

非型材自带垫板装配对T型4HV铝合金对接焊缝质量影响的研究



扫码了解更多

■ 叶京星, 田玉吉

摘要: 本文通过焊前调整垫板装配的定位尺寸, 进行了焊接工艺试验, 就影响焊缝质量的因素而言, 对坡口内的电弧行为和热量传导两个方面进行了分析。

关键词: 焊缝质量; 电弧行为; 热量传导; 铝合金垫板装配

1. 概述

铝合金因其密度小、比强度高、耐腐蚀性好、加工性能好等优点, 在高速列车车体中被广泛使用。而铝合金本身的熔点低、高热导率、膨胀系数大的特点, 使得其在焊接过程中难于控制, 易出现裂纹、气孔、过渡渗透、未熔合等焊接缺陷, 焊缝的质量难于保证。本文针对非型材自带垫板的装配尺寸对T型对接焊缝质量影响进行了焊接工艺试验, 从坡口内的电弧行为和焊接过程中的热量传导两个角度对其进行分析, 深刻认识铝合金垫板装配对焊缝质量影响的重要性, 从而对铝合金的实际焊接生产具有一定的指导意义。

2. 工艺试验

铝合金型材垫板分为型材自带永久垫板和非型材自带垫板两种形式。型材自带垫板通过模具挤压与型材一次成形, 垫板尺寸规范, 对焊缝坡口的定位组装几

乎没有影响, 焊缝质量良好。而非型材自带垫板的组装易受人为因素或部件结构因素的影响, 极易出现焊缝金属外溢、焊缝根部未熔合或坡口侧壁未熔合等焊接缺陷, 如图1所示。

本试验采用T型4HV对接坡口, 母材和铝垫板材质均为6005A, 件1厚度为4mm, 件2厚度为6mm, 坡口角度为 55° , 采用直流反接电源, 单层单道, 分两层焊接, 焊缝接头形式如图2所示。图2中铝垫板与件2的距离, 记为 c ; 焊缝根部间隙, 记为 b , 焊接工艺中规定根部间隙

为 (3.5 ± 0.5) mm, 通过焊前调整非型材自带铝垫板组装的定位尺寸 c , 进行了9组工艺试验, 焊接参数如表1所示, 焊接工艺试验数据结果如表2所示。

从表2的试验结果可知, 当焊缝根部间隙为 (3.5 ± 0.5) mm时, 即当 c 最大为0.5mm时, 无焊接缺陷产生, 能得到合格质量焊缝; 但随着焊缝根部间隙 b 的逐渐增大, 当 $c=0$ mm, $b=5.5$ mm时, 焊缝根部出现未熔合或熔合不良的焊接缺陷; 随着 c 逐渐增大, 焊缝出现熔合不良、焊缝金属外溢的焊接缺陷逐渐增多,

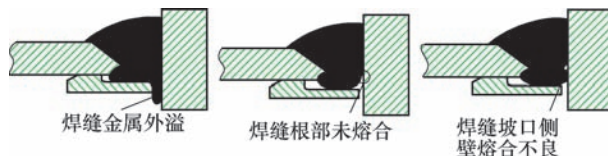


图1 非型材自带垫板的典型焊缝质量缺陷

表1 焊接参数

焊道层数	电流/A	电压/V	焊接速度/cm·min ⁻¹	最大热输入/kJ·mm ⁻¹	气体流量/L·min ⁻¹
第一层	140	20	45	0.36	20~25
第二层	160	24	40	0.55	

表2 焊接工艺试验数据结果

试验数量	焊缝类型	坡口角度 (°)	铝垫板与工件2的间距 c/mm	根部间隙 b/mm	焊缝质量缺陷
1	4HV	55	0	3	无
2	4HV	55	0	3.5	无
3	4HV	55	0	5.5	焊缝根部未熔合
4	4HV	55	0.5	4	无
5	4HV	55	1	4.5	无
6	4HV	55	1	4.5	焊缝根部未熔合
7	4HV	55	2	5.5	焊缝金属外溢, 坡口侧壁熔合不良
8	4HV	55	2	5.5	焊缝金属外溢, 焊缝有气孔, 根部未熔合
9	4HV	55	2	5.5	焊缝金属外溢, 根部未熔合

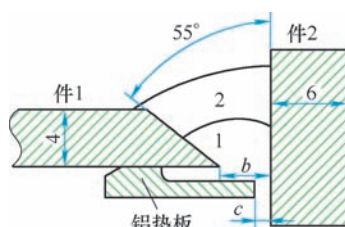


图2 T型4HV焊接接头形式

注：c为铝垫板与工件的间距，b为根部间隙。

且缺陷产生的趋势越明显；当 $c=2\text{mm}$ ， $b=5.5\text{mm}$ 时，基本得不到合格质量的焊缝。

3. 非型材自带垫板装配对T型对接焊缝质量影响的分析

通常对铝焊接而言，影响焊缝质量的因素主要有外界人为因素、工艺参数和材料成分等，这些因素可导致焊缝出现裂纹、气孔、熔合不良等焊接缺陷，当采用规范的焊接参数进行焊接，在生产过程中仍然高频率的出现焊缝金属外溢、过熔、焊缝根部未熔合或坡口侧壁未熔合等焊接缺陷，根据经验，此时需要更多的关注焊缝坡口的装配定位尺寸，并对其进行控制。针对T型4HV对接坡口的非型材自带垫板的铝焊接而言，经过工艺试验验证可以发现，出现上述典型焊接缺陷

主要是由焊缝坡口间隙的大小及铝垫板的装配定位尺寸导致，下面将从焊缝坡口内的电弧行为和焊缝坡口内的热量传导两个方面对其进行分析。

(1) T型HV对接焊缝坡口内的电弧行为 电弧是一种可压缩的“弹性软导体”，在窄间隙焊接中，当坡口间隙宽度小于相同参数自由电弧的导电直径时，将引起电弧电场的改变，电弧将不再是轴对称形状，而是在间隙宽度方向上电弧将被压缩，在间隙的长度方向上扩展。在常规的坡口焊接中，当坡口间隙宽度小于相同参数自由电弧的导电直径时，电弧能自由燃烧，并充分发挥自调节作用，充分表现出电弧稳定燃烧的特性。对T型4HV对接坡口的非型材自带垫板的铝焊

接而言（见图3a），当焊缝坡口间隙为 $(3.5 \pm 0.5)\text{mm}$ ，且铝垫板与坡口侧壁的间距 $c=0$ 时，焊缝底部的铝垫板和坡口侧壁的交角处熔合良好；但在焊前对铝垫板进行坡口定位装配的过程中，当铝垫板与工件的间距 c 变大到 2mm 时，即焊缝坡口间隙增大到 5.5mm 时（见图3b），焊缝金属外溢、过熔、焊缝根部未熔合或坡口侧壁未熔合等焊接缺陷出现的频率明显增多。铝合金低熔点、高热导率、高膨胀系数的特点，要求使用小热输入的高密度电源进行焊接，一方面，铝在 370°C 时强度仅为 10MPa ，当焊缝下方的铝垫板与坡口侧壁存在大间隙时，焊接时会因不能支撑住液体金属而使焊缝金属外溢或甚至过熔，致使焊缝成形不良；另一方面，焊接电弧在导电过程中，当焊缝底部的铝垫板和侧壁的交角区域在阴极斑点的作用范围内，即电弧弧长 l_0 大于电弧到坡口侧壁的距离 l_1 时，焊缝底部的铝垫板和侧壁的交角区域熔合良好。反之，随着焊缝坡口间隙的变大，当电弧弧长 l_0 小于电弧到坡口侧壁的距离 l_1 时，电弧失去自调节作用，此时在焊缝底部的铝垫板和侧壁的交角处的电流密度始终趋于零，这是焊缝坡口

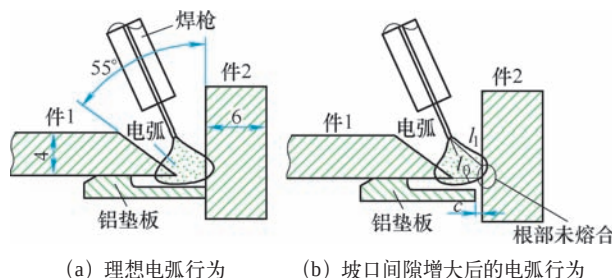


图3 T型HV坡口内的电弧行为示意

间隙宽度过大导致坡口侧壁与底角处熔合不良的主要原因。

(2) T型HV对接焊缝的热量传导 在焊接过程中,移动热源使焊件的温度随时间和空间急剧变化,形成梯度很大的不均匀温度场。对铝合金而言,铝合金的热膨胀系数约为钢铁的2倍,导热系数比钢大3~4倍,冷却速度是钢冷却速度的4~7倍,凝固时体积收缩率达6.5%~6.6%,与钢铁焊接相比,铝合金焊接温度场在时间和空间上梯度差异性更大、变化更剧烈,且更难控制,因此这种不均匀温度场是形成焊接残余应力、焊接变形及焊接缺陷产生的根本原因。此外,铝合金焊件中的温度场分布反映了复杂的焊接热过程,它不仅直接通过热应力、热应变,而且还间接通过随金属状态和显微组织变化引起的相变、应变,决定焊缝熔化、结晶、变形、应力等状况,所以焊接质量与温度场的分布有很大的关系,由此导致焊缝金属外溢、过熔、焊缝根部未熔合或坡口侧壁未熔合等焊接缺陷的出现。影响焊接温度场的因素主要有热源的性质、焊接参数(焊接热输入)、被焊金属的热物理性能、热导率、比热容、热扩散率、表面传热系数、热焓及被焊金属焊缝坡口的装配定位尺寸等。

在铝合金T型4HV对接坡口的焊接过程中,焊件边界与周围介质进行换热,热量的散失主要通过电弧中的高温热辐射换热和焊缝中的三维空间对流换热方式进行的,如图4所示。焊缝金

属和基体金属在移动热源作用下所经历的热循环随时间、空间的改变而急剧变化,具有较大的温度梯度,而焊缝坡口的装配定位尺寸受人为或焊缝结构因素对其影响较大。当铝垫板与工件的间距 $c=0\text{mm}$,即铝垫板与坡口侧壁相接触时,焊缝中的三维空间对流换热相对均匀稳定,在坡口焊缝中能够形成连续分布的温度梯度,避免或减少了焊缝金属外溢、过熔、焊缝根部未熔合或坡口侧壁未熔合等焊接缺陷的产生。当铝垫板与工件之间存在间距且逐渐变大时,焊缝以对流换热传导为主的表面积则相对减小,阻碍热量的传递,一方面,温度梯度分布不连续,使得热量传导不均匀,在焊缝下方铝垫板区域的热量相对增加,易出现焊缝金属外溢、过熔或焊穿的焊接缺陷;另一方面,铝垫板与件2间距的存在,使得件2侧获得对流热量的相对减少,加之铝合金本身高热导率的特点,又促使焊缝根部未熔合或坡口侧壁熔合不良等焊接缺陷的产生。

4. 结语

(1) 铝合金T型4HV对接坡口间隙为 $(3.5\pm 0.5)\text{mm}$,且非型材自带垫板与母材间隙最大

0.5mm时,可以得到良好质量的焊缝。

(2) 非型材自带垫板与母材定位装配的间隙增大,导致焊缝坡口根部间隙的变大,当电弧弧长 l_0 小于电弧到坡口侧壁的距离 l_1 时,电弧失去自调节作用,电弧的阴极斑点无法作用于焊缝底部铝垫板和侧壁的交角区域,这是造成坡口侧壁与底角处熔合不良的主要原因。

(3) 非型材自带垫板与母材定位装配的间隙的存在,使对流传导介质的表面积相对减小,对流传导的热量在三维空间上分布不均,由此导致焊缝金属外溢、过熔、焊缝根部或坡口侧壁熔合不良等焊接缺陷的产生。

参考文献:

- [1] 王志海,等.车体结构铝合金焊接接头疲劳性能研究[J].电焊机,2013,43(8):12-17.
- [2] 吴启东.钨极焊接电弧在窄间隙中的电场分布[J].焊接学报,1983,4(1):39-54.
- [3] 陈翠欣,等.焊接温度场的三维动态有限元模拟[J].天津大学学报,2005,38(5):466-470.
- [4] 杨凯朝,等. ANSYS 有限元法在焊接温度场分析中的应用[J].铸造技术,2012,33(6):718-720.

作者简介:叶京星等,青岛四方庞巴迪铁路运输设备有限公司。

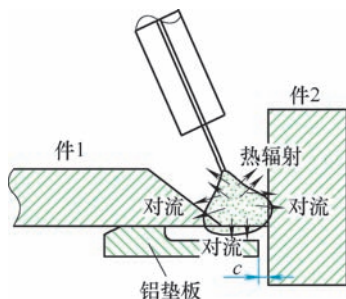


图4 T型4HV焊缝的热量传导示意

MW 20180425