

热轧卷板 Q345C 边裂产生机理分析

刘国庆 吝章国

(邯钢集团公司技术中心)

摘 要 介绍邯钢 CSP 工艺技术,采用金相分析的方法对边裂产生机理进行分析,并结合 CSP 生产工艺的具体特点,制定有效措施,控制边裂的产生。

Study on formation mechanism of edge crack of Q345C plate

LIU Guoqing LIN Zhangguo

(The Technical Center of Handan Steel Group Co.)

ABSTRACT This paper describes the CSP technology applied in Handan Steel and analyzes the formative mechanism of edge crack with metallic - phase method. And also, the effective measures are put forward based on the features of CSP process to prevent edge cracks.

1 前言

邯钢曾于 2002 年一季度在 CSP 一线试制 Q345C 卷板 630t,除有一些翘皮缺陷外,没有其它质量问题。由于市场原因,以后未再生产此产品。2004 年 6 月在 CSP 二线组织生产 Q345C 卷板时,出现大量边裂缺陷问题,边裂率高达 17.4%。据有关资料表明,国内某企业的 CSP 生产线在生产该产品时也遇到类似的质量问题。为此,对 Q345C 卷板生产过程中可能引起边裂的因素进行跟踪调查,并借鉴国内同类厂家的研究结果和控制经验,针对邯钢 CSP 工艺设备的特点,从钢水化学成分、质量和连铸工艺等方面综合考虑,进行分析研究。

2 Q345C 生产工艺流程和化学成分

2.1 生产流程

铁水脱硫→转炉冶炼→钢包渣洗→LF 炉精炼

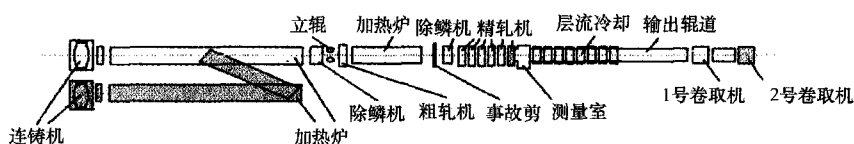


图 1 邯钢连铸连轧生产线示意图

→CSP 连铸连轧→平整分卷→用户。

2.2 CSP 连铸连轧生产线

CSP 连铸连轧生产流程图示于图 1。

2.3 Q345C 钢化学成分

生产的 Q345C 钢化学成分列于表 1。

表 1 Q345C 钢化学成分/%

C	Si	Mn	P	S	Nb	Als	Ca
≤0.20	≤0.55	1.00 ~ 1.60	≤0.035	≤0.035	0.015 ~ 0.060	≥0.010	/

3 Q345C 边裂形貌及分布特点

Q345C 边裂形貌如图 2 所示。边裂分布的特点为边裂全部出现在 CSP 二线,基本整炉出现;有的钢卷两端存在边裂,有的只在一端存在。

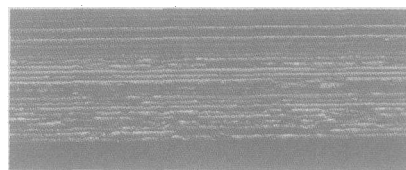


图 2 Q345C 边裂外貌

4 影响边裂产生因素的分析

4.1 CSP 二线与一线工艺和设备的差别

扩建时,为进一步提高铸坯质量,增加品种数量,对二线工艺进行了技术创新。将结晶器出口铸坯厚度由 70mm 增加到 90mm,增加了电磁制动技术,液心轻压下技术也升级为第三代技术。在生产 Q345C 卷板时二线拉速比一线拉速快 0.1m/min,二冷比一线的冷却强度大。根据现场铸坯温度检测,

二线矫直区铸坯温度比一线略低 20~30℃,见表 2。

表 2 CSP 双线的主要差别

CSP	一线	二线
平均拉速/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	3.7	3.8
二冷曲线	3 号	4 号
矫直区铸坯温度/℃	940 ~ 970	920 ~ 950

4.2 对结晶器保护渣进行水分检验

结晶器保护渣(481/DT25)水分检验为 0.25%,

满足标准小于 0.5% 的要求,因此边裂与保护渣内水分无关。

4.3 取边裂样和无边裂样做[N]、T[O]对比分析

[N]、T[O]的检验结果见表 3。由表 3 可知,边裂样[N]比无边裂样要高。

表 3 边裂样与无边裂样[N]、T[O]含量的对比/ $\times 10^{-6}$

样号	边裂			无边裂		
	1	2	3	4	5	6
[N]	67	53	52	30	35	37
T[O]	50	37	30	27	25	35

4.4 对边裂样进行化学成分 Cu、Ni、Cr 分析

Cu、Ni、Cr 分析结果如表 4。可看出,Cu、Ni、Cr 含量不高,可以认为边裂与 Cu 含量无关。

表 4 边裂样的 Cu、Ni、Cr 含量分析结果/%

样号	Cu	Ni	Cr
1	0.021	0.012	0.014
2	0.014	0.005	0.014

4.5 对边裂进行金相检验

采用金相光学显微镜、扫描电子显微镜对裂纹部位进行微观检验研究,检验结果表明:缺陷内有氧化铁夹杂,沿晶裂纹延伸到基体内发现较高含量 Si、少量 Al 及微量 Nb 元素。由此可见,卷板边裂可能与钢中 Al、Nb 等元素有关。

4.6 借鉴传统连铸生产含铌钢的经验进行分析

有关资料表明,Q345C 钢种为 C-Mn-Nb 系钢,由于铸坯中微细 NbN 的析出,使该钢种在传统连铸坯产生表面裂纹也是难解决的问题。由于含铌钢中 NbN 在晶界析出后紧密排列,平均间距仅为 30nm 左右,每个析出晶粒周围都会产生局部应力集中,从而造成晶界处应力集中,晶界产生滑移,对晶界造成破坏;在 1000~700℃第Ⅲ脆性区间,含铌钢的高温面缩率 RA 较低,而且其脆性区间向上下温限加宽,因此含铌钢矫直时铸坯的边角温度很容易落到脆性温度区域中,造成角横裂的发生^[1]。

5 Q345C 钢边裂产生的原因

薄板坯生产改变了传统板坯冷却、加热与变形工艺,钢中第二相粒子的析出具有完全不同的特点。CSP 工艺生产 Q345C 含铌钢时,由于钢中 N 含量较高(大于 50×10^{-6}),NbN 沿晶界析出,在晶界富集,造成晶界脆性,扩大低塑性区,在弯曲和矫直时使铸

坯出现角横裂;而且随着 N 含量增加,NbN 和 AlN 共同析出,进一步扩大低塑性区,加重裂纹倾向。此外,钢中的 Al_2O_3 在 1100℃已经析出完毕,析出物也会加重裂纹倾向。连铸坯角横裂经加热炉氧化和粗轧机、精轧机轧制后形成板卷边裂^[2,3]。

由于产品是宽断面低碳钢,CSP 二线采用的是冷却强度相对较大的 4 号冷却曲线,铸坯矫直温度不能完全控制在 950℃以上,容易造成 $\gamma + \alpha$ 两相区钢的脆性,加大了边部晶界开裂的倾向,导致角横裂的发生;在加热炉和轧制的作用下使产品出现边裂。由于 CSP 一线矫直区铸坯温度基本控制在 950℃以上,而没有出现边裂。

6 预防 Q345C 边裂的措施

(1) 在不影响产品性能的情况下,Nb 含量按下限控制,尽量控制到 0.02%~0.03%之间。

(2) 严格冶炼过程中的氮氩切换工艺,控制钢中氮含量,连铸确保钢包保护效果,防止增氮,控制中间罐钢水氮含量不超过 45×10^{-6} 。

(3) 严格按内控化学成分控制酸溶铝含量不超过 0.025%;保证精炼炉净吹氩时间,提高钢包保护效果,控制钢中 Al_2O_3 ,减少 Al_2O_3 的析出。

(4) 调节二冷制度,使用较弱的 3 号冷却曲线,使铸坯边部温度在弯曲、矫直处不低于 950℃,以减少弯曲和矫直应变造成的 NbN 动态析出。

(5) 加强生产工艺控制和设备维护。

通过采取上述措施,组织生产 Q345C 卷板 3000t,没有出现边裂,解决了 Q345C 边裂缺陷问题。

7 结论

(1) 热轧卷板 Q345C 为 C-Mn-Nb 系钢,当钢中氮含量超过 50×10^{-6} 时,会造成 NbN 沿晶析出;

(2) 当二冷采用强冷时,铸坯边部由于温度低,加剧了边部 NbN、AlN 动态析出,产生角部横裂;

(3) 通过控制钢中氮含量,调节二冷制度,可有效地控制边裂的产生。

参考文献

- 1 费惠春,等.宝钢含铌钢铸坯表面裂纹的微观检验.第 9 届全国炼钢学会论文集,667~681.
- 2 干勇.薄板坯连铸连轧生产技术若干问题.薄板坯连铸连轧技术与开发协会第二次技术交流会,44~46.
- 3 刘浏.转炉-薄板坯流程的产品开发与工艺优化.薄板坯连铸连轧技术与开发协会第二次技术交流会,100~103.