

焊枪喷嘴对铝合金焊接性能影响的研究

刘江红, 李佳兴

唐山松下产业机器有限公司 河北唐山 063000

摘要: 为了研究焊枪喷嘴在铝合金焊接中的影响, 设计了几种不同结构的喷嘴, 进行了理论分析及试验验证。分析了保护气体经过不同结构喷嘴后的出气效果。在相同工艺条件下, 对不同结构的喷嘴所能达到的工作角进行了计算, 并通过实际焊接试验分析不同工法下各种喷嘴对铝合金焊接性能的影响。结果表明: 缩颈喷嘴最具竞争力, 对焊接领域的工程应用具有一定的指导意义和参考价值。

关键词: 喷嘴; 气体保护焊; 铝合金焊接; 焊缝成形

Research on the impact of nozzle for aluminum alloy welding performance

LIU Jianghong, LI Jiaying

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

Abstract: In order to research the effect of nozzle in aluminum welding, several different structure nozzles were designed, and theoretical analysis and experimental verification were performed. The effect of gas outflow from different structural nozzles was analyzed. The working angle that can be achieved by the different nozzles were calculated under the same process conditions. And the effects of various nozzles on aluminum welding performance under different methods were analyzed through welding experiment. Results show that the neck-shrinking nozzle is the most competitive. The study of nozzles on aluminum welding in this paper have a certain guiding significance and reference value in the welding field.

Keywords: nozzle; gas shielded welding; aluminum alloy welding; welding appearance

1 序言

随着社会科技的进步, 近年来新能源汽车取得飞速发展, 而作为新能源汽车核心部件的电池盒通常由铝合金型材拼装焊接而成。焊接作为铝合金电池盒生产过程中的一道重要工序, 焊接质量的好坏将直接影响到产品品质及生产效率^[1]。在汽车行业, 生产节拍要求非常严格, 依靠传统的人工焊接方式不能满足高效率、高品质的焊接工作要求。目前, 铝合金电池盒的焊接主要由搭载气体保护焊设

备的机器人及外部轴组成的工作站来进行。气体保护焊接是利用电极间所产生电弧的热量作为熔化热源、保护气体作为介质的焊接方式, 通常可分为熔化极气体保护焊和非熔化极气体保护焊, 而熔化极气体保护焊主要包括惰性气体保护焊(MIG)和活性气体保护焊(MAG), 铝合金焊接一般采用的是MIG焊接^[2]。在气体保护焊中, 保护气的作用主要是保护内部电弧燃烧的稳定性以及在焊接过程中与空气隔绝, 保证焊缝质量, 减少飞溅^[3-5]。焊枪作为

通信作者: 刘江红, 硕士, 工程师, 主要负责机器人焊枪及送丝系统等产品的设计开发工作, E-mail: liujianghong@tsmi.cn.

自动化焊接中的执行机构，同时也是电弧的载体，在焊接中起着至关重要的作用。尤其是焊枪最前端的喷嘴，是影响焊枪所能达到的工作角度以及影响铝合金焊接性能的重要因素^[6]。对于不同结构的喷嘴来讲，最主要影响的是焊接过程中的工作角度，在实际焊接过程中，角接焊接量相对较多，特别是在铝合金电池盒焊接中，喷嘴的形状对角接时焊枪角度有很大的影响。另外，喷嘴结构的不同还会影响保护气体的流速和保护范围，进而影响铝合金焊接电弧状态，导致焊接性能存在差异^[7, 8]。

本文设计了3种典型结构的喷嘴，通过理论分析及试验验证，主要研究了喷嘴结构对焊接过程的可达性、电弧状态、气保护效果及焊缝质量的影响。

2 焊枪可达性分析

2.1 喷嘴结构设计

喷嘴是影响焊枪所能达到的工作角度最为直接的元件，不同的喷嘴结构具有不同的尺寸，其中喷嘴的外形直接决定了焊接时焊枪的工作角度。随着铝合金电池盒行业的飞速发展，在该领域的自动化焊接需求越来越多，由于其结构的复杂性，角接焊缝数量较多，再加上工装夹具的限制，标准的直筒焊枪喷嘴有时无法满足使用要求。有时为了保证焊枪角度不得不加大干伸长，但焊道的保护效果又很难得到保证，比如标准喷嘴要达到工作角 70° ，干伸长就要延长到20mm，焊道的清洁宽度会变窄，气孔率增加，焊接电流也会变小，工艺参数改变，增大了调试难度。因此，在标准喷嘴的基础上设计了两种新型结构喷嘴，如图1所示。

新型结构喷嘴的优点在于：通过对喷嘴前端结构进行变径或者缩颈处理，增大了焊枪工作角度，提高了铝合金电池盒焊接的自动化程度，进而提高了生产效率。

2.2 焊枪工作角度的计算

角接焊缝时焊枪工作角度如图2所示。设定前进角为 0° ，将图2进行简化可得工作角度计算示意图，如图3所示。

根据实际，设定干伸长 $L=15\text{mm}$ ，各喷嘴关键尺寸见表1。通过式(1)~式(3)，可计算出喷嘴工作角度，见表2。

$$\tan \alpha = \frac{\alpha/2}{L} \quad (1)$$

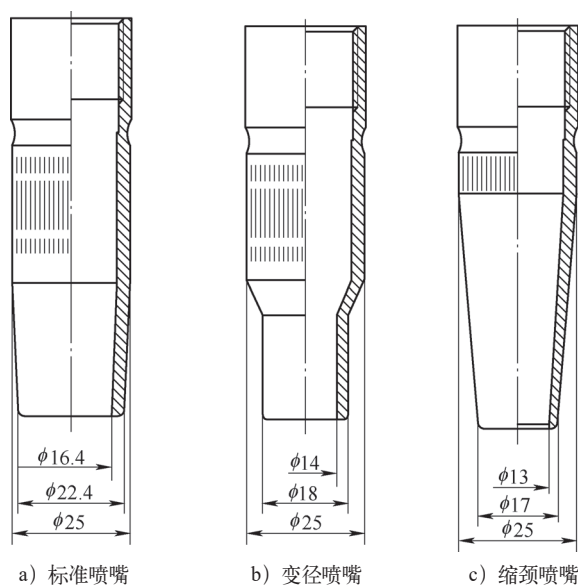


图1 3种喷嘴

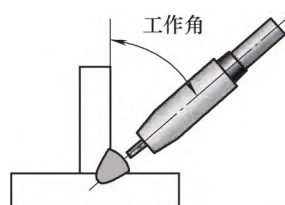


图2 工作角度示意

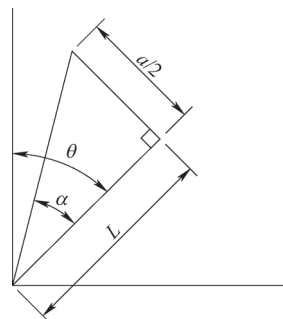


图3 工作角度计算示意

注： L 为干伸长， a 为喷嘴出口外径， θ 为工作角。

$$\theta_{\min} = \tan \alpha \quad (2)$$

$$\theta_{\max} = 90^\circ - \tan \alpha \quad (3)$$

表1 喷嘴关键尺寸 (mm)

喷嘴类型	出口外径	出口内径	长度
标准喷嘴	22.4	16.4	84
变径喷嘴	18	14	84
缩颈喷嘴	17	13	84

通过上述计算结果可知，新设计的缩颈喷嘴工作角范围与标准喷嘴相比提高了将近一倍，极大地提高了焊枪的可达性。

表2 喷嘴工作角度 (°)

喷嘴类型	最小工作角	最大工作角	工作角范围
标准喷嘴	36.7	53.3	16.6
变径喷嘴	31	59	28
缩颈喷嘴	29.5	60.5	31

3 喷嘴气体保护效果分析

3.1 气体保护范围理论分析

气体保护效果直观上来说主要体现在气体保护范围上,如图4所示。当保护气体的保护范围较小时,无法充分包裹住熔池,会导致焊缝无法熔透、表面氧化等焊接不良现象^[9]。

决定气体保护范围的主要因素则是喷嘴的内径尺寸。根据相关研究,保护气体从喷嘴末端喷出后,保护气体浓度 $\geq 95\%$ 的区域具有良好的焊接保护效果,可确定为有效保护范围。

根据理想流体的连续性方程,即

$$Sv = C \quad (4)$$

式中 S ——流体通过的截面积 (m^2);

v ——流体的流速 (m/s);

C ——常数。

当流量一定时,流体的流速与其通过的截面积成反比。

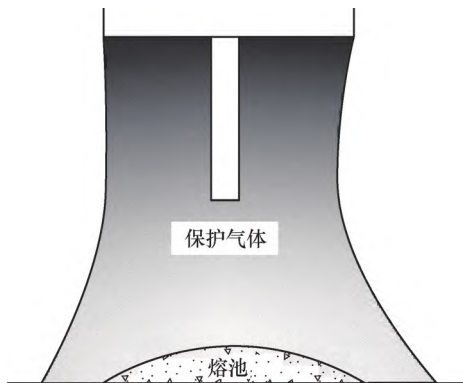


图4 熔池气保护范围示意

在流量一定时,若喷嘴直径过小,则保护范围小,且因气流速度过高而形成紊流;若喷嘴过大,则气流流速过低,挺度小,保护效果也不好。

3.2 气体保护试验

为了进一步验证气体保护效果,通过气体成像仪分别对3种喷嘴在起弧和稳定时的出气状态进行观测^[10, 11]。试验中采用 CO_2 气体,流量 15L/min ,使用同一把焊枪,试验时仅更换喷嘴。图5、图

6所示分别为气体在起弧和稳定时从喷嘴流出的状态。

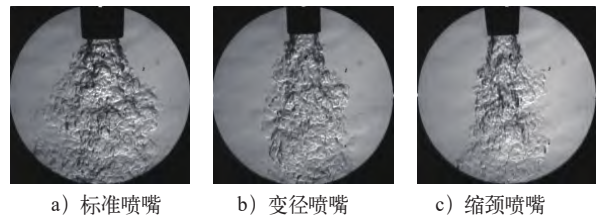


图5 起弧时出气状态

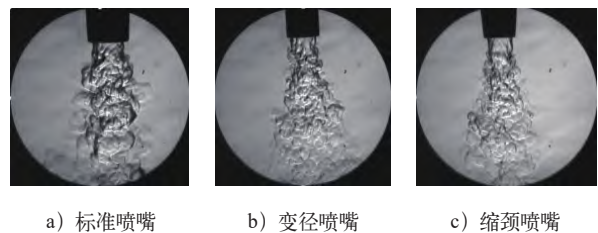


图6 稳定时出气状态

通过图5、图6分析可知,在起弧时,标准喷嘴和变径喷嘴流出的保护气体紊乱,并一直持续该状态很长时间,缩颈喷嘴可快速形成层流;在稳定后,标准喷嘴层流距离最大为 11.6mm ,缩颈喷嘴层流距离最小,为 9mm ,三者无明显差别,均在 10mm 左右。但无论是起弧时还是稳定后,通过气体成像结果可知,保护范围明显是标准喷嘴最大,缩颈喷嘴和变径喷嘴较小,但两者无明显差别;从流速角度来看,标准喷嘴流速较缓,变径喷嘴与缩颈喷嘴流速较快,但两者流速没有明显区别。另外,通过观测3种喷嘴气体成像的动态效果发现,变径喷嘴的出气状态较差。

4 焊接性能试验及分析

为了验证气保护理论分析及气体成像试验结果的正确性,进一步通过实际焊接对其进行验证。

4.1 不同结构喷嘴对清洁宽度的影响

焊接过程中焊道的清洁宽度是评价焊接性能最直观的一项指标。决定清洁宽度大小的直接因素就是保护气体的保护范围。

图7所示为在相同条件下通过焊接试验得到的不同结构喷嘴对应的焊道清洁宽度效果。由图7可知,标准喷嘴的清洁宽度最大,变径喷嘴清洁宽度最小,虽然变径喷嘴的出口尺寸不是最小,但是由于其出气状态较差,因此其清洁宽度效果最差。此结果与上述理论分析是一致的。

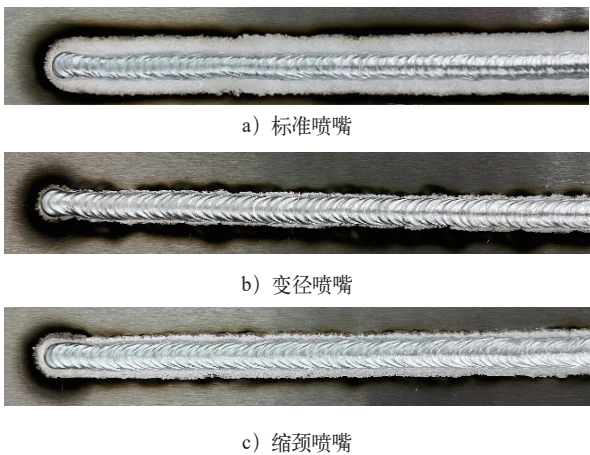


图7 焊道清洁宽度

4.2 不同结构喷嘴对焊接电弧的影响

在实际焊接过程中，电弧的状态直接影响着工件的焊接性能^[12]。通过高速摄影观察发现，不同结构的喷嘴在铝合金焊接过程中电弧形态具有较大差异。图8所示为在相同条件下通过高速摄影拍摄的不同结构喷嘴对应的电弧状态，电弧高度和宽度见表3。焊接时，3种喷嘴实际输出的焊接电流、电弧电压见表4。

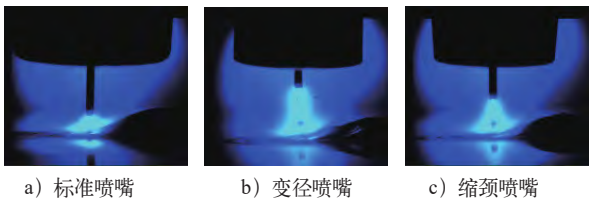


图8 电弧状态

表3 电弧高度和宽度 (mm)

喷嘴类型	电弧高度	电弧宽度
标准喷嘴	2.0	6.1
变径喷嘴	6.8	6.0
缩颈喷嘴	4.8	5.9

表4 3种喷嘴实际输出的焊接电流、电弧电压

喷嘴类型	输入 焊接电流/A	输入 电弧电压/V	输出 焊接电流/A	输出 电弧电压/V
标准喷嘴	160	20.4	149	22.0
变径喷嘴			149	22.1
缩颈喷嘴			149	21.9

在焊接输入条件相同的情况下，3种喷嘴的输出相差不大，但实际的弧长差别较大。随着喷嘴出口尺寸的减小，弧长明显变长，而弧宽有变窄的趋

势，但变化不大。通过高速摄影成像发现，变径喷嘴的电弧不是规则的伞状，电弧中间部位呈内凹状，因此变径喷嘴的电弧状态较差。

4.3 不同结构喷嘴对焊缝熔深的影响

熔深切面如图9所示，具体数值见表5。由图9和表5可知，在3种不同结构的喷嘴下，标准喷嘴下的熔深最小，缩颈喷嘴次之，变颈喷嘴熔深最大。

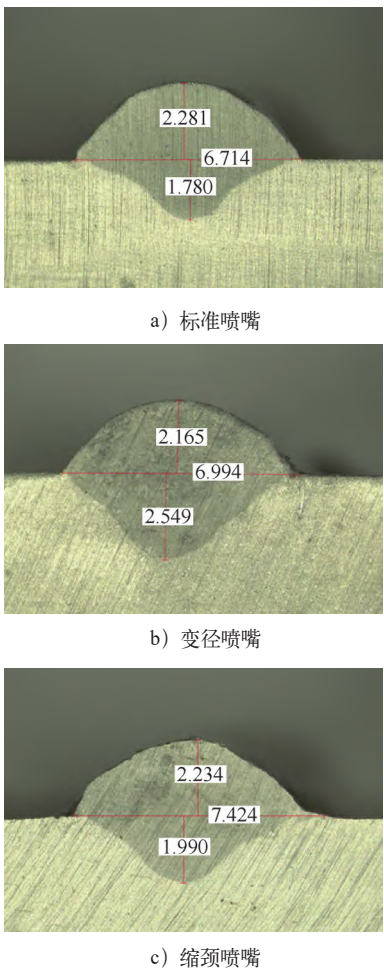


图9 熔深切面

表5 焊缝熔深和熔宽 (mm)

喷嘴类型	熔深	熔宽
标准喷嘴	1.78	6.714
变径喷嘴	2.549	6.994
缩颈喷嘴	1.99	7.424

熔深的大小和焊接热输入有直接关系，并且在相同热输入量条件下受电弧高度影响^[13]。由图8和图9可知，熔深与电弧的弧长有直接关系。随着弧长的增加熔深也逐渐增加。

4.4 不同结构喷嘴对焊缝熔宽的影响

由图9、表5可知,在3种不同结构的喷嘴下,标准喷嘴下的熔宽最小,变颈喷嘴次之,缩颈喷嘴熔宽最大。

在铝合金焊接中,电弧是影响熔池宽度的最主要因素^[14, 15]。在相同热输入量条件下,电弧弧长增加,电弧对工件的加热面积增大,熔池宽度增加。由图8、图9可知,熔宽与电弧的弧长有直接关系,随着弧长的增加熔池宽度也逐渐增加。由于变径喷嘴的电弧中间部位出现内凹现象,因此认为变径喷嘴的电弧状态对熔宽有削弱的趋势。

5 结束语

3种不同结构的喷嘴,首先,最大的影响就是焊接的工作角度,缩颈喷嘴的工作角度范围相较于标准喷嘴提高了近一倍。其次,对于气保护来讲,相同气流量的条件下,3种喷嘴在出口处的层流距离相差较小,但是由于出口直径不同,保护范围明显是标准喷嘴最大。另外,在相同条件下,不同结构的喷嘴对电弧状态影响较大,进而对熔深和熔宽影响也较大,变径喷嘴的电弧状态较差。综合以上分析及试验结果,3种不同结构的喷嘴中缩颈喷嘴是最具竞争力的,在实际应用中也取得了很好的效果。在实际应用中,如果标准喷嘴可达性无法满足要求,可优选缩颈喷嘴。未来还需要进一步探索更优的喷嘴结构来满足日益变化的市场需求。

参考文献:

- [1] 王俊. 新能源车用铝合金电池托架熔化极气体保护焊工艺研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2021.
- [2] 刘成石. GMAW保护气减量及喷嘴结构优化研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- [3] 贾时君. 焊接保护气体的选择[J]. 金属加工(热加工), 2014(6): 26-28.
- [4] 董昌文. 基于焊接熔池补偿气体射流方法的不锈钢脉冲MIG高速焊研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [5] 李伟. 螺旋焊管用粗丝气体保护焊焊枪设计[J]. 焊接技术, 2017, 46(6): 52-55.
- [6] 陈林锋. 熔焊保护气体最小用量的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2017.
- [7] 梁明明, 刘晓文, 侯昊, 等. 焊枪喷嘴结构对保护气体流场的影响[J]. 油气储运, 2024, 43(4):

449-456.

- [8] 杨喜牟. 压缩气流量对气流再压缩等离子弧焊接工艺的影响机制[D]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- [9] 邱慧洁, 李敏, 熊顺安. 基于钛材焊接的氩弧焊枪氩气流场分析[J]. 化学工程与装备, 2020(11): 1-3.
- [10] 胡利平. 新能源汽车动力电池铝壳体弧焊起弧失效原因分析[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(23): 161-166.
- [11] 邱慧洁, 李敏, 熊顺安. 基于钛材焊接的氩弧焊枪氩气流场分析[J]. 化学工程与装备, 2020(11): 1-3.
- [12] 林皓, 丁亚萍, 张磊, 等. 标准地铁铝合金MIG自动焊气孔缺陷研究[J]. 金属加工(热加工), 2024(4): 80-83.
- [13] 杨玉东, 刘佳, 石岩, 等. 喷嘴形状对铝合金复合焊接接头成形质量的影响[J]. 激光技术, 2018, 42(2): 222-228.
- [14] 王俊. 新能源车用铝合金电池托架熔化极气体保护焊工艺研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2020.
- [15] 李中扬, 殷荣幸. 一种可调长度和变径的气体保护焊喷嘴[J]. 现代商贸工业, 2017(7): 189.

MW 20240806