

窄淬透性带 20CrMnTiH 齿轮钢的开发

刘年富

(宝钢特钢韶关有限公司特钢制造部, 韶关 512123)

摘要 开发的窄淬透性带 20CrMnTiH 齿轮钢的生产工艺流程为铁水预脱硫-130 t BOF-LF-RH-280 mm × 280 mm 坯连铸-轧制至 Φ60 mm 圆钢。通过设计的内控成分 (/% : 0.18 ~ 0.20C, 0.20 ~ 0.30Si, 0.90 ~ 0.98Mn, ≤ 0.025P, ≤ 0.010S, 0.05 ~ 0.07Ti, ≤ 0.0015O), 设立结晶器电磁搅拌参数 200 A, 2.5 Hz, 控制拉速 0.62 m/min, 过热度 15 ~ 30 °C。检验结果表明, 化学成分稳定, 钢中氧含量 ≤ 11.3 × 10⁻⁶, 非金属夹杂级别 ≤ 1.0, 带状组织级别 ≤ 2.0, 淬透性带宽 HRC 值 ≤ 3.5, 满足产品协议要求。

关键词 20CrMnTiH 齿轮钢 窄淬透性带 130 t BOF-LF-RH-280 mm × 280 mm 坯连铸 产品开发

Development of Gear Steel 20CrMnTiH with Narrow Hardenability Band

Liu Nianfu

(Department of Special Steel Manufacturing, Baosteel Special Steel Shaoguan Co Ltd, Shaoguan 512123)

Abstract The production process flowsheet for developed gear steel 20CrMnTiH with narrow hardenability band is metal pre-desulphurization-130 t BOF-LF-RH-280 mm × 280 mm bloom casting-rolling to Φ60 mm round bar. With designed interior composition (/% : 0.18 ~ 0.20C, 0.20 ~ 0.30Si, 0.90 ~ 0.98Mn, ≤ 0.025P, ≤ 0.010S, 0.05 ~ 0.07Ti, ≤ 0.0015O), setting mold electromagnetism stirring parameters 200 A, 2.5 Hz, controlling casting speed 0.62 m/min, liquid superheating extent 15 ~ 30 °C, the examination results show that the chemical composition is stable, the oxygen content in steel ≤ 11.3 × 10⁻⁶, the rating of nonmetallic inclusions ≤ 1.0, the rating of banding structure ≤ 2.0 and the ΔHRC value of hardenability band ≤ 3.5 to meet the requirement of products specification.

Material Index Gear Steel 20CrMnTiH, Narrow Hardenability Band, 130 t BOF-LF-RH-280 mm × 280 mm Bloom Casting, Product Development

Cr-Mn-Ti 齿轮钢占我国各类齿轮钢总量的 50% 以上, 是制造汽车和摩托车齿轮和轴承等关键材料之一。2014 年, 韶特公司技术人员结合设备能力成功开发并批量生产了低噪音-高疲劳使用寿命的高质量 20CrMnTiH 齿轮钢产品, 满足了国内汽车用齿轮钢核心部件制造材料的需求。

1 技术要求、齿轮钢成分及工艺设计

协议要求 20CrMnTiH 齿轮钢氧含量 ≤ 15 ×

10⁻⁶[1], J₀ 的淬透性 HRC 值为 32 ~ 36。表 1 为公司提出的 20CrMnTiH 齿轮钢高低倍组织及其它性能要求, 而表 2 为公司提出的化学成分要求以及根据其性能要求而设计的化学成分情况。

1.1 化学成分设计思路

目前国内生产的 20CrMnTiH 系齿轮钢的末端淬透性带宽较大, 基本都控制在 10 HRC 左右, 难以稳定控制在带宽 ≤ 6 HRC。大量的研究表明, 影响

表 1 20CrMnTiH 钢高低倍组织和性能要求

Table 1 Requirement for micro- and macro-structure and properties of steel 20CrMnTiH

低倍组织/级			非金属夹杂物/级				晶粒度/级	带状组织/级	冲击功 (K ₁₂)/J	HBW 硬度值	J ₀ HRC 值	J ₁₅ HRC 值
一般疏松	中心疏松	偏析	A 类	B 类	C 类	D 类	级	级	≥55	≤250	32 ~ 36	24 ~ 32
≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤1.0	≥6.0	≤2.5				

表 2 20CrMnTiH 钢化学成分要求及设计内控成分 / %

Table 2 Requirement for chemical composition of steel 20CrMnTiH and internal control composition / %

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Cu	Ni	Mo	B	O
协议	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.80 ~ 1.10	≤0.030	≤0.025	1.00 ~ 1.25	0.04 ~ 0.08	≤0.10	≤0.10	≤0.10	-	≤15 × 10 ⁻⁶
设计内控	0.18 ~ 0.20	0.20 ~ 0.30	0.90 ~ 0.98	≤0.025	≤0.010	1.10 ~ 1.18	0.05 ~ 0.07	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤3 × 10 ⁻⁶	-

20CrMnTiH 系齿轮钢的化学元素主要是 C、Mn、Cr、Ti、B^[2-3]。Mn、Cr 均显著提高钢的淬透性;Ti ≤ 0.07% 时,提高淬透性,Ti > 0.07% 时,降低淬透性。

根据前期 20CrMnTiH 齿轮钢产品生产分析认为,20CrMnTiH 系齿轮钢每增加 0.01% 的 C 可提高约 0.7 HRC,0.05% 的 Mn 含量可提高约 1 HRC;而 Cr 对淬透性的影响则相对较小,0.1% 的 Cr 含量可提高约 1.5 HRC 左右;Ti 元素加入主要是细化奥氏体晶粒度,在 0.02% ~ 0.07% Ti 对淬透性影响较小;残余 B 元素控制在 3×10^{-6} 以下,对淬透性稳定性没有影响,而大于 5×10^{-6} 时淬透性波动较大^[4]。

20CrMnTiH 齿轮钢的主要成分设计内控为:C 范围为 ±0.01%,Mn 范围为 ±0.04%,Cr 范围为 ±0.04%,Ti 范围为 ±0.05%,B ≤ 3×10^{-6} ,加入一定含量 Al(0.015% ~ 0.035%) 进行细化晶粒(表 2)。

为确保成分窄带化精确控制,炼钢生产要求计算的 Mn、Cr、Ti 合金成分加入量精确到 10 kg,并采用高位料仓自动加入;对 C 含量控制,要求 RH 工序根据 LF 精炼出站检测情况进行适当补加、确保 C 含量在内控范围内;对残余 B 含量和各类合金料进行专门规定,不添加含 B 高的合金料。

1.2 氧含量控制工艺设计

本试验在转炉出钢至 1/3 ~ 2/3 钢水时,加入 250 kg 铝铁合金进行预脱氧;LF 精炼全程造渣脱氧控制,碱度控制在 3.0 ~ 5.5,精炼渣采用 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 系,主要成分是 CaO、SiO₂、Al₂O₃、TFe、TiO₂、MgO;RH 高真空(0.02 kPa 左右)时间确保 ≥ 15 min,且软吹氩时间 ≥ 20 min,连铸过程采取全程保护浇铸,防止连铸过程增氧。

1.3 连铸工艺设计思路

研究表明^[4-5],通过降低结晶器电磁搅拌强度,可以减少铸坯碳偏析,提高端淬检测值的稳定性,确保同炉号齿轮钢带宽 ≤ 2 HRC,不同炉号的齿轮钢带宽 ≤ 4 HRC。

根据前期生产的 20CrMnTiH 齿轮钢产品的分析表明,20CrMnTiH 全截面的碳波动在 0.025% ~

0.045%,可见仅碳偏析都将对淬透性带宽 ΔHRC 值影响达到 2 ~ 3。因此,将结晶器电磁搅拌强度控制在较低的水平,即 280 mm × 280 mm 的连铸坯结晶器电磁参数设置为 200 A、2.5 Hz;同时拉速控制在 0.62 m/min,过热度严格控制在 15 ~ 30 ℃。

1.4 产品生产工艺流程

高炉铁水→铁水预脱硫处理→130 t 转炉→LF→RH→280 mm × 280 mm 连铸→步进式加热炉→连轧 Φ60 mm 材→堆冷(取样检测)→精整。

2 20CrMnTiH 齿轮钢性能及组织分析

2.1 圆钢成分及碳偏析控制情况

表 3 为不同批次 Φ60 mm 圆钢的成分及气体分析情况,按示意图 1 取样点要求,用 Φ5 mm 钻头按距边部 5 mm 左右均匀钻样取钢屑分析碳含量,圆钢碳偏析结果如图 1 曲线所示。

表 3 的结果表明,圆钢的化学成分控制良好,都控制在内控范围内,且炉批次之间的成分偏差较小;圆钢的氧含量控制在较低范围内,完全满足协议 15×10^{-6} 以内的要求。由图 1 可知,圆钢横截面不同位置的碳波动较小,总体控制在 ≤ 0.030% 以内。

2.2 圆钢高低倍组织情况

圆钢的高低倍组织分析结果如表 4 所示,钢材

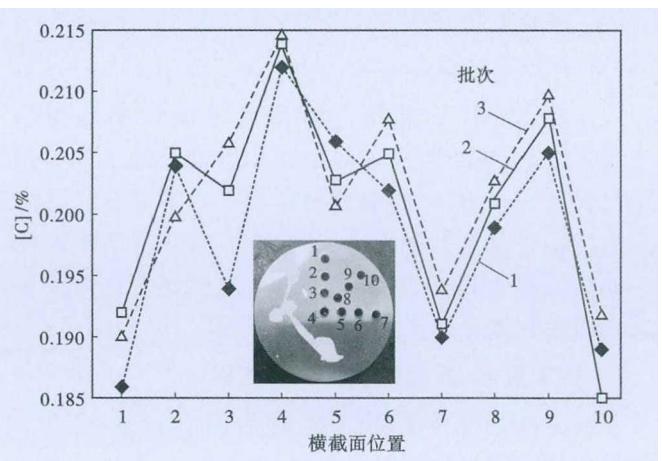


图 1 20CrMnTiH 齿轮钢 Φ60 mm 材横断面碳含量分布
Fig.1 Distribution of carbon content in gear steel 20CrMnTiH at cross section of Φ60 mm products

表 3 20CrMnTiH 齿轮钢 Φ60 mm 材化学成分结果 / %
Table 3 Analysis results of Φ60 mm products of gear steel 20CrMnTiH / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Cu	Ni	Mo	B	O
设计内控	0.18 ~ 0.20	0.20 ~ 0.30	0.90 ~ 0.98	≤ 0.025	≤ 0.010	1.10 ~ 1.18	0.05 ~ 0.07	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 3×10^{-6}	15.0×10^{-6}
批次 1	0.19	0.24	0.93	0.011	0.003	1.13	0.054	0.02	0.01	0.01	1×10^{-6}	11.3×10^{-6}
2	0.19	0.25	0.94	0.013	0.004	1.14	0.046	0.02	0.01	0.01	1×10^{-6}	9.7×10^{-6}
3	0.19	0.25	0.95	0.015	0.003	1.13	0.052	0.01	0.01	0.01	2×10^{-6}	11.1×10^{-6}

表 4 20CrMnTiH 钢 $\Phi 60$ mm 材的高低倍组织的级别
Table 4 Rating of micro- and macro-structure of steel 20CrMnTiH $\Phi 60$ mm products

批次	低倍组织			非金属夹杂物				晶粒 度	带状 组织
	一般 疏松	中心 疏松	偏析	A 类	B 类	C 类	D 类		
1	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0	1.0	8.0	2.0
2	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	0	1.0	8.0	1.5
3	0.5	1.0	0	1.0	0.5	0	0.5	8.0	2.0

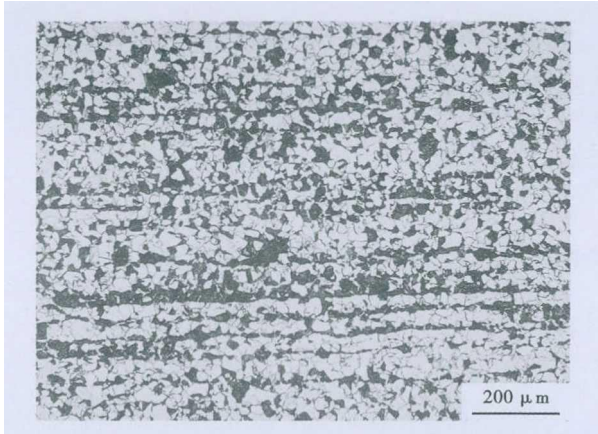


图 2 20CrMnTiH 钢 $\Phi 60$ mm 材带状组织形貌

Fig. 2 Morphology of banding structure of steel 20CrMnTiH $\Phi 60$ mm products

的带状组织如图 2。

对 $\Phi 60$ mm 规格圆钢按 GB/T 3077 要求取 15 mm 毛坯样,按 880 °C 一次淬火、870 °C 二次淬火、200 °C 回火工艺进行试样热处理,采用 RKP-450 型冲击试验机测量圆钢的冲击值;采用 HB-3000 布氏硬度计测量圆钢 1/2 半径处的硬度值。冲击及硬度检测结果如表 5 所示。

表 4 和图 1 的结果表明,圆钢的低倍组织控制良好,各类非金属夹杂物都控制在较低水平,奥氏体晶粒度达到 8.0 级,带状组织控制在 1.5 ~ 2.0 级。

表 5 20CrMnTiH 钢 $\Phi 60$ mm 材的冲击功和 HBW 硬度值
Table 5 Impact energy and HBW hardness value of steel 20CrMnTiH $\Phi 60$ mm products

$\Phi 60$ mm 圆钢批次	冲击功(K_{U2})/J	HBW 硬度值
1	100 ~ 124	194 ~ 207
2	105 ~ 136	194 ~ 210
3	112 ~ 138	195 ~ 201

表 6 20CrMnTiH 钢 $\Phi 60$ mm 材淬透性硬度值
Table 6 Hardness value of hardenability test of steel 20CrMnTiH $\Phi 60$ mm products

$\Phi 60$ mm 圆钢批次	J_9 (HRC)	J_{15} (HRC)
1	32.0 ~ 35.0	25.5 ~ 28.0
2	32.5 ~ 35.5	25.5 ~ 28.5
3	32.5 ~ 34.5	25.0 ~ 27.5

高低倍组织都满足协议的要求。

由表 5 的结果可知,圆钢的冲击值及 HBW 硬度值控制较好,富余量适中,批次间波动较小,都满足协议要求。

2.3 淬透性分析

按(920 ± 5) °C 进行正火、(880 ± 5) °C 淬火工艺进行热处理,并按 GB/T225-2006 的要求进行末端淬透性试验,制成 $\Phi 25$ mm 标准端淬试样。每批次各取 5 个试样进行淬透性硬度检测,淬透性检测结果如表 6 所示。

表 6 的结果表明,采用成分窄带化及合适的结晶器电磁搅拌工艺控制后,圆钢的成分控制在较窄的范围内,且圆钢横截面的碳偏析控制非常好,因此同一炉批号的圆钢淬透性带宽 ≤ 3 HRC、不同炉批号的淬透性带宽 ≤ 3.5 HRC,20CrMnTiH 钢淬透性完全达到了技术协议的要求。

3 结论

(1) 采用合理的成分设计,优化冶炼、连铸工艺设计,试制 20CrMnTiH $\Phi 60$ mm 圆钢的各项性能指标、高低倍组织都满足客户的要求。

(2) 成分窄带化控制结合电磁搅拌工艺控制,试制的圆钢成分波动较小,且横截面的碳波动较小,不同炉批次的圆钢的淬透性带宽稳定在 ≤ 4 HRC,满足协议要求,达到了国内先进水平。

(3) 优化成分及工艺设计,于 2014 年快速实现了淬透性窄带化要求的 20CrMnTiH 齿轮圆钢的批量生产。

参考文献

- [1] 陈天明,杨素波,赵克成,等. 120 t LD-LF-RH-BCC 流程生产齿轮钢的氧含量控制工艺[J]. 2010,31(1):24-27.
- [2] 张 魁,周砚池. 化学成份对 20CrMnTi 钢淬透性影响的研究[J]. 四川冶金,1996(4):69-71.
- [3] 杜丽娜. 窄淬透性带齿轮钢生产试验研究[J]. 太钢科技,2002(2):54-58.
- [4] 陶建军,朱惠刚,吴小林. 碳偏析和残余 B 对 20CrMnTiH 齿轮钢淬透性的影响[J]. 特殊钢,2007,28(5):58-59.
- [5] 颜慧成. 结晶器电磁搅拌对齿轮钢端淬检验值的影响[J]. 金属材料与冶金工程,2015,43(5):34-37.

刘年富(1981-),男,硕士(2007 年广西大学),高级工程师,2004 年广西大学(本科)毕业,特殊钢产品开发及技术研究。
E-mail:liunf2004@163.com

收稿日期:2017-08-30