

美标碳素钢 SS 钢轨成分及轧制工艺优化

赵桂英¹, 梁正伟¹, 李永强², 王嘉伟¹, 边影¹

- 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古包头 014010;
- 内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁厂, 内蒙古包头 014010)

摘要:通过 60E1 和 115RE 断面钢轨对比, 优化钢轨化学成分, 采取窄成分控制, 提高 C 含量, 控制 Mn、Cr 元素含量, 优化轧制工艺, 小批量生产了 60E1 断面 SS 钢轨, 钢轨性能达到 $R_{p0.2} \geq 512$ MPa, $R_m \geq 982$ MPa, $A \geq 10\%$, 踏面硬度 (HB) ≥ 310 。小批量工业生产实践证明, 60E1 断面 SS 钢轨生产工艺顺行, 性能稳定, 满足用户需要, 可以扩量生产。

关键词:SS 钢种; 60E1 断面; 钢轨; 优化

中图分类号: TF76

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)03-0081-05

Optimization of Composition and Rolling Process for SS Steel Grade Carbon Steel Rail Satisfied American Standard

Zhao Gui-ying¹, Liang Zheng-wei¹, Li Yong-qiang²,
Wang Jia-wei¹, Bian Ying¹

- Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
- Rail and Beam Rolling Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The SS steel grade rail with 60E1 cross section is manufactured with small batch production by comparing the rails with 60E1 and 115RE cross sections, optimizing chemical composition, adopting narrow composition control, increasing C content, controlling contents of Mn and Cr as well as optimizing rolling process. The rail performances could reach $R_{p0.2} \geq 512$ MPa, $R_m \geq 982$ MPa, $A \geq 10\%$ and tread hardness (HB) ≥ 310 . The small batch industrial production practices prove that the production process of SS steel grade rail with 60E1 cross section is trouble free and its performances are stable, which could meet the user needs so that it can be produced with incremental quantity.

Key words: SS grade; 60E1 cross section; rail; optimization

为应对高速铁路的发展, 通过装备、工艺、技术的不断进步, 国内各钢厂先后建立了高洁净度、高均

质、高尺寸精度、高平直度的百米钢轨生产线, 实现了高速铁路和高品质钢轨的规模化生产。随着各国

3 生产工艺流程

工业试验的工艺流程为:铁水预处理→复吹转炉冶炼→LF 精炼→VD 真空脱气→大方坯连铸→步进炉加热→万能轧制→步进式预弯冷床冷却→矫直→探伤→加工→检查入库。

4 试制过程及结果

4.1 冶炼

炼钢厂根据质量计划及钢轨生产技术规范冶炼,主要工艺参数见表 2。

表 2 主要工艺参数

项目	转炉终点(质量分数)/%			精炼 VD		连铸	
	C	P	S	深真空时间/min	软吹时间/min	拉速/(m·min ⁻¹)	过热度/℃
最大值	0.368	0.020	0.041	21	22	0.62	30
最小值	0.096	0.015	0.017	15	16	0.62	23
平均值	0.211	0.017	0.031	16	18	0.62	28

在钢轨钢冶炼过程中,要求深真空时间不低于 15 min,软吹时间不低于 10 min,严格执行钢轨控制要求,深真空时间和软吹时间均满足要求。

4.2 成分控制

4.2.1 化学成分控制

对钢的熔炼成分 C、Mn 含量进行了统计及分析,见图 2、图 3。

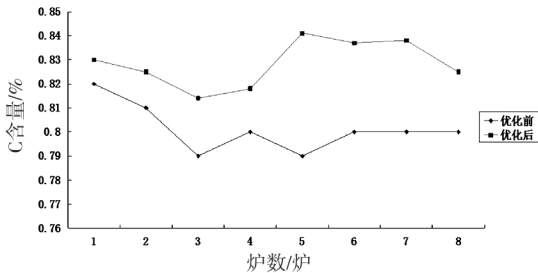


图 2 成品钢中碳元素分布

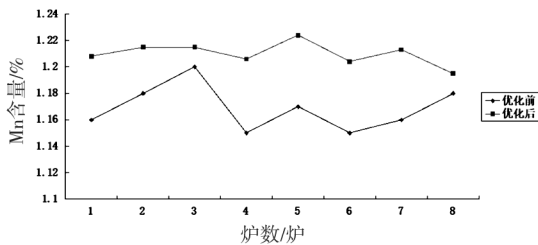


图 3 成品钢中锰元素分布

从统计结果可知,C 含量优化后较优化前平均提高 0.02 个百分点,Mn 含量优化后较优化前平均提高 0.04 个百分点。

4.2.2 气体控制

按照 AREMA 标准取样检验钢中气体含量,结果见表 3。

表 3 钢中气体含量(质量分数) %

项目	H	O	N
最小值	0.000 099	0.000 3	0.004 3
最大值	0.000 200	0.001 0	0.005 8
平均值	0.000 149	0.000 7	0.004 7
技术要求	≤0.000 25	≤0.000 2	≤0.008 0

钢中氢含量平均为 0.000 149%,最大为 0.000 20%,符合技术要求,液态钢水中氢含量分布表明氢控制稳定。钢中氧含量平均为 0.000 7%,最大为 0.001 0%,氧含量控制较好。

4.3 连铸坯低倍结果

按照钢轨生产技术规范,每炉钢检验一次铸坯低倍,检验结果见表 4。

由表 4 可知,连铸坯低倍检验结果为中心疏松 0.5 级、非金属夹杂物 0.5 级,其他均为 0 级,连铸坯质量控制良好。

4.4 轧制

轨梁厂采用 280 mm × 380 mm 连铸坯,轧制规格为 EN 13674 - 1:2011 + A1:2017 标准中 60E1 断面钢轨。钢坯开轧温度平均为 1 100 ℃,终轧温度平均为 920 ℃,扩大冷床步距,加速轧后冷却速率,提高性能。

对 115RE 断面和 60E1 断面 SS 钢轨拉伸性能进行统计分析,见表 5。

表 4 铸坯低倍结果

级

编号	中心疏松	缩孔	中心裂纹	中间裂纹	皮下裂纹	角部裂纹	皮下气泡	非金属夹杂物
1 [#]	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5
2 [#]	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5
3 [#]	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5
4 [#]	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5
5 [#]	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5
6 [#]	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5
技术要求	≤2							

表 5 钢轨拉伸性能与硬度统计

断面	项目	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A /%	硬度(HB)
115RE	最大值	1 110	680	13.5	320
	最小值	1 070	581	10.0	312
	平均值	1 094	623	10.5	316
60E1	最大值	1 125	677	12.5	319
	最小值	1 053	596	10.0	311
	平均值	1 095	635	11.0	316
技术要求		≥982	≥512	≥10	≥310

由表 5 可知,优化成分和轧制工艺后,60E1 断面钢轨力学性能和 115RE 断面钢轨力学性能相当,抗拉强度平均值为 1 095 MPa,屈服强度平均值为 635 MPa,伸长率平均值为 11.0%,踏面硬度(HB)平均值为 316,均满足技术要求,达到了预期目标。

4.5 金相检验结果

4.5.1 非金属夹杂物

为了更好地保证钢轨内部质量,本批 60E1 断面钢轨生产非金属夹杂物均要求按照铁标 TB/T 2344.1—2020 要求执行,要严于 AREMA 标准要求。对 60E1 断面钢轨的非金属夹杂物类型及级别进行统计,结果见表 6,非金属夹杂物最大为 1.5 级,最

小为 0.5 级,都满足要求。

表 6 非金属夹杂物检验结果

项目	非金属夹杂物/级			
	A	B	C	D
最大值	1.5	1.0	1.0	1.0
最小值	1.0	0.5	1.0	1.0
技术要求	≤2.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5

4.5.2 显微组织

按照 AREMA 标准取轨头试样进行显微组织检测,显微组织均为珠光体,见图 4。

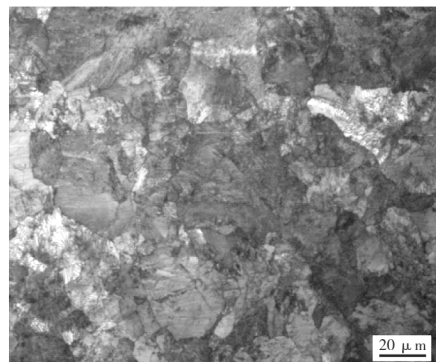
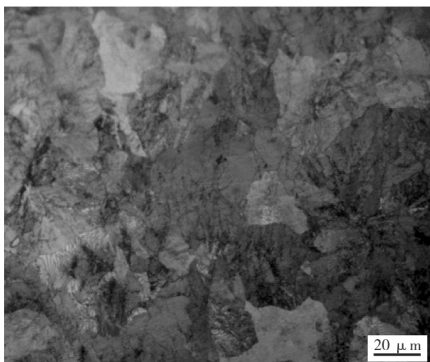


图 4 钢轨显微组织照片

4.5.3 低倍检验

根据 AREMA 标准将整个横断面切下来,表面光洁度达到要求后,全部浸入热酸液中进行充分浸蚀,漂洗、刷净吹干后,对钢轨进行低倍检验,均满足标准要求。无白点、缩孔、皮下气泡等缺陷,钢轨低倍照片如图 5 所示。

4.6 探伤及成材率

对所有 60E1 断面钢轨进行超声波探伤,无伤轨。60E1 断面钢轨工业生产成材率为 92.21%,合格率为 98.92%,达到了预期目标。

4.7 残余应力

按照 AREMA 标准要求,取 610 mm 长钢轨进行轨腰残余应力检测,采用锯切法,切割沿轨腰的中和轴进行,切割长度为 400 mm,如图 6 所示。



图 5 钢轨低倍照片

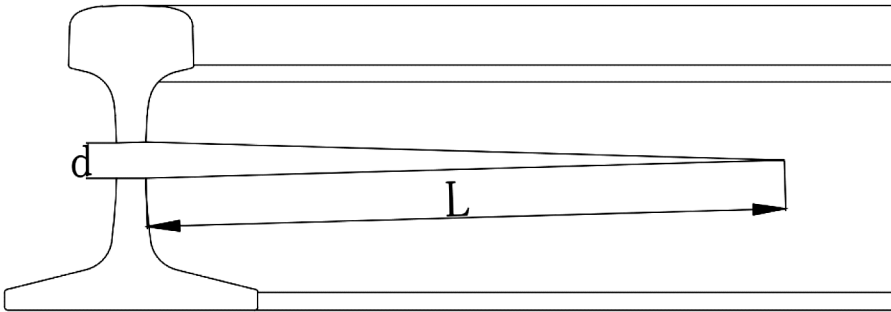


图 6 轨腰锯切试验

通过检测,60E1 断面钢轨的垂直位移 $d = 2.16 \text{ mm}$,远低于标准 $d \leq 3.75 \text{ mm}$ 的要求,完全满足标准要求。

5 钢轨在冷床上冷速变化分析

在钢轨生产时测定 115RE、60E1 断面钢轨上冷床后的降温情况,每间隔 1 min 测一次,降温曲线如图 7 所示。

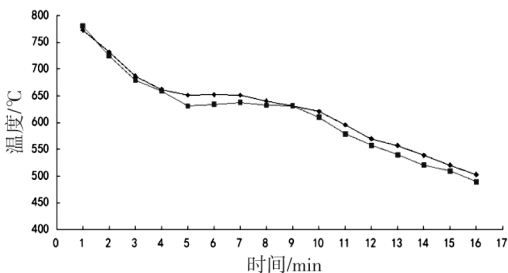


图 7 钢轨冷床降温曲线

如图 7 所示,115RE 断面钢轨上冷床温度为 783 °C,60E1 断面钢轨上冷床温度为 773 °C,上冷床 4 min 后两断面钢轨温度降到 660 °C,随后出现一个平台,大约 5 min 后温度开始下降,平台处 60E1 断面钢轨温度要高于 115RE 断面钢轨。大断面钢轨温降低于小断面钢轨温降,因此采取降低终轧温度、加快冷却的生产工艺是可行的。

6 结论

(1)通过优化 SS 钢轨化学成分、轧制及冷却工艺,60E1 断面钢轨性能满足技术要求,屈服强度 $R_{p0.2} \geq 512 \text{ MPa}$,抗拉强度 $R_m \geq 982 \text{ MPa}$,伸长率 $A \geq 10\%$,踏面硬度(HB) ≥ 310 。

(2)60E1 断面钢轨钢冶炼工艺、轧制工艺稳定。批量出口生产表明性能稳定,成材率达到 92.21%。

(下转第 98 页)

- 企业的难点与对策分析[J]. 产业与科技论坛, 2023, 22(5): 283-284.
- [5] 毕小萍. 豫南地区民办高校科研成果转化探讨[J]. 合作经济与科技, 2023(2): 7-9.
- [6] 韩亮. 高校科技成果转化问题及对策研究[J]. 产业与科技论坛, 2013, 12(17): 173-174.
- [7] 姜学, 柳青. 高校科技成果转化现状及对策分析[J]. 齐齐哈尔师范高等专科学校学报, 2019(5): 109-111.
- [8] 叶惠玲. 基于高校科技成果转化模式与机制的思考[J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(1): 225-226.
- [9] 郭登峰, 潘剑波. 新时代科技成果产业化及其转化机制: 以斯坦福大学、清华同方为例[J]. 开发研究, 2018(2): 33-37.
- [10] 许海波, 易琳. 中国高校科技成果转化的现状与对策研究[J]. 产业与科技论坛, 2017, 16(12): 12-13.

(上接第 85 页)

参 考 文 献

- [1] 冯立果, 张海旺, 汪鹏, 等. 美标标准强度钢轨 SS 生产实践[J]. 河北冶金, 2016(1): 64-66.
- [2] EN 13674-1:2011 + A1:2017, 46 kg/m 及以上 T 型钢轨[S].
- [3] 宋维锡. 金属学与热处理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987.

信息

参考文献类型和标识代码

参考文献类型	标识代码
普通图书	M
会议录	C
汇编	G
报纸	N
期刊	J
学位论文	D
报告	R
标准	S
专利	P
数据库	DB
计算机程序	CP
电子公告	EB
档案	A
舆图	CM
数据集	DS
其他	Z