

CSP 工艺生产热轧板卷边裂的分析和控制

孙彦辉¹ 赵长亮¹ 孟征兵² 蔡开科¹ 成小军² 吴光亮² 周春泉²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院冶金研究中心, 北京 100083; 2 湖南华菱涟源钢铁有限公司, 娄底 417009)

摘要 经分析得出连钢采用 CSP 工艺生产 SS400 钢板卷时, 因不合理的二冷水量使 70 mm 薄板坯横向冷却不均匀和角部过冷, 导致奥氏体中 AlN 析出造成晶界脆性, 带钢在弯曲和矫直时产生边裂。通过控制钢中 Al₂O₃ 含量为 0.02% ~ 0.03% 及减少连铸过程吸氮和降低板坯边缘二冷水量等工艺措施, 使 SS400 钢板卷的优等品率从 92.27% 提高到 98.09%。

关键词 薄板坯 热轧板卷 边裂 控制工艺

Control and Analysis on Edge Crack of Hot Rolled Strip Coil Produced by CSP Process

Sun Yanhui¹, Zhao Changliang¹, Meng Zhengbing², Cai Kaike¹,
Cheng Xiaojun², Wu Guangliang² and Zhou Chunquan²

(1 Metallurgical Research Center, Metallurgical and Ecological Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Lianyuan Iron and Steel Co Ltd, Loudi 417009)

Abstract It is obtained by analysis that the edge cracks occur during bending and straightening of strip due to 70 mm thin slab horizontal plane non-homogeneous cooling and edge over-cooling during production of SS400 steel strip Coil with irrational secondary cooling water rate led to precipitation of AlN in austenite and grain boundary brittle. The high quality product rate of SS400 steel strip coil increased from 92.27% to 98.09% by improved technology measure including to control Al₂O₃ content 0.02% ~ 0.03% in steel, decrease nitrogen pick-up during concasting and secondary cooling water rate at plate slab edge.

Material Index Thin Slab, Hot Rolling Strip Coil, Edge Crack, Controlling Technology

目前,薄板坯连铸连轧生产的热轧板卷的边裂问题已经引起了许多厂家的重视,但由于钢中成分和生产工艺的不同,所采取的措施也不尽相同。珠江钢厂曾因钢中残余元素特别是 Cu 含量过高而引起热轧薄板边裂,通过调整钢水成分、控制薄板坯在均热炉的进出温度与时间,可以消除或减轻边裂^[1]。邯钢 CSP 工艺生产 Q345C 含铌钢时,由于钢中 N 含量较高,致使 NbN 沿晶界析出,造成晶界脆性,在弯曲和矫直时铸坯出现边裂^[2]。

通过对连钢热轧厂 CSP 薄板坯热轧板卷(钢种为 Q235B 和 SS400)产生边裂缺陷的原因进行分析,提出了相应的控制措施,在生产中应用并取得了良好的效果。

1 CSP 热轧板卷边裂的形态

目前连钢热轧厂热轧板卷的边裂形态主要有两种:边部锯齿状裂纹和边部烂边(或掉块)。热轧板卷边部锯齿状裂纹的形貌,主要表现为热轧板卷边部的细小横裂纹,裂纹从边部向内部延伸

20~30 mm。热轧板卷边部烂边(或掉块)是边部锯齿状裂纹更加严重后出现的边裂形式,在板卷的边部出现了大块的脱落。

图 1 为 70 mm 薄板坯表面沿深振痕产生的裂纹在轧制过程中的演变。图 1(a)为薄板坯表面酸洗后的深振痕,在某些深振痕的谷底发现了横裂纹。图 1(b)为连铸坯经过 F1 轧机后的轧板,振痕在张力轧制的过程中扩展为裂纹。图 1(c)为热轧板卷表面严重的边裂。

通过对薄板坯、F1 试样和热轧板卷的研究,得出热轧板卷的边部裂纹是由连铸坯上的深振痕在矫直点受拉伸应力产生细小横裂纹,后通过精轧机组张力轧制扩展而成的,轻微的为边部锯齿状裂纹,严重的会发展成为烂边(或掉块)。

2 板卷边裂的微观分析

图 1(d)为薄板坯内弧表面刨掉 3 mm 后取样,振痕谷底裂纹是沿奥氏体晶界延伸的。通过在连铸坯表面萃取取样、透射电镜观察到 20~120

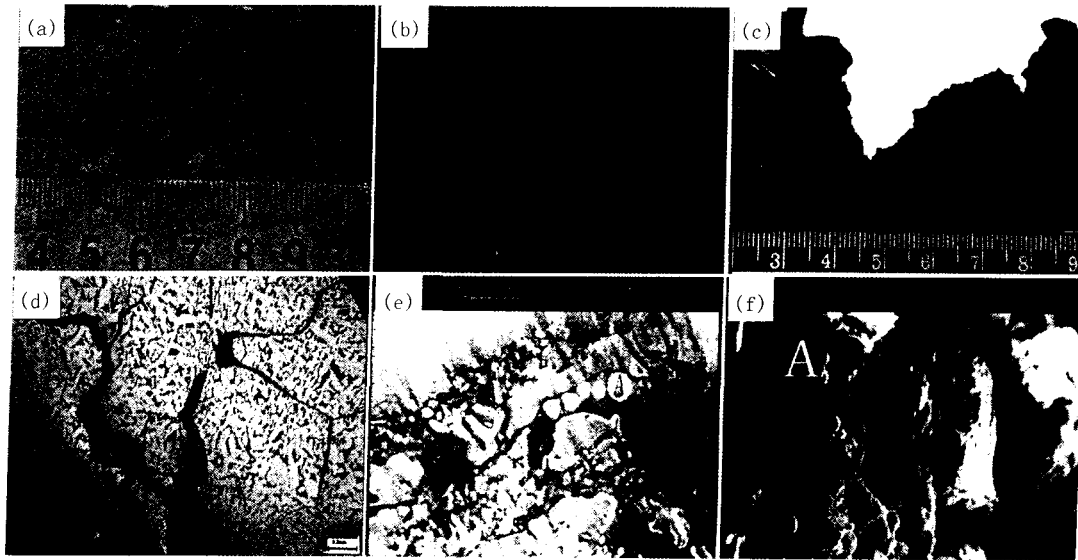


图 1 板卷边裂在热轧过程中的演变(a,b,c)和显微组织(d,e,f):(a)(d) 薄板坯;(b)(e) F1 道次轧后;(c)(f) 板卷
Fig.1 Evolvement of edge crack of strip coil during hot rolling (a,b,c) and structure analysis (d,e,f): (a)(d) thin slab; (b)(e) after F1 pass rolled; (c)(f) strip coil

nm 尺寸 AlN 析出(图 2)。AlN 析出会弱化奥氏体晶界,受到应力时在析出周围造成应力集中而产生裂纹,而连铸坯振痕谷底是 AlN 析出的优先部位,因此裂纹也优先在振痕谷底形成。

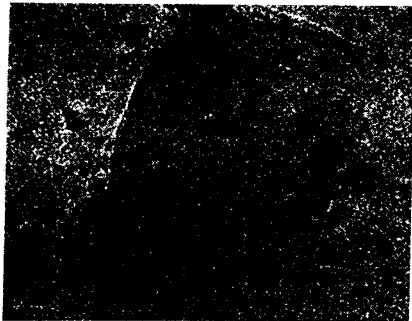


图 2 薄板坯中 AlN 析出物,TEM
Fig.2 AlN precipitations in thin slab,TEM

对 F1 试样的裂纹断口扫描电镜分析发现,在裂纹处充满了氧化铁(图 1e 中 A 点)。说明连铸坯裂纹在轧制之前已经形成,后在均热炉中氧化。

通过对热轧板卷裂纹夹杂物分析(图 1f 中 A 点),发现有 Al、K 元素,说明氧化物和夹杂物也是促使裂纹形成和扩展的原因之一。通过对连铸坯、F1 试样和热轧板卷边裂的微观分析也验证了热轧板卷边裂的成因。

3 CSP 热轧板卷产生边裂控制的分析

3.1 二冷水量分布的优化

由于不合理的二冷水量会导致薄板坯横向冷却不均匀和角部过冷,使奥氏体中的 AlN 析出加速,增强连铸坯对裂纹的敏感性。

以正常拉速为 4.5 m/min 时的情况为例来说明二冷水量的调整。调整前后的二冷水总水量和比水量变化不大,但水量分布有了明显的变化。对于边裂指数较高的 70 mm × 1 250 mm 断面的连铸坯来说,调整后的宽面中心水量升高了约 6.14%;中间的水量升高了约 6.35%;边缘的水量降低了约 8.52%。降低幅度最大的为二冷段的边缘水量,即二冷水的调整是在总水量几乎不变的情况下,减少边部水量,增加中心和中间水量。

3.2 结晶器振动的调整

结晶器振动的作用是提供连铸坯与结晶器间的相对运动,采用合适的振动参数以保证铸坯在结晶器内的良好润滑,防止粘结和漏钢。目前,涟钢热轧厂 CSP 结晶器采用正弦振动方式。

深振痕和横裂纹是共生的,高频率小振幅是减少连铸坯表面横裂纹的有效措施。调整之前 CSP 连铸机的正常拉速为 4.5 m/min,频率为 249 cpm,振动行程为 6.91 mm,根据负滑脱时间公式计算出 t_N 为 0.045 s,为高频率小振幅的振动模式。连铸坯边部的振痕间距为 17 ~ 20 mm(见图 1a),且振痕较深,在深振痕的谷底发现细小的横裂纹。通过对连铸机结晶器台面振动测试发现,

振动源给出了理想的正弦激励,但经过振动台后,由于台面受到的摩擦力出现不均匀情况,所以使得实际的台面振动波形出现明显畸变。由于波形畸变严重,系统显示的负滑脱量与实际已不同,负滑脱时间延长,振痕加深。调整后的结晶器振动参数为振动行程 6.0 mm,为一定值,在拉速为 4.5 m/min、频率为 298 cpm 时,计算得出的负滑脱时间 t_N 为 0.041 s。结晶器振动系统参数调整后,负滑脱时间减少,振痕深度变浅。

3.3 钢中 Al_5 和 N 的控制

根据 AlN 的理论浓度积 ($\log[\%Al][\%N] = -6700/T + 1.03$)^[3] 作图,如图 3 所示。可以确定在 $[Al] = 0.026\%$ 和 $[N] = 29 \times 10^{-6}$ 下, AlN 开始析出的温度为 1040 °C,即在低于 1040 °C 的条件下 AlN 就会在板坯中析出,钢的塑性随之降低。

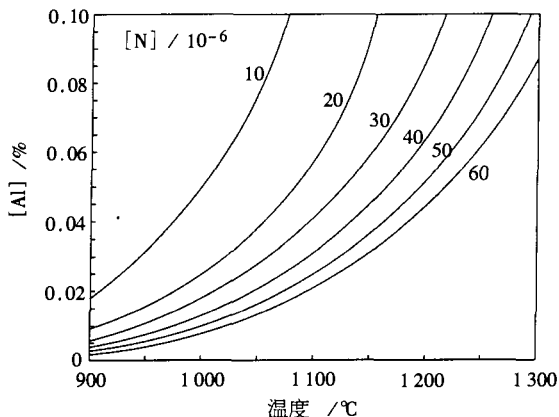


图3 钢中 AlN 的溶解度曲线
Fig.3 Solubility curves of AlN in steel

随着钢中的 $[Al_5]$ 和 $[N]$ 含量增加,连铸坯的高温塑性低谷宽度加大,并且低塑性区还向高温扩展,并且通过化学相分析^[4],薄板坯连铸连轧流程生产的低碳 Al 镇静钢连铸坯有约 40×10^{-6} 的 AlN 析出,虽然经过 1150 °C 的均热 20 ~ 30 min 后,铸坯中析出的 AlN 仅部分溶解,仍然存在大约 30×10^{-6} 的 AlN 析出。因此,为了降低连铸坯对裂纹敏感性,应该减少钢中 Al_5 和 N 的含量。但作为薄板坯连铸,要保证一定量 Al_5 细化晶粒的需要,因此钢中的 Al_5 控制在 0.02% ~ 0.03% 之间,还应尽可能的减少钢中的 N 。也就是应减少从 LF 精炼钢包到中间包钢水的二次氧化,防止吸氮。

4 改进措施及效果

Q235B 和 SS400 属中碳钢,是裂纹敏感性强的钢种,发生边部缺陷的比例大。为此,对冶炼两类钢种须采取如下措施:

(1) 对结晶器进行在线检测,确保振动的平稳性;修改振动曲线,减少振痕的深度。

(2) 针对窄断面铸坯边部、角部过冷的问题,调整了二次冷却曲线,对二冷室水管漏水进行改造,防止此类问题造成铸坯过冷而发生边部缺陷;保证二冷水质,防止喷嘴堵塞;适当降低二冷强度。

(3) 控制钢水过热度在 25 ~ 35 °C 之间;控制拉速不低于 3.8 m/min。

(4) 改善保护渣的性能。

(5) 严格控制连浇炉次间的化学成分偏差,实现窄成分控制。尤其是 C、Mn 等元素,控制 $S < 0.008\%$ 及 $P < 0.020\%$;加强精炼过程的密封操作,减少吸氮。

通过采取以上措施,SS400 的优等品率有了大幅提高,2005 年 1 月到 6 月,优等品率由 92.27% 提高到 98.09%。

5 结论

(1) 通过在二冷总水量变化不大的前提下,减少板坯宽面边缘水量防止边部过冷,减少连铸坯对裂纹的敏感性。

(2) 优化结晶器的振动系统,提高振频,减小振幅,减轻铸坯表面的振痕深度。

(3) 保证拉速、液面波动、液渣层厚度等因素的稳定性,减少精炼到连铸过程的吸氮,减少连铸坯中 AlN 的析出量,从而提高连铸坯的高温塑性,降低了板卷边裂的敏感性。

参考文献

- 1 王中丙,谢利群,柴毅忠,等. CSP 生产的热轧薄板边裂的影响因素与控制. 中国钢铁年会论文集(上卷), 2001: 766
- 2 刘庆国,齐章国. 热轧板卷 Q345C 边裂产生机理分析. 连铸, 2005(2): 38
- 3 陈家祥. 炼钢常用图表数据手册. 北京: 冶金工业出版社, 1984: 568
- 4 徐匡迪,刘清友. 薄板坯流程连铸连轧过程中的细晶化现象分析. 薄板坯连铸连轧技术开发与交流协会第三次技术交流会论文集. 2005: 1

孙彦辉(1971-),男,博士,讲师,2002 年北京科技大学毕业,电弧炉炼钢新技术及连铸工艺。

收稿日期: 2006-02-13