



铝合金焊缝接头区的打磨与焊接

田玉吉 张永杰

【摘要】 本文针对铝合金焊缝接头易出现气孔、热裂纹、热影响区(HAZ)软化三个主要问题,对铝合金焊缝接头区的打磨和焊接进行了分析研究。结果表明,铝合金焊缝接头收起弧导致的热影响区两次再结晶过程,使得Mg、Si等元素的烧损却得不到充分的补充,是促使焊缝接头热影响区(HAZ)强度降低的重要影响因素之一;焊接接头处焊缝坡口的打磨不当将导致各种缺陷的产生,而规范接头局部的打磨方式和焊接顺序,在一定程度上可减少或消除焊缝应力集中及可能导致的焊缝质量问题,大大提高了焊缝的强度。

关键词: 焊缝热影响区; 焊缝接头; 焊缝顺序; 打磨方式

1. 概述

国内外轻量、高速现代化轨道车辆已经进入高速发展时期,铝合金得到广泛的大量应用。铝合金焊缝接头常常出现气孔、热裂纹、热影响区(HAZ)软化三个主要问题,而对焊缝接头区域的打磨不当,会增加气孔、热裂纹、焊接夹渣、未焊透及未熔合等缺陷的发生频率,使得焊接接头处应力高度集中,最终直接导致焊缝发生疲劳破坏。

本文对铝合金焊缝接头处的打磨和焊接进行了分析研究,强化了打磨和焊接的关键点,保证了焊缝质量,同时在一定程度上为其他金属的打磨和焊接起到了指导作用。

2. 焊缝接头热影响区强度降低的因素

铝合金的线膨胀系数和结晶收缩率比钢大约2倍,导热系数

比钢大3~4倍,易产生较大的焊接变形和残余应力。目前国内外铝合金车体型材所采用的型材大多数属于时效强化型铝合金,其焊后力学性能最明显的特征就是焊缝热影响区强度降低,而焊缝接头区域作为前段焊缝的收弧区和后段焊缝的起弧区,HAZ在高温区间内停留时间延长、该区域的最高温度升高及受热次数的增加是导致焊缝强度降低的重要影响因素。

焊接过程是一个熔炼结晶过程,焊接过程中合金元素的部分烧损和汽化,使焊缝组织发生了一定的变化,导致硬度和强度在焊缝和热影响区都会有一定的降低。分析原因:在焊接过程中,焊缝因不断熔化焊丝的添加,使烧损的合金元素在一定程度上得到了补充;而热影响区是一个再结晶过程,热影响区Mg、Si等元

素的烧损却得不到充分的补充,导致粗大晶粒的出现,且焊缝接头区域作为前段焊缝的收弧区和后段焊缝的起弧区,热影响区两次的再结晶过程,使其硬度强度损失最多,严重影响焊缝接头的整体性能,给铝合金结构的安全性带来不利影响。所以,铝合金焊缝接头收起弧导致的热影响区两次再结晶过程,使得Mg、Si等元素的烧损却得不到充分的补充,也是促使焊缝接头热影响区强度降低的重要影响因素之一。在铝合金焊接的实际生产应用中,充分考虑到影响铝合金焊缝质量的多种影响因素,在一定程度上对减小焊缝接头热影响区强度降低可起到积极的作用。

3. 打磨在铝合金焊接中的应用

打磨在铝合金焊接中的应用主要体现在三个方面:①焊前去

除铝合金表面的氧化膜，避免焊接过程中形成气孔或夹渣。②焊接过程中对焊缝接头的起收弧区域、层间清理及反面焊缝清根去除缺陷，为避免或减少起收弧处气孔、焊道气孔、裂纹等焊接缺陷的产生，通常要求打磨后的坡口形式及形状与规范坡口的一致，表面没有尖锐的棱角；打磨后的表面要求平滑、有金属光泽，且需沿焊缝方向打磨，打磨的纹路要求一致。③焊后去除焊缝余高、焊接飞溅及焊脚。

(1) 层间清理中对铝合金焊缝接头打磨和焊接 对铝合金而言，在层间焊接过程中，焊缝接头处易形成焊缝裂纹、气孔、缩孔、未熔合及夹渣等焊接缺陷，焊缝上的缺陷处会存在较大的应力集中，它将使焊缝的局部强度降低4~6倍，且应力集中系数随缺陷高度和宽度的增加而平缓增大，结果势必影响整个焊接结构的断裂与疲劳强度，所以需要对接头表面和焊接接头的引收弧区进行打磨处理，去除缺陷或伪缺陷，规范焊缝接头局部的打磨方式可避免缺陷的产生，并消除焊缝因应力集中可能导致的焊缝质量问题，从而大大提高了焊缝的强度，同时还预防焊缝裂纹的产生。

通常根据焊缝质量等级或工艺要求对打磨后的坡口表面进行相应的PT检测。

以枕梁的X形焊缝坡口为例（见图1），如果层焊清理过程或对清根焊缝接头处打磨不当，会增加缺陷出现的几率，增大缺陷返修的工作量，且使返修后的焊缝质量难以保证。焊缝接头区

域经打磨后形成的几种焊缝坡口形状，如图2所示。①若打磨后坡口角度过大，会增加焊缝填充量，增加焊接变形，且可能会增加焊接道数。②若打磨后的坡口不对称或与规定的坡口形状相差较大时，由于坡口两侧散热条件不同，焊缝两侧母材的热量不能均匀分配传递，导致焊接时电弧偏向一侧，造成一侧熔合不良，而另一侧却熔深较大，使得焊缝根部的熔深质量难以保证。③若焊缝接头处坡口打磨的深度过浅或打磨不到位，则不能去除焊缝缺陷或去除缺陷不彻底。④若焊缝接头处打磨后坡口深度过大或坡口角度偏小，会减小焊缝成形系数，根据最小电压原理，电弧不容易深入焊缝根部，易产生根部未熔合或熔合不良。焊缝成形系数小，易形成窄而深的焊缝，对于铝合金焊接极易产生气孔，且在焊缝中心由于区域偏析会聚集较多的杂质，使得焊缝的抗热裂纹性能差。

从实际的生产应用得知，焊缝的起弧和收弧处经常会出现裂纹、气孔、缩孔等焊接缺陷，规



图1 枕梁型材组对后的X形焊缝坡口

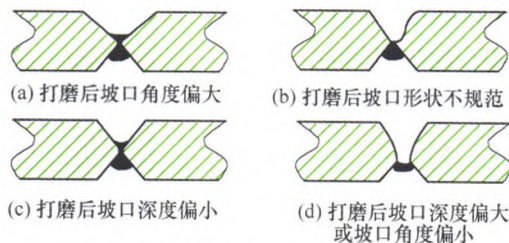


图2 焊缝接头处焊缝坡口打磨后的形状

范其打磨及焊接操作可在很大程度上减少各种缺陷发生的几率，同时也减小了返修工作量。为此，规范了焊接过程中对焊缝接头的打磨和焊接的操作步骤，即按照a→b→c→d的顺序，如图3所示。

首先在焊接收弧区形成凸起，目的是避免焊缝中产生由收弧所引起的焊接缺陷，并将收弧缺陷尽可能的滞留于焊缝表面的凸起中；磨平凸起并打磨不少于4倍焊道深度的船形坡口，并尽可能地使打磨后的坡口形式和形状与规范坡口的一致；焊缝打磨处理后再次进行焊接时，焊缝起弧处要搭接在前段焊缝至少25mm的长度处。搭接的目的就是把起弧引起的缺陷滞留在搭接的焊缝金属中，保证焊缝接头处的焊接质量，焊接完成后去除焊缝表面的25mm焊缝搭接余高。更重要的是，对打底焊后需清根处理的铝合金焊缝，其焊缝接头区域的打磨和焊接应引起高度重视。一方面，由于清根处理的打磨使焊道填充层金属厚度的减小，即打底焊道厚度的减薄，而使用原有的填充焊接参数，可能会使焊缝不能支撑住液体铝金属而使焊缝成形不良，甚至造成焊缝下塌或烧穿；另一方面，本使得一次返修合格的焊缝缺陷，而因焊缝接头处打磨不当导致缺陷

再次产生，需要二次返修，既增加了工作量，降低了工作效率，又的影响了焊缝质量，造成了结构的安全隐患。

由于在高温时铝合金材料的强度等力学性能指标下降较快，焊缝未彻底冷却至室温即进行打磨操作，易促使焊缝金属晶界上的析出相开裂而扩展成晶界裂纹。据报道，6系铝合金焊后在晶界上存在着半固态薄膜状 Mg_2Si 相，如果焊后立即进行打磨等操作，可能会使 Mg_2Si 相受到强烈的震动而开裂，从而形成裂纹源。为此，尤其对等级为CPB、CPCI的焊缝，为保证焊缝有足够的强度，建议焊缝焊后应冷却20min以上再进行打磨作业，同时还可减小工件的焊后变形。

(2) 三条焊缝相交拐角处的焊接与打磨 在铝合金车体的生产过程中，经常会遇到三条焊缝相交的情形，一方面增加了焊接的难度，另一方面三条焊缝相交拐角区域形成的焊接接头，既是焊接残余拉应力的峰值区，又是焊脚应力集中区，还有可能因为产生焊接陷而引起应力集中，成为裂纹集中源，严重影响焊缝质量。因此合理安排三条焊缝相交拐角处的焊接顺序，有助于均布残余应力的分布及减少裂纹发生的几率，同时对相交拐角处焊缝余高和增加焊脚处过渡直径的局部打磨，可减小或降低局部应力集中系数，改善焊接件疲劳失效。

以车体底架牵引箱区域的三条相交焊缝的焊接为例，其三条相交焊缝的拐角区域焊接顺序如

图4所示。按照图4中由1→2→3的焊接顺序，先焊接C焊缝，焊接时从O点起弧或收弧完成C焊缝焊接，焊接完成后打磨O点区域；然后焊接B焊缝，至离O点10~30mm距离(D点)停弧，对停弧处D点形成的焊接接头进行打磨处理，最后完成A焊缝及拐角处的焊接。焊接A焊缝时绕过O点并避免在O点停弧，且采用A焊缝的焊接参数。焊接完成后，对拐角处的焊缝余高和焊脚进行打磨处理，增加焊脚处过渡直

径，而使焊缝和母材圆滑过渡。

经过大量的试验表明，规范三条焊缝相交处的拐角区域焊缝接头局部的打磨方式和焊接顺序，在一定程度上不但降低了局部残余应力集中，增强了焊缝的疲劳失效强度，而且对减少焊接变形起到了一定的作用。

4. 结语

(1) 铝合金焊缝接头收起弧导致的热影响区两次再结晶过程，使得Mg、Si等元素的烧损却得不到充分的补充，是促使焊缝

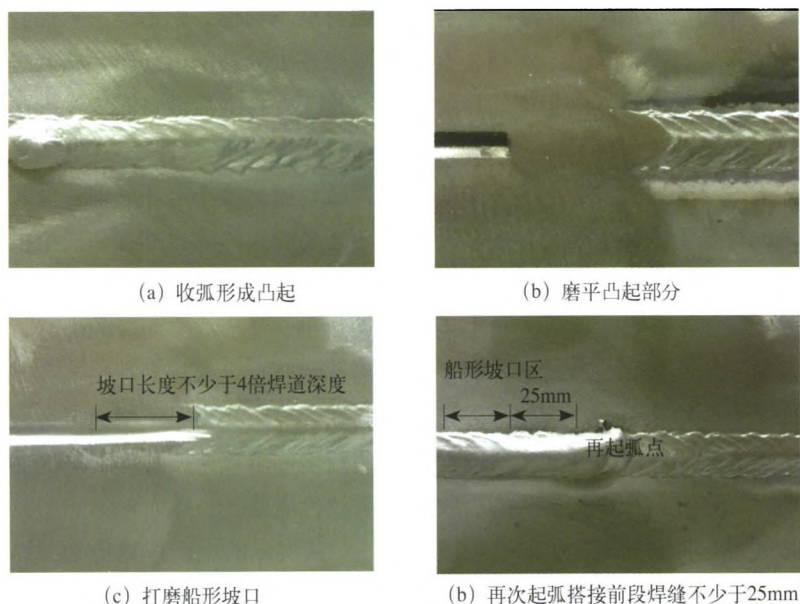


图3 焊接过程中焊缝接头打磨示意

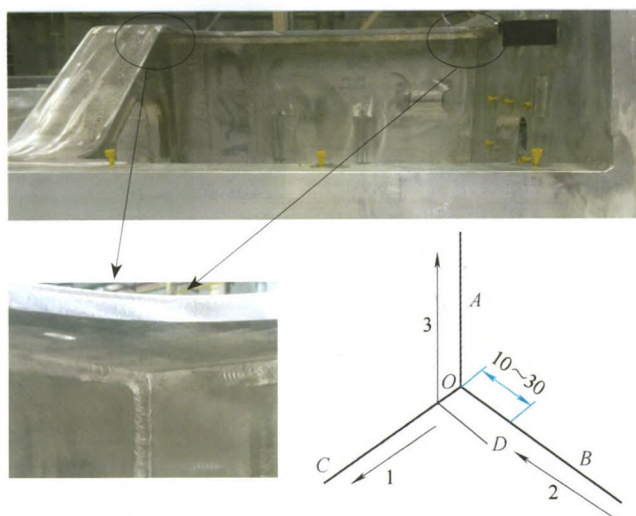


图4 车体底架牵引箱区域的三条相交焊缝拐角处的焊接顺序



铝合金地铁柔性化平顶组焊工装改进

王亚婷 曹兴华 王强

【摘要】 本文介绍了某公司现有平顶组焊工装的多功能、柔性化特点，同时也对该工装预制反变形时人为因素偏大等不足进行了改进优化和现场验证，最终通过对比分析工装改进前后的试验数据，使工装改进后平顶高度、宽度尺寸均得到了优化，改进效果良好。

关键词： 铝合金地铁；平顶；工装改进

1. 概述

为提高新项目执行的可靠性、高效性、精益性，在充分考虑和归纳平台项目共性特征基础上，提出了现有柔性化、多功能平顶工装结构。该工装显著提高了工装的通用性，节约高额的新制工装费用，缩短新项目工装准备的周期，节省工装空间占位，缩短多项目并线生产过程中的项目生产工装切换时间，保证了工

装的准确可靠性。但使用中发现，该工装存在焊前预变形需依靠人为手工调节及焊接过程中缺少稳定下压装置等不足，经过一系列工装改进优化以及现场反复验证表明，优化后产品质量稳定性和操作便捷性进一步提升，证明工装改进效果良好。

2. 现有柔性化、多功能平顶工装结构分析

铝合金地铁平顶组焊工装全

貌如图1所示，360°可旋转横梁如图2所示，正反装快速可拆卸定位块如图3所示。

框架式工装基座将整套工装定位于地面上，保证工装的稳固性、安全性。360°可旋转横梁横跨于两侧立柱之上，实现不同项目之间、正反装之间的快速切换。360°旋转横梁的四面定位块基座可随时更换不同的仿形定位块，实现不同结构平顶定位的

接头热影响区(HAZ)强度降低的重要影响因素之一。

(2) 通过对铝合金焊缝接头的打磨和焊接分析可知，焊缝接头处焊缝坡口的打磨不当，将导致各种缺陷的产生。因此而规范焊缝接头局部的打磨方式和焊接顺序，在一定程度上可减少或消除焊缝应力集中及可能导致的焊缝质量问题，大大提高了焊缝的强度。

参考文献：

- [1] 于百川,程石来,滕华新.阻碍铝合金车体焊接工艺提升的问题探讨[J].热加工工艺,2014,43(13):210-212.
- [2] 揭敏,杨挺青.X型焊缝接头焊接缺陷处的应力集中[J].机械,2001,28(1).
- [3] 田新莉,等.高速动车组车体焊缝打磨方法研究[J].金属加工(热加工),2012,12.

- [4] 徐坚,李秀玲.T形角焊缝接头的坡口角度研究[J].热加工工艺,2010,39(17):162-164.
- [5] 刘仁培,董祖珏,潘永明.6082和ZL101铝合金低熔共晶测试与分析[J].焊接学报,2005,26(10):27-31.

作者简介：田玉吉等，青岛四方庞巴迪铁路运输设备有限公司。

MW 20170504