

60 t BOF-LF-VD-CC 流程生产齿轮钢 20CrMnTiH 的工艺实践

刘宗辉¹ 秦凤婷² 王红伟²

(1 济源钢铁集团公司炼钢厂, 济源 454650; 2 济源职业技术学院, 济源 454650)

摘要 济源钢铁公司生产齿轮钢 20CrMnTiH 的工艺路线为 60 t 顶底复吹转炉-LF(VD)-150 mm × 150 mm 方坯连铸工艺。通过控制转炉终点[C] ≥ 0.08%, 钢包进行硅钙钡-铝铁-铝粒复合脱氧, LF 采用 SiO₂-Al₂O₃-CaO 渣系精炼, LF 精炼时喂 Ti-Fe 线微调钢中 Ti 成分, VD 真空处理后 ≥ 15 min 软吹, 中间包液面自动控制, 全保护浇铸, M-EMS 和 F-EMS 电磁搅拌, 使齿轮钢 20CrMnTiH 成品成分(%)为: 0.19 ~ 0.21C, 0.23 ~ 0.27Si, 0.86 ~ 0.90Mn, 1.11 ~ 1.15Cr, 0.057 ~ 0.063Ti, ≤ 0.020P, ≤ 0.010S, 钢中全氧含量为 (5.6 ~ 19.3) × 10⁻⁶, 氮含量为 (40.6 ~ 65.2) × 10⁻⁶, 各项检验指标达到标准要求, Φ32 ~ 40 mm 钢材的 J₂ HRC 值为 34.42 ~ 39.10, ΔHRC ≤ 6。

关键词 齿轮钢 20CrMnTiH BOF-LF-VD-CC 流程 工艺实践

Process Practice of Production for Gear Steel 20CrMnTiH by 60 t BOF-LF-VD-CC Flow Sheet

Liu Zonghui¹, Qin Fengting² and Wang Hongwei²

(1 Steelmaking Plant, Jiyuan Iron and Steel Group Co Ltd, Jiyuan 454650;
2 Jiyuan Vocational and Technical College, Jiyuan 454650)

Abstract The flow sheet for production of gear steel 20CrMnTiH at Jiyuan Iron and Steel Co is 60t top and combined blown converter-LF (VD)-150 mm × 150 mm billet concasting process. With controlling BOF end [C] ≥ 0.08%, using silicon-calcium-barium, ferro-aluminium and aluminium shot combined deoxidizing in ladle, LF refining by SiO₂-Al₂O₃-CaO slag series and micro adjusting Ti content in liquid by feeding Ti-Fe wire during LF refining, soft argon blowing ≥ 15 min after VD vacuum treatment, auto controlling liquid surface in tundish, whole shielding casting and M-EMS and F-EMS stirring, the analysis of finished gear steel 20CrMnTiH is (%) 0.19 ~ 0.21C, 0.23 ~ 0.27Si, 0.86 ~ 0.90Mn, 1.11 ~ 1.15Cr, 0.057 ~ 0.063Ti, ≤ 0.020P, ≤ 0.010S, (5.6 ~ 19.3) × 10⁻⁶T[O], (40.6 ~ 65.2) × 10⁻⁶[N], and the J₂ HRC value of Φ32 ~ 40 mm steel products is 34.42 ~ 39.10, ΔHRC ≤ 6, and all examination indexes meet the requirement of standard.

Material Index Gear Steel 20CrMnTiH, BOF-LF-VD-CC Flow Sheet, Process Practice

近年来,随着汽车等机械行业的稳步发展,对齿轮钢的需求量日益增加,尤其是高档齿轮钢,每年进口耗资 50 亿美元,耗资巨大^[1],河南济源钢铁(集团)公司利用长流程生产工艺成功开发了 20CrMnTiH 齿轮钢,并依托德国进口 KOCKS 三辊轧机轧制成 Φ16 ~ 90 mm 不同规格的棒材产品,已生产近 5 万 t 20CrMnTiH 系列产品,产品使用性能良好,满足了中高端客户的质量要求。

1 生产工艺路线

生产工艺路线为:600 t 混铁炉→60 t 顶底复吹转炉→60 t LF→60VD→150 mm × 150 mm 方坯铸机(全保护浇铸、液面自动控制、M-EMS、F-EMS 电磁搅拌)→12 m 定尺自动切割→步进式冷床→堆垛缓冷→铸坯检验精整出厂。

2 过程控制

2.1 转炉冶炼工艺控制

(1) 终点成分及下渣量控制。加强转炉操作水

平,提高一次拉碳命中率,降低钢水的氧化性^[2]。转炉终点碳含量 ≥ 0.08%,转炉采用多面体挡渣球进行挡渣,严格控制下渣量,确保钢包下渣量 < 30 mm。

(2) 脱氧合金化。对钢包所加合金等物料进行烘烤,烘烤温度 ≥ 150 °C,降低物料带到钢中的水分。采用复合脱氧方式进行脱氧,脱氧剂加入量平均为:硅钙钡 68 kg/炉、铝铁 135 kg/炉,氩站 10 kg 铝粒顶渣脱氧。为了充分利用钢流的动力,对钢液进行渣洗,在出钢过程加入石灰 150 kg/炉、渣洗剂 200 kg/炉,为 LF 精炼造还原渣做好前期准备。

2.2 LF/VD 精炼过程控制特点

精炼过程平均冶炼周期为 50 min,确保 LF 精炼白渣保持时间 ≥ 15 min,保持吹氩压力在 0.2 ~ 0.3 MPa,VD 精炼结束后保证软吹时间 ≥ 13 min,有效地促使钢中夹杂物的上浮以及气体的排除,整个 VD 精炼过程温降在 60 °C 左右。

2.2.1 LF 精炼渣系的控制

为了降低钢水中夹杂物含量,LF 采用 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ 渣系精炼,精炼渣成分如表 1。此渣系成分合理比较稳定,能满足精炼的需要,但渣中 ($\text{MnO} + \text{FeO}$) 含量平均为 1.23%,有待进一步优化操作工艺,降低其含量。

2.2.2 LF 精炼过程成分的控制

(1) LF 成分的控制。为了减轻 LF 的精炼负担,对氩站钢水成分做了内控要求如表 2,由于整个 LF 精炼过程用铝粒保持白渣,过程回硅在 0.06% 左右;并且要求钢水到 LF 的温度必须高于该钢种液相线温度 40 °C。LF 精炼钢水终点内控成分如表 2,VD 精炼不再调整成分。

(2) 钛的精确控制。钛是非常活泼的元素,极易被氧化,降低其收得率。所以在 LF 精炼白渣出现,且温度达到工艺要求后,加入 Ti-Fe 合金,并在出 LF 前取样,根据此样成分使用 Ti-Fe 线调整 Ti 的成分,Ti 的控制稳定,钛铁收得率在 75% 左右。

2.2.3 采用 VD 真空处理

VD 预抽真空时间为 6 min,真空度在 67 Pa 下保持 15 min,为了防止 VD 精炼过程钢包溢渣,确保钢包净空高度 ≥ 800 mm,并通过 VD 窥视孔观察液面翻滚情况调整底吹氩气压力。通过 VD 真空处理,氢含量可控制在 2×10^{-6} 以下,避免了后续材质白点缺陷的产生^[3]。

2.3 连铸工序控制

采用全保护浇铸,低过热度恒拉速操作,使用 20CrMnTiH 钢专用保护渣,并配合结晶器电磁搅拌技术,取得了良好的连铸效果。

2.3.1 严格温度与拉速制度

(1) 连铸二冷实施弱冷工艺,比水量控制在 0.5 L/t 左右,二冷室 III 段采用气雾冷却,有效解决了二冷回温与弱冷的问题。确保新中间包烘烤温度 ≥ 1000 °C,实施低过热度浇铸,过热度控制 ≤ 30 °C;

(2) 对拉速的调整给予规范,制定合适的温度与拉速对照表(表 3),从而保证结晶器内钢水弯月面的稳定,防止结晶器卷渣等。

2.3.2 保护浇铸

连铸实行全保护浇铸,从钢包到中间包使用长水口保护浇铸,钢包长水口吹氩流量为 4 L/min,通入氩气正压保护钢液;使用易结瘤钢专用中间包,中间包使用弱碱性覆盖剂,结晶器保护渣为

表 1 LF 精炼渣组成和碱度(R)

Table 1 Ingredient and basicity (R) of slag for LF refining

精炼渣组成/%								碱度 R
CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	S	P	MnO	FeO	
51.15 ~ 60.25	10.64 ~ 19.58	4.31 ~ 8.24	9.64 ~ 19.74	0.275 ~ 0.719	0.03 ~ 0.06	0.02 ~ 0.77	0.39 ~ 1.53	2.98 ~ 5.17

注:统计数据 94 炉。

表 2 氩站齿轮钢 20CrMnTiH 钢水成分内控/%

Table 2 Chemical composition control of gear steel 20CrMnTiH liquid at argon blowing station / %

成分 内控	C	Si	Mn	Cr	Als	P	S
LF 终点	0.19 ~ 0.21	0.23 ~ 0.27	0.85 ~ 0.90	1.10 ~ 1.15		≤ 0.015	≤ 0.010
氩站	0.13 ~ 0.18	0.14 ~ 0.19	0.80 ~ 0.85	1.05 ~ 1.10	≥ 0.02	≤ 0.020	≤ 0.020

表 3 钢水温度与拉速对照表

Table 3 Contrast schedule of liquid temperature and casting speed

温度(T)/°C	拉速/(m·min ⁻¹)
T > 1 530	1.9
1 505 ≤ T ≤ 1 530	2.0
T < 1 505	2.1

20CrMnTiH 钢专用保护渣。连铸过程增氮量 $\leq 10 \times 10^{-6}$,避免了钢水的二次氧化,有效减少了连铸坯中的非金属夹杂物。

3 质量检验

3.1 化学成分及淬透性

20CrMnTiH 齿轮钢化学成分测定结果见表 4。

统计结果表明,整个操作过程比较稳定,主要成分波动不大。碳平均为 0.195%,极差为 0.02%;硅平均为 0.25%,极差为 0.04%;锰平均为 0.886%,极差为 0.04%;铬平均为 1.14%,极差为 0.04%;Ti 平均为 0.063%,极差为 0.006%;熔炼成分全部能稳定控制在较窄范围内,钢中残余元素 Cu、Ni 远低于标准要求,工序控制能力强。

按 GB/T225-2004 规定,对 $\Phi 32, 36, 40$ mm 等规

表 4 20CrMnTiH 齿轮钢化学成分/%

Table 4 Chemical composition of gear steel 20CrMnTiH / %

项目	C	Si	Mn	Cr	Ti	P	S	Ni, Cu
内控	0.19 ~ 0.21	0.23 ~ 0.27	0.85 ~ 0.90	1.10 ~ 1.15	0.055 ~ 0.065	≤ 0.020	≤ 0.010	≤ 0.03
成品 范围	0.19 ~ 0.21	0.23 ~ 0.27	0.86 ~ 0.90	1.11 ~ 1.15	0.057 ~ 0.063	≤ 0.020	≤ 0.010	≤ 0.03
标准	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.80 ~ 1.15	1.00 ~ 1.35	0.04 ~ 0.10	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.03

表 5 20CrMnTiH 齿轮钢淬透性, J_c (HRC)
Table 5 Hardenability of products of gear steel 20CrMnTiH, J_c (HRC)

标准要求	实测值	ΔHRC
30 ~ 42	34.42 ~ 39.10	< 6

格 20CrMnTiH 棒材 60 个试样进行淬透性检验, 结果见表 5。

从表 5 可见, 淬透性均满足标准要求, 且淬透性带宽较窄。这是因为淬透性和淬透性带宽的控制, 主要决定于化学成分和化学成分的均匀性^[4], 从表 4 可知, 钢的化学成分基本上控制在标准要求的中间值附近, 且波动范围较小, 从而保证了淬透性的控制处于较高水平。

3.2 钢坯及钢材低倍质量

对每批生产的铸坯均进行取样分析, 从 121 个检验数据结果可知, 钢坯低倍组织中心疏松平均为 0.5 级, 一般疏松 0.5 ~ 1.0 级, 偏析 1.0 级, 这远低于 GB/T5216-2004 标准 ≤ 3 级的要求。钢材共取 54 个低倍样, 中心疏松平均为 0.5 级, 针孔, 定型偏析最大 1.0 级。

3.3 钢材高倍金相检验

经 KOCKS 轧机轧制成 $\Phi 28$ mm 钢材取样, 做高倍金相检验, 部分检验结果见表 6。

表 6 $\Phi 28$ mm 齿轮钢 20CrMnTiH 钢材的组织和非金属夹杂, 5 炉

Table 6 Structure and inclusions of $\Phi 28$ mm gear steel 20CrMnTiH products, 5 heats

金相组织	晶粒度/ 级	非金属夹杂/级				
		A	B	C	D	DS
铁素体 + 珠光体	8.5	0.5 ~ 1.5	1.0 ~ 2.0	0 ~ 0.5	1.0 ~ 2.0	0

由表 6 可知, 钢材组织为铁素体和珠光体组织, 晶粒度为 8.5 级, 夹杂物检验均符合标准要求。

3.4 钢材总氧、氮含量情况

各炉次钢材平均总氧、氮含量见表 7 所示。

氧含量对齿轮疲劳寿命的影响, 现在已愈加受到人们的重视, 根据“山阳新钢种系列”^[5]介绍, 当氧含量从 25×10^{-6} 降至 11×10^{-6} 时, 其接触疲劳寿

表 7 20CrMnTiH 齿轮钢的总氧、氮、氢含量/ 10^{-6}
Table 7 Total oxygen, nitrogen and hydrogen content in gear steel 20CrMnTiH / 10^{-6}

检验项目	试样数	测试值	极差	平均值
[O]	42	5.6 ~ 19.3	13.7	18.6
[N]	40	40.6 ~ 65.2	24.6	56.5
[H]	42	0.9 ~ 1.8	0.9	1.1

命可提高 4 倍。从表 7 齿轮钢中气体含量检验的数据来看, 总氧平均含量为 18.6×10^{-6} , 氮含量平均为 56.5×10^{-6} , 并且 89.5% 的氮含量在 60×10^{-6} 以下。平均氢含量为 1.1×10^{-6} , 100% 的氢含量在 1.8×10^{-6} 以下。

4 结论

(1) 20CrMnTiH 齿轮钢熔炼成分控制稳定, 波动范围较小, 碳、硅、锰、铬、钛极差 (%) 分别为 0.02、0.04、0.04、0.04、0.006; 化学成分稳定, J_c 淬透性带控制 $\Delta HRC < 6$ 。

(2) 60 t BOF-LF-VD-CC 流程生产的 20CrMnTiH 齿轮钢坯 T[O] 平均为 18.62×10^{-6} , 波动范围为 $(5.6 \sim 19.3) \times 10^{-6}$; [N] 平均为 56.5×10^{-6} , 波动范围在 $(40.6 \sim 65.2) \times 10^{-6}$; [H] $\leq 1.8 \times 10^{-6}$, 钢材各种缺陷均 ≤ 1.0 级, 钢材组织为铁素体和珠光体组织, 晶粒度 8.5 级, 均满足用户使用要求。

参考文献

- 1 刘勇昌. 提高质量应成为未来发展主题. 中国冶金报, 2010, 135 (A): 3
- 2 韩乃川, 杨素波, 文永才, 等. 炼钢脱氧工艺现状及改进攀钢脱氧工艺的建议. 钢铁钒钛, 2000, 21(4): 34
- 3 刘 振, 刘永新. 30Cr2Ni4MoV 钢白点防止工艺的研究. 四川冶金, 2003, 25(6): 33
- 4 吴季恂, 周光裕, 荀毓圃. 钢的淬透性应用技术. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 5 胡联舫, 李怀明. 汽车用齿轮钢的现状与发展. 冶金标准化与质量. 1996(11-12): 6

刘宗辉(1980-), 男, 硕士, 工程师, 2008 年东北大学毕业, 特殊钢开发及工艺研究。

收稿日期: 2011-01-28

《特殊钢》杂志在第七届湖北省优秀期刊评比
中被评为“专业技术优秀精品期刊”