包钢出口玻利维亚 R260Mn 钢轨研发

王嘉伟[1]，赵桂英[1]，谌智勇[2]，席红岩[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炼钢厂，内蒙古 包头 014010；
3. 包钢（集团）国际经济贸易有限公司，内蒙古 包头 014010）

摘　要： R260Mn 钢是欧洲铁路标准中可用于生产高速铁路用轨的重轨钢种，主要技术指标包括：抗拉强度≥880 MPa，延伸率≥10%，踏面中心 HB 硬度范围 260～300，氧化物洁净度 $K_3 \leqslant 10$。通过实验室研究，确定了 R260Mn 钢轨冶炼成分范围、生产技术工艺及各工序操作要点，工业生产 R260Mn 钢轨各项技术指标满足合同要求。

关键词： R260Mn 钢轨；氧化物洁净度；炼钢；轧制

中图分类号： TG142.45　　**文献标识码：** B　　**文章编号：** 1009－5438（2017）02－0029－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.02.010

Research and Development of R260Mn Rail Exported to Bolivia from Baotou Steel

WANG Jia－wei[1], *ZHAO Gui－ying*[1], *CHEN Zhi－yong*[2], *XI Hong－yan*[3]

(1. *Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
2. *Steel－melting Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
3. *International Economic and Trading Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: R260Mn steel is a kind of heavy rail steel grade which can be used in the production of high speed railway in European Railway Standard, the main technical indexes include: Rm ≥880MPa, elongation≥10%, HB hardness range of tread center 260～300, Oxide cleanliness K3≤10. Through the laboratory research, smelting composition range, production technology process and operation points of each operation for R260Mn rail make technical indexes of R260Mn rail for industrial production to meet the contract requirements.

Key words: R260Mn rail; Oxide cleanliness; steel making; rolling

玻利维亚采购 R260Mn 钢轨执行欧洲标准 EN 13674.1—2011[1]，轨中非金属夹杂物检验采用 EN 标准的氧化物洁净度 K 法检验，要求 $K_3 < 10$。因此对钢轨冶炼和连铸过程提出了更为严格的要求，除了炼钢生产过程按照国内高速轨夹杂物控制进行生产外，针对氧化物洁净度检验 K 法 $K_3 < 10$ 的指标，需调整工艺参数（如：精炼过程中氩气流量，VD 真空脱气后软吹时间和软吹量的控制等），减少非金属夹杂物数量，尤其大型夹杂物数量，以达到 K 法检验技术标准的要求。

1　钢种成分范围的确定

R260Mn 钢轨化学成分比铁标 TB/T 2344—2013[2]，U71Mn 钢轨化学成分的 Mn 含量要高，其它成分基本一致，成分范围见表 1。

收稿日期： 2017－02－06

作者简介： 王嘉伟（1988－），男，满族，山西省阳高县人，助理工程师，现从事新产品研发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

表1 钢轨成分范围(质量分数) 10^{-6}

钢钟	C	Si	Mn	P	S
U71Mn[2]	0.65~0.76	0.15~0.58	0.70~1.20	≤0.030	≤0.025
R260Mn[1]	0.55~0.75	0.15~0.60	1.30~1.70	≤0.025	≤0.025

根据R260Mn钢轨成分范围,在实验室进行了两炉25 kg小炉实验,小炉冶炼成分及性能结果见表2。根据此结果制定R260Mn钢轨内控成分和工艺路线,内控成分见表3。工艺路线为:转炉冶炼→LF精炼→VD真空脱气→连铸(保护浇铸)→钢坯加热→BD1开坯→BD2轧制→CCS终轧→矫直→探伤。

表2 R260Mn钢轨小炉冶炼化学成分(质量分数)及性能结果

编号	C	Si	Mn	P	S	R_m/MPa	A%	HB硬度
38#	0.73	0.416	1.39	0.012	0.005	1 042	14.5	302
44#	0.707	0.348	1.46	0.01	0.002	991	16.5	288
EN13674.1—2011[1]	0.55~0.75	0.15~0.60	1.30~1.70	≤0.025	≤0.025	≥880	≥10	260~300

表3 R260Mn钢轨内控成分范围(质量分数) 10^{-6}

项目	C	Si	Mn	P	S
内控成分范围	0.66~0.71	0.20~0.30	1.30~1.40	≤0.025	≤0.025
EN13674.1-2011[1]	0.55~0.75	0.15~0.60	1.30~1.70	≤0.025	≤0.025

2 工业生产

转炉冶炼采用经过脱硫预处理的铁水,出钢w[C]≥0.08%,出钢温度≥1 630 ℃。LF精炼工艺采用石灰、萤石加发泡剂造渣、埋弧加热,加热过程用电石和硅钙粒扩散脱氧造白渣。VD真空破真空后进行软吹使夹杂物充分上浮。连铸采用280 mm×380 mm铸坯规格,长水口和浸入式水口保护浇注,并加强密封。连铸操作采用恒拉速浇注,拉速范围0.62~0.67 m/min,过热度≤30 ℃,凝固末端加电磁搅拌。

钢坯在加热炉内加热4 h以上,钢坯表面进行高压水除鳞,钢坯经BD1、BD2和CCS三套轧机进行轧制,共轧制13道次。终轧结束后钢轨进入冷床冷却,冷却至室温后逐支进行矫直和超声波探伤,最终进入钢轨加工线锯切定尺[3]。共计冶炼R260Mn钢轨59炉,化学成分检验结果全部满足标准要求,见表4。

表4 R260Mn钢轨化学成分(质量分数) 10^{-6}

检测结果	C	Si	Mn	P	S
最大值	0.72	0.29	1.30	0.010	0.004
最小值	0.67	0.22	1.40	0.023	0
平均值	0.70	0.26	1.34	0.015	0.001
EN13674.1-2011[1]	0.55~0.75	0.15~0.60	1.30~1.70	≤0.025	≤0.025

R260Mn钢轨冶炼、连铸后,每炉取一块连铸坯进行硫印检验。列举3炉检验结果见表5按照钢轨生产规范,表5中铸坯硫印检验结果全部符合重轨要求,说明R260Mn钢轨适应连铸生产,工艺控制稳定,铸坯质量优良。

表5 R260Mn硫印检验结果

熔炼号	中心偏析	中心裂纹	中间裂纹	皮下裂纹	角部裂纹	非金属夹杂物
15821009	0	1	0	0	0	1
15921437	0	0	0	0	0	1
15921472	0	1	0	0	0	1
TB/T 2344-2012[2]	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2

R260Mn钢轨每炉做气体H检验,O、N每浇次做一次检验,R260Mn钢轨气体检验结果见表6。根据表6结果显示,气体H、O、N均满足EN标准要求,表明冶炼工艺稳定,VD真空脱气效果明显[1]。

表6 R260Mn钢轨气体含量检验结果(质量分数) $\times10^{-6}$

检验	H	O	N
最大值	2.3	17	59
最小值	0.6	5	31
平均值	1.6	10	42
EN13674.1-2011[1]	≤2.5	≤20	≤100

3 成品钢轨性能检验结果和分析

3.1 力学性能检验

中国知网 https://www.cnki.net

R260Mn 钢轨共生产 59 炉，每炉进行力学性能检验，检验结果见表 7。统计结果，R260Mn 钢轨化学成分和力学性能指标都在标准范围之内[1]。

表 7　R260Mn 成品钢轨力学性能统计

力学检验	R_m/MPa	A%	HB 硬度
最大值	972	16	265
最小值	899	11.5	283
平均值	925	14	273
EN13674.1－2011[1]	≥880	≥10	260～300

3.2　金相检验

根据欧标 EN 13674.1—2011[1] 标准要求，对 R260Mn 钢轨进行金相组织、脱碳层、氧化物洁净度检验。钢轨金相组织检验结果为珠光体组织，金相组织照片见图 1，脱碳层检验最大值为 0.5 mm，均满足标准要求。

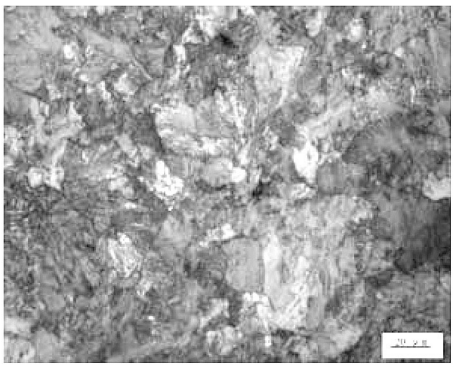
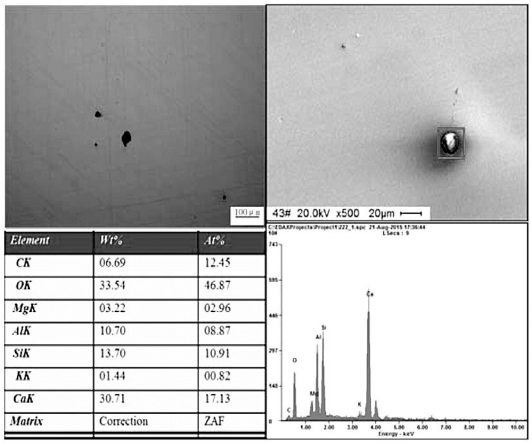


图 1　R260Mn 钢轨金相组织

氧化物洁净度检验采用欧标 DIN 50602—1985 标准检验夹杂物并评出 K_3 值，R260Mn 钢轨 K3 评级结果为：3.92、9.28、7.47、9.74、5.11，全部满足 $K_3<10$ 标准要求[4]。针对检验过程中发现的少量大颗粒夹杂物进行扫描电镜分析，见图 2、图 3。扫面结果夹杂物组份为 Ca、Si、Al、Mg 的复合氧化物。通过分析此类型的夹杂物，主要由于钢液对钢包和中间包的耐材侵蚀，耐材脱落进入钢液中，没有充分上浮存留在钢液中。

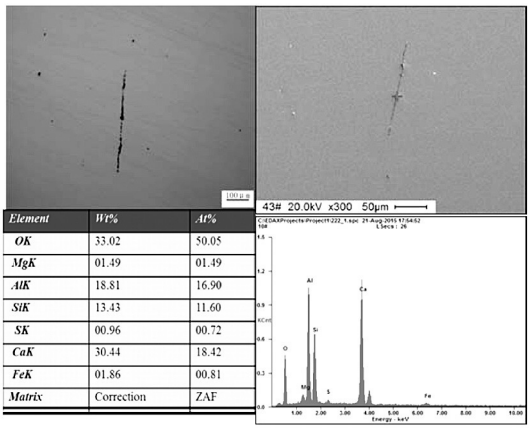
3.3　低倍和落锤检验

全部炉次成品轨的低倍检验中均未发现白点及超限的缩孔残余、内裂、非金属夹杂物、翻皮、分层等缺陷。钢轨落锤检验全部合格，挠度值平均 46.9 mm。



Element	Wt%	At%
CK	06.69	12.45
OK	33.54	46.87
MgK	03.22	02.96
AlK	10.70	08.87
SiK	13.70	10.91
KK	01.44	00.82
CaK	30.71	17.13
Matrix	Correction	ZAF

图 2　R260Mn 钢轨球状夹杂物扫描电镜分析图



Element	Wt%	At%
OK	33.02	50.05
MgK	01.49	01.49
AlK	18.81	16.90
SiK	13.43	11.60
SK	00.96	00.72
CaK	30.44	18.42
FeK	01.86	00.81
Matrix	Correction	ZAF

图 3　R260Mn 钢轨条状夹杂物扫描电镜分析图

3.4　外型尺寸、探伤和残余应力检验

钢轨全部进行矫直和探伤，矫直后尺寸检查全部符合 EN13674.1—2011[1] 中 54E1 钢轨断面尺寸和平直度要求，钢轨探伤跳出率在 1% 之内。轨底残余应力检验全部小于 250 MPa，符合标准要求。

截止 2015 年 8 月底出口玻利维亚 R260Mn 钢轨 6 500 t 全部生产完毕，成品钢轨发往天津港装船出海。

4　结论

(1) 工业生产采用实验室小炉实验确定的成分范围，生产出的 R260Mn 钢轨各项性能指标完全符合 EN13674.1—2011[1] 标准要求，成品钢轨性能指标值分布范围小，稳定性高。

(2) 通过对钢轨冶炼、连铸过程的工艺严格控制，R260Mn 钢轨的氧化物洁净度检验 $K_3<10$，达到标准要求。

(下转第 44 页)

中国知网　https://www.cnki.net

性能良好。而且 Ti 的加形成的 TiN 可以改善耐磨钢板的焊接性。

表5 20 mm 厚 Q235B 底板插销试验结果

实验编号	预热温度/℃	实验载荷/MPa	实验结果
1	常温	640	
2	常温	640	
3	常温	640	保载 24 h
4	60	640	无断裂发生
5	60	640	
6	60	640	

2.2.3 斜 Y 坡口焊接裂纹试验

斜 Y 坡口焊接裂纹试验主要用于考核钢板焊接热影响区的根部裂纹情况，试验按照标准 GB4675.1 规定执行[10]。采用 HS－70 焊丝，试样焊后放置 48 h，进行表面和断面裂纹检查。20 mm 厚 Q550 钢板斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果见表6。

表6 斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果

预热温度/℃	间隙/mm	表面裂纹率/%	断面裂纹率/%
常温	2.02～2.05	0	0
	1.90～2.00	0	0

由结果可知，对于 20 mm 厚 Q550D 钢板，在常温条件下焊接，两组试样表面裂纹率和断面裂纹率均为零。试验结果表明，采用 HS－70 焊丝，80% Ar＋20% CO_2 气体保护焊焊接 Q550D 钢板，在不预热的拘束程度较苛刻条件下焊接没有冷裂纹的产生。

3 结论

(1) 采用添加 Nb、V、Ti 等合金元素化学成分设计及 TMCP＋回火工艺设计可以得到低成本和性能优良的 Q550D 高强度结构钢。

(2) 焊接冷裂纹敏感性试验表明研制的 Q550D 高强度结构钢在中等拘束条件下，采用 HS－70 焊丝，80% Ar＋20% CO_2 气体保护焊焊接 Q550D 钢板，在不预热的拘束程度较苛刻条件下焊接没有冷裂纹的产生。

参 考 文 献

[1] He X L，Shang C J. High Performance Low Carbon Batnite Steel [M]. Beijing: Metallical Industry Press，2008.

[2] 尚成嘉，王学敏，杨善武，等. 高强度低碳贝氏体钢的工艺与组织细化 [J]. 金属学报，2003，39，(10)：10－19.

[3] 崔风平，孙玮，刘彦春，等. 中厚板生产与质量控制 [M]. 北京：冶金工业出版社，2008.

[4] Kotobu Nagai. Second Phase of Ultra Steel Project at NIMS [A]. Second International Conference on Advanced Structural Steels [C]，Shanghai，2004，15.

[5] 董瀚. 钢铁材料研发的技术发展 [J]. 中国冶金，2008，18(10)：2－7.

[6] 常跃峰，王祖滨，赵文忠. 低合金高强度宽厚钢板的发展趋势 [J]. 钢铁，2007，42(8)：1－6.

[7] GB/T 1591—2008，低合金高强度结构钢 [S].

[8] GB 9446—1988，焊接用插销冷裂纹试验方法 [S].

[9] GB/T 24186—2009，工程机械用高强度耐磨钢板 [S].

[10] GB 4675.1—1984，焊接性试验斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法 [S].

(上接第31页)

参 考 文 献

[1] EN 13674.1—2011，46kg/m 及以上 T 型钢轨 [S].

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

[3] 智建国，刘平，李仙华. UIC54 钢轨用 900A 钢的研制 [J]. 炼钢，2003，19(5)：22.

[4] DIN 50602—1985，钢中氧化物洁净度检验标准 [S].

中国知网 https://www.cnki.net