U71MnG 高速轨固定闪光焊接接头分析*

梁正伟[1],李智丽[1],田荣斌[2],郑 瑞[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术质量部,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章对 U71MnG 高速轨固定闪光焊接接头进行了检测分析,对比分析了探伤不同波高的焊接接头,并分析了探伤波高的产生原因,为焊接工艺调整提供了依据,提高了焊接接头质量。

关键词: U71MnG 高速轨; 固定闪光焊接接头; 超声波探伤

中图分类号: U213.9⁺2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)03-0001-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.03.001

Analysis on Fixed Flash Welding Joints of U71MnG High Speed Rail

Liang Zheng-wei[1], *Li Zhi-li*[1], *Tian Rong-bin*[2], *Zheng Rui*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technology Quality Dept. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the dedecting and analysis on fixed flash welding joints of U71MnG high speed rail are introduced. The welding joints of different wave heights by ultrasonic testing are compared and analyzed as well as their causes are analyzed, which provides the basis for adjusting welding process so that the quality of welding joints is improved.

Key words: U71MnG high speed rail; fixed flash welding joints; ultrasonic testing

我国高铁在运营速度、运量、规模上均达到世界领先水平。随着铁路的迅猛发展,对轨道线路提出了更高的要求,为保证高速铁路的舒适性和安全性,我国高铁采用无缝钢轨,而钢轨焊接是无缝线路铺设的关键技术之一,钢轨焊接质量和无缝线路的安全性密切相关,直接关系到无缝线路的使用寿命和行车安全[1]。合理的焊接工艺参数是保证焊接过程稳定进行的前提条件,也是保证钢轨焊接质量的重要因素[2-3]。钢轨闪光焊接具有工艺参数易于控制和调整、速度快、效率高、工艺稳定以及焊接接头质量好等特点,是目前应用最广泛的无缝线路钢轨焊接方法。

1 原始情况

某焊轨厂生产的 U71MnG 高速铁路用钢轨焊接接头的探伤合格率偏低,约为 70%。接头探伤不合格(反波波高不低于 20%),集中反映在轨底三角区从底面向上约 3 mm 以内的范围,图 1 为钢轨探伤部位示意图。取轨底三角区不同探伤波高的接头试样进行检测分析,通过检测分析,为焊接工艺调整提供技术依据。

* 收稿日期: 2020-02-18

作者简介: 梁正伟(1970-),男,河南省洛阳市人,硕士,高级工程师,主要从事大型材工艺、质量管理工作。

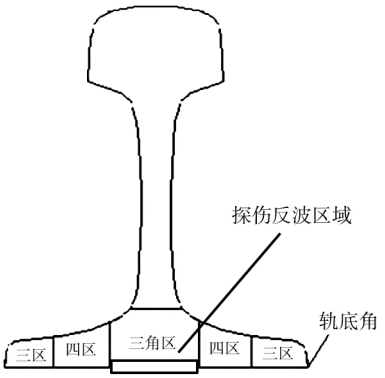


图1 探伤部位示意图

2 检测分析

2.1 检测取样

分别选取探伤波高为100%、60%、40%以及探伤合格(波高低于20%)的焊接接头7个进行检测分析,编号为1#—7#,见表1。

表1 焊接接头探伤取样情况

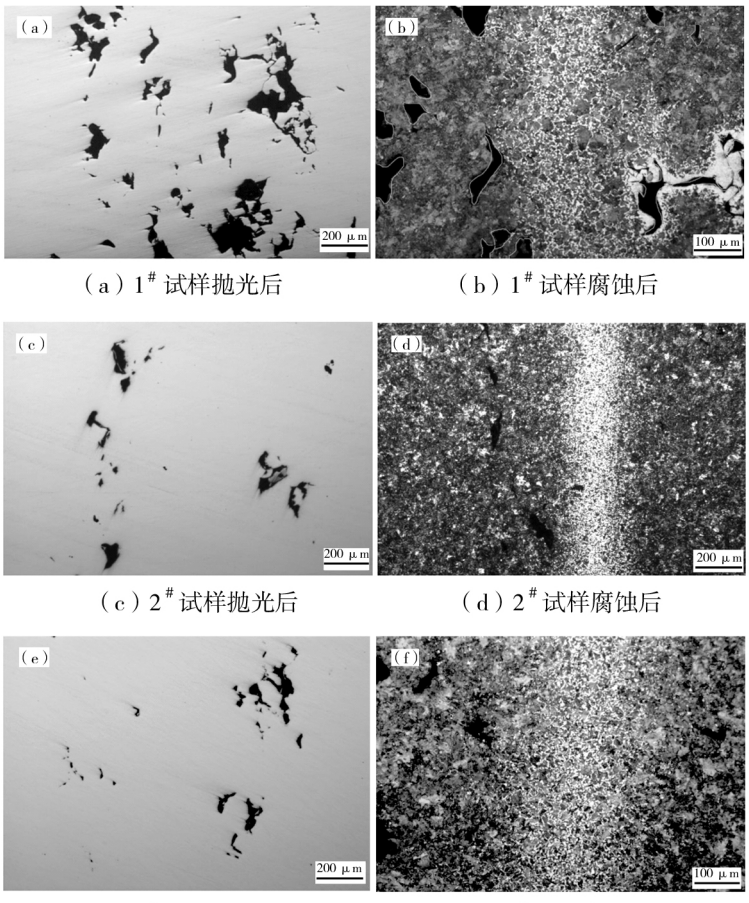
检验编号	接头探伤情况
1#	波高100%
2#	波高100%
3#	波高100%
4#	波高60%
5#	波高40%
6#	波高15%,合格
7#	波高15%,合格

在图1所示的轨底三角区切取1#—7#焊接接头金相试样,磨制轨底面观察焊缝区缺陷情况[1];将1#—7#金相试样从轨底面的缺陷处沿轨高方向纵向切开,磨制纵向面,检测缺陷深度并对非金属夹杂物评级。

2.2 检测结果

2.2.1 探伤不合格(波高100%)接头试样

1#、2#和3#试样为探伤不合格的接头试样,探伤反波波高为100%。对其进行金相检测,在轨底面焊缝区可见大量的孔洞和沿晶裂纹,见图2。



(a)1# 试样抛光后 (b)1# 试样腐蚀后

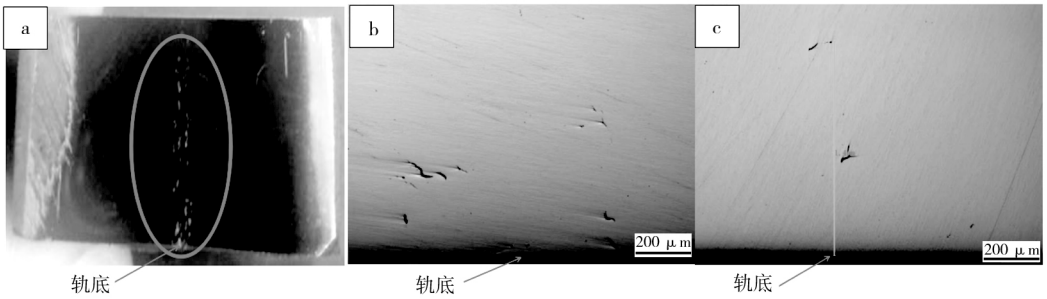
(c)2# 试样抛光后 (d)2# 试样腐蚀后

(e)3# 试样抛光后 (f)3# 试样腐蚀后

图2 1#、2#、3#试样轨底面焊缝处的孔洞和裂纹形貌

试样经 4% 硝酸酒精试剂腐蚀后可见缺陷位于焊缝熔合线两侧距熔合线约 0.5 mm 范围内的热影响区内，焊缝熔合线的组织为珠光体 + 铁素体(网状)组织，焊缝热影响区的组织为珠光体 + 铁素体(微)，其中 1# 试样焊缝部位晶粒度混晶 8 级(85%)、6.5 级(15%)，2#、3# 试样的晶粒度为 8 级。

图 3 为 1#、2#、3# 试样纵向面上孔洞和裂纹。从轨底面的缺陷处沿轨高方向纵向切开，磨制轨底三角区纵向面检测孔洞和裂纹，1# 试样孔洞和裂纹深度大于 12 mm，肉眼可见，见图 3(a)，2# 试样纵向面上的裂纹位于距轨底面 3 mm 范围内，见图 3(b)，3# 试样纵向面上的裂纹距轨底面 2.5 mm，见图 3(c)。

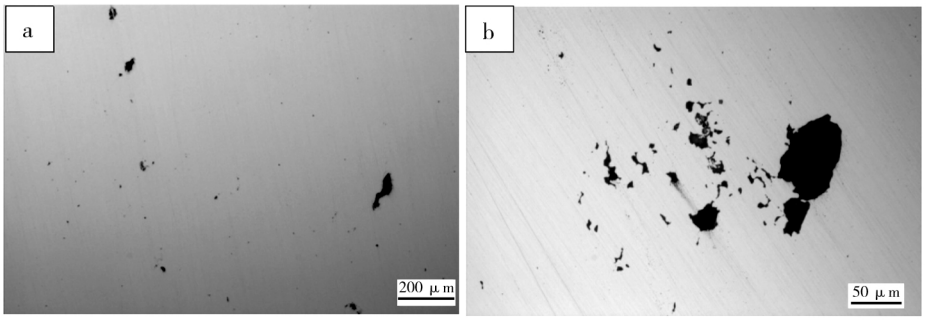


(a) 1# 试样纵剖面孔洞的实物形貌　(b) 2# 试样纵剖面裂纹形貌　(c) 3# 试样纵剖面裂纹形貌

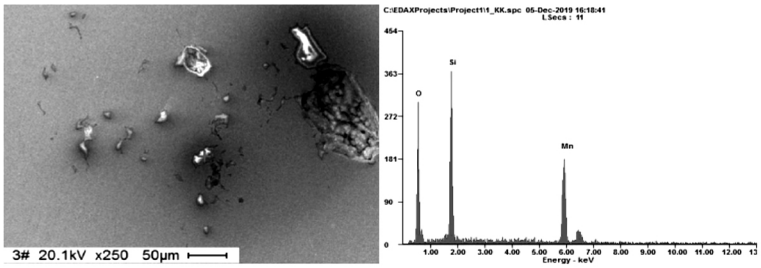
图 3　1#、2#、3# 试样纵向面上孔洞和裂纹

2.2.2　探伤不合(波高 60%)接头试样果

4# 试样为探伤不合格的接头试样，探伤反波波高为 60%。对其进行金相检测。图 4 为 4# 试样缺陷的检测分析。如图 4 所示试样轨底面焊缝处有少量孔洞和裂纹，局部放大观察到成团簇状的缺陷，尺寸为 250 μm × 300 μm，经扫描电镜能谱分析主要成分为 O、Si、Mn；纵向面检验有 1 处微裂纹，距轨底面距离约 0.4 mm，在距轨底面 3 mm 以上未见裂纹。



(a) 4# 试样轨底面裂纹及孔洞形貌　(b) 4# 试样轨底面团簇状缺陷形貌



Element	Wt%	At%
OK	34.30	56.79
SiK	25.00	23.58
MnK	40.70	19.63
Matrix	Correction	ZAF

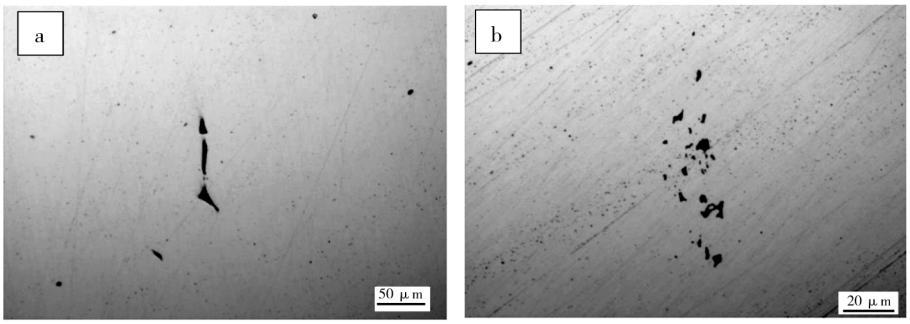
(c) 4# 试样团簇状缺陷的扫描电镜及能谱分析

图 4　4# 试样的缺陷分析

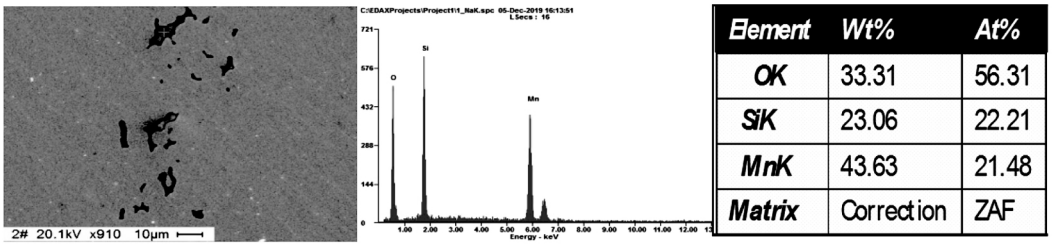
2.2.3　探伤不合(波高 40%)接头试样

5# 试样为探伤不合格的接头试样，探伤反波波高为 40%。对其进行金相检测。图 5 为 5# 试样缺陷的检测分析。如图 5 所示试样轨底面焊缝处有一

条长约150 μm的微裂纹，焊缝局部可见成簇的颗粒状缺陷，尺寸为30 μm×100 μm，经扫描电镜能谱分析主要成分为O、Si、Mn的硅锰氧化物，纵向面检验未见裂纹。



（a）5 试样轨底面的微裂纹形貌 （b）5# 试样轨底面簇状颗粒缺陷形貌



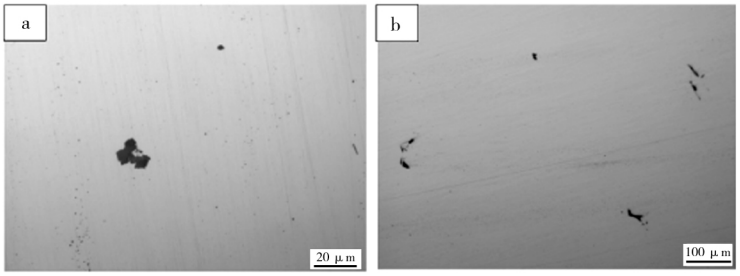
Element	Wt%	At%
OK	33.31	56.31
SiK	23.06	22.21
MnK	43.63	21.48
Matrix	Correction	ZAF

（c）5# 试样轨底面簇状颗粒缺陷的扫描电镜及能谱分析

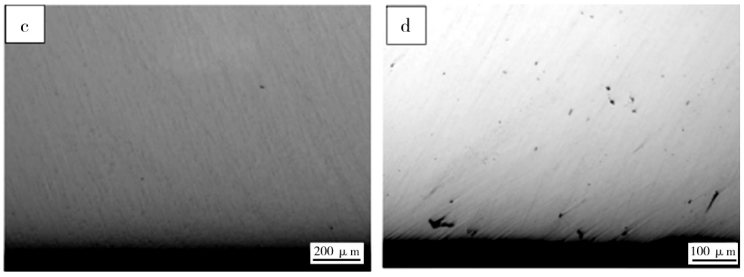
图5 5#试样的缺陷分析

2.2.4 探伤合格接头试样的检测结果

6#和7#试样为探伤合格的接头试样，探伤反波波高为15%。对其进行金相检测。图6为探伤合格试样6#和7#的缺陷形貌。如图6所示，6#试样轨底面焊缝部位可见一处直径约为20 μm的孔洞，7#试样轨底面焊缝部位可见1处孔洞和3处微裂纹，孔洞直径约为30 μm，微裂纹长度约为100 μm，6#试样纵向面检验未见微裂纹和孔洞，7#试样纵向面有1处微裂纹，长度约80 μm，距轨底面约0.5 mm。焊缝熔合线组织为珠光体+铁素体(网状)组织，晶粒度8级。焊缝热影响区组织为珠光体+铁素体(微)。



（a）6# 试样轨底面孔洞形貌 （b）7# 试样轨底面孔洞和微裂纹形貌



（c）6# 试样轨底面未见微裂纹 （d）7# 试样纵向面的微裂纹形貌

图6 探伤合格试样6#和7#的缺陷形貌

2.2.5　检测结果分析

对探伤不合格和合格的 1#—7#接头试样分别进行了金相和扫描电镜检测分析。从轨底面和纵剖面的检测结果来看，探伤反波部位的轨底三角区试样在其轨底面焊缝部位均发现有不同程度的孔洞和裂纹缺陷，缺陷位于焊缝熔合线及两侧的热影响区内，裂纹具有明显的沿晶特征[4]，个别试样可见团簇状的缺陷，经扫描电镜能谱分析为氧化硅锰，属于过烧缺陷[5-6]。过烧的本质是晶界熔化，常常出现在轨底和轨底上、下角区位置，超声波探伤较易探出这种缺陷。过烧的产生跟下列因素有关[7]：①顶锻前钢轨端面液态金属层厚薄不均；②钢轨截面各个部位的温度相差较大，纵向没有足够的塑形变形区；③顶锻时钢轨端面过热，熔渣未完全挤净。

通过对不同波高接头的检测分析表明，试样上孔洞和裂纹的数量和大小与探伤波高有明显的对应关系，即探伤波较高的试样，其缺陷严重，轨底面的孔洞和裂纹尺寸大且数量多，纵剖面检测结果表明，探伤波高的试样，其缺陷还具有一定的深度，主要集中在距轨底面 1 ~ 5 mm 的深度范围内，个别严重的缺陷呈连续分布，深度可达 12 mm。而探伤合格反波较低的试样，轨底面的孔洞和微裂纹数量明显减少，尺寸小且不连续分布，并且纵向剖面不易观察到缺陷。资料[8]也表明一般轨底过烧缺陷产生在焊缝附近并向内侵入 1 ~ 5 mm，是由于焊接过程中热输入量过大，导致熔合面晶界氧化熔化，析出难熔于奥氏体的氧化锰等夹杂物，最终产生过烧缺陷。

通过分析不同探伤接头，合理调整钢轨闪光焊接的预热时间、预热阶段相控电压、烧化阶段相控电压和顶锻时间等参数，优化焊接工艺使过烧缺陷得到了有效控制，保证了钢轨闪光焊接接头的质量。

3　结论

(1) 通过对 1#—7#焊接接头探伤试样的分析，认为裂纹、孔洞是引起焊缝部位探伤波高的主要原因；探伤波的高低与裂纹、孔洞缺陷的大小、数量及分布状态有关。

(2) 孔洞和裂纹为过烧缺陷，其形成与焊接工艺密切相关，受焊接热输入量、时间、顶锻力、推凸量、环境温度等多因素的影响。

(3) 通过调整焊接工艺参数，合理的加热与顶锻工艺相匹配，能够保证钢轨闪光焊接接头的质量，探伤合格率提升至 90% 以上。

参　考　文　献

[1] 刘东，朱峰. 钢轨闪光接触焊焊接接头的常见病害与防治分析[J]. 硅谷，2014，(4)：45 – 47.

[2] 郭鸿年，薛继仁，刘书华. 钢轨闪光焊接缺陷及其对接头性能的影响[J]. 焊接技术，1991，(6)：14 – 16.

[3] 陈海田. 新标准 U71Mn 钢轨焊接工艺分析及调试[J]. 铁道技术监督，2016，44(6)：8 – 12.

[4] 王莹莹，李力，高振坤，等. 钢轨固定闪光焊接头轨底缺陷分析[J]. 铁道建筑，2017，57(12)：106 – 108.

[5] 许鑫. 某高速铁路固定式闪光焊接头伤损原因检验分析[J]. 金属热处理，2019，44(9)：218 – 224.

[6] 王亮明. 钢轨闪光焊接头探伤异常的设备和工艺因素[J]. 焊接技术，2018，47(12)：83 – 86.

[7] 许亚娟. 钢轨闪光焊接头常见缺陷成因分析及控制措施探讨[J]. 铁道技术监督，2017，45(12)：27 – 31.

[8] 黎伟. 高铁钢轨闪光焊接过烧缺陷的控制研究[J]. 装备机械，2019，(2)：54 – 57.