

包钢 U71Mn 钢轨 Mn 含量优化研究

董捷¹, 梁正伟¹, 王永明², 郝振宇³, 李永强⁴, 魏轶彬³

- (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总工室, 内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂, 内蒙古 包头 014010;
4. 内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁厂, 内蒙古 包头 014010)

摘要:为改善产品质量,加强高速钢轨质量监控,对 U71Mn 钢轨化学成分进行优化,降低钢中 Mn 含量,同时控制轧制工艺,在 U71Mn 60N、60 kg/m、50 kg/m、QU120、QU100、QU80 等全系列断面进行试制。结果表明:Mn 含量优化后 U71Mn 钢轨性能与优化前 U71Mn 钢轨比较,U71Mn 钢轨抗拉强度较优化前降低 7.2 MPa,均值达到 950 MPa,踏面硬度降低 2.8,均值达到 269.2,延伸率基本不变,获得理想的珠光体组织,钢轨性能均能满足标准要求,并且具有足够富余量,取得了较好的效果。

关键词:钢轨;U71Mn;Mn 含量

中图分类号:U213.4⁺

文献标识码:B

文章编号:1009-5438(2022)05-0065-05

Study on Optimizing Mn Content of U71Mn Rail of Baotou Steel

Dong Jie¹, Liang Zheng-wei¹, Wang Yong-ming², Hao Zhen-yu³,
Li Yong-qiang⁴, Wei Yi-bin³

- (1. Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
2. Chief Engineer Office of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
3. Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
4. Rail and Beam Rolling Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In order to improve product quality and strengthen quality monitoring of high speed rail, the chemical composition of U71Mn rail is optimized, Mn content in steel is reduced and rolling process is controlled as well as the trial productions are carried out for such whole series of sections as 60 N, 60 kg/m, 50 kg/m, QU120, QU100 and QU80 of U71Mn. The results showed that the tensile strength was reduced by 7.2 MPa and mean value reached 950 MPa, tread hardness (HB) was reduced by 2.8 and mean value reached 269.2 as well as elongation is basically unchanged by comparing the performances of U71Mn rail with those before optimization. Moreover, the ideal perlite structure is obtained,

收稿日期:2022-07-28

作者简介:董捷(1987-),女,内蒙古包头市人,硕士,高级工程师,现从事钢轨新产品开发工作。

performances of rail could all meet the standard requirements and is with enough margin so that the effects are better.

Key words: rail; U71Mn; Mn content

随着我国铁路运营里程的增加,加速了社会经济发展,也对钢轨的生产及品质提出更高的要求。U71Mn 钢轨具有高强韧性和抗疲劳性等优点,被广泛应用于我国铁路中。对比多家钢轨生产企业 U71Mn 化学成分,包钢 U71Mn 钢轨的 Mn 含量相对于其他钢厂较高,Mn 含量较高虽然能增强钢轨淬透性,提高钢轨强度,但同时也会对钢轨使用性能造成很多不良影响。由于钢轨 Mn、S 含量较高,容易导致钢轨母材中 MnS 夹杂物较多,钢轨在承受载荷时容易产生微裂纹^[1],Mn 含量较高还会严重影响钢轨的焊接性能。本文主要对 U71Mn 钢轨化学成分

进行合理优化,控制轧制工艺,对优化前后的 U71Mn 钢轨性能进行对比及系统分析。文中较多次提到优化成分前后的 U71Mn 钢轨,为便于区分,优化成分之前的 U71Mn 钢轨简称为 U71Mn,优化成分后的 U71Mn 钢轨简称为低锰 U71Mn。

1 技术要求

参考 TB/T 2344—2020 铁道行业标准^[2],U71Mn 钢轨化学成分及力学性能的技术要求如表 1 和表 2 所示。

表 1 U71Mn 化学成分技术要求(质量分数)

钢种	C	Si	Mn	P	S	Al
U71Mn 铁标标准要求	0.65 ~ 0.80	0.15 ~ 0.58	0.70 ~ 1.20	≤0.025	≤0.025	≤0.010
U71Mn	0.69 ~ 0.75	0.30 ~ 0.40	1.00 ~ 1.20	≤0.025	≤0.025	≤0.010

表 2 U71Mn 力学性能技术要求

抗拉强度 R_m	断后伸长率 A	轨头顶面中心线
/MPa	/%	硬度(HBW)
≥880	≥10	260 ~ 300

量与其他钢厂基本相同,比攀钢稍低。Mn 含量较高,高出 0.10% ~ 0.15%,而抗拉强度与攀钢、武钢 U71Mn 钢轨相比较低,踏面硬度与攀钢、武钢基本相同,具体化学成分及性能见表 3。

2 对比其他企业

对比其他钢轨生产企业,包钢 U71Mn 钢轨 C 含

表 3 钢轨生产企业 U71Mn 化学成分及力学性能

钢种	化学成分(质量分数)/%					力学性能		
	C	Si	Mn	P	S	抗拉强度 R_m /MPa	延伸率 A /%	踏面硬度 (HBW)
包钢 U71Mn	0.71	0.35	1.10	0.017	0.002	957.4	12.1	272.0
攀钢 U71Mn	0.73	0.39	0.96	0.015	0.008	970.0	12.2	273.6
武钢 U71Mn	0.71	0.38	0.96	0.015	0.006	945.7	13.8	274.0
邯钢 U71Mn	0.71	0.36	1.01	0.015	0.002	1 040.0	14.0	280.4

3 化学成分优化

U71Mn 钢轨化学成分主要是 C、Si、Mn。足够的 C 含量保证钢轨组织中的珠光体百分比,随着 C 含量提高,钢轨的珠光体含量增多,强度增加,耐磨性提高但韧性下降。C 含量过低,珠光体含量下

降,铁素体含量增加,将导致钢轨整体强度和硬度都会下降。C 含量过高后,影响钢轨焊接性能。Si 元素能够强化和提高钢轨的强度、硬度和耐磨性。包钢 U71Mn 钢轨 Mn 含量较高,增强了钢轨淬透性,提高钢轨强度的同时也会对钢轨性能造成很多不良影响。由于 Mn 含量及 S 含量较高,导致钢轨母材

中存在 MnS 夹杂物较多^[3],钢轨在承受载荷时容易产生微裂纹,Mn 含量较高在钢轨焊缝处形成灰斑的几率增大^[4],也容易形成显微偏析,钢轨焊接过热区容易形成马氏体组织,严重影响焊接性能^[5]。本文对 U71Mn 钢轨化学成分进行优化,降低钢轨中 Mn 含量,Mn 含量降低 0.10% ~ 0.21%,具体成分见表 4。

表 4 低锰 U71Mn 化学成分控制要求(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al
0.70 ~ 0.75	0.30 ~ 0.40	0.90 ~ 0.99	≤0.025	≤0.025	≤0.004

4 关键工艺控制

4.1 工艺流程

低锰 U71Mn 钢轨主要生产工序为冶炼、连铸、轧制,具体工艺流程如下。

铁水预处理→转炉冶炼→LF 精炼→VD 真空处理→连铸→加热→轧制→矫直→探伤→检查→加工→入库。

4.2 轧制工艺

低锰 U71Mn 钢轨的金相组织为珠光体 + 少量铁素体。在保证稳定轧制的同时,获得所需尺寸的奥氏体晶粒,加热温度控制在 1 200 ~ 1 280 ℃。为了保证钢轨晶粒尺寸大小及强度、硬度相关性能,采用相对较低的轧制温度,终轧温度不大于 930 ℃。

5 试制结果及分析

5.1 化学成分控制

对低锰 U71Mn 钢轨各元素的化学成分分布进行统计,可以看出 C 含量基本未发生变化,Mn 含量降低 0.11%,见图 1。

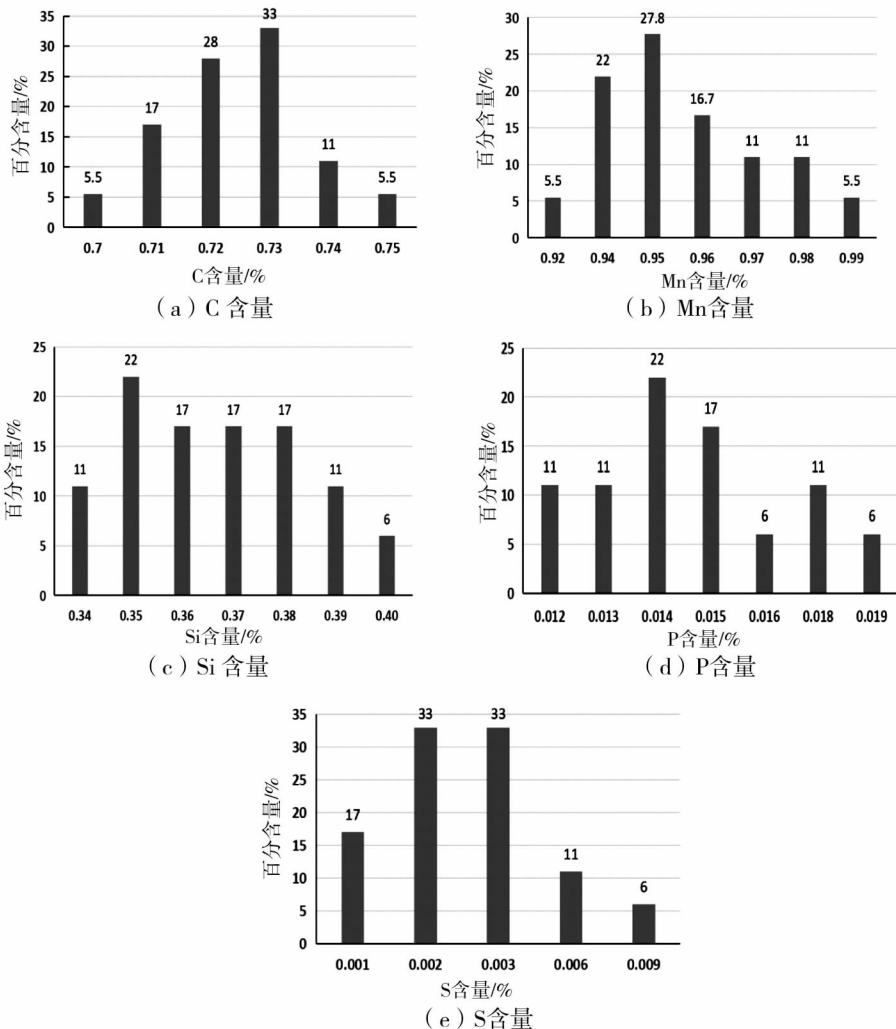


图 1 低锰 U71Mn 钢轨成分分布

基于图 1 分析,低锰 U71Mn C 含量主要分布于 0.71%~0.73%,均值 0.72%;Si 含量主要分布于 0.34%~0.39%,均值 0.37%;Mn 含量主要分布于 0.94%~0.96%,均值 0.95%;P 含量主要分布于 0.012%~0.018%,均值 0.016%;S 含量主要分布于 0.001%~0.003%,均值 0.003%。

与 U71Mn 成分比较,低锰 U71Mn 较 U71Mn 钢轨 C 含量基本不变,Mn 含量降低大约 0.11 个百分点,从 1.04%~1.06%降低到 0.94%~0.96%,Mn 含量均值从 1.06%降低到 0.95%,见表 5。

表 5 低锰 U71Mn 与 U71Mn 化学成分比较(质量分数)%

项目	C	Si	Mn	P	S
低锰 U71Mn	0.72	0.37	0.95	0.016	0.003
U71Mn	0.72	0.35	1.06	0.017	0.003

5.2 优化后 U71Mn 力学性能

将低锰 U71Mn 与 U71Mn 钢轨抗拉强度、踏面硬度进行统计及分析,用柱状图表示各性能阶段所占的百分比,可见性能变化的总趋势,分别见图 2、图 3。

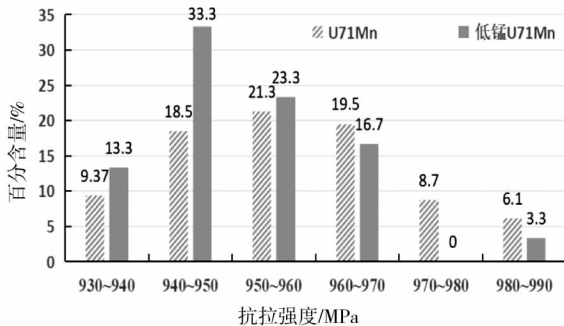


图 2 低锰 U71Mn 与 U71Mn 钢轨抗拉强度分布图

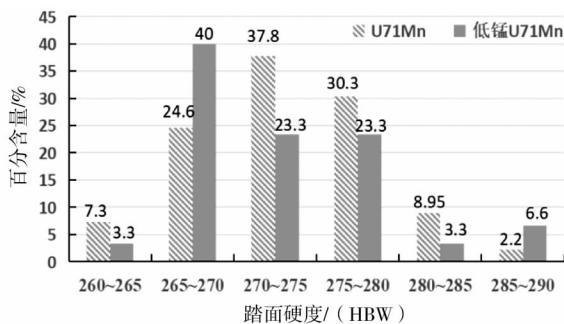


图 3 低锰 U71Mn 与 U71Mn 钢轨硬度分布图

如图 2 所示,低锰 U71Mn 及 U71Mn 钢轨抗拉强度均主要集中在 940~970 MPa 之间,U71Mn 抗拉强度在 950~960 MPa 最多,占总量的 21.3%;低锰 U71Mn 钢轨抗拉强度明显下降,在 940~950 MPa 最多,占总量的 33%。

如图 3 所示,低锰 U71Mn 与 U71Mn 钢轨硬度 (HBW) 均集中在 265~280 之间,U71Mn 踏面硬度在 270~275 占比最多,达到 37.8%;低锰 U71Mn 钢轨踏面硬度 (HBW) 明显下降,265~270 占比最多,达到 40%,低锰 U71Mn 钢轨踏面硬度在均值为 269.2,较 U71Mn 钢轨均值降低 2.8。优化后钢轨踏面硬度满足标准要求。

总体分析,低锰 U71Mn 钢轨与 U71Mn 钢轨相比较,抗拉强度均值降低 7.2 MPa,踏面硬度 (HBW) 降低 2.8,延伸率降低 0.6%。低锰钢轨性能满足标准要求,并且有足够的富余量,具体数值见表 6。

表 6 低锰 U71Mn 钢轨与 U71Mn 钢轨性能

项目	抗拉强度 R_m /MPa	延伸率 A /%	踏面硬度 (HBW)
低锰 U71Mn	950.0	11.7	269.2
U71Mn	957.2	12.3	272.0

5.3 Mn 含量对钢轨性能的影响

对 2020 年全年生产 950 炉 U71Mn 的成分与性能的关系进行分析,做出 Mn 含量与踏面硬度及抗拉强度关系图,见图 4、图 5。Mn 含量与踏面硬度和强度呈对应关系,Mn 含量越高,硬度越大,强度越高。因此优化钢轨化学成分降低 Mn 含量,抗拉强度与硬度均有所降低,符合对应关系。

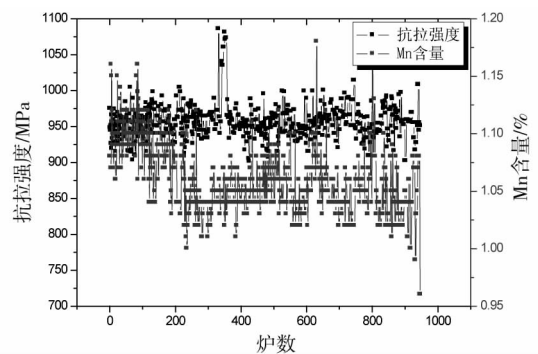


图 4 Mn 含量与 U71Mn 钢轨抗拉强度的关系

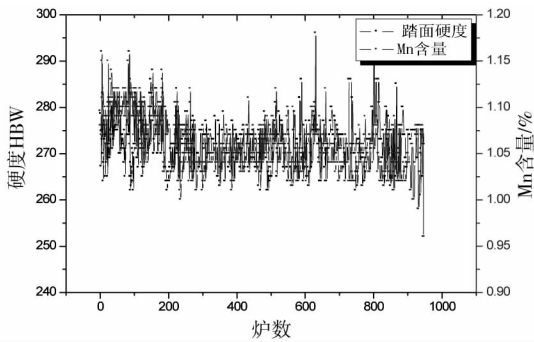


图5 Mn含量与U71Mn钢轨硬度的关系

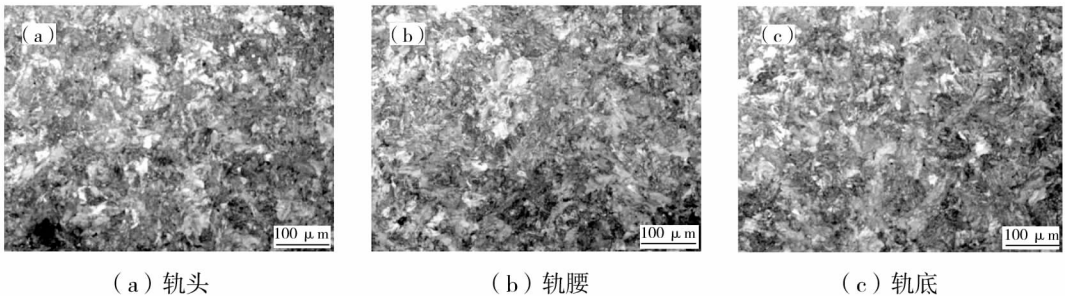


图6 低锰U71Mn钢轨金相组织

6 结论

(1) 优化后 U71Mn 钢轨化学成分较优化前 U71Mn 钢轨 Mn 含量均值降低 0.11 个百分点, 抗拉强度较常规 U71Mn 降低 7.2 MPa, 踏面硬度 HBW 降低 2.8, 延伸率稍有降低, 但 U71Mn 性能均能满足标准要求, 并且具有足够的富余量。

(2) 对比其他钢轨生产企业, 包钢 U71Mn 钢轨 Mn 含量较其他钢厂略高, 通过合理优化 U71Mn 钢轨成分, 控制轧制工艺, 成功生产 Mn 含量较低的 U71Mn 钢轨, 性能满足标准要求。

参 考 文 献

[1] 陈志强. U71Mn 钢轨闪光焊接头暗色灰斑成

5.4 显微组织

从轨头、轨腰、轨底三角区取样进行金相检验, 均得到理想珠光体组织, 未见异常组织, 满足标准要求, 见图 6。

低锰 U71Mn 钢轨共试制 91 炉, 共计 13 650 t, 其中包含 U71Mn、U71MnG(B), 涉及 60 kg/m、60 N、50 kg/m、QU80、QU100、QU120 等规格, 强度、硬度等性能均能满足标准要求, 并且有足够的富余量。

因及消除方法[J]. 铁道技术监督, 2020, 38(6):38-42.

[2] TB/T 2344—2012, 43 kg/m~75 kg/m 钢轨订货技术条件[S].

[3] 丁韦, 李力, 赵国, 等. 钢轨闪光焊灰斑缺陷形成原因及预防方法[J]. 铁道建筑, 2018, (10):128-131.

[4] 吴九阳. 钢轨闪光焊接亮灰斑的成因与消除[J]. 铁道技术监督, 2014, 42(6):29-32.

[5] 王亮明. 钢轨闪光焊接头探伤异常的设备和工艺因素[J]. 焊接质量控制与管理, 2018, (12):83-86.