

连铸板坯快冷试验分析 Q345D 包晶钢板坯角部横裂成因和工艺改进

颜慧成¹ 成旭东² 巩彦坤¹ 张 凯² 马静超²

(1 河钢邯钢公司技术中心; 2 河钢邯钢公司三炼钢厂, 邯郸 056015)

摘 要 通过对 220 mm 包晶钢板坯进行在线快冷试验, 取冷却后板坯角部样, 进行热酸浸及金相分析。从零段到矫直段的角样结果表明, 角部横裂纹在矫直段内弧出现, 随着板坯从结晶器往后延伸, 奥氏体晶界的铁素体膜不断增厚, 晶界越清晰, 奥氏体晶粒度尺寸 1.0 ~ 1.5 mm。由于奥氏体晶粒粗大, 并且奥氏体晶界铁素体膜脆弱, 矫直段铸坯角部温度偏低, 进入 III 脆性区后, 导致角部横裂沿着晶界展开。通过结晶器窄面水量由原 30 ~ 32 m³/h 增加至 34 ~ 36 m³/h, 关闭矫直段内弧边部喷嘴, 使板坯角部横裂得到有效控制。

关键词 坯快冷试验 角部横裂 奥氏体晶粒 铁素体膜 工艺改进

Analysis on Formation of Transverse Corner Cracks of Slab of Peritectic Steel Q345D by Slab Quenching Test and Process Improvement

Yan Huicheng¹, Cheng Xudong², Gong Yankun¹, Zhang Kai² and Ma Jingchao²

(1 Technological Center, 2 the 3rd Steel Plant, Hansteel Company, HBIS Group, Handan 056015)

Abstract 220 mm steel blocks were cut at the edge of quenching testing slab of peritectic steel from curving section to straightening section, and then its surface quality and microstructure is analyzed. The result shows that transverse corner cracks appear at straightening section. With the extending of strand from curving section to straightening section, ferrite film at grain boundary of austenite become thicker and clear, and the grain size of austenite is in the range of 1.0 mm to 1.5 mm. Owing to the coarse grain of austenite and thick fragile ferrite film, transverse corner cracks spread along the grain boundary of austenite. With increasing cooling water in single narrow side of mould from original 30 ~ 32 m³/h to 34 ~ 36 m³/h, and shut the side sprayer of inner arc of straightening sections, transverse corner cracks slab is effectively controlled.

Material Index Slab Quenching Test, Transverse Corner Cracks, Grain of Austenite, Ferrite Film, Process Improvement

Q345 系列包晶钢是中厚板主要钢种, 由于其成分特征, 板坯角部横裂一度是中板生产的障碍, 影响中板的金属收得率。关于包晶钢板坯角部横裂的成因与控制, 已有大量的研究文献和研究工作^[1-3], 普遍认为是矫直前铸坯角部温度落在第三脆性区, 虽然这些机制分析大多基于对材料高温塑性的检测与组织分析推导的, 但是在实际生产中, 板坯角部横裂的出现往往比较复杂, 季晨曦等^[4]发现板坯内弧出现单边角部横裂, 杨春政等^[5]采用卧坯试验对板坯取样发现弯曲段外弧自由直变弯产生了横裂。为了准确客观地澄清角部横裂的原因, 本研究通过铸坯快冷试验, 进行表面检查与高倍组织分析, 揭示了角部横裂的产生机制。

1 试验与取样

为了澄清包晶钢角部横裂的产生位置与机制, 通过在线快冷将瞬间组织固定下来, 进行金相组织

与缺陷的对应关系分析。在连铸 Q345D-3 钢(成分见表 1)、220 mm × 1 900 mm 规格板坯最后一炉尾坯时, 在正常连铸工艺下, 突然停止拉坯, 形成卧坯, 并且迅速采用大水量, 使卧坯急剧冷却, 使铸坯表层原始组织保存下来。然后将铸坯在扇形段内弧侧从零段出口到扇形段 7/8 段之间切成三段试验坯, 引锭杆从下顶出扇形段机座, 然后吊出, 三段铸坯长度分别为 5、4.7、4.2 m(图 1, 扇形段 1-6 段, 每段 1.6 m, 段间距离 0.2 m)。

2 铸坯缺陷检查与组织分析

2.1 铸坯缺陷检查

表 1 Q345D-3 钢成分/%

Table 1 Composition of Q345D-3 steel / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Als
标准范围	≤0.18	≤0.50	≤1.70	≤0.030	≤0.025	≥0.015
实测值	0.15	0.18	1.46	0.015	0.005	0.032

表 2 铸坯不同位置切块酸浸后的表面质量
Table 2 Surface quality of aci etched block cut at different position of slab

试验位置	样号	表面质量
坯 1(1-3 段)	1-0	正常
	1-1	正常
	1-2	正常
坯 2(4-5 段)	2-1	正常
	2-2	正常
坯 3(6-7 段)	3-0	正常
	3-1	正常
	3-2	角部横裂

注:样号中前一个数为试验坯序号,后一个数为该坯上切样序号



图 1 试验 Q345D-3 钢 220 mm 板坯及切样照片
Fig. 1 Picture of 220 mm slab of test steel Q345D-3 and sample cutting position



图 2 3-2 样角部横裂纹形貌
Fig. 2 Morphology of transverse corner cracks at sample 3-2

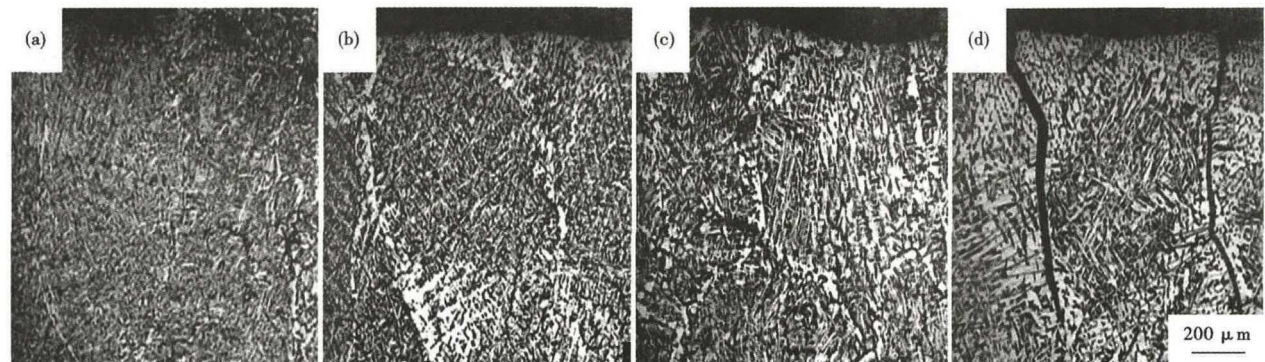


图 3 Q345D-3 钢 220 mm 板坯(a)0 段出口(1-0), (b) 4 段(2-1), (c) 6 段(3-1)和(d) 7 段(3-2)的组织形貌
Fig. 3 Morphology of structure of Q345D-3 steel 220 mm slab at (a) No0 section outlet (1-0), (b) No4 section (2-1), (c) No6 section (3-1) and No7 section (3-2)

在三支试验坯的内弧东侧上分别切取倒角试样,从试验坯的坯头开始,每 2 m 切取一个角样,共 8 个角样(图 1),使用热酸浸泡角样,表面铁皮酸洗后,清水冲洗干净,然后观察表面,表面状况见表 2,显然板坯矫直前表面没有裂纹,只有 3-2 角样发现有细微横裂纹(图 2)。

2.2 金相组织

将典型位置试样 1-0(0 段出口)、2-1(4 段)、3-1(6 段)、3-2(7 段)进行制金相样,磨制抛光腐蚀后,在显微镜下观察组织(见图 3)。金相组织特征为:(1)奥氏体晶粒尺寸 1.0~1.5 mm,有的呈现长条形,奥氏体晶界清晰,越往后铁素体总量增加,在铁素体膜增厚的同时,奥氏体晶粒内部针状铁素体量也同时增加;(2)前期没有可见裂纹,7 段矫直时开始出现细小裂纹(图 3,d);(3)铁素体膜网状组织只是在皮下,往深处为珠光体、铁素体组织。

3 裂纹形成机理与控制措施

3.1 裂纹形成机理

(1) 组织差异

由于试验坯是在停浇后,板坯停留在二冷室快速冷却条件下凝固的,因此其皮下组织能够保留在线状态的原始奥氏体组织,不同位置的组织为分析凝固过程铸坯组织的变化提供条件。

铸坯往下行走的凝固过程中,随着角部温度的降低,奥氏体晶界的铁素体逐渐析出,铁素体膜不断变厚,原始奥氏体晶界析出先共析铁素体,由于晶粒粗大,铁素体膜比奥氏体强度低,拉矫时容易出现裂纹。

(2) 角部温度差异

采用热成像仪进行板坯表面温度测量,板坯扇

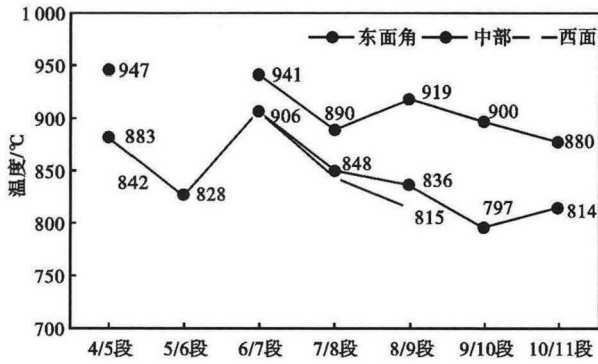


图 4 连铸时板坯表面温度
Fig. 4 Surface temperature of strand slab in casting

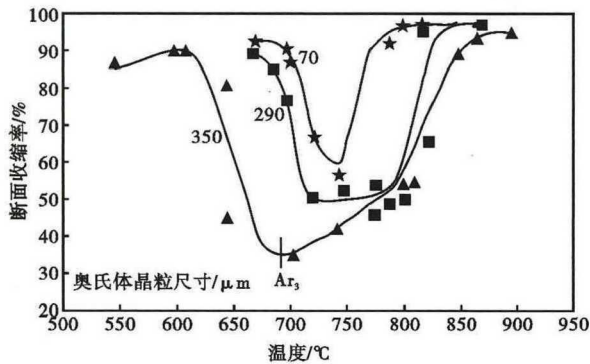


图 5 温度对 Q345 典型钢种奥氏体晶粒尺寸和热塑性的影响
Fig. 5 Effect of temperature on grain size of austenite and thermoplasticity of typical Q345 steel

形段各段间表面温度测量结果见图 4, 板坯角部温度明显低于面部中部温度, 前期由于水量大, 角部温度较低, 第 5、6、7 段温度波动, 进入矫直段(第 7、8 段)之前温度(6/7 段间温度)显著增加, 然后表面温度持续下降, 矫直段角部温度在 904 ~ 815 °C, 第 8 段角部温度在 815 ~ 848 °C, 显然整个矫直段温度避开脆性区是必要的。

温度对 Q345 系列典型钢种奥氏体晶粒度与热塑性的影响见图 5, 显然, 奥氏体晶粒越粗大, 脆性敏感温度区间就越大, 晶粒尺寸 0.35 mm 时, 850 °C 时面塑率开始下降, 所取板坯样品奥氏体晶粒尺寸 1.2 ~ 1.5 mm, 其敏感区域会更宽, 按照趋势面缩率开始下降温度远远超过 850 °C, 而矫直段 7# 段后部分板坯角部温度约在 850 ~ 860 °C (从图 4 中 6/7

段、7/8 段两个段之间温度分析), 此时其塑性应处在急剧下降区域, 并且矫直段表面温度一直在持续下降。为此, 角部横裂的控制应强调整个矫直区域的温度, 不能只限于进入矫直区域温度避开脆性区。

3.2 角部横裂控制

基于角部横裂的形成机制, 通过采取相关措施, 主要是将结晶器窄面冷却水量由 30 ~ 32 m³/h 增加到 34 ~ 36 m³/h, 细化原始奥氏体晶粒, 同时对二冷水进行调整, 清理扇形段堵塞的喷嘴, 关闭矫直段内弧边部喷嘴, 使得角部温度整体波动幅度变小, 整个矫直段温度得以提升, 工艺调整后, 板坯角部横裂纹得到有效控制。

4 结论

(1) 试验研究表明, 板坯角部横裂除因矫直前角部温度偏低引起外, 矫直段区域温度偏低同样产生角部横裂。

(2) 角部横裂的产生源于奥氏体晶粒粗大, 矫直段温度偏低形成较厚的铁素体膜, 因奥氏体晶界铁素体膜脆弱, 致使裂纹沿着晶界开裂。

(3) 通过结晶器水量与二冷调整, 细化奥氏体晶粒, 减小板坯表面温度波动, 提高板坯角部温度分布, 使得角部横裂得到有效控制。

参考文献

- [1] 刘红军, 刘文华. 板坯角部横裂形成的原因及控制措施[J]. 连铸, 2014, 3(2): 43-46.
- [2] 赵 晗, 任一峰. 连铸坯角部横向裂纹的形成机理与定量评估[J]. 理化检验-物理分册, 2006, 42(11): 565-569.
- [3] 王先勇, 刘 青, 胡志刚, 等. 喷嘴布置方式对中厚板坯连铸二次冷却效果的影响[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(8): 1064-1070.
- [4] 季晨曦, 朱国森, 张颖华, 等. 迁钢板坯内弧单边角部横裂成因与对策分析[J]. 连铸, 2013(2): 29-31.
- [5] 杨春政. 典型微合金化钢板坯角部横裂产生机理与倒角结晶器技术研究[D]. 上海: 上海大学博士学位论文, 2011: 40-44.

颜慧成(1966-), 男, 博士(1997 年钢铁研究总院), 教授级高级工程师, 中南工业大学(本科)毕业, 炼钢、连铸工艺研究。E-mail: huicheng.yan@163.com

收稿日期: 2019-04-11