

120 t BOF-LF-CC 流程生产 20CrMo 齿轮钢的工艺实践

徐志东 范植金 朱玉秀

(武汉钢铁(集团)公司研究院,武汉 430080)

摘要 $\Phi 12 \sim 32$ mm 20CrMo 齿轮钢($\% : 0.19 \sim 0.23\text{C}, 0.48 \sim 0.58\text{Mn}, 0.24 \sim 0.28\text{Si}, 0.009 \sim 0.015\text{P}, 0.003 \sim 0.012\text{S}, 0.87 \sim 1.08\text{Cr}, 0.17 \sim 0.18\text{Mo}, 0.024 \sim 0.046\text{Als}$)的生产流程为铁水脱硫-120 t 顶底复吹转炉-LF-软吹-200 mm \times 200 mm 方坯连铸-连轧工艺。结果表明,通过控制铁水[S] $\leq 0.030\%$, BOF 终点[C] $\geq 0.08\%$, 终点[P] $\leq 0.012\%$, 转炉出钢加 0.6 ~ 1.0 kg/t 铝块预脱氧控制 LF 精炼渣碱度 3.5 ~ 5.0, 连铸钢水过热度 20 ~ 30 $^{\circ}\text{C}$, 拉速 1.1 ~ 1.4 m/min, 开轧温度 1 060 ~ 1 100 $^{\circ}\text{C}$, 终轧 ≤ 900 $^{\circ}\text{C}$ 等工艺措施, 钢中全氧含量为 $12.5 \times 10^{-6} \sim 22.5 \times 10^{-6}$, 氮含量 $33 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$, 热轧材中心和一般疏松 0.5 ~ 1.0 级, 热顶锻和力学性能满足标准要求, 淬透性带宽 ΔJ_9 , HRC 值 3.0, ΔJ_{15} HRC 值 4.2。

关键词 20CrMo 齿轮钢 120 t BOF-LF-CC 连铸 顶锻 淬透性

Process Practice on Gear Steel 20CrMo Produced by 120 t BOF-LF-CC Flowsheet

Xu Zhidong, Fan Zhijin and Zhu Yuxiu

(Research and Development Institute, WISCO, Wuhan 430080)

Abstract The production flowsheet for $\Phi 12 \sim 32$ mm bars of gear steel 20CrMo ($\% : 0.19 \sim 0.23\text{C}, 0.48 \sim 0.58\text{Mn}, 0.24 \sim 0.28\text{Si}, 0.009 \sim 0.015\text{P}, 0.003 \sim 0.012\text{S}, 0.87 \sim 1.08\text{Cr}, 0.17 \sim 0.18\text{Mo}, 0.024 \sim 0.046\text{Als}$) is desulphurizing hot metal-120 t top and bottom combined blowing converter-LF-soft argon blowing-200 mm \times 200 mm billet concasting-continuous rolling process. Results show that with using the process measures including controlling hot metal [S] $\leq 0.030\%$, BOF end [C] $\geq 0.08\%$ and end [P] $\leq 0.012\%$, adding 0.6 ~ 1.0 kg/t aluminium pig for pre-deoxidizing at BOF tapping, controlling LF refining slag basicity 3.5 ~ 5.0, casting liquid overheating extent 20 ~ 30 $^{\circ}\text{C}$, casting rate 1.1 ~ 1.4 m/min, beginning rolling at 1 060 ~ 1 100 $^{\circ}\text{C}$ and finishing rolling at ≤ 900 $^{\circ}\text{C}$, the total oxygen content and the nitrogen content in steel are respectively $12.5 \times 10^{-6} \sim 22.5 \times 10^{-6}$ and $33 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$, the rating of central and general porosity in rolled products is 0.5 ~ 1.0, the hot upset test and the mechanical properties of steel meet the requirement of standard, and the hardenability band width ΔJ_9 HRC value is 3.0 and the ΔJ_{15} HRC value is 4.2.

Material Index Gear Steel 20CrMo, 120 t BOF-LF-CC-Continuous Rolling, Hot Upset Test, Hardenability

国内齿轮钢大多采用 EF + LF + VD + CC(或模铸)工艺生产,由于电弧炉所用原料的广泛性和容量的小型化,带来了所生产的齿轮钢残余元素含量高、钢材纯净度低、成分的一致性差等问题,很难满足淬透性带宽 6 ~ 8 HRC 的要求^[1]。从控制齿轮钢的纯净度、成分均匀、淬透性相近等方面与电弧炉流程相比,采用转炉连铸工艺生产更具有先进性,不仅具有原料简单、终点温度和成分的命中率较高、残余元素含量低、生产周期短等优势,而且生产成本大幅度降低。武钢于 2002 年开始采用转炉连铸(200 mm \times 200 mm 小方坯)工艺试制 20CrMo 齿轮钢,通过几年努力,转炉连铸已经能批量生产 20CrMo 钢的能力,其性能指标完全满足 GB/T3077-1999 标准要求。

1 转炉连铸设备参数

武钢条材总厂有 2 座公称容量为 120 t 的氧气

顶底复吹转炉,3 座双工位 LF,2 台五机五流全弧型 200 mm \times 200 mm 小方坯连铸机(表 1、表 2)。

2 20CrMo 齿轮钢生产工艺

20CrMo 齿轮钢的工艺流程为:铁水脱硫 \rightarrow 120 t 转炉复吹冶炼 \rightarrow LF \rightarrow 软吹 \rightarrow 连铸方坯(200 mm \times 200 mm) \rightarrow 检验精整 \rightarrow (棒材厂)加热 \rightarrow 2 架连轧机轧制($\Phi 12 \sim 32$ mm) \rightarrow 精整 \rightarrow 检验入库。

表 1 转炉、LF(钢包炉)主要工艺技术参数

Table 1 Main process technology parameters of converter and LF (ladle furnace)

项目	技术参数
转炉公称容量/t	120
炉壁氧枪/支	2
冶炼周期/min	40
LF 公称容量/t	120
LF 处理时间/min	≥ 40
钢包自由空间高度/mm	400 ~ 900
LF 加热速度/ $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1})$	4

表 2 连铸机主要工艺技术参数

Table 2 Main process technology parameters of concaster

项目	技术参数
机数 × 流数	5 × 5
机型	2
弧型半径/m	40
铸坯断面/(mm × mm)	200 × 200, 200 × 230, 230 × 250
拉速控制范围/(m · min ⁻¹)	1.6 ~ 1.8
结晶器震动方式	正弦
二冷方式	动态配水, 气-雾冷却
电磁搅拌方式	M-EMS
拉矫机型式	7 机架拉矫机

2.1 转炉冶炼

从 C-O 平衡看, 与 0.20% C 平衡的氧约 100×10^{-6} , 与 1.00% C 平衡的氧约 30×10^{-6} , 即随着钢中碳含量减少即增加与之平衡的氧量。精确控制转炉吹炼终点, 避免钢水过氧化, 实现低 [O] 钢冶炼是大规模、高效率、廉价生产洁净钢的技术关键^[2-3]。转炉入炉铁水脱硫后要求 [S] ≤ 0.030%, 采用高拉碳工艺, 控制终点 [C] > 0.08%, [P] ≤ 0.012%, 出钢温度 1 650 ~ 1 690 °C。控制 [Ti] ≤ 0.001%, 防止 TiN 脆性夹杂的产生; 强化冶炼末期底吹搅拌, 促进钢、渣平衡, 保持出钢过程连续吹氩, 均匀钢水成分和温度; 采用挡渣出钢, 控制转炉下渣量; 钢包中渣层厚度 ≤ 100 mm; 出钢 1/4 左右时, 随钢流加入 0.6 ~ 1.0 kg/t 的 Al 块进行炉后脱氧, 同时加入活性石灰和萤石, 在钢包中造新渣。

2.2 LF 精炼

根据出钢碳, 喂入铝线 200 m 左右, 吹氩 3 min 左右起吊至 LF, 适量加铝丸, SiC 粉渣面脱氧, 形成白渣; CaO-SiO₂-Al₂O₃ 渣系碱度控制在 3.5 ~ 5.0, TFe ≤ 1.5%, 以利于脱氧, 渣系成分控制为(/%):

表 3 铸坯加热制度

Table 3 Heating scheme of billet

铸坯规格/mm	预热温度/°C	加热 II 区温度/°C	加热 I 区温度/°C	均热区温度/°C	出炉温度/°C	总加热时间/min
200 × 200	≤ 850	1 100 ~ 1 160	1 180 ~ 1 230	1 160 ~ 1 220	1 100 ~ 1 150	≥ 140

表 4 20CrMo 齿轮钢化学成分 /%

Table 4 Chemical composition of gear steel 20CrMo /%

项目	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Als
标准要求	0.17 ~ 0.24	0.40 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	≤ 0.025	≤ 0.025	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.25	≤ 0.30	≤ 0.20	-
内控要求	0.19 ~ 0.23	0.45 ~ 0.65	0.18 ~ 0.30	≤ 0.020	≤ 0.015	0.85 ~ 1.05	0.16 ~ 0.22	≤ 0.20	≤ 0.10	0.020 ~ 0.040
实际值	0.19 ~ 0.23	0.48 ~ 0.58	0.24 ~ 0.28	0.009 ~ 0.015	0.003 ~ 0.012	0.87 ~ 1.08	0.17 ~ 0.18	0.013 ~ 0.016	0.024 ~ 0.054	0.024 ~ 0.046
平均值	0.202	0.52	0.25	0.012	0.006	0.93	0.18	0.015	0.039	0.035
标准差	0.009 7	0.017 0	0.018 0	0.002 7	0.001 8	0.028 6	0.008 6	0.002 8	0.007 7	0.008 0

50 ~ 60CaO, 15 ~ 20SiO₂, 13 ~ 18Al₂O₃, 6 ~ 10MgO。

精炼过程全程吹氩, 精炼后期进行 Ca 处理, 喂入 Si-Ca 线, 调好成分后, 严禁大量搅拌使钢水裸露。

2.3 连铸

严格控制钢水过热度 20 ~ 35 °C, 采用低碳钢结晶器保护渣, 在保证浇铸的前提下拉坯速度尽可能偏慢, 拉速控制在 1.1 ~ 1.4 m/min, 二冷水按 0.30 ~ 0.40 kg/L 配比, 并配合结晶器电磁搅拌, 确保结晶器液面自动控制。同时中间包采用氩封长水口保护浇铸, 防止钢水二次氧化; 浸入式水口插入结晶器钢水表面深度要适中, 以 120 ~ 140 mm 为佳。另铸坯要及时堆垛, 缓冷, 表面温度小于 200 °C 方可转移。

2.4 轧制

采用推钢式加热炉, 钢坯加热制度严格按表 3 执行, 做到铸坯上下表面温度一致, 加热均匀。

采用高压水除鳞有效去除氧化铁皮, 避免划伤或者裂纹, 开轧温度控制在 1 060 ~ 1 100 °C, 终轧温度控制在 900 °C 以下, 轧后上冷床空冷。

3 产品检验与分析

3.1 化学成分

对 125 炉转炉连铸 20CrMo 钢钢水化学成分 C、Si、Mn、P、S、Mo 及 Als 等元素进行了分析统计, 内控合格率均达到 100% (表 4), 能够保证获得较窄的淬透性带; 另外, 转炉冶炼 20CrMo 钢中残余元素 Cu、Ni 含量较低, 这对于电弧炉冶炼钢水使用废钢作原料是很难做到的。

在轧制后的 20CrMo 圆钢上取 Φ5 mm × 10 mm 的气体样, 通过对 11 炉钢氧、氮元素进行检验分析, 钢中的全氧含量控制在 12.5×10^{-6} ~ 22.5×10^{-6} , 平均含量在 16.9×10^{-6} , 钢中氮含量在 33×10^{-6} ~ 40×10^{-6} , 平均含量在 36.8×10^{-6} 。

3.2 低倍以及高倍组织检验

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、偏析等级别均未超

过 1 级,均低于 GB/T3077-1999 标准要求。

对 109 批 20CrMo 钢热轧材的低倍质量进行统计分析,结果表明,20CrMo 热轧材中心疏松和一般疏松级别均在 0.5 ~ 1.0 级,符合 GB/T3077-1999 标准中的 ≤ 2.0 级要求,其中钢材中心疏松 0.5 级占 89%,1.0 级占 11%;钢材中一般疏松 0.5 级占 81.7%,1.0 级占 18.3%。

热轧材组织均为铁素体 + 珠光体。抽检了 23 批 20CrMo 钢材的晶粒度,晶粒度 8 ~ 10 级,且晶粒均匀,满足 GB/T3077-1999 规定不小于 5 级的要求。晶粒均匀细小的齿轮钢具有较高的冲击韧性、良好的精加工性和良好的综合力学性能,淬火时不易开裂和变形,并且淬火温度范围较宽。

3.3 非金属夹杂物控制

通过降低钢水中全氧、吹氩搅拌、造渣精炼等手段^[4],控制 20CrMo 钢中夹杂物尺寸和数量,氧化物夹杂一般为 0.5 ~ 1.5 级,硫化物夹杂均为 0 ~ 0.5 级。对 20CrMo 齿轮钢采用电子探针分析了夹杂物成分组成和类型。试验结果表明,钢中夹杂物多为钙铝酸盐复合夹杂物和 MnS、CaS 等硫化物夹杂,Al₂O₃ 等简单的氧化物很少见。可得,精炼后期采用喂 Si-Ca 线对夹杂物的变质作用非常大。

3.4 力学性能

对 138 批 20CrMo 钢的力学性能的统计分析表明,屈服强度 R_{eL} 值 685 ~ 939 MPa,平均 800.3 MPa;抗拉强度 R_m 值 885 ~ 1131 MPa,平均 994.1 MPa;伸长率 A 12% ~ 25%,平均 15.4%;断面收缩率 Z 值在 50% ~ 69%,平均 61.1%,各项指标均满足标准要求,性能合格率 100%。

对 102 批 20CrMo 钢的冲击功的统计分析表明,钢材冲击性能合格率 100%,冲击值在 78 ~ 189 J,平均值为 112.8 J。

3.5 端淬试验

端淬试验工艺过程为: $\Phi 28$ mm 圆钢 \rightarrow 车成 $\Phi 26$ mm \times 100 mm 试样 \rightarrow 925 $^{\circ}$ C 正火 \rightarrow 加工 $\Phi 25$ mm \times 100 mm 标准试样 \rightarrow 920 $^{\circ}$ C 保温 30 min 后按 GB225-1963 进行端淬试验 \rightarrow 将试样沿其轴线方向相对两侧各磨去 0.5 mm \rightarrow 从试样末端起每隔 1.5 mm 测量一次 HRC 硬度值。

统计了 50 炉钢材端淬试验的数据绘制成图 1 所示的 20CrMo 淬透性带宽图。从图 1 可以看出, $\Delta J_9 = 3.0$ HRC、 $\Delta J_{15} = 4.2$ HRC,满足汽车用齿轮钢 6 ~ 8 HRC 带宽的要求。淬透性带宽控制得较窄(多点控制带宽均小于 6 HRC),主要决定于化学成

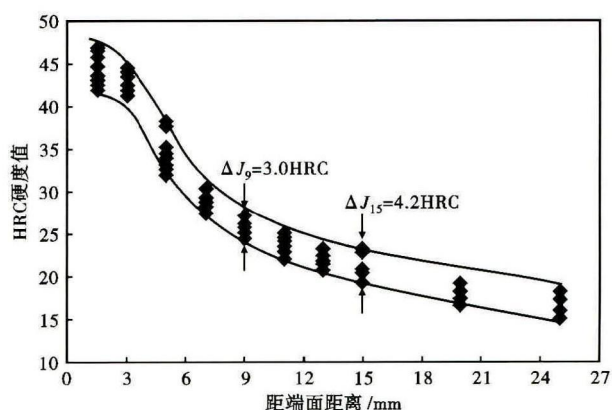


图 1 20CrMo 齿轮钢材淬透性曲线

Fig. 1 Hardenability band curve of products of gear steel 20CrMo

分和组织的均匀性^[5-6]。

4 结论

(1) 转炉-LF-连铸-连轧流程生产的 20CrMo 钢,化学成分均匀、有害元素含量低、钢质纯净,可满足齿轮钢纯净度、淬透性及细晶粒的质量要求。钢材实物质量满足 GB/T3077-1999 标准要求。

(2) 转炉-LF-连铸流程生产的 20CrMo 钢热轧材表面质量良好,低倍组织、显微组织正常,力学性能以及热顶锻性能优良,完全满足 GB/T3077-1999 标准及用户对热加工工艺性能的要求。

(3) 转炉流程生产的 20CrMo 钢淬透性带宽 ΔJ_9 HRC 值 = 3.0、 ΔJ_{15} HRC 值 = 4.2,满足汽车用齿轮钢 6 ~ 8 HRC 带宽的要求。

参考文献

- [1] 杨 莉. 齿轮钢的生产现状及发展方向[J]. 太钢科技, 2003 (3): 45-47.
- [2] 武祥斌. 20CrMnTiH 的研制与开发[J]. 江苏冶金, 2005, 33(1): 32-34.
- [3] 浦学坤. 攀钢转炉-大方坯连铸工艺生产齿轮钢 20CrMoH 的实践[J]. 特殊钢, 2005, 26(4): 36-37.
- [4] 闫咏春, 杜丽娜. 齿轮钢生产现状及发展[J]. 山西机械, 2003 (增刊 1): 70-71.
- [5] 星日红. 汽车用渗碳齿轮钢[J]. 汽车工艺与材料, 2004(9): 9-10.
- [6] 吴季恂, 周光裕, 荀毓渊. 钢的淬透性应用研究[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994: 121-212.

徐志东(1985-),男,硕士生,工程师,2009年武汉科技大学(本科)毕业,棒线材产品开发。

E-mail: 519011541@qq.com

收稿日期: 2015-03-16