

钢轨铝热焊头断裂原因分析

张 亮

中国铁路广州局集团有限公司永州工务段, 湖南 永州 425000

[摘要] 本篇详细探讨了钢轨铝热焊头断裂的概述、影响因素和机理分析, 并提出了预防措施。首先介绍了钢轨铝热焊的基本原理和构成, 然后描述了焊头断裂现象, 包括导致断裂的各种因素。接着分析了热焊参数、材料特性以及前处理和后处理工艺对焊头质量的影响。最后, 提出了优化热焊参数、选择合适的材料以及改进前处理和后处理工艺等预防措施, 以降低焊头断裂的风险, 确保铁路轨道的安全和可靠性。

[关键词] 钢轨铝热焊头; 断裂现象; 影响因素; 机理分析; 预防措施

DOI: 10.33142/ec.v6i12.10367

中图分类号: U213.46

文献标识码: A

Causes Analysis of Rupture of Aluminum Hot Welding Joint in Steel Rails

ZHANG Liang

Yongzhou Engineering Department of China Railway Guangzhou Group Co., Ltd., Yongzhou, Hunan, 425000, China

Abstract: This article provides a detailed overview, influencing factors, and mechanism analysis of the fracture of aluminum hot welding joints in steel rails, and proposes preventive measures. Firstly, the basic principle and composition of rail thermit welding were introduced, and then the phenomenon of welding head fracture was described, including various factors leading to fracture. Subsequently, the impact of hot welding parameters, material properties, and pre-treatment and post-treatment processes on the quality of welding joints was analyzed. Finally, preventive measures such as optimizing hot welding parameters, selecting suitable materials, and improving pre-treatment and post-treatment processes were proposed to reduce the risk of welding head fracture and ensure the safety and reliability of railway tracks.

Keywords: aluminum hot welding head for steel rails; fracture phenomenon; influencing factors; mechanism analysis; preventive measures

引言

铁路轨道作为交通运输系统的重要组成部分, 对其安全和可靠性具有至关重要的意义。钢轨铝热焊技术是一种用于维护和修复铁路轨道的关键技术, 它可以延长轨道的使用寿命, 提高铁路运输的效率。然而, 钢轨铝热焊头断裂是一个导致严重问题的现象, 它影响铁路轨道的安全性和性能。因此, 了解断裂的机理并采取相应的预防措施至关重要。

1 钢轨铝热焊头断裂的概述

1.1 钢轨铝热焊的基本原理

钢轨铝热焊是一种铁路轨道维护和修复技术, 其基本原理是利用铝粉、金属氧化物等物质产生的铝热反应, 生成高温的钢水将两段钢轨端面熔化, 形成一个完整的接头。这种连接具有良好的机械性能、导电性能和耐腐蚀性能, 可延长轨道的使用寿命。

1.2 钢轨铝热焊头的构成

作为焊接的基材, 钢轨的材质和尺寸会根据具体的应用要求而变化。铝热焊接材料: 铝热焊接材料是由铝粉、铁的氧化物等物质构成, 在高温下反应生成钢水及氧化铝。铝热焊设备包括工装夹具、预热装置。

1.3 钢轨铝热焊头断裂现象的描述

钢轨铝热焊头断裂是指在使用过程中, 焊接头部分出现裂纹或断裂的现象。这种现象会对铁路轨道的安全和性能造成

严重影响。断裂出现在焊头与钢轨之间的界面处或焊头内部。

如果焊接温度、压力或时间不合适, 导致焊接头质量不佳, 容易出现断裂。选择不合适的; 铝热焊接材料导致焊接头的强度不足, 容易断裂。外部冲击或振动导致焊接头受到额外的应力, 进而引发断裂。环境中的腐蚀和长期使用中的疲劳会减弱焊接头的强度, 增加断裂的风险。

2 钢轨铝热焊头断裂的影响因素

2.1 热焊参数

2.1.1 温度

温度是铝热焊过程中最关键的参数之一。它指的是焊接头区域的加热温度, 通常以摄氏度(°C)来表示。温度的选择应根据使用的铝热焊接材料和钢轨的材质来确定。铝热焊接材料通常需要在一定温度范围内熔化, 而钢轨的材质也需要考虑在何温度下不会产生不可逆的变化。温度过低会导致焊药无法正常反应、浇注, 无法与钢轨有效结合; 温度过高则损害焊接材料, 甚至引发焊缝的裂纹。控制温度通常通过热焊设备中的加热装置来实现, 确保焊接区域达到适当的温度是保证焊接头质量的关键之一^[1]。

2.1.2 时间

时间是指在焊接过程中预热的时间和浇注后钢水冷却凝固的时间, 通常以秒(s)为单位。预热时间需要足够长以确保钢轨端面达到足够的温度, 但又不能太长, 以

防过度加热导致焊接区域的负面效果。预热时间的选择取决于具体的焊接工艺和设备,通常需要根据实际情况进行调整和优化。过短的焊接时间导致焊接头的质量不佳,而过长的时间则引发过热问题,影响焊接头的性能。

2.2 材料特性

2.2.1 钢轨材料

钢轨的强度是其最重要的特性之一。它必须能够承受列车的重量和运行时产生的应力,以防止变形或断裂。高合金钢通常具有更高的强度,但也更昂贵。由于轮轨接触,钢轨表面会受到磨损。因此,钢轨需要具备良好的耐磨性,以保持平滑表面,减少磨损和摩擦。钢轨暴露在各种天气条件下,因此需要具备良好的耐腐蚀性能,以防止生锈和腐蚀,从而延长使用寿命。钢轨必须具备良好的导电性能,以便传输信号、电力和控制系统所需的电流。

2.2.2 铝热焊接材料

铝热焊接材料主要由焊药、砂模、坩埚等组成。在焊接过程中,将砂模安装在钢轨上,形成一个型腔;预热完成后,将焊药倒入坩埚中,放置在砂模上方;焊药在坩埚中反应生成铁水,铁水从坩埚底部浇注型腔,将钢轨焊接起来。铝热焊药的强度是焊接头的机械性能的关键因素之一。它必须足够强以承受轨道上的列车荷载和运行中的应力。不同类型的铝热焊药包含不同的合金成分,这些成分会影响焊接的性能和特性。合金成分的选择需要根据具体的焊接需求来确定。

2.3 前处理和后处理工艺

2.3.1 表面清洁

钢轨铝热焊头的表面必须彻底清洁,以确保焊接区域没有任何脏污物质,如尘土、油脂、锈迹等。这些脏污物质会导致焊接不牢固,使焊头易于断裂。铝热焊药与氧气反应并形成氧化物,如果焊接区域存在氧化物,它们会影响焊接的质量,导致焊头断裂的风险增加。因此,在焊接之前,必须彻底清除氧化物。钢轨会被涂上防锈涂层或涂漆,这些涂层需要在焊接之前被完全去除。如果涂层没有被清理干净,焊接头的黏附性会受到影响,从而增加了断裂的风险。清洁钢轨表面的方法也很重要,通常使用机械方法(如角磨机、钢丝刷)来去除污垢和氧化物,选择合适的清洁方法并确保清洁充分可以减少断裂风险。

2.3.2 焊后处理

焊后处理是焊接完成后的工艺步骤,旨在确保焊接头的质量和稳定性,同时提高其耐腐蚀性和耐久性。

铝热焊过程中,焊头和周围区域会受到高温影响,因此在焊接完成后需要进行适当的冷却。不恰当的冷却过程导致焊头内部应力积累,从而增加了断裂的风险。焊后处理时,必须确保焊接区域均匀冷却,避免突然温度变化部分情况下,焊后需要进行热处理,以减少焊接区域内部的应力。热处理可以帮助消除应力,提高焊头的强度和耐久性,从而减少断裂的风险。焊后处理应该包括检查和管理残余应力。焊接会引入残余应力,如果这些应力没有得到

适当的管理,就导致焊头的断裂。残余应力可以通过热处理或其他方法来减轻。在焊后处理阶段,必须进行非破坏性检测和质量控制。这可以包括X射线检测、超声波检测等方法,以确保焊接的质量符合标准和规范。任何焊接缺陷都需要及时修复,以防止断裂的发生。钢轨铝热焊头需要保护免受环境腐蚀和其他损害。合适的防腐蚀涂层或涂漆可以延长焊头的寿命,减少断裂的风险。

3 钢轨铝热焊头断裂机理分析

3.1 宏观结构分析

3.1.1 宏观观察

根据提供的信息,有一个铝热焊头出现断裂。据了解,该铝热焊头是一种名为德焊的产品,并已经使用了2年时间。这个焊接头的两侧都是采用攀钢 U75V 热处理钢轨^[2]。

对断口面进行观察,可见断裂流线均指向轨底一侧上表面处的黑斑,此处即为断裂起源点。该黑斑深约9mm,宽约24mm,锈蚀情况严重,见图1、图2。



图1 宏观形貌图

图2 试样形貌图

3.3.2 断口观察

使用除锈剂对断裂起源部位进行清理,并用超声波酒精清洗后,采用FEI QUANTA 400扫描电镜进行观察。可见在断裂起源部位表面附近存在大量异物和孔洞,可见有大尺寸灰黑色球状物和大量灰黑色块状物,见图3~图9。断裂起源附近断口呈解理特征,为脆性断裂,见图10。

使用能谱仪对异物成分进行分析,球状异物主要成分为O、Al、Zr、Si,块状异物主要成分为Al、O等元素,见图11~图14。

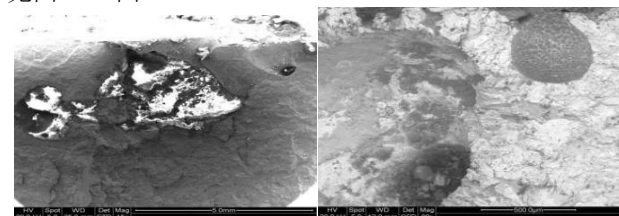


图3 断裂起源部位形貌

图4 断裂起源处异物形貌

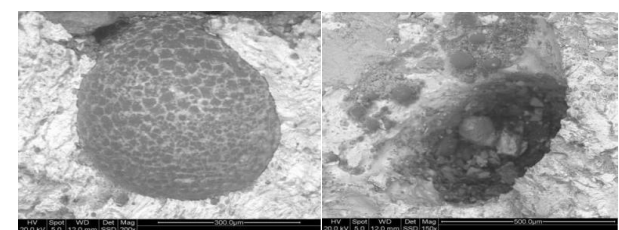


图5 球状异物形貌

图6 凹坑形貌

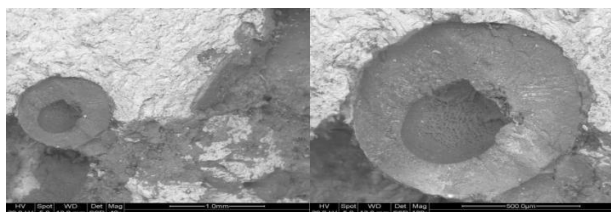


图 7 断裂起源处异物形貌

图 8 球状异物形貌

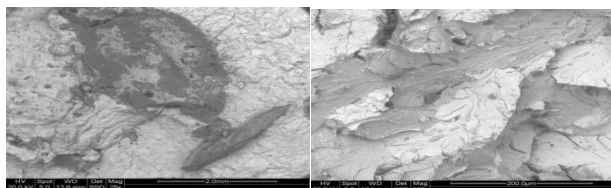


图 9 块状异物形貌图

图 10 解理断口形貌

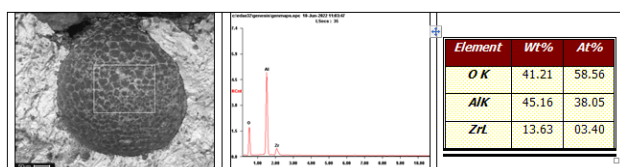


图 11 能谱分析

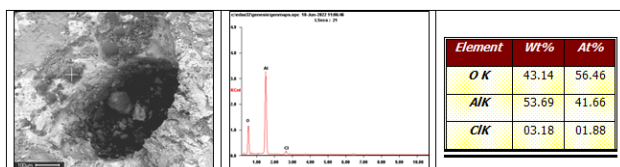


图 12 能谱分析

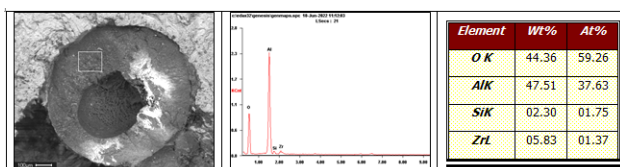


图 13 能谱分析

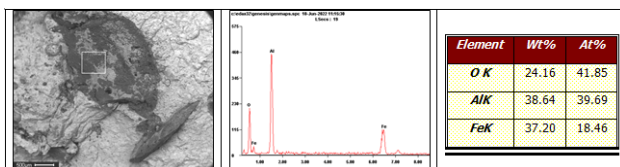


图 14 能谱分析

3.2 微观结构分析

使用切割机在图 2 所示位置取纵截面金相试样,经镶嵌、打磨、抛光后,在 FEI QUANTA 400 扫描电镜下观察,在表面处可观察到大量灰黑色块状异物和球状异物压入到钢中,经能谱分析其成分分别为 Al、O 和 O、Al、Zr、Si,与断面观察到的情况一致,见图 15、图 16。在附近还可观察到数条裂纹,裂纹附近存在大量球状氧化铝夹杂物,见图 17。另外还可观察到一种灰白色块状异物压入,在其附近存在大量细小的白色物体,见图 18~图 20。经能谱分析,灰白色异物成分为 O、Zr、Si,细小的白色物体成分为 Zr、O,见图 21、图 22。

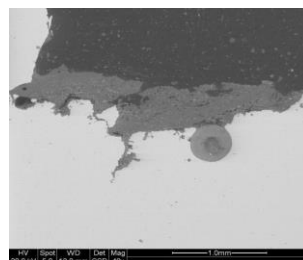


图 15 灰黑色异物形貌

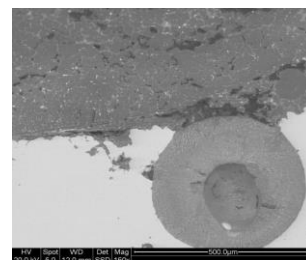


图 16 灰黑色异物形貌

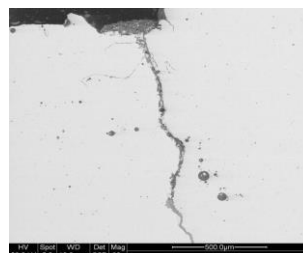


图 17 裂纹处形貌

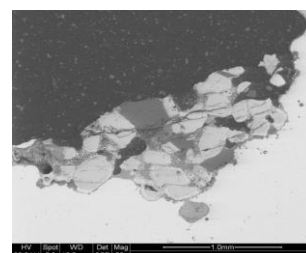


图 18 灰白色异物形貌

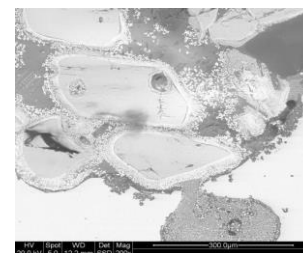


图 19 灰白色异物形貌

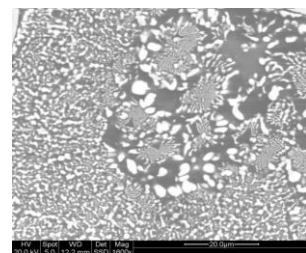


图 20 白色物体形貌

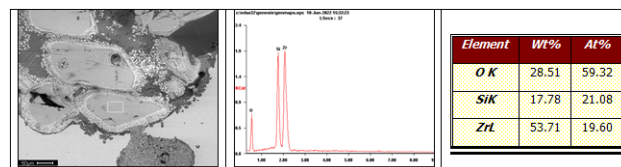


图 21 能谱分析

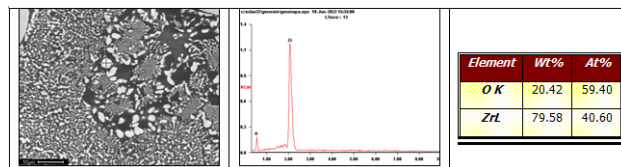


图 22 能谱分析

试样经 3%硝酸酒精浸蚀后,在 OLYMPUS GX71 金相显微镜下观察,断裂起源处部分表面区域可观察到脱碳特征,见图 23~图 27,且在表面附近可见疏松的孔洞,见图 28。正常部位组织为 P+少量 F,见图 29。

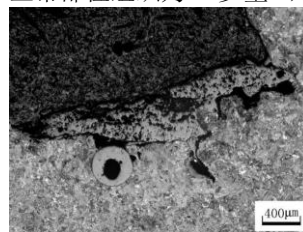


图 23 断裂起源处组织

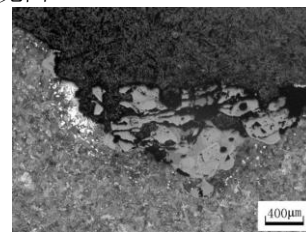


图 24 断裂起源处组织

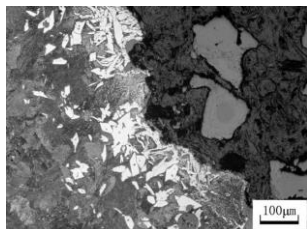


图 25 脱碳组织特征

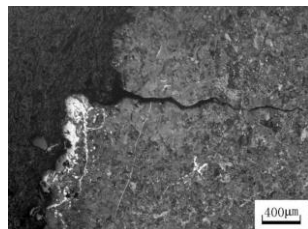


图 26 裂纹附近组织特征

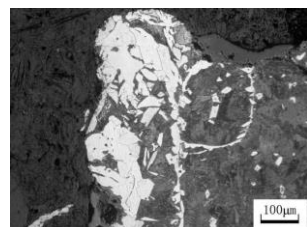


图 27 脱碳组织特征

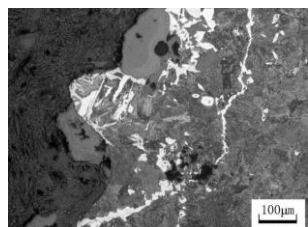


图 28 表面附近的疏松孔洞

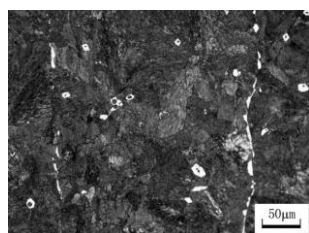


图 29 正常部位组织

综上所述,(1)断裂起源位于轨底一侧上表面的黑斑处,处于铝热焊焊头上。(2)断裂起源处的横向断面和纵截面上均可观察到灰黑色块状物(氧化铝)、灰黑色球状物(氧化铝+氧化锆+氧化硅)、灰白色块状物(硅酸锆)及其附近的细小白色物体(氧化锆)。这些物质的热膨胀系数与钢差异较大,造成焊头在冷却过程中出现孔洞与裂纹,在使用中在交变应力作用下,裂纹发生扩展并最终开裂。(3)氧化铝是铝热焊反应产物,如果焊药反应过快,钢水没有足够的静置时间,部分氧化铝会随钢液流入砂模,并在轨底上表面形成大颗粒夹杂。氧化硅是砂模常用耐火材料,硅酸锆是德焊常用的砂模表面光洁强化材料,推测是氧化铝颗粒(熔点2054℃)在轨底上表面流动过程中把砂模内壁部分颗粒带入钢水中,最终形成氧化硅、硅酸锆类外来夹杂缺陷。

4 钢轨铝热焊头断裂预防措施

4.1 优化铝热焊参数

确保选择适当的焊接温度,这需要考虑所使用的铝热焊药和钢轨的材料特性。过高的预热温度会导致接头内部出现粗晶、轨头出现咬边等缺陷;过低的预热温度会导致接头产生未熔合、气孔等缺陷。根据待焊钢轨的含碳量以及所选择的铝热焊药,确定预热时间。选择合适的铝热焊接材料,其合金成分应与钢轨的材料相容,以确保焊接头的强度和耐腐蚀性。在特殊情况下,可以考虑对焊接头进行预热或后热处理,以消除焊接区域的应力和提高焊接头的稳定性^[3]。

4.2 选择合适的材料

选择合适的铝热焊接材料至关重要。不同种类的钢轨具

有不同的材料特性,如强度、耐磨性和耐腐蚀性。根据具体应用需求和轨道环境,选择相应的铝热焊药,合金成分应与钢轨的材料相容,以确保焊接头的质量。考虑铝焊头的使用环境,特别是如果在潮湿或腐蚀性环境中使用,应选择具有良好耐腐蚀性的材料。钢轨铝热焊头需要具备良好的导电性能,以确保电流的传输,特别是在铁路轨道系统中,选择具有良好导电性的材料以满足这一要求。确保所选的铝焊头材料与钢轨的热膨胀系数相匹配,以减少在温度变化时引发的应力和应变。不匹配的热膨胀系数导致焊接头的开裂^[4]。

4.3 改进前处理和后处理工艺

在前处理阶段,采用更严格的表面清洁和准备方法,以确保钢轨表面彻底清洁和去除氧化物、污垢以及其他杂质。先用火焰去除轨端油漆、油污,再用电动钢丝刷清除轨端铁锈、油污,最后使用角磨机将钢轨端面打磨出金属光泽。在后处理阶段,考虑采用预热和后热处理工艺,以减少焊接区域的应力和提高焊接头的稳定性。这可以通过控制温度梯度来减少应力积累。改进磨削和修整工艺,确保焊接头的表面更加平坦和均匀。采用精密的磨削设备和技术,以减少不规则表面和凹凸不平。引入更先进的检测方法,如磁粉检测、红外热成像或数字图像处理,以提高焊后检测的准确性和可靠性。建立完善的质量控制体系,确保焊接头的质量达到要求。在后处理阶段,采用更持久的防腐涂层或材料,以延长焊接头的使用寿命。使用具有良好耐腐蚀性的材料可以减少维护成本。

5 结语

研究钢轨铝热焊头断裂问题,包括其基本原理、构成、影响因素、机理分析以及预防措施。铁路轨道的安全和可靠性对交通运输系统至关重要,而钢轨铝热焊技术作为维护和修复铁路轨道的关键方法之一,其焊头断裂问题对系统运行造成严重影响。通过深入了解断裂机理,并采取相应的预防措施,可以降低焊头断裂的风险,提高铁路轨道的安全性和性能,确保顺畅、高效的铁路运输。

[参考文献]

- [1] 赵文彬,李红卫,李军. 钢轨铝热焊头断裂的影响因素及预防措施[J]. 铁道建筑,2018,38(5):72-76.
- [2] 陈明,刘军,马晓军. 高速铁路钢轨铝热焊头断裂的机理分析[J]. 铁道科学与工程学报,2017,14(6):1214-1219.
- [3] 刘伟,张强,杨洪涛. 钢轨铝热焊头断裂的分析与改进[J]. 铁道技术开发与管理,2019,39(3):85-88.
- [4] 王志刚,张明,赵宏伟. 钢轨铝热焊头断裂原因分析及预防措施[J]. 铁道标准设计,2020,25(4):52-57.
- [5] 高晓东,孙涛,张晓燕. 钢轨铝热焊头断裂的研究与预防[J]. 铁道与港口,2016,33(6):49-53.

作者简介:张亮(1982.2—),男,湖南省衡阳市人,汉族,大学本科学历,工程师,研究方向钢轨探伤及铝热焊接运用。