

铸轧辊套用 Φ700 mm 32Cr3Mo1V 钢连铸圆坯生产实践

李刚 单文瑞 许民 陈树军 张旭辉
(江苏永钢集团有限公司特钢事业部, 张家港 215628)

摘要 32Cr3Mo1V 钢($\% : 0.33 \sim 0.36C, 0.20 \sim 0.50Mn, 0.20 \sim 0.40Si, 3.00 \sim 3.20Cr, 0.30 \sim 0.45Ni, 1.00 \sim 1.20Mo, 0.19 \sim 0.22V, \leq 0.008P, \leq 0.005S, \leq 0.10Cu, \leq 0.01Al$) 连铸圆坯生产工艺为 110 t 电弧炉-LF-VD-Φ700 mm 坯连铸。控制电弧炉出钢终点 $[C] \geq 0.08\%$ 、 $[P] \leq 0.004\%$, LF 精炼终点渣 ($\% : 50 \sim 60CaO, 10 \sim 15SiO_2, 15 \sim 25Al_2O_3, \leq 6MgO, \Sigma FeO + MnO \leq 0.8\%$), VD 后 $[H] \leq 1.3 \times 10^{-6}$, 连铸全程保护浇铸, 采用拉速 0.2 m/min, 过热度稳定控制在 18 ~ 30 °C, 使用结晶器、铸流、末端电磁搅拌等工艺措施成功生产 Φ700 mm 32Cr3Mo1V 钢连铸圆坯。结果表明, 连铸圆坯表面质量良好, 中心疏松 1.0 级、缩孔 ≤ 1.5 级、中心裂纹 ≤ 1.5 级, 中心缺陷大小低于 100 mm, 满足协议标准要求。

关键词 32Cr3Mo1V 钢 铸轧辊套用钢 Φ700 mm 连铸圆坯 110 t EAF-LF-VD-CC 生产实践

Production Practice of Φ700mm CC Round Bloom of Steel 32Cr3Mo1V for Casting Roll Shell

Li Gang, Shan Wenrui, Xu Min, Chen Shujun and Zhang Xuhui
(Jiangsu Yonggang Group Co Ltd, Special Steel plant, Zhangjiagang 215628)

Abstract The production process of steel 32Cr3Mo1V round bloom ($\% : 0.33 \sim 0.36C, 0.20 \sim 0.50Mn, 0.20 \sim 0.40Si, 3.00 \sim 3.20Cr, 0.30 \sim 0.45Ni, 1.00 \sim 1.20Mo, 0.19 \sim 0.22V, \leq 0.008P, \leq 0.005S, \leq 0.10Cu, \leq 0.01Al$) is 110 t EAF-LF-VD-Φ700 mm round bloom CC. With control of EAF end $[C] \geq 0.08\%$ and $[P] \leq 0.004\%$, LF end slag/ $\% : 50 \sim 60CaO, 10 \sim 15SiO_2, 15 \sim 25Al_2O_3, \leq 6MgO, \Sigma FeO + MnO \leq 0.8\%$, after VD $[H] \leq 1.3 \times 10^{-6}$, bloom whole CC process shield casting, casting speed 0.2 m/min, superheating temperature controlled in 18 ~ 30 °C, using M-EMS, S-EMS, F-EMS etc technological measures, the Φ700 mm CC round bloom of 32Cr3Mo1V has been successfully produced. The results show that the surface quality of round bloom is fine with rating of center porosity 1.0, centerline shrinkage ≤ 1.5 , centerline crack ≤ 1.5 , and center defect size less than 100 mm all to meet the requirements of standard.

Material Index Steel 32Cr3Mo1V, Casting Roll Shell Steel, Φ700 mm CC Round Bloom, 110 t EAF-LF-VD-CC, Production Practice

32Cr3Mo1V 钢综合机械性能良好, 具有纯净度高、抗热疲劳性能强、导热性能好等优点^[1-2], 是铝铸轧工业中铸轧辊套的主要材料^[3]。与模铸工艺相比, 连铸生产工艺简化了生产工序, 缩短了生产流程, 减少金属损失, 提高了钢水收得率, 降低了能源消耗, 提高了生产过程中机械化、自动化水平^[4-6]。因辊套工作面要求较高(硬度差异不得超过 10HB)且本次生产连铸圆坯规格较大(Φ700 mm)^[7-8], 成分及连铸坯中心质量控制是连铸生产试制的难点及重点。

1 工艺流程与化学成分

特钢一分厂拥有一台 110 t 超高功率电弧炉, 采用炉壁碳氧枪, 炉门水冷氧枪供气, 偏心炉底出钢, 2 台 120 t LF 精炼炉, 平均升温速度 5 °C/min, 1 台 120 t 双工位 VD 真空脱气炉, 采用三级真空泵, 高

真空压力可达 ≤ 67 Pa, 配备国内最大弧形合金钢圆坯连铸机, 连铸机主要参数如表 1 所示。

铸轧辊套用 32Cr3Mo1V 钢连铸圆坯生产工艺流程为: 110 t 电弧炉 → LF → VD → 连铸 → 退火 → 检验 → 称重 → 标记 → 入库。本次生产 Φ700 mm 铸轧辊套用 32Cr3Mo1V 钢铸坯共 2 炉。

表 1 圆坯连铸机参数
Table 1 Parameters of round bloom caster

项目	参数
铸机流数	4
弧形半径/m	17
圆坯主要断面直径/mm	Φ380、Φ500、Φ600、Φ700、Φ800
钢包容量/t	110
中间包容量/t	40
结晶器铜管长度/mm	780, 带二排足辊
二冷系统	1 区全水冷却, 2~3 区气雾冷却
最大冶金长度/m	43
拉速/(m · min ⁻¹)	0.2 ~ 1

表 2 32Cr3Mo1V 钢标准化学成分/%
Table 2 Standard chemical composition of steel 32Cr3Mo1V /%

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	P	S	Cu	Al
0.33~0.36	0.20~0.50	0.20~0.40	3.00~3.20	0.30~0.45	1.00~1.20	0.19~0.22	≤0.008	≤0.005	≤0.10	≤0.01

表 3 32Cr3Mo1V 钢五害元素和气体标准含量/%
Table 3 Standard content of five pollution elements and gases in steel 32Cr3Mo1V /%

Pb	Sb	As	Bi	Sn	H	O	N
≤0.002	≤0.003	≤0.008	≤0.005	≤0.008	≤0.00013	≤0.0025	≤0.0075

32Cr3Mo1V 钢标准成分及五害元素和气体标准含量要求如表 2 和表 3 所示。

2 工艺过程

2.1 电弧炉冶炼

电弧炉冶炼采用热装高炉铁水 80%，废钢 20%。运用电弧炉冶炼数据分析预报模型，可将电弧炉出钢终点控制目标为 [C] ≥ 0.08%，目标 0.10% ~ 0.20%、[P] ≤ 0.004%、出钢温度 ≥ 1 610 °C 的命中率达到 95% 以上。在出钢过程中按 1 kg/t 加入大铝块脱氧，采用偏心炉底出钢，留钢 15 ~ 20 t。

表 4 LF 精炼终点渣样成分和碱度
Table 4 LF end slag ingredient and basicity

炉号	渣样成分/%										碱度(R)
	CaO	SiO ₂	P	ΣFeO	TFe	S	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	TiO ₂	
18E107129	57.87	13.56	0.004	0.33	0.23	0.34	19.16	0.05	5.83	0.148	4.27
18E107130	56.95	12.69	0.005	0.44	0.31	0.51	21.92	0.08	4.84	0.132	4.49

2.4 连铸过程

连铸过程全程采用保护浇铸，通过钢包到中间包采用大包长水口并通氩气保护、中间包吹氩等方式，确保钢液增 N < 1 × 10⁻⁶，氧含量增加 < 9 × 10⁻⁶。

浇铸过程，结晶器液面采用涡流式液位检测加

2.2 LF 精炼过程

LF 精炼过程主要是造高碱度白渣对钢水进行深脱氧处理。LF 前期钢水进站强吹化渣与合金化，通过喂入铝线，利用还原气氛吹氩强搅拌进行渣面脱氧和沉淀脱氧。LF 中后期主要采用渣面脱氧。渣面脱氧使用硅铁粉和复合碳化硅，复合碳化硅分三次加入，使用量约为 1.4 kg/t。LF 精炼造白渣时间 ≥ 20 min，LF 精炼终渣渣样成分及渣样如表 4 与图 1(a) 所示。

2.3 VD 过程

VD 高真空 (≤ 67 Pa) 保持时间应 ≥ 15 min，破空后测温、取样、定氢，VD 真空后氢含量 ≤ 1.3 × 10⁻⁶。钢水中喂入硅钙线进行钙处理。软吹时间应 ≥ 20 min，软吹时应以保证渣面明显波动而钢液不裸露为原则。VD 过程参数如表 5 所示。VD 破空后渣样及渣样成分如图 1(b) 和表 6 所示。

表 5 VD 过程参数
Table 5 Parameters of VD process

炉号	真空时间/min	高真空时间/min	软吹时间/min	氢含量/×10 ⁻⁶
18E107129	27	20	63	0.95
18E107130	27	19	4	0.81

塞棒闭环控制，实现液面波动范围 ± 2 mm，钢水过热度 18 ~ 30 °C，为避免连铸坯进入拉矫机时由于变形抗力过大，导致设备损坏，故设置拉速恒定为 0.2 m/min。

为控制连铸坯中心缺陷及成分偏析，连铸采用较弱的二冷水并使用结晶器、铸流及末端电磁搅拌，减小柱状晶区，使等轴晶区增大，从而细化

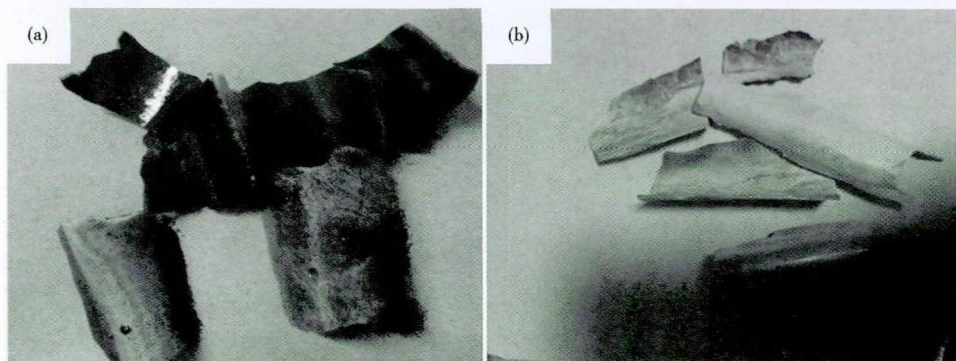


图 1 渣样照片:(a)LF 精炼终点渣样,(b)VD 破空渣样
Fig.1 Photograph of slag:(a) end slag of LF,(b) slag after VD

表 6 VD 破空渣样成分和碱度
Table 6 Slag ingredient and basicity after VD

炉号	渣样成分/%										碱度(R)
	CaO	SiO ₂	P	ΣFeO	TFe	S	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	TiO ₂	
18E107129	52.19	12.02	0.007	0.39	0.27	0.39	22.82	0.07	7.68	0.18	4.34
18E107130	53.88	14.35	0.005	0.30	0.22	0.30	20.73	0.06	7.09	0.17	3.75

表 7 电磁搅拌参数

Table 7 Parameters of electromagnetic stirring

结晶器电磁搅拌		铸流电磁搅拌		末端电磁搅拌	
电流/A	频率/Hz	电流/A	频率/Hz	电流/A	频率/Hz
300	2	200	8	1 000	4

表 8 32Cr3Mo1V 钢连铸坯化学成分/%

Table 8 Chemical composition of steel 32Cr3Mo1V casting round bloom/%

炉号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	P	S	Cu	Al
18E107129	0.34	0.37	0.25	3.11	0.37	1.03	0.20	0.006	0.002	0.02	0.008
18E107130	0.34	0.34	0.26	3.07	0.36	1.03	0.20	0.007	0.001	0.02	0.008
标准范围	0.33~0.36	0.20~0.50	0.20~0.40	3.00~3.20	0.30~0.45	1.00~1.20	0.19~0.22	≤0.008	≤0.005	≤0.10	≤0.01

3 生产结果及分析

3.1 化学成分

试生产 32Cr3Mo1V 钢连铸坯实测化学成分如表 8 所示,由表 8 中数据可知,连铸坯化学成分均较好地控制在标准范围之内。

3.2 连铸坯低倍组织及表面质量

连铸坯表面质量良好,表面无凹坑、结疤、皱纹等缺陷,连铸坯端面存在中心裂纹≤1.5 级。低倍样上无中间裂纹、皮下裂纹、皮下气泡等缺陷,部分低倍中心缩孔≤1.0 级或中心裂纹≤1.5 级,连铸坯低倍检验均符合技术协议要求,典型低倍照片见图 2。

4 结论

(1) 控制电弧炉出钢终点 $[C] \geq 0.08\%$ 、 $[P] \leq 0.004\%$, LF 精炼终点渣 ($\%$: 50 ~ 60CaO, 10 ~

晶粒,减小铸坯中心裂纹及缩孔,同时降低由于柱状晶发达导致钢水凝固过程中的成分偏析,电磁搅拌参数见表 7。连铸坯按定尺要求长度切割后,热装退火,经 870℃ 保温 24 h 后随炉冷却至 ≤150℃ 出炉。

15SiO₂, 15 ~ 25Al₂O₃, ≤6MgO, Σ FeO + MnO ≤ 0.8%), VD 后氢含量 $< 1.3 \times 10^{-6}$, 连铸全程保护浇铸并保证稳态浇铸,使用结晶器、铸流、末端电磁搅拌,32Cr3Mo1V 钢连铸圆坯化学成分及成分偏析满足协议标准要求。

(2) $\Phi 700$ mm 规格 32Cr3Mo1V 钢连铸圆坯表面无凹坑、结疤、皱纹等缺陷,低倍检验各项指标满足技术协议要求。

参考文献

- [1] 许志强, 张 沛, 杜风山. 铸轧辊表面裂纹的萌生及扩展机理[J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(3): 441-445.
- [2] 李春治. 铸轧辊套材料及热处理[J]. 热处理, 1995, 35(3): 39-41.
- [3] Haga T, Suzuki S. A High Speed Twin Roll Caster for Aluminum Alloy Strip[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 113(1): 291-295.
- [4] 干 勇, 仇圣桃, 萧泽强. 连续铸钢过程数学物理模拟[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001, 8-9.
- [5] 蔡开科. 连铸技术的进展(一)[J]. 炼钢, 2001, 17(1): 7-12.
- [6] 蔡开科. 连铸技术发展[J]. 山东冶金, 2004, 26(1): 1-9.
- [7] 段 雄, 李大云. 铸轧辊套的热结构耦合分析及疲劳寿命预测研究[J]. 机械设计与制造, 2009, 47(1): 137-139.
- [8] 蔡燮鳌, 承 江. 特殊钢的连铸[J]. 特殊钢, 2005, 26(3): 28-30.

李 刚(1983-), 男, 工程师, 特钢事业部副经理, 2005 年南京工业大学(本科)毕业, 特钢工艺研究及技术管理。
E-mail: 13962203531@139.com

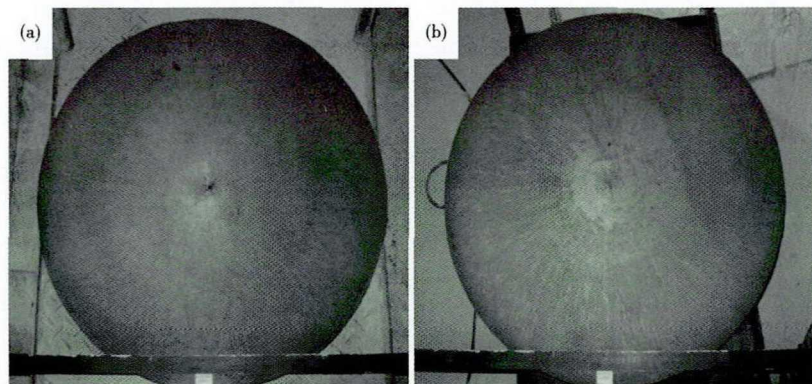


图 2 32Cr3Mo1V 钢连铸坯低倍照片, 炉号: (a) 18E107129; (b) 18E107130
Fig. 2 Macrostructure of steel 32Cr3Mo1V casting round bloom, heat No: (a) 18E107129; (b) 18E107130

收稿日期: 2019-08-29