

履带链轨节用 35MnB 圆钢生产实践

薛伟江 王 军 查亚鑫 安金敏
(江苏永钢集团有限公司, 张家港 215628)

摘 要 采用 60 t BOF-LF-VD-220 mm × 220 mm CC-轧制工艺流程成功试制履带链轨节用 Φ50 mm 35MnB 圆钢(0.35% C, 0.28% Si, 1.25% Mn, 0.002 0% B, 0.030% Ti)。通过优化 BOF 出钢 [C] ≥ 0.10% 和 [P] ≤ 0.015%, 精炼渣碱度(R) 3.87 ~ 5.73, 软吹时间 ≥ 15 min, 中间包钢水过热度 20 ~ 32 °C, 轧制加热温度 1 100 ~ 1 200 °C, 开轧温度 1 000 ~ 1 070 °C, 终轧温度 ≥ 850 °C 等工艺技术参数, 35MnB 成品钢材氧含量 ≤ 15 × 10⁻⁶, 氮含量 ≤ 50 × 10⁻⁶, 低倍组织和非金属夹杂物均 ≤ 1.5 级, 淬透性 J1.5 HRC: 53 ~ 55, J19 HRC: 34 ~ 38, 抗拉强度 960 ~ 1 050 MPa, 屈服强度 765 ~ 810 MPa, 冲击功 80 ~ 100 J, 各项性能指标均满足要求。

关键词 履带链轨节 35MnB 钢 淬透性 强度 冲击功

Production Practice of 35MnB Round Steel for Track Link

Xue Weijiang, Wang Jun, ZhaYaxin and An Jinmin
(Jiang Su Yong Gang Group Co Ltd, Zhangjiagang 215628)

Abstract Φ50 mm 35MnB steel bar (0.35% C, 0.28% Si, 1.25% Mn, 0.002 0% B, 0.030% Ti) for track link is produced by 60 t BOF-LF-VD-220 mm × 220 mm CC-rolling process. By optimizing the technical parameters of BOF tapping, including [C] ≥ 0.10% and [P] ≤ 0.015%, basicity of refining slag R = 3.87 ~ 5.73, soft blowing time for ≥ 15 min, 20 ~ 32 °C superheat of tundish liquid, rolling heating temperature at 1 100 ~ 1 200 °C, starting rolling at 1 000 ~ 1 070 °C, and finishing rolling at ≥ 850 °C, of the finished 35MnB steel bar, the [O] ≤ 15 × 10⁻⁶, [N] ≤ 50 × 10⁻⁶, rating of macrostructure and nonmetal inclusion ≤ 1.5, hardenability J1.5 HRC number: 53 ~ 55, J19 HRC number: 34 ~ 38, TS 960 ~ 1 050 MPa, YS 765 ~ 810 MPa, IE 80 ~ 100 J, to meet the requirement of each performance index.

Material Index Track Link, 35MnB Steel, Hardenability, Strength, Impact energy

35MnB 钢主要作为工程机械履带链轨节用钢, 链轨节作用是连接履带板和传递动力, 在工作过程中承受周期性应力, 要求具有良好的强韧性和耐磨性^[1-3]。下游用户采用锻造→调质→机加工→表面淬火加工链轨节, 对链轨节用 35MnB 圆钢的化学成分、纯净度、淬透性及力学性能等提出很高要求, 同时随着履带式工程机械大型化, 对链轨节用 35MnB 钢材提出更高的质量要求。

本研究在现有 35MnB 钢的基础上, 通过优化成分设计, 加强冶炼过程对夹杂物和偏析的控制, 并选择适合的轧制工艺, 生产的 35MnB 圆钢质量达到行业较高水平, 很好地满足用户对产品的需求。

1 工业试制

3 5 MnB 圆钢试制工艺流程: 60 t BOF → LF

精炼→VD 真空脱气→连铸(220 mm × 220 mm)→缓冷→铸坯加热→轧制(Φ50 mm)→分段→避风堆冷→精整→检验→入库。

1.1 化学成分设计

为满足钢材力学性能、淬透性以及细化晶粒的要求, 根据 C、Mn、Cr、B 元素对力学性能和淬透性的影响^[4], 以及 Ti、Al 微合金元素对晶粒细化的作用, 本研究中 C、Mn、Cr、B 按照中线控制, 同时增加适量 Ti 和 Al, 35MnB 钢的化学成分如表 1 所示。另外, 严格控制 P、S 含量, 有效地消除铸坯热裂纹敏感性^[5]。

1.2 冶炼工艺

60 t 转炉采用优质废钢和低 P、S 含量铁水, 铁水比 ≥ 80%, 减少有害残余元素的影响。出钢 C 控制目标 ≥ 0.10%, 降低钢水的初始氧含量, 出钢 P 控

表 1 35MnB 钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of 35MnB steel/%

项目	C	Si	Mn	P	S	B	Ti	Al
标准	0.32 ~ 0.36	0.15 ~ 0.30	1.00 ~ 1.40	≤ 0.025	≤ 0.025	0.000 5 ~ 0.003 0	≤ 0.060	0.015 ~ 0.030
成品	0.35	0.28	1.25	0.015	0.010	0.0020	0.030	0.025

表 2 精炼渣的成分
Table 2 Ingredient of refining slag

渣成分 / %				碱度(R)
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	
53 ~ 58	10 ~ 15	20 ~ 25	3 ~ 4	3.87 ~ 5.73

制目标 $\leq 0.015\%$, 出钢温度控制 $\geq 1\ 600\ ^\circ\text{C}$ 。出钢时采用挡渣塞与滑板挡渣, 严格控制下氧化渣。出钢过程在钢包中加入铝锭 30 ~ 50 kg、硅锰合金 300 ~ 350 kg 进行预脱氧, 加入石灰和预熔渣造碱性渣, 为精炼脱氧和夹杂物吸附创造良好的条件。

LF 精炼前期快速升温化渣, 合理控制氩气搅拌强度和精炼渣系, 根据钢包渣况加入石灰或精炼渣进行调节, 并保证白渣时间 $\geq 15\text{min}$ 。精炼渣成分以 CaO、SiO₂ 和 Al₂O₃ 为主, 控制精炼渣碱度(R): 3.87 ~ 5.73, 精炼渣成分见表 2。采用硅铁粉和碳化硅进行扩散脱氧, 喂入铝线进行沉淀脱氧, 同时配合适宜的氩气搅拌, 促使钢中夹杂物充分上浮和俘获, 从而保证钢水的纯净度达到理想状态。精炼过程重点控制钢水的温度和精炼渣的流动性, 为真空脱气处理提供保障。

VD 真空过程进行脱气处理, 高真空度 $\leq 67\text{ Pa}$, 高真空时间 $\geq 10\text{ min}$, 钢中 $[\text{H}] \leq 1.5 \times 10^{-6}$; 重点关注温降速率和氩气搅拌强度, 防止温度变化对精炼渣性能产生不利影响, 并控制精炼渣溢出。根据 $\text{Al} \rightarrow \text{Ti} \rightarrow \text{B}$ 元素合金化的思路^[8], 破空后喂入适量铝线, 保证钢中 Al 含量 0.020% ~ 0.025%, 再喂入部分钛铁线, 固定钢水中的氮元素, 然后喂入硼铁线进行合金化, 最后钙处理。破空软吹时间 $\geq 15\text{ min}$, 及时加入碳化稻壳保温, 并禁止大氩气搅拌(软吹流量 10 ~ 15 L/min), 防止钢液面裸露氧化。

1.3 连铸工艺

连铸全程保护浇注, 钢包使用长水口, 中间包使用浸入式水口, 防止连铸过程钢水的二次氧化。采用结晶器(400 A/2Hz) 和末端电磁搅拌(250 A/10Hz) 的方式, 并实现低过热度浇注, 中间包过热度控制在 20 ~ 32 $^\circ\text{C}$, 防止铸坯的柱状晶粗大, 增加铸坯的等轴晶比例, 从而有效改善铸坯疏松和偏析。选用专用的结晶器保护渣, 拉速稳定在 1.0 m/min, 设定合适的二冷配水 25 ~ 45 L/min, 保证铸坯冷却均匀, 提高铸坯表面质量。铸坯入坑缓冷, 缓冷时间 $\geq 36\text{ h}$ 。

1.4 轧制工艺

为控制成品圆钢的热轧晶粒尺寸, 铸坯采用中温加热的方式, 加热温度 1 100 ~ 1 200 $^\circ\text{C}$, 加热时间

2.5 ~ 4.0 h。开轧温度控制在 1 000 ~ 1 070 $^\circ\text{C}$, 终轧温度 $\geq 850\text{ }^\circ\text{C}$, 上冷床温度 750 ~ 850 $^\circ\text{C}$ 。轧制前检查轧槽、导卫、辊道, 防止圆钢表面划伤; 轧制过程关注各道次料型尺寸, 防止出现划伤、折叠、耳子等表面缺陷。轧制后圆钢避风堆冷, 防止圆钢冷却过快。根据圆钢外形和表面质量情况, 进行矫直、倒角和修磨处理, 确保圆钢表面状态满足使用要求。

2 产品实物质量

2.1 化学成分

冶炼过程按照窄成分控制思路, 并加强冶炼过程氧氮含量的去除。钢中化学成分控制在中线范围内如表 1 所示, C 含量波动范围 $\pm 0.01\%$, 合金含量波动范围 $\pm 0.03\%$; 钢中 $\text{P} \leq 0.015\%$ 、 $\text{S} \leq 0.010\%$, 其它残余元素含量达到很低水平; 成品氧含量控制 $\leq 15 \times 10^{-6}$, 氮含量控制 $\leq 50 \times 10^{-6}$, 均满足技术标准要求。

2.2 低倍组织

连铸过程采用结晶器和末端电磁搅拌相结合的方式, 且低过热度浇注, 同时保证圆钢轧制比 ≥ 10 , 从而确保圆钢的疏松和偏析达到理想状态。在圆钢酸浸横截面试片上, 未发现有缩孔、裂纹、翻皮、皮下气泡、晶间裂纹等缺陷, 一般疏松、中心疏松、偏析均控制 ≤ 1.0 级。

2.3 非金属夹杂物

精炼过程中加强脱氧操作, VD 破空后保证软吹效果, 促使钢中夹杂物充分的上浮并被吸附; 连铸全程保护浇注, 减少钢水的二次氧化, 综合的操作控制方式保证了钢水的纯净度。按照 GB/T 10561-2005 标准 A 法检测非金属夹杂物, 实测结果: A 类、C 类、D 类均 ≤ 1.0 级, B 类和 D_s 均 ≤ 1.5 级, 满足标准要求。

2.4 末端淬透性

按照 GB/T 225-2006 标准在圆钢上取样检验淬透性, 热处理制度: 正火(880 ± 10) $^\circ\text{C}$ (空冷), 淬火(860 ± 5) $^\circ\text{C}$ (水冷), 淬透性实测结果见表 3, 满足标准要求。

2.5 力学性能

按照 GB/T 2975-2018 标准制取 $\Phi 25\text{ mm}$ 纵向拉

表 3 35MnB 钢淬透性(HRC 硬度值)
Table 3 Hardenability of 35MnB steel (HRC hardness number)

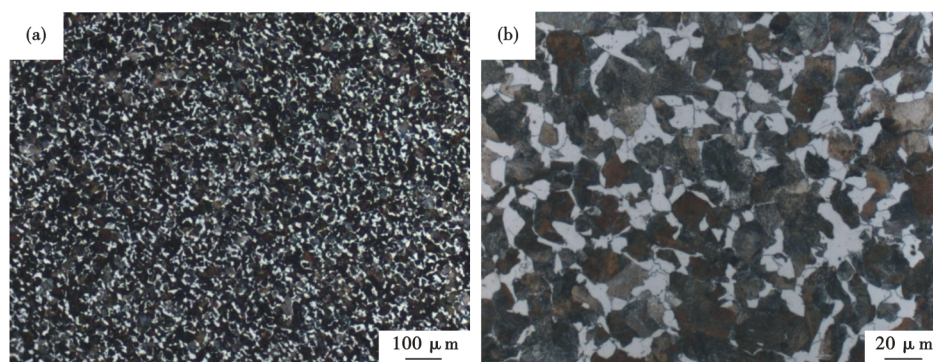
项目	J1.5	J8	J15	J19
标准	51 ~ 58	48 ~ 55	收集	33 ~ 43
实测	53 ~ 55	51 ~ 54	46 ~ 50	34 ~ 38

表 4 $\Phi 50$ mm 35MnB 钢力学性能Table 4 Mechanical properties of $\Phi 50$ mm 35MnB steel

项目	R _m /MPa	ReL/MPa	A/%	Z/%	A _{KU₂} /J
标准	≥931	≥748	≥10	≥45	≥50
实测	960~1050	765~810	10~12	48~52	80~100

表 5 $\Phi 50$ mm 35MnB 钢布氏硬度实测值 (HBW10/3000)Table 5 Measured value of brinell hardness number of $\Phi 50$ mm 35MnB steel (HBW10/3000)

试样	心部	1/2R 处	边部	平均
1 [#]	207.1	210.9	204.8	207.6
2 [#]	203.8	208.8	202.8	205.1
3 [#]	206.6	211.5	203.8	207.3
4 [#]	206.5	217.0	206.5	210.0
5 [#]	206.5	213.5	205.4	208.5
6 [#]	206.1	213.6	197	205.6
标准	—	—	—	≤240

图 1 $\Phi 50$ mm 35MnB 钢热轧材 1/2R 的组织 (a) 100X; (b) 500XFig. 1 Structure of $\Phi 50$ mm 35MnB steel hot rolled product at 1/2R (a) 100X (b) 500X

伸试样以及标准冲击试样后,经过规定的热处理,钢材力学性能实测值见表 4,性能指标满足要求,钢材的强韧性良好。试样热处理制度:淬火 (850 ± 10) $^{\circ}\text{C}$ (油淬) + 回火 (550 ± 10) $^{\circ}\text{C}$ (水冷)。

2.6 布氏硬度

按照 GB/T 231.1-2018 标准检测圆钢布氏硬度,圆钢横截面的实测结果见表 5,满足使用要求。

2.7 热轧晶粒度及脱碳层

钢中增加 Ti、Al 等细化晶粒的元素,且实行中温加热制度,并保证一定的轧制比,实测热轧晶粒度 8.0~9.0 级(图 1),更好地提升钢材的韧性指标。脱碳主要在铸坯加热过程产生,加热时按照中温控制,加热时间严格控制在合理范围内,圆钢实测总脱碳层 0.30~0.40 mm,满足使用要求。

2.8 塔形发纹

发纹是指钢中塑性夹杂物、气孔或耐火材料等在轧制或锻造过程沿着变形方向延伸形成的小裂纹,如果切削加工过程使得裂纹暴露在钢材表面,在零件热处理过程会以这些裂纹作为起裂源,对钢材的性能危害很大^[8]。在冶炼过程中严格控制夹杂物、气体含量及皮下气泡等,轧制过程保证足够的轧制比,圆钢的塔形发纹基本为零,均满足使用要求。

3 结论

通过优化现有 35MnB 钢的化学成分,保证钢材淬透性要求,同时也为细化晶粒提供条件。在冶炼、连铸和轧制各关键工序,严格控制工艺过程参数,保

证圆钢的低倍、非金属夹杂物、淬透性、力学性能、晶粒度、脱碳层等指标满足标准要求,其中非金属夹杂物均≤1.5 级,淬透性 J1.5 位置 53~55 HRC, J19 位置 34~38 HRC,抗拉强度 960~1050 MPa,屈服强度 765~810 MPa,冲击功 80~100 J,用户使用反馈良好。

参考文献

- [1] 齐欣,李艾,朱志欣,等.履带链轨节用 35MnBM 的研制[J].特殊钢,2003,24(6):48-49.
- [2] 周彦,陈林,薛虎东.35MnBH 工程机械用钢试制[J].包钢科技,2014,40(5):40-43.
- [3] 陈小龙.微量 Cr 元素对 35MnB 履带链轨节钢淬透性的影响[J].四川冶金,2004,36(2):17-18.
- [4] 周从惠,邹建国,安钢,等.35MnBM 钢 350 mm×470 mm 连铸坯的试制[J].特殊钢,2003,24(1):45-46.
- [5] 袁淑君,戈文英,欧阳嵘荣,等.链轨节用 35MnBM 钢的开发生产实践[J].山东冶金,2016,38(2):13-15.
- [6] 李强,朱林林,刘金池,等.工程机械履带用钢 35MnBM 塔型发纹的研究与控制[J].特钢技术,2019,25(2):48-51.

薛伟江(1988-),男,硕士(2013 年东南大学),工程师,2011 年华北水利水电学院(本科)毕业,特殊钢开发和研究。

E-mail: Xueweijiang_1988@163.com

收稿日期:2021-04-26