

Q235B 和 Q345B 钢中厚板表面纵裂纹的成因分析和工艺优化

陈振业¹ 张阔斌² 王云阁³ 尹绍江³ 李建新¹ 刘铁力²

(1 河北钢铁技术研究总院, 石家庄 052165; 2 唐山中厚板材有限公司, 唐山 063000;

3 河北钢铁集团唐山钢铁有限责任公司技术中心, 唐山 063000)

摘要 Q235B 钢(/% : 0.14 ~ 0.17C, 0.30 ~ 0.60Mn, 0.010 ~ 0.040Als) 和 Q345B 钢(/% : 0.15 ~ 0.18C, 1.30 ~ 1.60Mn, 0.010 ~ 0.040Als) 100 mm 厚板的生产流程为铁水预处理-120 t 转炉-LF-200 mm 板坯连铸-轧制工艺。通过分析得出中厚板表面纵裂纹源于铸坯裂纹。通过保护渣碱度由 1.16 提高至 1.26, 1300 °C 黏度由 0.80 Pa·s 提高至 0.97 Pa·s, 软搅拌时间不低于 10 min, 拉速控制在 1.0 m/min 左右, 液面上下波动 ≤ 5 mm, 保持结晶器锥度 9.0 mm, 钢水过热度 20 ~ 25 °C, 二冷水为 0.662 L/kg 等工艺措施, 使 Q235B 和 Q345B 钢中厚板纵裂率由 2.17% 下降至 1.08%, 板材综合合格率由原 94.78% 提高到 98.16%。

关键词 中厚板 Q235B 和 Q345B 钢 纵裂纹 铸坯 工艺优化

Analysis on Formation of Surface Longitudinal Crack of Steel Q235B and Q345B Medium-Heavy Plate and Process Optimization

Chen Zhenye¹, Zhang Kuobin², Wang Yunge³, Yin Shaojiang³, Li Jianxin¹ and Liu Tieli²

(1 Centre Iron and Steel Technology Research Institute, HBIS, Shijiazhuang 052165;

2 Tangshan Medium-Heavy Plate Co Ltd, Tangshan 063000;

3 Technical Center, Tangshan Iron and Steel Co Ltd, Hebei Iron and Steel Group, Tangshan 063000)

Abstract The flowsheet of 100 mm heavy plate of steel 235B (/% : 0.14 ~ 0.17C, 0.30 ~ 0.60Mn, 0.010 ~ 0.040Als) and steel Q345B (/% : 0.15 ~ 0.18C, 1.30 ~ 1.60Mn, 0.010 ~ 0.040Als) is hot metal pretreatment-120 t converter-LF-220 mm slab casting-rolling process. By analysis it is obtained that the surface cracks of medium-heavy plate originate from cracks of casting slab. With using the process measures including increasing basicity of mold shielding slag from 1.16 to 1.26, increasing its viscosity at 1300 °C from 0.80 Pa·s to 0.97 Pa·s, soft stirring time no-less than 10 min, controlling casting speed about 1.0 m/min; liquid surface up and down ≤ 5 mm; maintaining mold cone 9.0 mm; liquid superheat extent 20 ~ 25 °C and secondary water rate 0.662 L/kg, the ratio of longitudinal cracks of steel Q235B and Q345B medium-heavy plate decreases from original 2.17% to 1.08%, and the comprehensive qualified ratio of plate products increases to 98.16% from original 94.78%.

Material Index Medium-Heavy Plate, Steel Q235B and Q345B, Longitudinal Crack, Casting Slab, Process Optimization

唐山中厚板材有限公司拥有两条 3500 mm 中厚板生产线, 主要产品为碳素结构钢、低合金钢、船板钢、锅炉钢、压力容器钢和桥梁钢等钢种。钢板表面裂纹是影响产品合格率的最主要缺陷之一, 以 Q235B 和 Q345B 最严重。

1 纵裂纹成因分析

1.1 纵裂纹形态及分布

唐山中厚板材公司产品表面纵裂纹按照纵裂形态和位置分布大致可分为以下两种: 第一种分布在板材宽度方向的 1/2 处, 裂纹较长, 通常贯穿整个板材表面, 裂纹宽度在 0.5 ~ 1.0 mm (图 1a); 第二种分布在板材宽度方向的 1/4 处, 一条或两条裂缝, 长度较短, 多数在 1 ~ 2 m (图 1b); 这些纵裂纹经常批量出现, 其中薄规格板材上出现少, 厚规格板材上纵

裂出现几率较大; 且厚规格板材出现的纵裂纹裂缝宽度较大且较深, 薄规格板材表面纵裂纹相对较细, 深度较浅。

中厚板的生产工艺为: 铁水预处理 → 120 t 转炉冶炼 → LF 精炼 → 板坯连铸 → 加热 → 轧制 → 冷却 → 探伤 → 取样。Q235B 及 Q345B 化学成分见表 1。

1.2 纵裂纹微观分析

抛光试样上, 裂纹之间有大量的氧化亚铁, 周围有颗粒状氧化物。将抛光的试样用 4% 的硝酸酒精溶液浸蚀后发现裂纹周围有明显的脱碳现象, 如图 2 所示。

1.3 原因分析

1.3.1 钢板表面纵裂纹

(1) 图 2 为钢板横断面裂纹和附近组织形貌

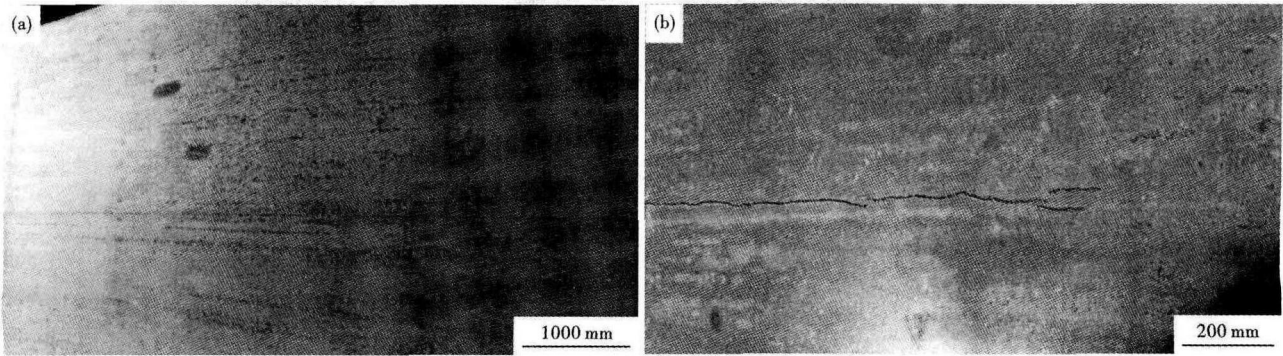


图1 Q345B钢板宽度方向1/2处纵裂纹(贯穿整个长度方向)(a)和Q235B钢板宽度方向1/4处(b)纵裂纹形貌

Fig.1 Morphology of longitudinal cracks of steel Q345B plate at 1/2 of width direction (throughout the length) (a) and of steel Q235B plate at 1/4 of width direction (b)

表1 Q235B和Q345B钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel Q235B and Q345B /%

牌号	C	Si	Mn	P	S	Als
Q235B	0.14 ~	0.10 ~	0.30 ~	≤	≤	0.010 ~
	0.17	0.30	0.60	0.030	0.025	0.040
Q345B	0.15 ~	0.25 ~	1.30 ~	≤	≤	0.010 ~
	0.18	0.40	1.60	0.025	0.020	0.040

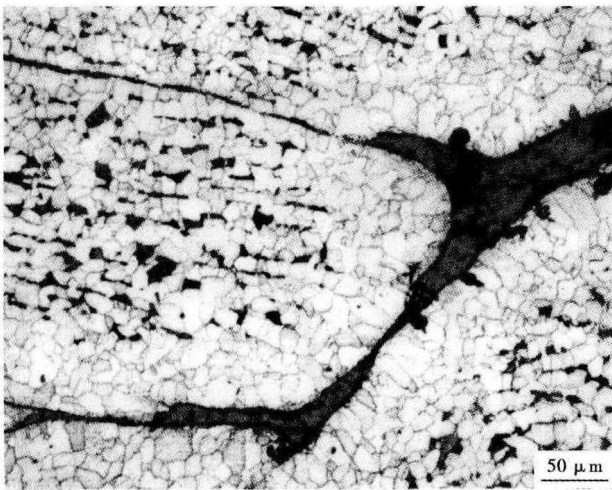


图2 钢板横断面裂纹和附近组织形貌

Fig.2 Morphology of crack and nearby structure at cross section of steel plate

图,由金相图发现裂纹周围有明显的脱碳层。“脱碳”是钢中的碳与氢或氧反应生成甲烷或一氧化碳,致使碳含量降低^[1]。钢在高温加热情况下才会发生脱碳,所以根据金相组织检验,可以判定裂纹在板坯加热时就已经存在。其次裂纹缝隙中含有大量的氧化亚铁,表明在加热时裂纹就已经是开口状态,这也可以证明钢板裂纹来源于连铸坯。

(2)对铸坯进行跟踪调查,发现部分铸坯表面有较长的纵向热应力裂纹。其位置分布与对应板材纵裂纹出现位置相吻合。

(3)将有裂纹铸坯进行修磨后轧制,发现修磨的铸坯轧制后产生钢板纵裂的几率明显小于有裂纹的板坯。

1.3.2 铸坯纵裂纹

板坯表面纵裂纹在连铸机内产生原因如下^[2]:

(1)板坯横断面低倍检验表明,纵裂纹起源于激冷层薄弱处(在2~3 mm)。

(2)结晶器的模拟试验表明,纵裂纹起源于结晶器弯月面区周边坯壳厚度薄弱处。

这说明铸坯纵裂纹起源于结晶器的弯月面区初生凝固壳厚度的不均匀性。一旦坯壳上的拉应力超过钢的高温允许强度和应变时,坯壳薄弱处就会产生微裂纹,出结晶器后在二冷区继续扩展。要防止纵裂纹产生,就必须保证结晶器弯月面初生坯壳厚度均匀,避免坯壳产生应力梯度。由于包晶相变的收缩特征无法改变,因此必须准确控制影响结晶的初生坯壳生长的工艺因素,才能防止纵裂纹产生。

2 减少板材纵裂的措施

2.1 使用合适的保护渣

在连铸工艺中,保护渣碱度较大时可形成较高比例的晶体相和降低坯壳表面热流,最终减少铸坯表面裂纹。而保护渣碱度增大时其粘度减小,降低了保护渣的消耗量,容易造成生产质量事故。

对结晶器坯壳表面易产生凹陷(纵裂)和粘结的钢种,选用保护渣的原则是^[2]:凹陷钢(包晶钢):热流控制;固体渣层厚度;高熔点;高粘度;较高结晶温度(高碱度)。粘结钢:摩擦力控制;液渣膜厚度;低熔点;低粘度;低碱度(玻璃性)。

对于唐山中厚板材有限公司铸坯纵裂发生率较高的Q235B和Q345B钢种来说,应要求保护渣有较高的结晶温度和析晶率,较高的碱度和粘度,与此同

时,也要求保护渣的稳定性和钢渣分离性良好。因此对现有连铸保护渣的成分和性能进行了调整,调整前后保护渣的成分和性能如表 2 所示。

2.2 确保软搅拌时间

钢水纯净度会明显影响板材纵裂产生^[3]。为了减少钢中夹杂物,提高钢水的纯净度,就要避免由于钢水中夹杂物的存在导致保护渣变性,恶化结晶器内的传热条件,造成铸坯表面裂纹的产生。因此要求确保精炼炉软搅拌时间,每炉钢水的软搅拌时间不得少于 10 min,使 Al_2O_3 尽可能从钢水中上浮。

2.3 连铸工艺控制

结晶器内初生坯壳厚度不均匀是纵裂产生的主要因素之一。弯月面处结晶器传热不均匀、传热太快、传热变化大,均可造成初生坯壳厚度不均匀^[4]。

唐山中厚板材有限公司中间包容量为 40 t,连铸机主要生产 220 mm × 1 600 mm 和 220 mm × 2 000 mm 两种断面的连铸坯。主要采取如下措施来减少 Q235B 和 Q345B 钢裂纹的产生。

(1) 稳定拉速,避免结晶器内钢水液面波动过大,保证液面波动小于 ±5 mm,确保形成均匀厚度的渣膜时结晶器内初生坯壳厚度均匀。稳定拉速也避免了波动时造成凝固点的提前和滞后,减少中心的疏松,减少裂纹的产生。对于 Q235B 和 Q345B 钢,将拉速稳定控制在 1.0 m/min 左右。

(2) 选择合适的结晶器锥度,尤其是窄面锥度,保持结晶器锥度在 9.0 mm 左右。

(3) 钢水过热度控制在 20 ~ 25 °C,减少温度过高造成的柱状晶发达而导致晶界强度下降,造成裂纹。一方面,钢水过热度大,则结晶器内温度梯度大,坯壳热流增加,另一方面过热度大,则拉速被迫降低,而低拉速下,纵裂指数上升明显^[5]。

(4) 提高铸机对弧精度,保证浸入式水口对中,插入深度和出口倾角要合适,防止倾角过大或过小造成角部冲刷严重或液面紊流。

(5) 选择合适的二冷强度与拉速匹配,尽量避免铸坯在第Ⅲ脆性区(700 ~ 900 °C)矫直;铸坯表面温度均匀、波动小,保证铸坯内外部质量。二冷比水量过大时,铸坯在第Ⅲ脆性区矫直,容易产生矫直裂纹;同时由于强冷在铸坯表面所产生的热应力大会进一步加剧表面裂纹的扩展,严重时甚至引起裂纹漏钢^[6]。生产 Q235B 和 Q345B 钢时选用总比水量 0.662 L/kg 的弱冷水表,避开在脆性区温度矫直。

表 2 结晶器保护渣调整前后组成,碱度和黏度

Table 2 Ingredient, basicity and viscosity of mold powders before and after optimization

工艺	成分/%								碱度	1 300 °C 黏度/ (Pa · s)
	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO		
调整前	30.7	26.5	6.27	0.19	4.20	0.58	0.93	3.50	1.16	0.80
调整后	33.6	26.6	9.08	0.20	2.30	1.40	0.60	3.90	1.26	0.97

2.4 坯料质量和轧制工艺控制

在板坯入炉前加强坯料检查力度,发现缺陷板坯要及时下线,用火焰清理表面缺陷后再入炉,杜绝缺陷板坯入炉、轧制,防止批量缺陷出现。

控制低温段加热速度,保证加热均匀,适当增加道次压下量,选择适当的终轧温度,避免两相区混晶轧制。

3 改善效果

改进工艺措施后,中厚板的表面裂纹明显减少,产品质量稳步提升,中厚板纵裂率由 2.17% 降低至 1.08%,产品综合合格率由改进前的 94.78% 提高到 98.16%。

4 结论

(1) 经过研究分析和对比实验,确定板材纵裂纹来源于铸坯表面裂纹。

(2) 通过优化冶炼、连铸和轧钢工艺,减少铸坯表面裂纹,提高入炉板坯质量,板材纵裂明显减少,产品合格率逐步提高。中厚板纵裂率由 2.17% 降低至 1.08%,产品综合合格率由改进前的 94.78% 提高到 98.16%。

参考文献

- [1] 王广生. 金属热处理缺陷分析及案例[M]. 北京:机械工业出版社,2000:150-154.
- [2] 蔡开科. 连铸坯表面裂纹的控制[J]. 鞍钢技术,2004(3):1-8.
- [3] 卢盛意. 连铸坯质量[M]. 北京:冶金工业出版社,2005:214-223.
- [4] 郭世宝,王广林,梁世勇,等. 安钢板坯纵裂原因分析及控制措施[J]. 炼钢,2005,21(5):24-28.
- [5] 蔡开科. 碳钢凝固的包晶转变与连铸坯裂纹[J]. 连铸,1994(3):39-42.
- [6] 廖卫团,张志明. 韶钢 Q345B 连铸工艺的优化[J]. 中国冶金,2004(5):10-14.

陈振业(1983-),男,硕士(2009年武汉大学),工程师,2006年武汉大学(本科)毕业,中厚板质量控制、新产品和工艺开发。

收稿日期:2015-06-15