包钢出口孟加拉R320Cr钢轨生产技术研究*

王嘉伟[1],赵桂英[1],谌智勇[2],李永强[3],潘雪松[4]

(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. 内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁厂,内蒙古 包头 014010;
4. 包钢(集团)国际经济贸易有限公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: R320Cr钢是欧洲铁路标准中可用于生产重载铁路用轨的重轨钢种,主要技术指标包括:抗拉强度≥1 080 MPa,延伸率≥9%,踏面中心硬度(HB)范围320~360。通过实验室研究,确定了R320Cr钢轨冶炼成分范围、生产工艺及各工序操作要点,工业生产的R320Cr钢轨各项技术指标满足标准技术要求。

关键词: R320Cr钢轨; 冶炼; 轧制
中图分类号: U213.4 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)04-0059-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.04.015

Research on Production Technology of R320Cr Rail Exported to Bangladesh by Baotou Steel

Wang Jia-wei[1], *Zhao Gui-ying*[1], *Chen Zhi-yong*[2],
Li Yong-qiang[3], *Pan Xue-song*[4]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Rail and Beam Rolling Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
4. *International Economic and Trade Co., Ltd. of Baotou Iron & Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The R320Cr steel is a heavy rail steel grade that can be used to produce heavy haul railway rail according to the European Railway Standards. Its main technical indexes include tensile strength ≥1 080 MPa, elongation ≥9%, range for hardness of tread center(HB) is 320~360. Its smelting composition range, production technology and operating points of each process are determined through the laboratory researches as well as its technical indexes in industrial production could meet the technical requirements of standard.

Key words: R320Cr rail; smelting; rolling

* **收稿日期**: 2021-06-23
作者简介: 王嘉伟(1988-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事钢轨研发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

我国提出“一带一路”等战略方针将中国高速铁路技术推广至世界各国，孟加拉作为“一带一路”项目重点区域国家积极与我国交流合作修建铁路，其中帕德玛大桥铁路连接线项目是孟加拉政府十大重点项目之一，项目建成后可极大的改善孟加拉国西部和西南部的交通状况，带动社会经济发展。项目中提出使用欧标 R320Cr 钢轨作为铁路建设用钢轨，按照孟加拉用户采购技术要求，项目组采用实验室研究与工业试验相结合的研究方法，针对欧标 R320Cr 钢轨的冶炼工艺、加热工艺、轧制工艺等进行系统研究，在现有重轨生产装备的基础上，通过细化成分范围和优化生产工艺，使生产的钢轨性能满足欧标 EN 13674.1—2011[1] 技术要求，圆满完成钢轨生产和供货任务。

1 钢种内控成分范围的确定

1.1 小炉试验

R320Cr 钢轨是在 C、Mn 钢轨的基础上加入 Cr 合金元素以达到提高钢轨性能，合金元素的加入使钢的连续冷却转变曲线右移，造成珠光体转变在更低的温度下完成，减小了珠光体片层间距，从而提高钢轨的强度和硬度，改善钢轨的耐磨性。R320Cr 钢轨标准化学成分范围见表 1，钢轨力学性能指标见表 2。

表 1 R320Cr 钢轨化学成分范围（质量分数） %

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.60～0.80	0.50～1.10	0.80～1.20	≤0.020	≤0.025	0.80～1.20

表 2 R320Cr 钢轨力学性能指标

抗拉强度/MPa	延伸率/%	踏面硬度 HBW
≥1 080	≥9	320～360

根据欧标技术要求设计的钢种成分范围，在技术中心中试基地进行冶炼及轧制试验，采用 100 kg 冶炼炉进行冶炼及浇铸，100 kg 钢锭轧制后压缩比达到实际生产（9∶1）的压缩比，与重轨钢压缩比相近。小炉试验流程：将炉料放入冶炼炉内，待炉料熔化后按表 1 中的成分范围加入合金元素和脱氧剂，浇铸钢锭并放置冷却，钢锭冷却后放入加热炉加热 4 h，加热温度 1 200 ℃。加热结束后放入热轧试验机进行轧制，开轧温度 1 150 ℃左右，终轧温度 950 ℃左右，轧制 9 道次，轧制成 20 mm 厚板材，检验化学成分和力学性能，小炉试验检验结果见表 3。

表 3 R320Cr 钢轨小炉试验钢

编号	化学成分（质量分数）/%						抗拉强度/MPa	延伸率/%	硬度 HBW
	C	Si	Mn	Cr	P	S			
27#	0.75	0.84	1.04	0.85	0.012	0.004	1 148	12.5	335
28#	0.74	0.76	1.01	0.92	0.008	0.002	1 123	10.5	341
75#	0.72	0.82	0.97	0.94	0.011	0.004	1 164	10.5	337

由表 3 检验结果分析，试验钢力学性能全部满足欧标 EN 13674.1—2011 标准技术要求，制定内控成分范围见表 4。

表 4 R320Cr 钢轨内控成分范围（质量分数） %

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.70～0.80	0.70～0.90	0.90～1.10	≤0.025	≤0.025	0.80～0.95

1.2 钢种 CCT 曲线测定

CCT 曲线是制定钢的热处理工艺的重要依据。将试样加热至 800 ℃奥氏体化，保温 10 min 并以 5 ℃/s、2 ℃/s、1.5 ℃/s、1 ℃/s、0.8 ℃/s、0.6 ℃/s、0.5 ℃/s、0.1 ℃/s 的冷却速度进行连续冷却，测得 R320Cr 钢轨 CCT 曲线如图 1 所示。

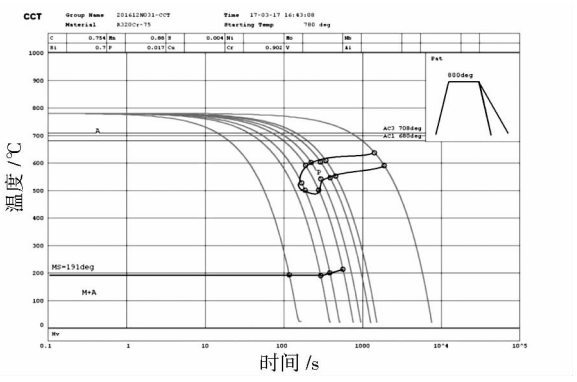


图 1 R320Cr 钢轨 CCT 曲线

中国知网 https://www.cnki.net

由图 1 可见，R320Cr 钢轨冷却速度从左到右依次是：5 ℃/s、2 ℃/s、1.5 ℃/s、1 ℃/s、0.8 ℃/s、0.6 ℃/s、0.5 ℃/s、0.1 ℃/s。根据 CCT 曲线图和金相照片得出 R320Cr 钢轨的珠光体转变的临界冷却速度为 0.8 ℃/s，冷却速度不高于 0.8 ℃/s 时，金相组织为珠光体，不会出现马氏体，珠光体转变开始温度 600 ℃，珠光体转变终止温度 550 ℃。当冷却速度不低于 0.8 ℃/s 时，开始出现马氏体。R320Cr 钢轨工业生产时，钢轨轧制结束后应缓慢冷却，避免出现马氏体等异常组织。

2　工业生产

2.1　工艺流程和技术难点

R320Cr 钢轨工业生产的工艺流程是：铁水预处理 KR 脱硫→150 t 顶底复吹转炉→LF + VD 精炼→6 机 6 流 280 mm × 380 mm R12 弧形大方坯连铸→步进炉加热→万能轧机轧制→冷床冷却预弯→矫直→探伤→加工→检查入库。

R320Cr 钢轨生产过程存在以下技术难点：

(1) R320Cr 钢轨夹杂物检验采用欧洲标准 EN 13674.1—2011，因此需要严格控制钢中夹杂物的数量和大小，保证氧化物洁净度检验 K3 < 10[2]。

(2) R320Cr 钢轨高 Cr 高 C，铸坯裂纹敏感性高，连铸过程需要二冷段采用弱冷配水，控制过热度和拉坯速度，防止连铸过程铸坯开裂。钢坯切定尺后放入缓冷坑缓冷，使钢坯中的氢和内应力充分释放。

(3) R320Cr 钢轨要求 w[Al] ≤0.004%，在一般合金中都含有一定量的 Al，这对于 w[Cr] 0.8% ~1.2% 的钢种来说难度很大，给生产过程带来较大挑战，需要控制原材料中 Al 含量，采用无铝脱氧。

(4) R320Cr 钢轨 Cr 含量高，需要制定合理的加热制度，防止钢轨在轧制过程中钢坯开裂。

2.2　生产情况

转炉冶炼采用经过脱硫预处理的铁水，出钢 w[C] ≥0.08%，出钢温度不低于 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 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，过热度不高于 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 3 套轧机进行轧制，共轧制 13 道次，开轧温度 1 150 ℃，终轧温度 935 ℃，终轧结束后钢轨进入冷床冷却，钢轨冷却至室温后进行矫直和超声波探伤，最终进入钢轨加工线锯切定尺。此次生产共计冶炼 R320Cr 钢轨 43 炉。

3　成品钢轨性能检验结果

3.1　力学性能检验

依据欧标 EN 13674.1—2011 标准技术要求，钢轨检验抗拉强度和硬度，力学性能检验结果见表 5。

表 5　R320Cr 钢轨力学性能

项目	R_m/MPa	A/%	HBW
最大值	1 176	13.5	337
最小值	1 124	9.0	321
平均值	1 148	10.5	331
EN 13674.1—2011	≥1 080	≥9.0	320 ~ 360

由表 5 检验结果可见，R320Cr 钢轨力学性能均符合标准技术要求，钢轨硬度波动范围较小，稳定性较高，硬度分布见图 2。

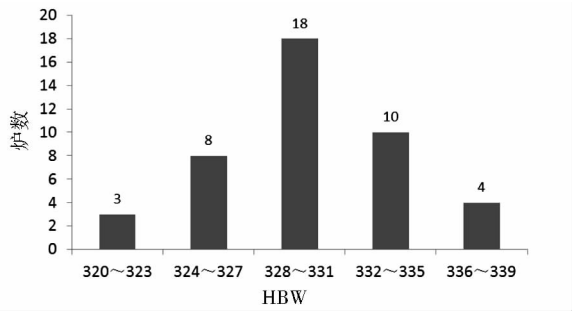


图 2　R320Cr 钢轨硬度分布图

3.2　金相检验

根据欧标 EN13674.1—2011 标准要求，对 R320Cr 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，脱碳层检验最大值为 0.32 mm，氧化物洁净度检验 K3 值为 8.92，检验结果均满足标准技术要求，金相组织和脱碳层照片见图 3。

中国知网　https://www.cnki.net

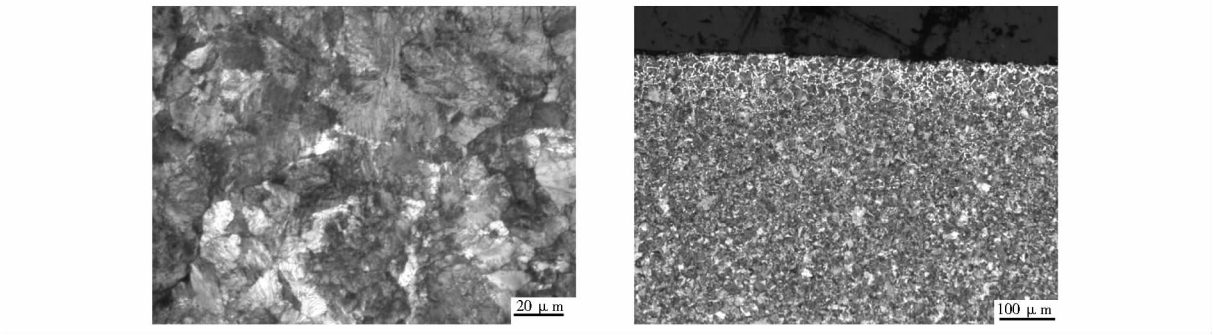


图3 R320Cr钢轨金相组织照片(左)脱碳层照片(右)

3.3 外型尺寸、低倍和超声波探伤检验

钢轨全部进行矫直和探伤,矫直后尺寸检查全部符合EN 13674.1—2011中60E1钢轨断面尺寸和平直度要求,全部炉次成品钢轨的低倍检验中均未发现白点及超限的缩孔、内裂、非金属夹杂物、翻皮、分层等缺陷。钢轨超声波探伤检测正常,未发现钢轨有内部缺陷。钢轨低倍照片见图4。



图4 R320Cr钢轨低倍照片

4 结论

(1)工业生产采用实验室小炉试验确定的成分范围,生产出的R320Cr钢轨各项性能指标完全符合EN 13674.1—2011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,钢轨的氧化物洁净度检验K3 < 10,达到标准要求。

参 考 文 献

[1] EN 13674.1—2011,欧洲铁路用钢轨标准[S].

[2] DIN 50602—1985,钢中氧化物洁净度检验标准[S].

中国知网 https://www.cnki.net