

120 t BOF-LF-CC 流程生产 20CrMnTi 齿轮钢的工艺实践

丁礼权^{1,2} 范植金¹ 罗国华¹ 方德法² 龙莉¹

(武汉钢铁公司 1 研究院; 2 条材总厂, 武汉 430083)

摘 要 武钢条材总厂采用铁水脱硫-120 t BOF-LF-200 mm × 200 mm 方坯连铸-热轧工艺生产窄淬透性带 20CrMnTi 齿轮钢。生产结果表明,通过转炉高拉碳工艺,控制终点 [C] ≥ 0.08%, 出钢时加 0.8 kg/t 铝块预脱氧, 钢包吹氩喂氩喂铝线 150 m, LF 精炼时喂 0.4 kg/t 铝线和控制精炼渣碱度 3.0 ~ 4.0, 并采用精确调整合金成分, 氩封长水口连铸等工艺措施, 生产 122 炉 20CrMnTi 齿轮钢成分为 (%): 0.19 ~ 0.21C, 0.22 ~ 0.31Si, 0.85 ~ 1.04Mn, 1.01 ~ 1.19Cr, 0.04 ~ 0.09Ti, 0.02 ~ 0.06Cu; ≤ 24 × 10⁻⁶[O], ≤ 55 × 10⁻⁶[N]; 疏松和偏析级别均 ≤ 1.0, 晶粒度级别 ≥ 9.0; 淬透性带宽 ΔHRC ≤ 5.9, 满足标准要求。

关键词 20CrMnTi 齿轮钢 冶炼成分 窄淬透性带 晶粒度

Process Practice for Gear Steel 20CrMnTi Produced by 120 t BOF-LF-CC Flow Sheet

Ding Liqun^{1,2}, Fan Zhijin¹, Luo Guohua¹, Fang Defa² and Long Li¹

(1 Research and Development Institute, 2 Long Products General Plant, Wuhan Iron and Steel Co Ltd, Wuhan 430083)

Abstract The gear steel 20CrMnTi with narrow hardenability band is produced by hot metal desulphurizing-120 t BOF-LF-200 mm × 200 mm billet casting-hot rolling process at Long Products General Plant, Wuhan Iron and Steel. Production results show that with the process measures including using BOF catch carbon practice to control end [C] ≥ 0.08%, adding 0.8 kg/t aluminium during tapping for pre-deoxidizing, than argon blowing and feeding aluminium wire 150 m in ladle, during LF refining feeding 0.4 kg/t aluminium wire and controlling refining slag basicity 3.0 ~ 4.0, micro-adjusting alloying element content and argon shielding long nozzle casting process, the results of analysis of 122 heats gear steel 20CrMnTi are (%): 0.19 ~ 0.21C, 0.22 ~ 0.31Si, 0.85 ~ 1.04Mn, 1.01 ~ 1.19Cr, 0.04 ~ 0.09Ti, 0.02 ~ 0.06Cu, ≤ 24 × 10⁻⁶[O] and ≤ 55 × 10⁻⁶[N]; the rating of porosity and segregation ≤ 1.0 and the rating of grain size ≥ 9.0; and the width of hardenability band ΔHRC of products ≤ 5.9 to meet the requirement of standard.

Material Index Gear Steel 20CrMnTi, Melting Analysis, Narrow Hardenability Band, Grain Size

汽车用齿轮钢要求具有稳定的化学成分、较高的纯净度、窄的末端淬透性带、细晶粒、良好的力学性能等^[1-3]。继成功开发出 20CrMo 齿轮钢之后,武钢于 2007 年 1 月开始采用 120 t 转炉连铸工艺试制生产 20CrMnTi 钢,经过两年的努力,武钢条材总厂已形成批量生产转炉连铸 20CrMnTi 钢的能力,性能指标达到 GB/T3077-1999 标准要求,实物性能水平也全面达到国内电炉钢的先进水平。

1 20CrMnTi 齿轮钢生产工艺

转炉生产 20CrMnTi 钢的工艺流程为:铁水脱硫 → 120 t BOF → LF → CC → 200 mm × 200 mm 方坯。轧钢工艺流程为:钢坯加热 → 高压水除鳞 → 开坯 → 粗轧 → 中轧 → 精轧 → 产品检验 → 剪切收集 → 打捆称重 → 入库堆垛。

1.1 转炉冶炼

转炉入炉铁水条件要求 [S] ≤ 0.015%, 采用高拉碳工艺,防止钢水过氧化,终点出钢 C 大于

0.08%, 冶炼末期底吹搅拌,促进钢、渣平衡。严格控制转炉下渣,采用挡渣出钢,钢包渣层厚度要求在 50 mm 以下。采用炉外合金化,控制 [C] 在 0.15% ~ 0.20% (含合金带入的碳), Mn、Si、Cr 含量在标准中下限;出钢过程保持连续吹氩,按吨钢 0.8 kg 随钢流加入铝块脱氧,每炉钢加入石灰 700 kg、萤石 100 kg 在钢包造新渣。

1.2 吹氩工艺

钢包吹氩技术能有效地均匀钢水温度和成分,去除有害气体和夹杂物,改善钢液质量,因此被广泛应用^[4]。一般吹氩时间控制在 20 ~ 30 min。钢包到站吹氩 3 min 后,测温、取样,为了更好地脱氧和细化晶粒,根据出钢碳,采用精炼喂铝线方式,喂入铝线 150 m 左右,再吹氩 3 min 后起吊至 LF 炉。

1.3 LF 精炼

精炼过程采用铝沉淀脱氧加渣面扩散脱氧的方式,根据出钢碳,按吨钢 0.4 kg 左右喂铝线,保证脱氧充分,钢中 Als 含量在 0.01% ~ 0.03% 为宜。渣

表 1 LF 精炼渣成分和碱度

Table 1 Ingredient and basicity of LF refining slag

炉号	成分/%							碱度 R
	SiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	
1 [#]	9.03	0.27	0.21	35.58	6.24	16.0	2.49	3.94
2 [#]	10.97	0.18	0.07	41.58	5.53	16.4	0.84	3.79
3 [#]	12.75	0.33	0.24	44.88	5.64	15.2	2.71	3.52

表 2 20CrMnTi 钢坯加热制度

Table 2 Heating scheme for billet of steel 20CrMnTi

项目	参数
坯料规格/mm × mm	200 × 200
预热段温度/℃	≤850
加热 II 段温度/℃	1 000 ~ 1 160
加热 I 段温度/℃	1 180 ~ 1 240
均热段温度/℃	1 160 ~ 1 230
加热时间/min	≥140

系采用 CaO-SiO₂-Al₂O₃, 碱度 R 控制在 3.0 ~ 4.0 (目标), LF 精炼渣成分见表 1, 精炼后期采用 Ca 处理。适当加入活性石灰、萤石调整熔渣, 渣量控制在 1.5% ~ 2.0%, 渣量适中。按内控及目标成分要求调整化学成分, 调好成分后, 严禁大量搅拌使钢水裸露。在精炼中后期加入钛铁或采用喂钛线工艺以提高钛的收得率^[5-8]。

1.4 连铸工艺

严格控制钢水过热度, 过热度目标值 15 ~ 30 ℃, 采用低碳钢结晶器保持渣, 铸机拉速控制在 1.2 ~ 1.5 m/min。浸入式水口插入结晶器钢水表面深度要适中, 以 120 ~ 140 mm 深度为佳, 损坏的浸入式水口要及时更换, 以减少卷渣^[9-10]。连铸过程中, 使用结晶器电磁搅拌, 确保结晶器液面自动控制, 同时采用氩封长水口保护浇铸, 防止钢水二次氧化。

1.5 轧制工艺

采用推钢式加热炉, 加热要均匀, 尽量做到上下表面温度一致, 钢坯加热制度按表 2 规定执行。

铸坯轧制时, 开轧温度控制在 (1 050 ± 50) ℃, 终轧温度控制在 ≤950 ℃, 轧后空冷。

2 产品检验与分析

2.1 化学成分和气体含量

对 20CrMnTi 齿轮钢化学成分分析, 122 炉钢水中的 C、Si、Mn、Cr、Ti 含量均控制在稳定的较窄范围内(表 3), 能够保证获得较窄的淬透性带。另外, 钢中残余元素 Cu、Ni 含量均小于 0.08%。

对 20CrMnTi 圆钢取气体样, 通过 10 炉氮、氧气体含量检测分析, 其氧含量在 13 × 10⁻⁶ ~ 24 × 10⁻⁶, 平均氧含量在 19 × 10⁻⁶, 氮含量在 30 × 10⁻⁶ ~ 50 × 10⁻⁶, 均稳定在较低的水平。

2.2 组织与热顶锻性能

对 20CrMnTi 连铸坯进行低倍酸浸检验, 结果表明, 连铸坯质量较好, 未发现角裂、边裂、中间裂、皮下气泡、夹渣等缺陷, 疏松、缩孔、偏析等低倍缺陷级别均未超过 1.0 级, 一般为 0 ~ 1.0 级, 均低于 GB/T3077-1999 标准中的要求。

对 20CrMnTi 热轧材进行低倍酸浸检验, 结果表明, 钢材中心疏松、一般疏松级别均小于 1.0 级, 一般点状偏析和边缘点状偏析为 0 级, 完全满足 GB/T3077-1999 标准中的要求。

对 20CrMnTi 齿轮钢取样做金相检验, 均为铁素体 + 珠光体, 组织正常。统计 30 炉 20CrMnTi 齿轮钢晶粒度均在 9.5 ~ 10.5 级。

将 20CrMnTi 热轧材按照 GB/T233-2000 进行热顶锻试验。热顶锻试验合格率达到 95% 以上, 不合格原因一般是由连铸坯轻微的皮下气泡、边角裂纹或轧钢时划伤或折叠缺陷引起的表面开裂^[11]。

2.3 力学与冲击性能

从表 4 可见, Φ25 mm 20CrMnTi 钢屈服强度、抗拉强度、断后延伸率、断面收缩率各项指标均满足标准要求。

对 122 炉批规格为 Φ25 mm 20CrMnTi 钢的冲击功进行分析, 钢材的性能合格率为 100%, 常温冲击值范围为 56 ~ 147 J (图 1)。

2.4 端淬性能

实测规格 Φ28 mm 20CrMnTi 钢洛氏硬度值结果见表 5, 从表 5 中可以看到, 实测硬度值处于 GB/T5216-2004 中 20CrMnTiH 钢端淬试验规定硬度值范围的中下限; ΔJ₉ = 5.9 HRC、ΔJ₁₅ = 4.3 HRC, 满

表 3 20CrMnTi 钢化学成分, 122 炉/%

Table 3 Analysis of steel 20CrMnTi, 122 heats /%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Cu	Als
企标	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.80 ~ 1.10	≤0.025	≤0.025	1.00 ~ 1.30	0.04 ~ 0.10	≤0.20	-
实际值	0.17 ~ 0.23	0.22 ~ 0.31	0.85 ~ 1.04	0.009 ~ 0.025	0.003 ~ 0.014	1.01 ~ 1.19	0.04 ~ 0.09	0.02 ~ 0.06	0.007 9 ~ 0.040 2
平均值	0.20	0.27	0.95	0.01	0.006	1.08	0.07	0.03	0.025 0
标准差	0.010	0.022	0.053	0.003	0.002	0.036	0.010	-	-

表 4 20CrMnTi 钢材力学性能, 122 炉

Table 4 Mechanical properties of steel 20CrMnTi, 122 heats

项目	R_{el}/MPa	R_m/MPa	$A/\%$	$Z/\%$
标准	≥ 850	$\geq 1\ 080$	≥ 10	≥ 45
实际值	860 ~ 1 195	1 080 ~ 1 425	11 ~ 25	45 ~ 66
平均值	987	1 174	16	51

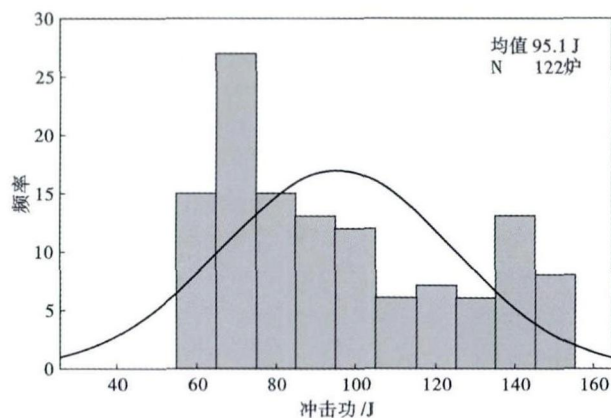


图 1 20CrMnTi 钢材冲击值分布图

Fig. 1 Distribution of impact energy of steel 20CrMnTi

表 5 20CrMnTi 钢端淬试验 HRC 硬度值

Table 5 HRC hardness value of end quenching hardenability test of steel 20CrMnTi

距端面距离/ mm	国标 规定值	实测 最大值	实测 最小值	带宽 ΔHRC
1.5	40 ~ 48	44.2	40.6	
3	39 ~ 48	43.6	41.0	
5	36 ~ 47	42.5	37.3	
7	33 ~ 45	39.1	33.3	
9	30 ~ 42	35.9	30.0	5.9
11	27 ~ 39	32.3	27.2	
13	24 ~ 37	28.9	24.3	
15	22 ~ 35	26.4	22.1	4.3
20	20 ~ 32	22.8	20.0	
25	≤ 29	24.9	22.3	

参考文献

- [1] 史志强, 李晶, 余键, 等. 20CrMnTi 齿轮钢淬透性控制技术[J]. 炼钢, 2008, 24(6): 47-49.
- [2] 周新红. 汽车后桥齿轮用钢的发展概况[J]. 现代零部件, 2005, 23(10): 102-104.
- [3] 杜显彬, 周平, 翟正龙, 等. 汽车用高性能齿轮钢的研究与开发[J]. 山东冶金, 2004, 26(4): 65-68.
- [4] 周俐, 戴伟, 曹成虎, 等. 120 t 钢包底吹氩工艺水模拟研究[J]. 特殊钢, 2012, 33(4): 6-7.
- [5] Anon. Free-cutting Steel for Auto Components Contains No Lead[J]. Advanced Materials and Processes, 2004, 162(6): 62-63.
- [6] 邹林池, 宋润滨, 吕焯. 喂线法生产厚大断面电弧炉水冷炉壁的研究与应用[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 2(1): 63-65.
- [7] 张铁军, 李培杰, 崔学成, 等. 用喂线法控制增硫生产含硫易切削钢技术[J]. 机械工程材料, 2005, 36(5): 39-42.
- [8] 张铁军, 杨静, 姜海荣, 等. 用喂线法控制加钛生产含钛汽车齿轮钢技术[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2009, 22(3): 76-79.
- [9] 张彦文, 陈宇, 许竹桃, 等. 热镀锌板线状缺陷分析方法探讨[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2013, 36(3): 186-187.
- [10] 李勇生. 连铸坯表面夹渣的原因分析及解决措施[J]. 天津冶

足汽车用齿轮钢小于 8 HRC 带宽的要求。化学成分的精确定制可保证获得窄淬透性带宽的高品质齿轮钢^[12]。

20CrMnTi 是亚共析合金结构钢。C 是影响淬透性和淬硬性的最有效元素, 随着 C 含量提高, J_9 、 J_{15} 提高; Mn、Cr 能提高珠光体的形核功和转变激活能, 降低珠光体的形核率和长大速度, Mn、Cr 及其碳化物溶于奥氏体中, 使奥氏体等温转变曲线右移, 增大过冷奥氏体稳定性, 抑制珠光体转变, 提高淬透性^[13-14]; Ti 往往和 C 结合形成高熔点的细小 TiC 质点存在于钢中, TiC 难溶于奥氏体中, 未溶碳化物不但降低奥氏体中有效碳含量, 而且淬火时促使奥氏体分解, TiC 未溶质点为珠光体形核提供核心, 降低过冷奥氏体稳定性, 但是能改善钢的机械性能^[15-16]; 同时, Ti 会和 N 结合形成高熔点(1 900 °C)的 TiN 夹杂存在于钢中, 过多的 TiN(TiCN) 夹杂会影响钢的韧性且易导致连铸水口堵塞, 适当的 TiN 夹杂能起到细化晶粒等作用^[17]; Si 是强化铁素体的元素, 一定程度上提高淬透性^[16]。

3 结论

(1) 120 t 转炉-LF-CC-热轧工艺生产的 20CrMnTi 齿轮钢, 化学成分稳定, 淬透性带宽 HRC 值小于 8, P、S、残余元素和氧、氮含量低, 高低倍组织正常; 未见缩孔、裂纹、气泡、夹杂、翻皮及白点等缺陷。

(2) 20CrMnTi 轧材低倍组织、显微组织正常, 热顶锻性能、力学性能、冲击性能、淬透性能良好, 完全满足 GB/T3077-1999 标准及供货技术协议的要求。

金, 2008(6): 23-25.

- [11] 姜英禹. 20CrMnTi 热轧齿轮圆钢热顶锻裂纹分析与改进措施[J]. 新疆钢铁, 2012(3): 1-3.
- [12] 吴季恂, 周光裕, 荀毓闽. 钢的淬透性应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994: 121-212.
- [13] 葛允宗, 颜慧成, 王建军, 等. 20CrMnTiH 钢淬透性预测与成分影响分析[J]. 冶金丛刊, 2012(4): 9-12.
- [14] 林俊. 20CrMnTi 钢端淬预报模型[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [15] 武祥斌. 20CrMnTiH 的研制与开发[J]. 江苏冶金, 2005, 33(1): 12-14.
- [16] 项程云. 合金结构钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.
- [17] 张帆, 范植金, 徐志, 等. 超纯铁素体不锈钢中 TiN 析出的动力学分析[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2013, 36(3): 178-180.

丁礼权(1981-), 男, 硕士研究生, 工程师, 2006 年武汉科技大学(本科)毕业, 精品棒材开发和质量控制。

收稿日期: 2013-10-14