铝合金先进材料和焊接技术。

合理的范围内,可以在保证铝合金焊接质量的前提下有效降低因过于严格地控制环境湿度带来的生产成本的增加^[1-4]。

我国一年四季及不同地域环境温湿度有规律性变化,不同温湿度是如何影响焊接接头气孔的产生及分布从而影响接头质量值得探究。本试验结合新能源汽车常用型材焊接问题,研究环境温湿度对6082-T6 铝合金 MIG 焊接接头气孔和力学性能的影响,为以后主机厂建立生产厂房及从事铝合金 MIG 焊接工作提供参考^[5]。

响,为以后主机厂建立生产厂房及从事铝合金 MIG 焊接工作提供参考^[5]。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验采用 6082-T6 铝合金型材,尺寸为 300 mm ×150 mm ×2 mm。填充焊丝为 ER5356 铝合金,直径为 1.2 mm。试验材料的化学成分如表 1 所示。

表 1 6082-T6 铝合金与 ER5356 焊丝的化学成分(质量分数/%)
Table 1 Chemical compositions of 6082-T6 Al alloy and ER5356 wire(wt/%)

材料	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6082-T6	0.7~1.3	0.5	0.10	0.4~1.0	0.6~1.2	0.25	0.2	0.1	余量
ER5356	0.25	0.40	0.10	0.05~0.20	4.5~5.5	0.05~0.20	0.10	0.06~0.20	余量

1.2 试验方法

采用熔化极气体保护焊,接头形式为对接,焊机为奥地利 Fronius 公司生产的 TPS4000 CMT advanced,焊枪装载在机械手臂上,进行自动焊接,保护气体为 99.999% 的高纯氩气。焊接工艺参数:焊接电流为 80 A,焊接速度为 0.75 m/min,焊接电压为 17.6 V,氩气流量为 18 L/min ~20 L/min。

在试验过程中,对整个焊接系统进行遮挡,形成封闭式“焊接室”,用加热器和加湿器改变焊接环境的温度和湿度。采用 X 射线无损检测方法测定焊缝中气孔形态及数量,标记气孔所在位置。采用图像分析软件计算气孔总面积,气孔所占整个焊道面积比即为气孔率,用来表征气孔敏感性。采用 AG-X

Plus-10 kN 拉伸机,根据 GB/T 2651 - 2008《焊接接头拉伸试验方法》进行室温拉伸试验,拉伸速度为 3 mm/min,记录抗拉强度、屈服强度、伸长率,以及断裂位置。根据 GB/T 2653 - 008《焊接接头弯曲试验方法》进行室温弯曲试验,压辊直径为 30 mm,弯头直径为 20 mm。

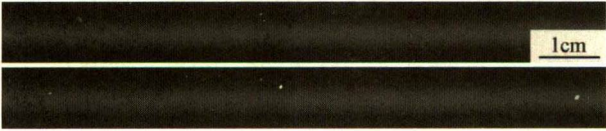
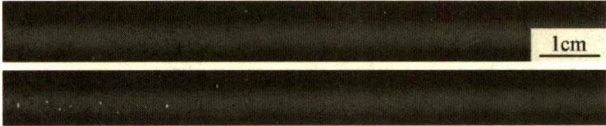
2 试验结果与分析

2.1 气孔率和气孔分布

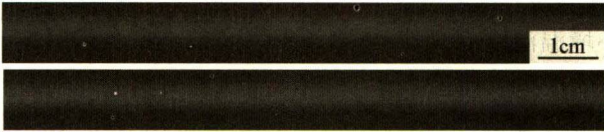
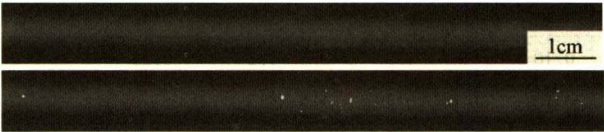
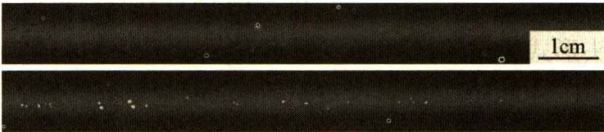
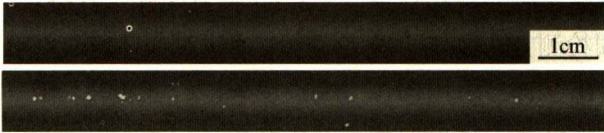
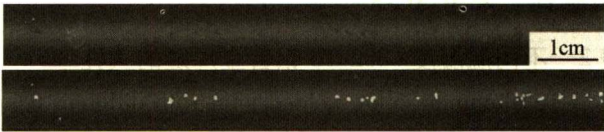
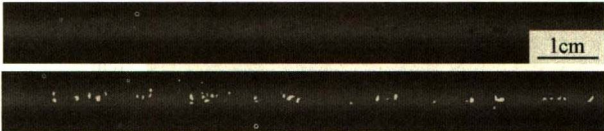
通过改变环境获得不同温度和相对湿度下的焊接接头,表 2 为 6082-T6 铝合金焊缝气孔率和气孔分布形式。

表 2 不同温湿度 6082-T6 铝合金焊缝的气孔率

Table 2 The porosity rate of 6082-T6 aluminum alloy welded joint with different temperatures and humidities

温度/℃	相对湿度/%	X 射线检测及图像软件标定	气孔率/%	气孔分布
14	30		0	
	40		0	
	50		0.04	点状
	60		0.10	点状

续表 2

温度/℃	相对湿度/%	X 射线检测及图像软件标定	气孔率/%	气孔分布
20	30		0.03	点状
	40		0.06	点状
	50		0.21	点状
	60		0.34	密集状
26	50		0.48	密集状
	60		0.75	密集状
	70		0.80	链状
	80		1.10	链状

当环境温度一定时,焊缝的气孔率随相对湿度的增加呈规律性变化,相同温度下气孔率随相对湿度的增大而增加。当温度为 26℃、相对湿度为 50% 时,气孔率为 0.48%;而温度为 14℃、相对湿度为 60% 和温度为 20℃、相对湿度为 60% 时,气孔率分别为 0.10% 和 0.34%。这说明研究环境相对湿度对气孔率的影响还应结合当前温度,要从温度和相对湿度综合角度考虑环境因素对焊缝气孔的影响。

湿度分为相对湿度和绝对湿度,相对湿度只能

在同一温度条件下对比,不同温度,应采用绝对湿度进行对比分析。绝对湿度是指单位体积空气中含有水蒸气的质量,绝对湿度与相对湿度转换公式:

$$f = W \times F \times 100\% \tag{1}$$

式中:

f —绝对湿度, g/m^3 ;

W —相对湿度, %;

F —一定温度和压强下空气饱和水蒸气含量, g/m^3 。

表3 不同温度和相对湿度下的绝对湿度

Table 3 Absolute humidities under different temperatures and relative humidities

温度/℃	饱和湿度/(g·m ⁻³)	相对湿度/%	绝对湿度/(g·m ⁻³)
14	12.05	30	3.62
		40	4.82
		50	6.03
		60	7.23
20	17.30	30	5.19
		40	6.92
		50	8.65
		60	10.38
26	24.30	50	12.15
		60	14.58
		70	17.01
		80	19.44

链状气孔是最为严重的焊接气孔缺陷,对焊接接头承受静载荷和交变载荷都是极为不利的^[6-7]。在某些特定工况场合或评判标准里,链状气孔直接视为未焊透等缺陷。从表2再结合表3来看,随着绝对湿度的增加,气孔的分布形式由单个气孔转向密集气孔,再由密集气孔转向链状气孔。气孔尺寸和数量也随着绝对湿度的增大而变大。

图1为不同绝对湿度的焊缝气孔率和分布。可以看出,随着绝对湿度的增加,焊缝气孔率逐渐增大。绝对湿度的增加还会改变气孔在焊缝中的存在形式,绝对湿度在4.82 g/m³以下时,气孔率为0,说明此时的环境相对湿度对焊缝气孔几乎没有影响;当绝对湿度达到或超过4.82 g/m³后,气孔以单个形式存在;当绝对湿度达到或超过到10.38 g/m³时,气孔密集存在;当绝对湿度到达或超过到17.01 g/m³时,气孔以链状形式存在。气孔率上升和气孔的分布形态发生转变的原因是随着绝对湿度的增加,空气中单位体积内所含水蒸气的质量增多,导致在焊接过程中水蒸气侵入电弧和熔池的概率加大,熔池凝固后,焊缝中形成更多的氢气孔。

2.2 气孔形成机制

氢是铝合金熔焊时产生气孔的主要原因,在不同温湿度条件下,尤其是在较为潮湿的环境中,氢的主要来源是空气中的水蒸气。在焊接过程中,熔融态铝合金与水蒸气发生化学反应:

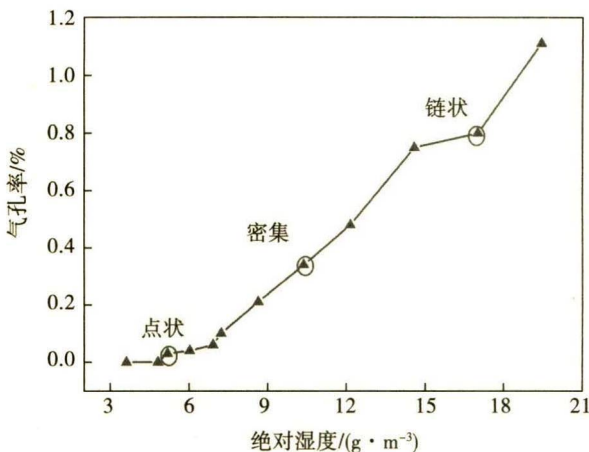


图1 不同绝对湿度下焊缝气孔率和分布

Fig. 1 Weld porosity and distribution of different absolute humidities

分解的氢不断扩散和溶解在电弧及熔池的液态金属中,温度越高,氢溶解度越大,越易在焊接接头中形成气孔。在熔化温度为600℃和1标准大气压时,氢在纯铝中的溶解度可从液态的0.69 mL/100 g突降到固态的0.036 mL/100 g,相差约20倍。氢的溶解度陡降,导致铝液中氢出现过饱和状态,在焊接条件下,熔池周边有母材未熔化的固态晶粒及成长中的固态枝晶和少量难溶的固态质点,它们的表面为气泡的非自发形核提供了条件,气泡核随即开始长大。

单个的小气泡长大是比较困难的,形核后的小气泡半径非常小,气泡的长大速度与其长大过程中受到的压力有关,即析出气体的总压力必须大于气泡的外界压力:

$$P_g > P_a + P_c \quad (4)$$

$$P_c = \frac{2\sigma}{r_c}$$

式中:

P_g —气泡内的气压;

P_a —气泡外部压力;

P_c —由表面张力构成对气泡的压力;

σ —液体金属与气泡间的表面张力;

r_c —气泡的半径。

形核后的小气泡半径 r_c 非常小,由表面张力构成对气泡的压力(P_c)则非常大,各个小气泡在熔池中浮动,以不同速度浮游、汇聚,相邻的小气泡不断发生合并,气泡尺寸变大,然后气泡继续长大。

有些已经长大的氢气泡来不及逸出留下空穴形成气孔。在降温过程中,焊缝凝固速度对气孔影响

很大,当其他条件不变时,金属凝固速度越快,气泡越难溢出。由于6082铝合金导热性能较好,焊接过程中传热速度快,流动性变差^[8],冷却时液态金属凝固速度快,气泡难以逸出,因此在不同工艺条件下形成大小不一、形态各异的焊缝气孔。

2.3 力学性能

将不同温湿度的焊接接头加工成标准拉伸试样和弯曲试样,并依据相关标准进行检测。图2和表3分别为不同绝对湿度对6082-T6铝合金接头力学性能和断裂位置的影响。由图2和表3可知,绝对湿度小于14.15 g/m³,接头抗拉强度保持在203 MPa~218 MPa,伸长率在4.9%~5.9%,断裂位置发生在热影响区或焊缝区,整条焊缝上的气孔以点状、密集状形式分布,且气孔率较低,能保证接头的致密性;但当绝对湿度上升到17.01 g/m³以后,接头抗拉强度和伸长率呈下降趋势,焊缝气孔分布形式为链状气孔,断裂位置全部发生在焊缝区。原因为当有链状气孔存在且气孔率比较高时,严重破坏焊缝的致密性,导致接头力学性能降低。

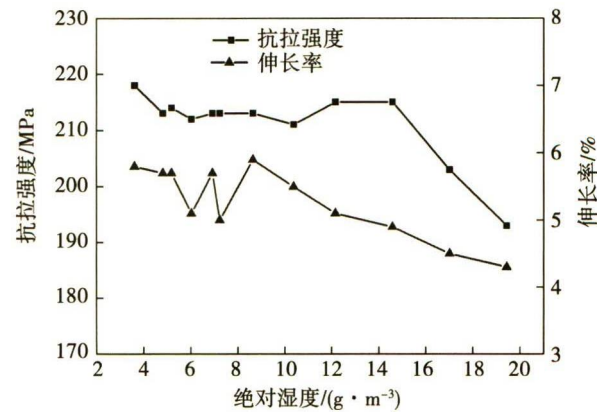


图2 绝对湿度对6082-T6 铝合金接头力学性能的影响
Fig.2 Effect of absolute humidities on mechanical properties of 6082-T6 aluminum alloy joint

表3 绝对湿度对6082-T6 铝合金接头
断裂位置的影响

Table 3 Influence of absolute humidities on the fracture location of 6082-T6 aluminum alloy joints

绝对湿度/(g·m ⁻³)	气孔分布形态	断裂位置
3.62~14.15	点状、密集状	热影响区
14.15~17.01	密集状	热影响区或焊缝区
17.01~19.44	链状	焊缝区

表4 为不同绝对湿度对6082-T6 铝合金焊接接头弯曲性能的影响。由表4可以看出,正弯和背弯角度随绝对湿度的升高下降。当绝对湿度小于12.15 g/m³时,正弯和背弯角度均可达到180°,且未发现明显缺陷,绝对湿度对弯曲性能没有明显影响;当绝对湿度为14.58 g/m³时,弯曲角度虽可达到180°,由于焊缝中有气孔存在,引起应力集中,产生焊接裂纹,接头弯曲性能下降,对比之前在此绝对湿度下,接头拉伸性能未发生明显改变,说明绝对湿度上升,对接头弯曲性能的影响更为显著;当绝对湿度为17.01 g/m³时,正弯和背弯的角度分别为46°和64°,正弯角度小于背弯角度,这是因为正弯主要考察焊缝上部性能,焊缝上表面受拉应力,此时空气中的水蒸气主要进入熔池上部形成气孔,因此表现为正弯较背弯角度要小;当绝对湿度上升为19.44 g/m³时,正弯和背弯分别为40°和49°,弯曲角度相差不大,此时空气中的水蒸气完全侵入到弧柱和熔池中去,形成的气孔致使焊缝接头弯曲性能整体下降。

表4 不同绝对湿度对6082-T6 铝合金接头
弯曲性能影响

Table 4 Influence of different absolute humidities on bending performance of 6082-T6 aluminum alloy joints

绝对湿度/(g·cm ⁻³)	正弯角度/(°)	背弯角度/(°)	外观
3.62~12.15	180	180	完好
14.58	180	180	开裂
17.01	46	64	开裂
19.44	40	49	开裂

3 结 论

- 1)对于6082-T6 铝合金型材焊接,应控制绝对湿度,绝对湿度对MIG焊接接头气孔率和气孔分布有较大影响,随着绝对湿度的提高,气孔率逐渐上升。
- 2)6082-T6 铝合金接头断裂位置一般发生在热影响区。气孔率较低时,断裂位置不发生改变,绝对湿度对接头拉伸性能和弯曲无明显影响;但气孔率升高,气孔分布转变为链状时,断裂位置发生在焊缝区,力学性能和弯曲性能明显下降。

参考文献:

- [1] 程石来,张永杰,唐海鹰,张 健. 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):15-17.
- [2] GOU G, ZHANG M, CHEN H, CHEN J, et al. Effect of humidity on porosity, microstructure, and fatigue strength of A7N01S-T5 aluminum alloy welded joints in high-speed trains[J]. Materials & Design, 2015, 82(11):309-317.
- [3] KORENBERG C F, KINLOCH A J, WATTS J F. Crack growth of structural adhesive joints in humid environments[J]. J. Adhes, 2004, 80(3):169-201.
- [4] ZHOU Z. Metal welding principles and processes[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1981.
- [5] XIA Ning, ZHU Zhi Min, CHEN Hui. Research on the influence of salt fog corrosion behavior of 6005A aluminum alloy welded joints by environment humidity[J]. Advanced Materials Research, 2013, 662:251-257.
- [6] 周万盛,姚君山. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [7] 黄声义. 链状气孔的危害及其评定[J]. 中国锅炉压力容器安全, 1999, 15(6):40-43.
- [8] 乔建毅. 轨道客车常用铝合金 5083、6082 MIG 焊接工艺研究[D]. 长春:吉林大学,2017.

哈兹雷特公司加入全球最大热处理装备制造商艾伯纳集团

2022 年 1 月 3 日,艾伯纳集团(总部位于奥地利莱昂汀)收购了哈兹雷特公司(位于美国佛蒙特州)的大部分股权,哈兹雷特公司成为艾伯纳集团成员。其中,意大利米诺股份公司仍是哈兹雷特的股东方。后续艾伯纳集团将与米诺通力合作,以哈兹雷特连铸技术为特色,共同为平轧铝产品轧制工业提供完整的生产线。此次艾伯纳并购哈兹雷特后,将结合各自的技术,完全覆盖从熔炼、铸造直至轧制的完整的生产线,加强和完善其产品系列。

(编辑部整理)

H&R 构件公司拉伸成型机投产

美国肯萨斯州威奇托(Wichita, KS)的 H&R 构件公司(H&R Parts Company)的 2 MN(200 t)拉伸成型机已于 2021 年 10 月投产。此机是密苏里州圣路易斯(St. Louis, MO)的贝克伍德压力机公司(Beckwood Press Co.)设计制造的,用于冲压航空航天、国防军工薄板零部件。

(王祝堂)