

氮含量对 10B21 冷镦钢 Φ12 mm 线材淬火硬度的影响

李永超^{1,2} 阮士朋^{1,2} 郭明仪^{1,2}

(1 邢台钢铁有限责任公司, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027)

摘要 10B21 冷镦钢(/% : 0.18 ~ 0.23C, ≤ 0.10Si, 0.60 ~ 0.90Mn, ≤ 0.030P, ≤ 0.035S, 0.0008 ~ 0.0030B, ≥ 0.02Al) 的生产流程为 50 t 顶底复吹转炉-LF-280 mm × 325 mm 连铸坯-连轧成 Φ12 mm 材。通过检测得出, 当钢中氮含量为 0.0046% 时, 该钢淬火后的 HRC 硬度值为 41 ~ 43, 而当钢中氮含量为 0.0081% 时, 其淬火后 HRC 硬度值为 21 ~ 27, 小于技术条件要求 HRC 值 38。通过试验得出 Ti/N ≤ 8 时, 随 Ti/N 增加, 钢中硼的收得率显著增加, 如钢中氮含量 0.0046% 时, Ti/N 为 7.4, 硼收得率达 90%, 钢中氮含量 0.0081% 时, Ti/N 为 4.3, 硼的收得率不到 70%, 造成钢中 B 含量低, 淬火后 HRC 值降低。通过改进 BOF 和 LF 操作, 使钢中氮含量控制在 0.005% 以下 (0.0039% ~ 0.0041%), Ti/N 为 7.5 ~ 8.1, 钢材心部淬火 HRC 值为 40 ~ 42, 达到用户要求。

关键词 10B21 冷镦钢 淬火硬度 氮含量

Effect of Nitrogen Content on Quenched Hardness of Φ12 mm Rod Products of Cold Heading Steel 10B21

Li Yongchao^{1,2}, Ruan Shipeng^{1,2} and Guo Mingyi^{1,2}

(1 Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027; 2 Hebei Province Engineering Research Center for Wire Rod, Xingtai 054027)

Abstract The production flowsheet for cold heading steel 10B21 (/% : 0.18 ~ 0.23C, ≤ 0.10Si, 0.60 ~ 0.90Mn, ≤ 0.030P, ≤ 0.035S, 0.0008 ~ 0.0030B, ≥ 0.02Al) is 50 t top and bottom combined blowing converter-LF-280 mm × 325 mm casting bloom-continuous rolling to Φ12 mm rod products. It is obtained by examination that as nitrogen content in steel is 0.0046%, the HRC hardness value of quenched steel is 41 ~ 43, while as the nitrogen content in steel is 0.0081%, the HRC value of quenched steel is 21 ~ 27 that is less than the specification requirement HRC value 38. And it is obtained by test that as Ti/N ≤ 8, with increasing Ti/N the yield of boron in steel increases obviously, for instance on condition that the nitrogen content in steel is 0.0046% with Ti/N being 7.4, the yield of boron is up to 90%, and on this condition the nitrogen in steel is 0.0081% with Ti/N being 4.3, the yield of boron in steel is less than 70% led to low boron content in steel and lower HRC value of quenched steel. By improving the BOF and LF operation to control the nitrogen in steel less than 0.005% (0.0039% ~ 0.0041%) with Ti/N being 7.5 ~ 8.1, the quenched HRC value of core of rod product is 40 ~ 42 to meet the requirement of user.

Material Index Cold Heading Steel 10B21, Quenched Hardness, Nitrogen Content

10B21 是一种低碳含硼冷镦钢, 主要用于生产 10.9 级高强度紧固件^[1]。该钢种对冷镦性能、表面质量, 尤其是淬火硬度有着严格要求。近期, 有用户反馈公司 10B21 冷镦钢生产的部分螺栓淬火后存在淬火硬度偏低现象。用户要求淬火后 HRC 硬度值大于 38, 而实际样品淬火后 HRC 值只有 20 ~ 27, 影响用户最终使用。

1 生产工艺流程

10B21 冷镦钢的生产流程为: 高炉铁水 + 废钢 → 50 t 顶底复吹转炉 → 50 t LF 精炼 → 大方坯连铸 (280 mm × 325 mm) → 钢坯检验 → 大方坯加热 → 开坯 → 检验 → 钢坯加热 → 高压水除鳞 → 高速线材轧制 → Φ12 mm 10B21 热轧材, 用户通过拉拔冷镦工艺, 最终加工成 Φ9.5 mm 螺栓。

2 检测结果

2.1 化学成分

选取合格螺栓与不合格螺栓进行化学成分对比, 见表 1, 成分上没有太大区别, 均符合标准的控制要求。因此, 可排除化学成分的影响。

2.2 氧氮含量

从表 2 可见, 合格螺栓氧含量为 0.0018%, 不合

表 1 淬火硬度合格与不合格 10B21 冷镦钢的分析成分 / %
Table 1 Composition analysis of qualified and unqualified quenched hardness cold heading steel 10B21 / %

项目	C	Si	Mn	S	P	B	Al
标准要求	0.18 ~ 0.23	≤ 0.10	0.60 ~ 0.90	≤ 0.035	≤ 0.030	0.0008 ~ 0.0030	≥ 0.02
合格螺栓	0.20	0.08	0.83	0.008	0.015	0.0021	0.03
不合格螺栓	0.20	0.06	0.84	0.009	0.017	0.0020	0.04

表2 合格和不合格10B21冷镦钢的[O],[N]和淬火硬度值
Table 2 [O],[N] and quenched hardness value of qualified and unqualified cold heading steel 10B21

项目	[O]/%	[N]/%	淬火硬度 HRC 值		
			心部	1/2 R	边部
合格螺栓	0.001 8	0.004 6	41	43	42
不合格螺栓	0.002 0	0.008 1	21	24	27

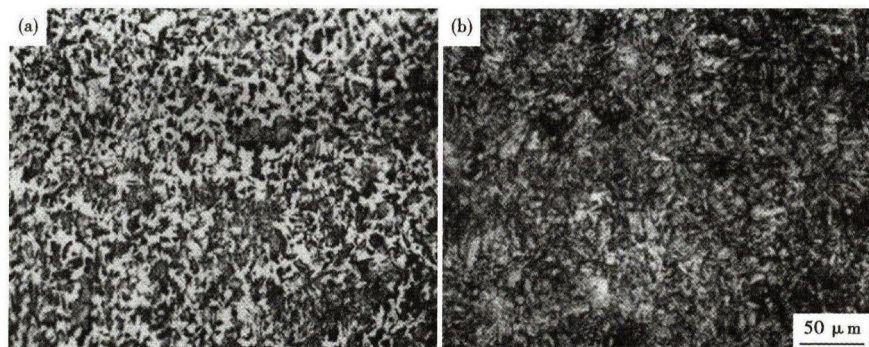


图1 淬火硬度不合格(0.008 1% N) (a)和合格(0.004 6% N) (b)冷镦钢10B21的组织形貌

Fig.1 Morphology of structure of quenched hardness unqualified (0.008 1% N) (a) and qualified (0.004 6% N) (b) cold heading steel 10B21

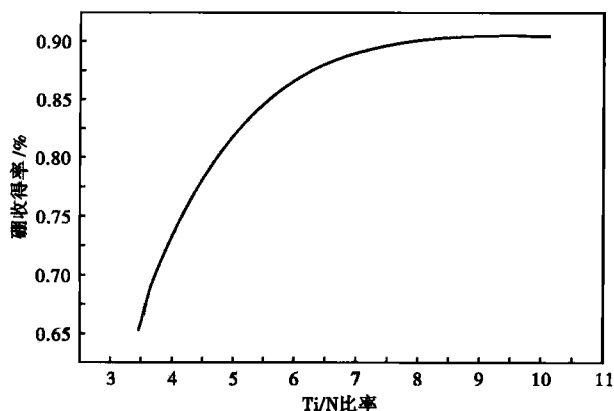


图2 Ti/N对冷镦钢10B21硼收得率的影响

Fig.2 Effect of Ti/N on yield of boron in cold heading steel 10B21

格螺栓氧含量为0.002 0%,与合格螺栓的氧含量相差不大。合格螺栓的氮含量为0.004 6%,而不合格螺栓的氮含量却达到了0.008 1%,氮含量明显偏高。

2.3 淬火组织及淬火硬度

从图1可见,不合格螺栓淬火组织主要为铁素体和珠光体,比例占到80%,而马氏体组织很少,淬火效果较差;合格螺栓的淬火组织95%以上为淬火马氏体组织,淬火效果良好。从表2淬火硬度[螺栓淬火工艺:(880±5)℃,保温75 min,油淬,油温70℃]对比可见,不合格螺栓淬火后边部和心部的HRC硬度值均在38以下,未达到用户的要求;合格

螺栓的边部和心部HRC硬度值均在40以上,淬火硬度满足要求。

2.4 Ti/N值对硼收得率的影响

考虑到Ti/N比对酸溶硼的影响,外委钢铁研究院总院检验钢中酸溶硼的含量,得到Ti/N与硼元素收得率的关系曲线,如图2所示。

从图2中看出,在Ti/N小于8时,随着Ti/N值的增加,硼的收得率呈上升趋势。大于8时,随着Ti/N值的增加,硼的收得率曲线区域平稳。通过对合格螺栓和不合格螺栓的检验,合格螺栓的Ti/N在7.4,收得率达到90%。而不合格螺栓的Ti/N只有4.3,硼的收得率不到70%,收得率偏低。

3 原因分析

研究表明^[2-3],影响含硼钢淬火硬度的关键主要为钢中的酸溶硼,又称有效硼,指的是除去结合成氧化物和氮化物以外的溶解在奥氏体中的硼。一般认为钢中有效硼原子溶入奥氏体时易偏聚于晶界,降低了晶界的能量,抑制了先共析铁素体及珠光体的形核,延长了奥氏体分解的孕育期,使临界冷却速度减少,从而增大淬火硬度^[4]。

卡帕迪亚等人通过实验总结出了酸溶硼的经验公式^[5]:

$$B_{\text{有效}} = \{B_{\text{总}} - [(N\% - 0.002) - Ti/5 - Zr/15]\} \quad (1)$$

从式(1)中可以看出,要得到有效硼,需尽量减少钢中的N含量,避免硼与氧、氮形成氧化物(B_2O_3)或氮化物(BN),严重影响钢的淬火硬度^[6]。

分析结果表明,不合格螺栓出现淬火硬度不高的主要原因是钢中N含量偏高,造成钢中有效硼含量减少,在淬火过程中影响马氏体组织的形成,最终造成淬火硬度低。

4 工艺措施及效果

4.1 炼钢工序N含量跟踪

对炼钢各工序取样进行N含量取样检测,取样位置和检测结果见图3。

从图3中可看出,钢水中N含量高,一方面是转炉出钢时钢水中氮含量偏高,达到0.003 1%;另一方面是钢水增氮严重,主要集中在两个过程,从转

炉底吹氩前到 LF 进站过程增氮 0.000 9% , LF 精炼过程增氮严重达到 0.002 3% 。连铸浇注过程控制良好,没有出现增氮现象。

通过现场调研发现,转炉出钢时补吹次数较多,出钢时间偏长和底吹氩气量太大是造成转炉钢水氮含量偏高的主要原因,LF 工序增氮严重主要是所造泡沫渣层稀薄,埋弧效果差,导致钢水裸露吸氮。

4.2 控氮措施

针对上述增氮情况,采取以下措施进行氮含量的控制:(1)严格控制补吹时间在 60 s 以内,只允许补吹一次;(2)出钢时保持出钢口状态良好,钢流圆整,出钢时间控制在 3 ~ 6 min;(3)严禁转炉出钢采用大氩气量,底吹氩气量以钢水液面不裸露为宜;

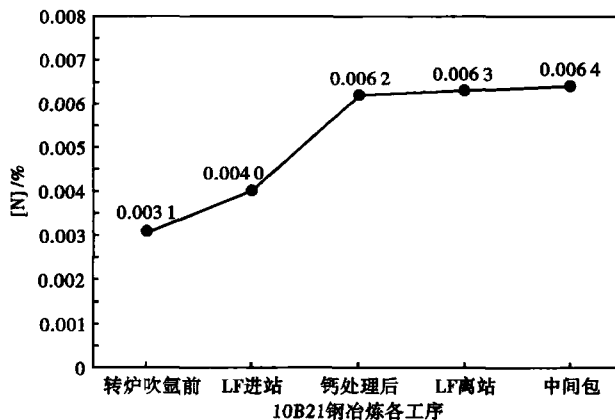


图 3 工艺改进前 50 t BOF-LF-CC 流程 10B21 冷镦钢中氮含量变化

Fig. 3 Variation of nitrogen content in cold heading steel 10B21 in 50 t BOF-LF-CC flowsheet before process improvement

表 3 改进前后冷镦钢 10B21 的控氮工艺

Table 3 Control nitrogen process for cold heading steel 10B21 before and after improvement

工艺	转炉				LF 精炼			
	补吹时间/s	补吹次数/次	出钢口维护	出钢时间/min	底吹氩气操作	微正压操作	渣层厚度/mm	电压操作
改进前	40 ~ 100	平均 2 次	没有严格要求	平均 4 ~ 7	不稳定,气量时大时小	执行不到位,存在负压现象	20 ~ 60	大电流小电压
改进后	≤ 60	≤ 1	定期严格维护	3 ~ 6	严禁采用大氩气量	严格执行微正压	≥ 50	小电流小电压

表 4 工艺改进前后冷镦钢 10B21 的氮含量和淬火心部硬度值

Table 4 Nitrogen content and rod center quenched hardness value of cold heading steel 10B21 before and after process improvement

取样炉次号	改进前				改进后			
	[N] / %	[Ti] / %	Ti/N	淬火心部 HRC 值	[N] / %	[Ti] / %	Ti/N	淬火心部 HRC 值
1#	0.006 9	0.033	4.78	21	0.004 7	0.035	7.5	40
2#	0.006 4	0.030	4.68	22	0.004 5	0.035	7.7	41
3#	0.006 2	0.030	4.84	24	0.003 9	0.031	7.9	44
4#	0.006 3	0.031	4.92	24	0.004 1	0.033	8.1	42

(4)采用炉内微正压操作,减少精炼过程中钢水吸气;(5)在精炼过程尽早造泡沫渣,渣层厚度不低于 50 mm,加强埋弧;(6)在泡沫渣形成前,使用小电流、小电压操作,随着泡沫渣的形成,再逐渐提高电极电流和电压。

4.3 工艺改进前后对比

对工艺改进前后的盘条及对应的淬火螺栓进行取样,检验 [N]、Ti/N 及淬火硬度值,结果如表 4 所示。可见,采取控氮措施后,[N] 稳定控制在 0.005% 以下,低的达到 0.003 9%,Ti/N 控制在 7 以上,Φ12 mm 轧材心部淬火 HRC 硬度值均在 38 以上,满足用户对淬火硬度的需求。

5 结论

(1)钢中氮含量偏高是造成冷镦钢 10B21 淬火

硬度偏低的主要原因。

(2)严格控制转炉工序和 LF 工序钢水增氮,钢水氮含量稳定控制在 0.005% 以下。

(3)在目前工艺条件下,控制 Ti/N 值在 6 ~ 8,以保证钢中有效硼含量。

参考文献

- [1] 余刚,袁武华,刘泽亚,等. 10B21 冷镦钢连铸工艺优化研究[J]. 铸造技术,2011,32(3):344-347.
- [2] 金光秀,杜林秀,高彩茹. 含硼微合金钢中氮化物形成的热力学分析[J]. 东北大学学报(自然科学版),2015,36(4):483-488.
- [3] 陈卓,吴晓春,汪宏斌,等. 硼含量及奥氏体温度对 P20B 钢淬透性的影响[J]. 钢铁研究学报,2008,20(10):40-43.
- [4] 童志博,彭其春,沈东东,等. 硼在钢中的作用及应用[J]. 中国冶金,2013,23(5):12-16.
- [5] 毛新平. 薄板坯连铸连轧微合金化技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2008:359.
- [6] 孙永嘉,李法兴,张君平,等. 冶炼硼钢控制硼含量的工艺实践[J]. 特殊钢,2013,34(4):33-35.

李永超(1985-),男,硕士(2012年北京科技大学),工程师,2009年河北理工大学(本科)毕业,中低碳的开发和工艺控制。E-mail:liyongchao1220@163.com

收稿日期:2016-04-18