

10B21 冷镢钢冶炼工艺优化实践

陈修君¹, 毕胜¹, 周伟基¹, 姚玉东², 王鑫¹

(1 东北特殊钢集团股份有限公司总工办; 2 东北特殊钢集团股份有限公司, 大连, 116000)

摘要 针对10B21含硼钢($\% : 0.18 \sim 0.23C, \leq 1.0Si, 0.60 \sim 0.90Mn, \leq 0.025P, \leq 0.020S, \geq 0.015Al, \geq 0.008B$)盘条表面铁皮疤缺陷及连铸坯角部表面裂纹进行了分析, 通过优化钢的成分控制($\% : 0.020 \sim 0.050Al, 0.03 \sim 0.05Ti, \leq 0.0060N, 0.0008 \sim 0.0012B$)提高拉速至2.3~2.4 m/min以保证铸坯过拉矫时温度 $\geq 980^\circ C$, 采取将连铸二冷比水强度由原1.29 L/kg降至1.05 L/kg等措施, 可以有效控制连铸坯角部表面裂纹的出现, 轧制后的盘条表面铁皮疤缺陷率由原来的15%降到1%以下。

关键词 含硼冷镢钢 10B21 合金成分 表面裂纹 工艺优化

Smelting Process Optimization Practice for Cold Heading Steel 10B21

CHEN Xiujun¹, BI Sheng¹, ZHOU Weiji¹, YAO Yudong², WANG Xin¹

(1 Chief Engineer Office of Dongbei Special Steel Co Ltd; 2 Dongbei Special Steel Co Ltd, Dalian, 116000)

Abstract According to analysis on the scab defects on the surface of 10B21 boron-containing steel ($\% : 0.18 \sim 0.23C, \leq 1.0Si, 0.60 \sim 0.90Mn, \leq 0.025P, \leq 0.020S, \geq 0.015Al, \geq 0.008B$) wire rod and the surface cracks on the corners of continuous casting billet, by optimizing the composition control of steel ($\% : 0.020 \sim 0.050Al, 0.03 \sim 0.05Ti, \leq 0.0060N, 0.0008 \sim 0.0012B$), increasing the drawing speed to 2.3~2.4 m/min to ensure the through stretching and straightening temperature of the slab $\geq 980^\circ C$; by reducing the specific water strength of the secondary cooling of continuous casting from original 1.29 L/kg to 1.05 L/kg, etc, that can effectively control the corner crack on the surface of continuous casting billet, the scale defect rate is declined from the original 15% to less than 1% after the rolled wire rod.

Material Index Boron Cold Heading Steel 10B21, Alloy Elements Content, Surface Crack, Process Optimization

10B21 钢是一种低碳含硼冷镢钢, 主要用于生产高强度紧固件^[1-2]。但是在含硼钢生产中, 若工艺及硼含量控制不好容易带来连铸坯表面及皮下裂纹问题。由于皮下裂纹的隐蔽性, 在生产后期质检中较难发现, 很容易在轧制时产生废品, 影响正常的合同交付^[3]。裂纹还会使铸坯热送技术和连铸连轧技术的采用受到影响。因此, 研究含硼钢易产生裂纹的内在原因, 对稳定连铸生产、提高产品质量具有重要意义。

通过对东北特钢 10B21 冷镢钢轧制盘条出现的铁皮疤缺陷进行了分析, 从连铸坯裂纹产生机理的角度, 对 Al、N、B 元素成分控制和连铸生产工艺参数进行了优化, 有效的控制了连铸坯角部表面裂纹的出现。

1 表面缺陷分析

10B21 冷镢钢盘条生产工艺流程如下: 铁水-

110 t 氧气顶吹转炉-110 t LF 精炼-150 mm × 150 mm 连铸-双高线轧制(成品规格为 $\Phi 6.5 \sim$

表 1 10B21 钢盘条化学成分/%

Table 1 Chemical composition of wire rod 10B21/%

C	Si	Mn	P	S	Al	B	O
0.18~0.23	≤ 0.10	0.60~0.90	≤ 0.025	≤ 0.020	≥ 0.015	≥ 0.0008	≤ 0.0030

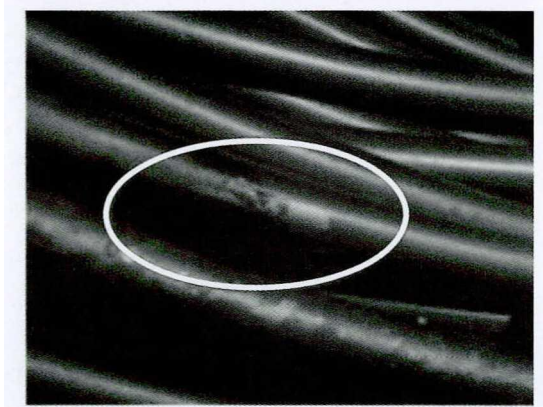


图 1 10B21 钢盘条表面铁皮疤宏观形貌

Fig. 1 Macromorphology of scale at surface of 10B21 steel coil

16 mm)-空冷-检查-打包称重-入库。10B21 钢化学成分如表 1 所示。

10B21 钢生产之初,采用 150 mm × 150 mm 连小方坯轧制盘条后,在成品检验环节盘条表面出现大量铁皮疤缺陷,宏观形貌如图 1 所示。对典型缺陷进行了金相检验,50 倍金相形貌如图 2 所示。

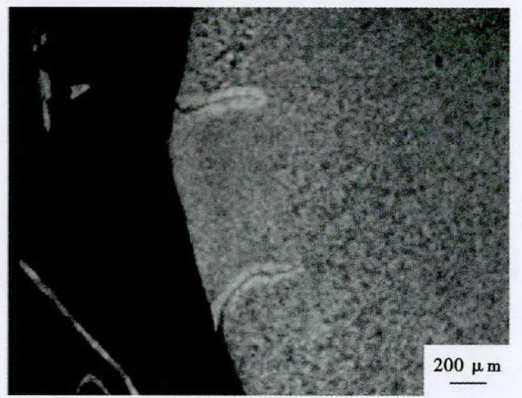


图 2 缺陷金相形貌,50X

Fig.2 Metallographic morphology of defect magnification, 50X

通过高倍金相检验可以看出,缺陷处有指向圆心的扩展裂纹存在,深度在 0.60 ~ 0.75 mm;且周围带有明显的脱碳,深度 0.04 ~ 0.06 mm。盘条无缺陷表面位置脱碳深度为 0.05 ~ 0.08 mm,裂纹脱碳深度与正常表面脱碳深度吻合,基本可以确定铁皮疤缺陷源自轧制前的连铸坯缺陷。

对同一炉次因轧制产生铁皮疤缺陷剔炉的其它钢坯在黑皮状态下进行了表面检查,表面并未发现肉眼可见的裂纹。但是,通过对连铸坯大量切取低倍进行酸洗后,发现部分低倍在连铸坯圆角附近表面和近皮下存在细小的裂纹,基本呈横向分布,如图 3(a)(b)所示。

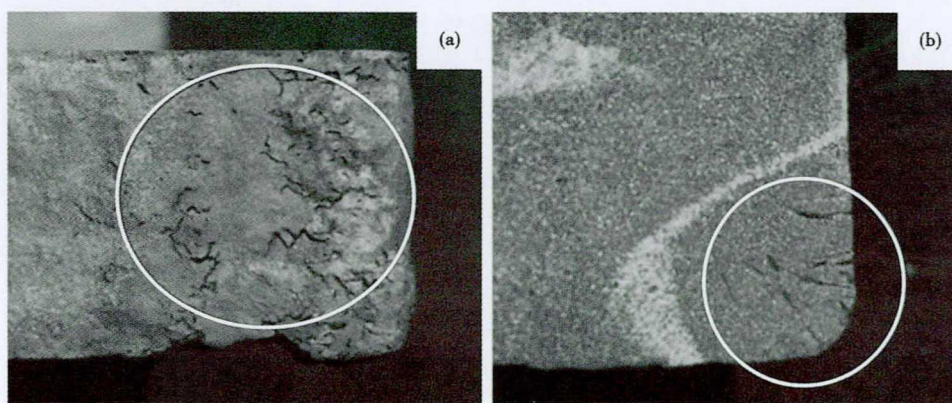


图 3 10B21 钢 150 mm × 150 mm 铸坯表面(a)和横断面(b)裂纹宏观形态

Fig.3 Morphology of crack of macro-surface (a) and cross section (b) of 150 mm × 150 mm cast billet of 10B21 steel

通过电镜扫描分析,在裂纹处并未发现 Ca、Al、Mg 等夹杂元素和 Cu 元素,说明此裂纹缺陷并不是夹杂、卷渣或结晶器铜管磨损渗 Cu 引起。据文献报道,在含硼钢中,当 N 含量从 11×10^{-6} 提高到 49×10^{-6} 时,优先在原始奥氏体晶界出现大量细小 BN 沉淀。BN 析出会钉扎于晶界,导致晶界脆化,进而引起热塑性降低^[4-5]。

结合 10B21 钢中含 B 的特性,又由于细小 BN 采用一般的检测手段很难检测到,可以推测在图 3 的裂纹处不排除聚集了一定量的 BN。

文献[6-7]指出,连铸过程中矫直阶段的温度在 700 ~ 1 000 °C, BN 的析出温度在 900 ~ 1 150 °C,基本处于矫直的温度范围。在较快的冷速下,就会生成细小的 BN 析出物,并在晶界上析出,会起到钉扎晶界的作用,此时晶界无法发生迁移,只能滑移,若晶界上存在微孔或微裂纹,就会沿晶界相互连接或扩展。同时,B 元素加入碳钢中会粗化组织的晶粒,而钢的屈服强度和抗拉强度随着晶粒尺寸的增加而降低。考虑到组织变化的遗传性,在高温下,含硼钢的屈服强度和抗拉强度都要低于无硼钢,综上,在高温下,含硼钢比无硼钢更易产生裂纹。

由于 B 的化学性质活泼,易与钢中的 O、N 发生反应生成 BN 和 B₂O₃,因此,在精炼过程中要添加其它合金元素来抑制钢中 BN 和 B₂O₃ 的生成。比较钢中脱氧元素脱氧反应在 1 600 °C 时的自由焓变可以得知,钢中各元素的脱氧能力由大到小的顺序为 Al > Ti > Si > B > Mn > C > Fe,其中 Al 的脱氧能力要远大于其余几种元素,优先与 O 反应。一般钢水采用 Al 脱氧都会在钢水中保留一定的残余 Al,避免 B 的损失。比较钢中强氮化物形成元素 B、Ti、Al 同 N 反应在 1 600 °C 时的自由焓变可以得出,脱氮能力

由大到小为 Ti > B > Al。一般认为,只要加入的 W(Ti)/W(N) 超过 3.4 就能保证 B 与 N 反应的可能性降至最低^[4]。从成分、脱氧和脱氮反应的自由焓变来看,同时考虑在连铸过程中化合物的析出顺序(依次为:TiN → MnS → BN → AlN),3 种合金元素的加入顺序应该为先加 Al 充分脱氧后,再加入 Ti 脱氮,这样可以充分发挥

表2 10B21钢优化后成分控制/%

Table 2 Optimized controlled composition of 10B21 steel/%

项目	Al	Ti	N	B
标准成分	≥0.015	-	-	≥0.0008
优化成分	0.020~0.050	0.03~0.05	≤0.006	0.0008~0.0012

Ti脱氮的作用,最后再加入B。

2 工艺优化措施

依据含硼钢连铸坯裂纹形成的机理可知,若想使裂纹缺陷得到有效控制,需要在冶炼过程有效控N、固N,减少B的氮化物和氧化物的生成,同时控制连铸凝固冷却强度等,采取的工艺优化措施如下。

2.1 冶炼成分控制

为了脱氧充分,钢中Al含量按0.020%~0.050%进行控制;为了减少BN的形成,B成分按标准成分下限控制;通过采取避免转炉出钢散流、降低精炼送电功率及氩气搅拌强度等措施,控制N含量≤0.0060%;同时增加Ti控制进行固N^[8],如表2所示。

2.2 合金加入时机及顺序

(1)LF到站后采用Al线沉淀脱氧,炉中首次分析成分Al按0.050%~0.055%控制。

(2)精炼后期进行Ti合金化,此时若Al含量不满足要求,先将Al含量按中上限进行Al合金化,间隔≥3min后再进行Ti合金化(Ti收得率按80%参考加入)。

(3)吊包浇注前进行B合金化,并按下限控制。

2.3 连铸控制

(1)开浇前,对中间包进行氩气吹扫,浇注过程长水口采用氩气保护,保证浸入式水口对中,以减少吸入空气。

(2)控制中间包钢水过热度在35℃以下,提高拉速至2.3~2.4m/min,使钢水在较低温度下浇铸,更有利于加速钢水的凝固,降低B的偏析程度,同时保证拉矫温度≥980℃。

(3)降低二冷强度,将原来的强冷A组(比水量1.29L/kg)优化为中强冷B组(比水量1.05L/kg)。通过降低二冷区冷却强度,减少原始奥氏体晶界处细小BN的析出。

3 效果验证

采用工艺优化后共计生产10B21钢37炉,约4000t。经统计,结果如下:

表3 10B21钢工艺优化前后成分对比/%

Table 3 Contrast of analyzing composition of 10B21 steel before and after optimization process/%

工艺	样本数/炉	Al	Ti	N	B
优化前	26	0.018	0.023	0.0075	0.0017
优化后	37	0.025	0.039	0.0055	0.0012

(1)Al、Ti、N、B平均含量得到了有效改善,如表3所示。

(2)通过对连铸坯进行表面检查及连铸低倍检验(抽检48片),连铸坯圆角附近表面和近皮下没有发现细小裂纹。

(3)轧制后盘条表面铁皮疤缺陷率由原来的15%降到1%以下。

4 结论

(1)将钢中Al含量控制在0.020%~0.050%、控制N≤0.060%、B控制在0.008%~0.0012%;(2)先进行Al合金化,再进行Ti合金化,吊包前进行B合金化;(3)将连铸拉速提高到2.3~2.4m/min,保证铸坯过拉矫温度≥980℃;(4)将连铸二冷比水量降低到1.05L/kg。通过以上工艺优化措施可以有效控制10B21钢150mm×150mm连铸坯表面角部表面裂纹的出现,轧制后的盘条表面铁皮疤缺陷率由原来的15%降到1%以下。

参考文献

- [1]谢杰智,寻忠忠,黄德智. 10B21冷镢开裂原因分析[J]. 连铸, 2017, 42(4): 32-35.
- [2]帅习元,叶巍,仇东丽,等. 含硼冷镢钢10B21冷镢开裂原因分析[J]. 钢铁研究, 2014, 42(6): 40-42.
- [3]任根柱,赵凤芹,孙江波,等. 10B21冷镢钢冷镢开裂原因分析[J]. 连铸, 2019, 44(5): 54-57.
- [4]谷金波,臧若愚. 含硼钢表面裂纹产生的内因及对策研究进展[J]. 工业技术创新, 2014, 1(1): 50-56.
- [5]田树生,易耀云,杨勇. 45B含硼钢裂纹成因分析及改进[J]. 金属材料与冶金工程, 2010, 38(5): 36-38.
- [6]蔡可森,姚永宽. 含硼钢中硼的存在形式及控制研究[J]. 炼钢, 2015, 31(3): 45-48.
- [7]刘青,张建峰,张晓峰,等. 合金弹簧钢连铸坯高温力学性能分析[J]. 重庆大学学报, 2013, 36(5): 44-50.
- [8]冯士超,王艳红,潘秀兰,等. 硼钢炼钢连铸技术发展现状[J]. 炼钢, 2012, 28(4): 69-73.

陈修君(1979-),男,高级工程师,2006年内蒙古工业大学(本科)毕业,炼钢工艺研究。E-mail: chenxiujun@dtsteel.com

收稿日期:2022-01-06