

## 控制 20CrMnTiH 齿轮钢氧含量和夹杂物的生产试验

王敏<sup>1</sup> 郭志强<sup>2</sup>

(1 湖北工程职业学院,黄石 435000;2 福建省三钢(集团)有限责任公司技术中心,三明 365000)

**摘要** 20CrMnTiH 钢的工艺流程为 100 t 转炉-LF-VD-方坯连铸-轧制。通过采取提高转炉出钢[C] ≥ 0.08%,优化 LF 精炼渣系,控制渣中 CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.5~1.7,用喂 SiCa 线代替喂 Ca 线,防止钢水二次氧化等措施,20CrMnTiH 齿轮钢氧含量 0.001 5%~0.001 9% 和夹杂物级别 ≤ 1.5。

**关键词** 20CrMnTiH 齿轮钢 氧含量 夹杂物

## Pilot Production of Gear Steel 20CrMnTiH to Control Oxygen Content and Inclusions in Steel

Wang Min<sup>1</sup> and Guo Zhiqiang<sup>2</sup>

(1 Hubei Engineering Institute, Huangshi 435000; 2 Technology Center, Fujian Sansteel Group Co Ltd, Sanming 365000)

**Abstract** The process flowsheet for steel 20CrMnTiH is 100 t BOF-LF-VD-bloom casting-rolling. By improving converter tapping [C] ≥ 0.08%, optimizing refining slag system, controlling the CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in slag 1.5 to 1.7, using feeding SiCa wire to replace feeding Ca wire and preventing secondary oxidation of molten steel in casting, the oxygen content in gear steel 20CrMnTiH is 0.001 5%~0.001 9% and rating of inclusions in steel is ≤ 1.5.

**Material Index** Gear Steel 20CrMnTiH, Oxygen Content, Inclusion

齿轮作为汽车、机械工业中用来调节速度和传递动力的传动零部件发挥着关键性的作用<sup>[1-2]</sup>。齿轮动作时,两个齿面相互接触并传递动力,轮齿将受到巨大的交变弯曲应力和接触应力的作用,相互啮合的齿面之间也会产生较大的摩擦力,啮合不贴切的情况下会产生冲击<sup>[3]</sup>。随着现代汽车、机械设备的参数要求不断提高,对齿轮性能尤其是对齿轮钢的疲劳性能提出越来越高的要求,如风电齿轮、高速列车传动齿轮、核电及大型石化装备的齿轮等,要求齿轮材料有如下特点:(1)足够的抗弯曲强度;(2)耐疲劳(疲劳裂纹源少);(3)耐磨(渗层的非马氏体组织少);(4)耐冲击(齿轮心部有足够的硬度并且韧性好、缺口敏感性低);(5)高精度(齿轮热处理变形小);(6)良好的切削加工性能。

其中,齿轮的抗弯强度、耐疲劳能力、啮合精度三大要素决定着齿轮的使用寿命;而钢中的夹杂物,特别是 B、D 类硬质夹杂对齿轮的抗弯能力和耐疲劳能力起决定性作用,可以说齿轮材料中的 B、D 类夹杂物决定着齿轮的寿命长短<sup>[4-8]</sup>。钢中 B、D 类夹杂物大多数是氧化物或氧化物的复合物,钢中的全氧含量的高低又代表着钢中氧化物的多少,因此钢中的全氧含量的高低决定着齿轮钢的寿命<sup>[9]</sup>。日本曾经有人对齿轮钢氧含量与疲劳寿命的关系做过

研究,发现当 T[O] 从  $25 \times 10^{-6}$  降到  $10 \times 10^{-6}$  时,其疲劳寿命提高了近 4 倍。本文以国内钢厂两次试生产 20CrMnTiH 齿轮钢为例,重点讨论生产过程中如何控制钢中的氧含量,以达到提高齿轮钢纯净度和提高齿轮寿命的目的。

### 1 生产流程和设备

20CrMnTiH 钢的生产流程为:铁水-100 t 转炉-氩站-LF-VD-方坯连铸-轧钢。

转炉:公称容量 100 t,出钢量 100 t,氧枪喉口直径  $\Phi 39.6$  mm,供氧强度  $3.6 \text{ m}^3/(\text{t} \cdot \text{min})$ ,冶炼周期 38 min。

LF:公称容量 100 t,变压器容量 18 000 kVA,供电电流 30 000~33 000 A,升温速度  $4 \sim 6 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 。Ar 气总管压力 1.8 MPa,工作压力  $\geq 0.8$  MPa。

VD:公称容量 100 t,真空泵系统第一级为水环泵,2~5 级为蒸汽喷射泵,其抽气能力 400 kg/h,极限真空度 35 Pa,到 100 Pa 需真空时间 4~6.5 min。

连铸:R10 m 六机六流合金钢方坯连铸机,结晶器铜管长度 1.0 m。配置结晶器电磁搅拌(M-EMS)和末端电磁搅拌(F-EMS)系统。

### 2 试生产情况

#### 2.1 首次试制

2015年9月23日钢厂首次试制了1组共2炉20CrMnTiH。1305炉为第1炉,1308炉为第2炉。试生产具体参数见表1~表6。

表1显示,成品化学成分完全符合GB/T5216-2014的标准要求。

在表2中,1305炉出钢[C]0.04%,钢水过氧化,[C]·[O]浓度积按0.0029计算,该炉钢初钢水氧含量为 $725 \times 10^{-6}$ ,预脱氧产生的氧化物夹杂多,初钢水中含有较多的夹杂物。可见,转炉出钢过程中减小[C]·[O]浓度积,可防止钢水的二次氧化,

表1 第1次试制20CrMnTiH钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 20CrMnTiH, first pilot production /%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Als
内控	0.18~0.21	0.20~0.30	0.95~1.15	≤0.020	≤0.015	1.10~1.25	0.04~0.08	0.010~0.035
目标值	0.19	0.25	1.05	-	-	1.15	0.055	0.020
1305炉	0.20	0.30	0.96	0.017	0.002	1.25	0.062	0.037
1308炉	0.21	0.32	1.05	0.015	0.001	1.14	0.060	0.024

表2 第1次试制20CrMnTiH钢的转炉出钢技术参数

Table 2 Technical parameters of converter tapping of steel 20CrMnTiH, first pilot production

炉号	出钢[C]/%	出钢[P]/%	出钢温度/℃
1305	0.04	0.015	1662
1308	0.07	0.013	1659

表3 第1次试制20CrMnTiH钢的精炼渣系

Table 3 Refining slag system for steel 20CrMnTiH, first pilot production

炉号	取样时机	精炼渣系成分/%				CaO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1305	LF出站	4.96	9.00	53.26	28.27	1.9
1308	LF出站	5.57	7.78	52.02	26.00	2.0

表4 第1次试制20CrMnTiH钢喂Ca线前后的[Ca]和[N]

Table 4 [Ca] and [N] of steel 20CrMnTiH, first pilot production before and after feeding Ca wire

炉号	取样次序	[Ca]/%	[N]/%
1305	喂Ca线前	0.0005	0.0037
	喂Ca线后	0.0085	0.0063
1308	喂Ca线前	0.0005	0.0035
	喂Ca线后	0.0053	0.0047

表5 第1次试制20CrMnTiH钢材的氧含量

Table 5 Oxygen content in 20CrMnTiH steel products, first pilot production

项目	炉号	轧制规格/mm	[O]/%	判定结果
GB/T5216-2014	-	-	≤0.0020	标准要求
实测值	1305	Φ45	0.0025	不合格
	1308	Φ45	0.0016	合格

表6 第1次试制20CrMnTiH钢材夹杂物

Table 6 Inclusions in 20CrMnTiH steel products, first pilot production

炉号	轧制规格/mm	夹杂物/级								判定	
		A		B		C		B			D <sub>s</sub>
		粗	细	粗	细	粗	细	粗	细		
1305	Φ50	0	0	2.5 <sub>s</sub>	1.5	0	0	0.5	2	1	不合格
1308	Φ50	0	0	1.5	1.5	0	0	1	1	0.5	合格

降低钢液中夹杂物的含量。

由表3可看出,由于使用SiC+铝粒扩散脱氧带入渣中部分SiO<sub>2</sub>,精炼过程和后续的VD过程部分[Al]去还原SiO<sub>2</sub>中的[Si],使钢水增[Si]较多,加入的铝粒一部分去脱SiO<sub>2</sub>中的氧,降低了铝粒脱钢水中氧的作用。因此,优化精炼炉渣渣系可降低钢液中的氧含量。

由表4可以看出,首次生产使用纯钙线对钢水进行钙处理,在喂线时,钢水翻滚裸露严重,造成增氮和二次氧化严重。1305炉增[N]0.0026%,1308炉增[N]0.0012%,平均增[N]0.0019%。

从表5中可看出,第一炉氧含量超出标准要求。

表6显示,第1炉1305炉,钢材上B类夹杂物不符合标准要求。

钢材中的氧包括溶解氧和氧化物中的氧,而常温下钢中的溶解氧很少,钢中的氧几乎都是以氧化物夹杂形式存在,所以,钢中氧含量的多少直接与夹杂物的数量相关,鉴于此,氧含量成了衡量钢的洁净度的重要标志。

## 2.2 第2次试制

针对20CrMnTiH钢首次试制时出现的问题,2016年11月16日进行第2次试制时,重点在提高转炉出钢[C],优化LF精炼渣系,VD真空处理后的钢水钙处理进行优化和改进,并做了第2次试生产,本次共生产了3炉,其试制结果见表7~表11。

从表7看出,平均出钢[C]为0.10%,比首次平均提高了0.045%,显著降低了初钢水的氧化性,也为LF精炼进一步脱氧创造了有利条件。

在此次生产中,在LF扩散脱氧取消了SiC,仅使用铝粒造强还原性高碱度渣,加强扩散脱氧;当精炼渣中的(CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>2</sub>在1.9~2.0时,提高渣中

表7 第2次试制20CrMnTiH钢转炉出钢技术参数

Table 7 Technical parameters of converter tapping of steel 20CrMnTiH, second pilot production

炉号	出钢[C]/%	出钢[P]/%	出钢温度/℃
964	0.10	0.017	1634
965	0.09	0.010	1642
967	0.11	0.014	1645

表 8 第 2 次试制 20CrMnTiH 钢的精炼渣系  
Table 8 Refining slag system for steel 20CrMnTiH, second pilot production

炉号	取样时机	精炼渣系成分 / %				CaO/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
964	LF 出站	6.6	7.8	48.5	32.3	1.5
965	LF 出站	5.4	8.5	53.5	31.0	1.7
967	LF 出站	4.8	5.5	54.4	33.4	1.6

表 9 第 2 次试制 20CrMnTiH 钢 VD 后喂 Ca 线前后的 [Ca] 和 [N]

Table 9 [Ca] and [N] of steel 20CrMnTiH at end VD, second pilot production befor and after feeding Ca wire

炉号	取样次序	[Ca] / %	[N] / %
964	喂 Ca 线前	0.000 5	0.003 4
	喂 Ca 线后	0.005 2	0.003 5
965	喂 Ca 线前	0.000 6	0.003 0
	喂 Ca 线后	0.003 1	0.004 8
967	喂 Ca 线前	0.000 8	0.003 7
	喂 Ca 线后	0.003 4	0.004 3

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量,控制 (CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 在 1.5 ~ 1.7 时有利于降低钢中氧含量<sup>[5]</sup>;第 2 次生产的 20CrMnTiH 钢精炼渣中 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的含量较首次高约 4.0%。

经对比表 4 和表 9 的数据,可以看出,第 2 次试制平均增 [N] 为 0.000 8%,较第 1 次的 0.001 9% 大幅降低,说明采取的以硅钙线替代纯钙线对真空后的钢水进行钙处理,以减轻钢水翻滚和裸露,此项措

表 10 第 2 次试制 20CrMnTiH 钢材的氧含量  
Table 10 Oxygen content in 20CrMnTiH steel products, second pilot production

项目	炉号	轧制规格/mm	[O] / %	判定结果
GB/T5216-2014	-	-	≤0.002 0	标准要求
检测值	964	Φ42	0.001 9	合格
	965	Φ70	0.001 2	合格
	967	Φ48	0.001 5	合格

表 11 第 2 次试制 20CrMnTiH 钢材夹杂物  
Table 11 Inclusions in 20CrMnTiH steel products, second pilot production

炉号	轧制规格/mm	夹杂物 / 级								判定	
		A		B		C		B			D <sub>s</sub>
		粗	细	粗	细	粗	细	粗	细		
964	Φ70	0	0	1.0	0.5	0	0	0.5	1.5	0.5	合格
965	Φ70	0	0	1.0	0.5	0	0	0.5	1.0	1.0	合格
967	Φ48	0	0	1.5	0.5	0	0	0.5	1.0	0.5	合格

施对防止钢水二次氧化是有效的。

另外,在连铸浇钢过程中,使用惰性气体 (Ar) 对钢水保护浇铸,防止钢水二次氧化。

采取了提高转炉出钢 [C], 优化精炼渣系和防止钢水二次氧化优化 3 个措施后,第 2 次试制的 20CrMnTiH 钢材上氧含量及夹杂物的检测情况见表 10 ~ 表 11。

表 10 数据表明钢材的氧含量符合技术标准要求。

表 11 数据表明 3 炉钢中夹杂物级别均符合技术标准要求。

### 3 结论

提高转炉出钢 [C] 到 0.08%; 精炼炉取消 SiC, 只使用铝粒强化扩散脱氧,控制渣中 (CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 在 1.5 ~ 1.7,用 CaSi 线代替纯钙线对钢水进行钙处理。第二次试制的 20CrMnTiH 钢材中的氧含量均 ≤ 20 × 10<sup>-6</sup>,夹杂物级别均达到 GB/T5216-2014 淬透性结构钢技术标准的要求。

### 参考文献

- [1] 李茂林,郭德朋,焦殿辉,等. 汽车用齿轮钢国内外概述及其发展趋势[J]. 现代制造技术与装备,2013(04):13-16.
- [2] 闫梦洁. 浅谈中国汽车用齿轮钢的质量要求与水平[J]. 江苏冶金,2007,35(1):8-16.
- [3] 常曙光. 中国齿轮用钢合金化体系的选用及淬透能力的构成 [C]. 哈尔滨: 齿轮行业技术研讨会论文集,2008.
- [4] 葛允宗,颜慧成,王建军,等. 20CrMnTiH1 齿轮钢中 CaS 夹杂的形成与控制[J]. 炼钢,2013,29(3):23-27.
- [5] 赵俊学. 冶金原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,2009.
- [6] 胡汉起. 铸钢及其熔炼技术[M]. 北京:中国铸造协会组织编写,2010.
- [7] 陈天明,杨素波,王新华. 齿轮钢氧质量分数及夹杂物控制技术研究[J]. 北京科技大学学报,2011(S1):165-172.
- [8] 李曲全,颜慧成,曾凡政,等. 20CrMnTiH 齿轮钢轧制过程的金属流变对铸坯碳偏析的影响[J]. 特殊钢,2015,36(1):14-16.
- [9] 曹志刚,杜忠泽,许伟阳,等. 20CrMnTi 齿轮钢生产工艺改进 [J]. 钢铁钒钛. 2011,32(4):92-96.

王 敏(1974-),男,副教授,2009 年湖北工业大学硕士毕业,1997 年中国(武汉)地质大学(本科)毕业,冶金机械专业教学及科研. E-mail:1446596213@qq.com

收稿日期:2019-09-20