包钢 CSP 生产 SS400Ti 纵裂研究*

马 超, 孙丽钢, 关 胜, 张 荣

(内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章从 CSP 薄板坯连铸机生产 SS400Ti 产生纵裂的原因分析出发, 通过对裂纹源进行电镜扫描分析, 导致纵裂纹产生的真正原因为结晶器保护渣变性。结合 CSP 生产线多年的生产实践, 总结归纳出 CSP 生产线生产 SS400Ti 中纵裂问题的控制和解决路径。为减少纵裂缺陷, 提高热轧产品的合格率提供帮助。

关键词: CSP; SS400Ti; 纵裂; 研究

中图分类号: TF777.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2017)05 - 0025 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.008

Study on Longitudinal Crack of SS400Ti Produced in Baotou Steel CSP

MA Chao, SUN Li - gang, GUAN Sheng, ZHANG Rong

(*CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: In the paper, the cause of longitudinal crack in the production of SS400Ti from CSP thin slab caster is analyzed, and through the electron microscopic scanning analysis of crack source, the real cause of longitudinal crack is degeneration of mould fluxes. Combined with production practice of CSP production line for many years, the control and solving path of longitudinal crack of SS400Ti production line in CSP production line are summarized. Provide help to reduce the longitudinal crack defects and improve the qualified rate of hot - rolled products.

Key words: CSP; SS400Ti; longitudinal crack; study

包钢薄板坯连铸连轧厂 CSP 连铸机是引进德国西马克公司的关键技术, 于 2001 年 8 月正式投产。设计产能 198 万 t, 实际产能达到 290 万 t。铸机主要装备包括: 蝶式钢包回转台、T 型中间包以及一台两机两流立弯式连铸机和摆式剪切机构。生产的产品规格为(980 ~ 1560) mm × 72 mm。生产的钢种包括碳素结构钢、管线钢、超深冲用钢、电工钢等一系列品种。文章针对包钢 CSP 铸机生产 SS400Ti 纵裂产生的不同因素进行逐一剖析, 认为钢中杂质以及亲氧元素氧化导致保护渣变性以及结晶器保护渣卷渣是纵裂缺陷产生的主要原因。通过优化精炼热渣回收工序、控制钢中杂质以及亲氧元素氧化导致保护渣变性而影响控制传热以及提高钢水纯净度等途径避免因结晶器液位波动和漩涡等因素导致的卷渣并进行生产验证。最终 SS400Ti 钢种在高拉速的同时, 铸坯表面纵裂得到有效控制。

1 CSP 线生产 SS400Ti 纵裂产生原因

钢水在结晶器内的局部因冷却或流场不均匀, 某些区域坯壳与铜板接触良好, 其它区域坯壳与铜板脱开产生气隙, 造成结晶器内宽面弯月面下 300 mm左右凝固坯壳厚度不一致, 冷却较强的部位坯壳较厚, 冷却较弱的部位坯壳较薄; 结晶器内形成的初生坯壳受到凝固时组织变化产生的收缩力(热

* 收稿日期: 2017 - 06 - 30

作者简介: 马 超(1983 -), 男, 陕西省榆林市人, 工程师, 现从事连铸连轧产品质量管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

应力和组织应力）和钢水静压力的双作用，与铜板表面反复进行“接触—脱离—接触”的变化，坯壳受到多重应力的作用形成裂纹[1]。

1.1 纵裂因素分析

通过对可能导致纵裂的原因逐一进行分析：

（1）从钢水中有害元素P、S控制情况来看，w[P]<0.015%，w[S]<0.008%均处于较好控制水平。

（2）钢种w[C]是否进入包晶区。包钢CSP产线生产的SS400Ti对w[C]的控制范围是0.19%～0.21%，远离w[C]0.09%～0.17%的包晶反应区[2]。

（3）浸入式水口对中情况。CSP铸机要求浸入式水口东西南北4个方向对中偏差≤±3 mm，该偏差范围是经过流场水模试验及现场多年生产验证的。在此范围内对纵裂产生的影响有限，故不予考虑。

（4）结晶器冷却及振动的影响。在出现纵裂缺陷后，对结晶器冷却强度进行了调整，通过将结晶器宽侧冷却水量由之前的6 200 L/min逐步减少至5 850 L/min。并对结晶器冷却水温由38～40 ℃提高至40～42 ℃。直至出现了因铸坯冷却不足，坯壳过薄，出结晶器后出现鼓肚现象为止，纵裂问题均未得到明显改善。此外，通过检修对振动台振动状况进行了全面检测，确定状态良好。

（5）对结晶器保护渣热流情况进行跟踪。统计生产SS400Ti时铸机拉速基本维持在3.8～4.2 m/min之间。结晶器热流控制在1.85～2.25 MW/m^2。与设计控制及同类铸机控制参数基本相近。

（6）通过对2015年7月生产的SS400Ti的纵裂卷取样，纵裂缺陷见图1。对裂口区进行电镜扫描，扫描结果见图2。为进一步验证分析结果的可信度。对裂口附近的区域进行了电镜扫描，扫描结果见图3。裂口区域化学成分能谱分析结果见表1。

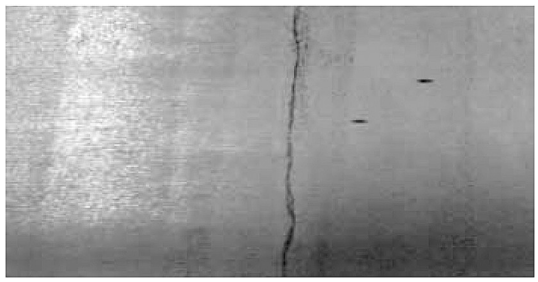


图1 SS400Ti钢板纵裂缺陷图

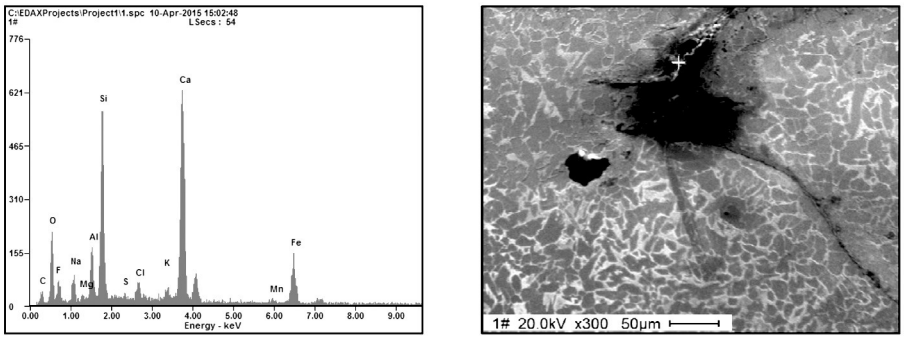


图2 SS400Ti裂口电镜扫描图

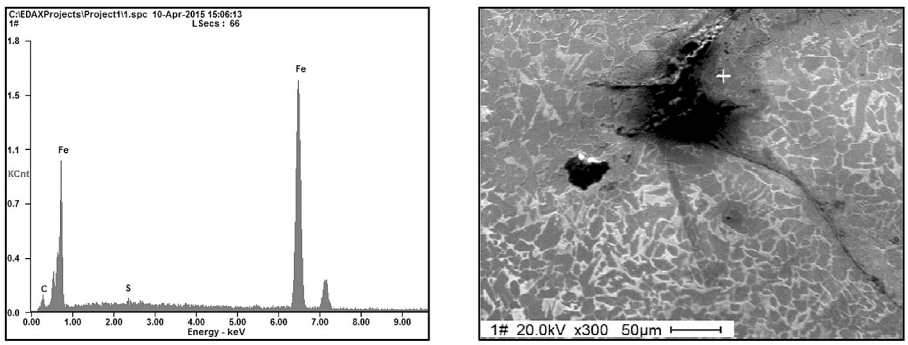


图3 裂口附近区域电镜扫描图

中国知网 https://www.cnki.net

表 1　裂口区域化学成分能谱分析结果　%

元素	质量分数
CK	07.90
OK	21.93
FK	05.72
NaK	03.69
AlK	04.08
SiK	14.19
SK	00.46
KK	01.51
CaK	24.36
FeK	13.14
Matrix	Correction

由表 1 裂口区域化学成分能谱分析结果可知，夹杂成分中含有 K、Na 元素。判断纵裂缺陷产生原因与结晶器保护渣卷渣关系较大。

裂口附近区域化学成分能谱分析结果见表 2。

表 2　裂口附近区域化学成分能谱分析结果　%

元素	质量分数
CK	10.57
SK	00.14
FeK	89.29

从表 2 裂口附近区域化学成分能谱分析结果可以看出主要成分是 Fe、C 以及少量的 S，并未发现 K、Na 等成分。进一步验证了上述结论的可靠性。

1.2　保护渣导致纵裂原因分析

1.2.1　保护渣变性

Si、Ca、O，是以 SiO_2 和 CaO 形式存在。来源有两种可能:

(1) 中间包覆盖剂中含有一定量的 SiO_2。考虑到中间包覆盖剂是后加入到中间包内钢水液面上的，卷入钢水中的概率极低，这里就不予考虑了。

(2) 钢水在处理过程中，要进行热渣回收，而热渣的主要成分是 SiO_2 和 CaO。在回收过程中如果没有较好的动力学条件以及足够的时间上浮去除，就会有一部分存留在钢水中。由于 CSP 铸机生产拉速高，导致冶炼环节供钢节奏比较紧张。在很多情况下存在为保证供钢节奏而不得不压缩精炼处理后期的软吹时间。对于包钢 CSP 生产线而言，进入连铸环节后，钢水在中间包内的滞留时间基本在 8 min左右。由于没有像中间包冶金等加速钢中夹杂物上浮的措施，致使冶炼环节在热渣回收过程中，残留在钢水中的钢渣很难完全上浮去除。尤其是颗粒尺寸小于 100 μm 的较小颗粒更难在短时间内上浮去除。在后续的浇注中进入结晶器内，进而对结晶器保护渣的性能产生影响。

(3) 结晶器保护渣中的部分组分与钢水中的亲氧元素发生化学反应。比如结晶器保护渣中的 SiO_2 和钢水中过量的 Al 反应生成 Al_2O_3，会导致结晶器保护渣中的 SiO_2 减少，二元碱度升高。进而影响热量传递。

1.2.2　结晶器保护渣卷渣

CSP 铸机由于拉速高且拉速变动比较频繁，导致结晶器内液渣层的厚度变化较大。在局部区域由于液渣得不到及时的补充，就可能导致卷渣。为了进一步验证推断的正确性。于 2015 年 8 月 25 日对结晶器液渣层进行了测量，测量结果见图 4。

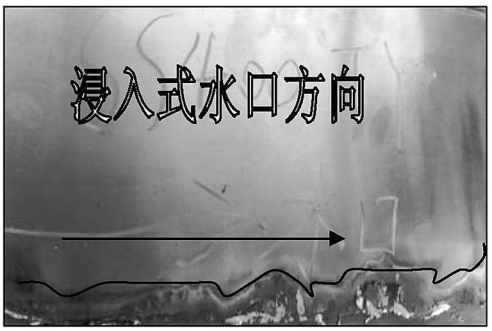


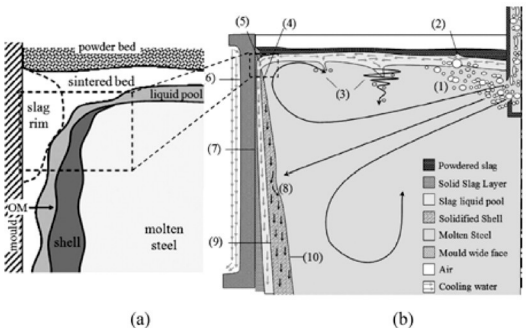
图 4　结晶器内液渣层厚度测量

结晶器内部钢水冷却凝固过程模拟见图 5(b)，图(a)为局部放大图。

图 4 中直线指示的方向为浸入式水口的方向，折线代表层与液渣层的界限，通过图 4 可以看出保护渣液渣层厚度起伏较大。这主要是由于结晶器内钢液面波动较大，导致保护渣液渣层上下波动。由于钢液面波动较大，易于将液渣卷入铸坯中，导致连铸坯产生皮下夹杂，并在轧制过程中开裂，即热轧卷的纵裂。

此外，由于 CSP 连铸机拉速高，结晶器单位时间内通钢量大，导致结晶器内钢液面波动剧烈。给实际测量准确的液渣层厚度带来一定的困难。经多次测量液渣层厚度范围大概在 9 mm 左右。依据液渣层厚度测算经验公式[3]：(测量时拉速为 4.0 m/min，对应此时的振幅为 ±4.1 mm)

中国知网　https://www.cnki.net



1－钢中夹杂物;2－夹杂物被液渣吸附;3－保护渣卷入钢中;4－坯壳;5－液渣;6－结晶器冷却水;7－气隙;8－坯壳被钢水冲击区;9－坯壳外表面;10－初生坯壳

图5 结晶器内部钢水冷却凝固过程模拟图

$$\text{液渣层厚度} = \text{振幅} \times (1.3 \sim 1.5) = 8.2 \times (1.3 \sim 1.5) = (10.7 \sim 12.3)\ \text{mm}$$

计算所得的液渣层厚度是液渣层厚度要求的下限值。由此可见,实际液渣层厚度达不到理论计算出来的厚度。而液渣层厚度偏薄也是极易导致将结晶器保护渣卷入坯壳的又一重要因素。

2 纵裂解决措施及效果

2.1 针对纵裂采取的措施

(1)优化精炼热渣回收工序,将出钢前回收热渣调整为出钢后再回收热渣,并严格控制热渣回收次数。此外,加强精炼环节的软吹时间,由之前的5 min左右增加到8 min以上,为钢中回收的钢渣提供较为充足的上浮时间和上浮动力学条件。

(2)将长水口与钢包下水口连接处的石棉质密封圈改进为石墨质热膨胀型密封圈,以进一步提高保护浇铸水平,减少钢中亲氧元素氧化后影响保护渣性能。

(3)为保证有足够的液渣层厚度。对中碳保护渣中w(NaF)进行了微量的调整,适当降低了保护渣的熔点。此外对保护渣中控制融速的w(C)也进行了调节,以加快化渣速度。进而保证CSP铸机在高拉速下有足够的液渣层厚度。

2.2 取得的效果

通过上述措施的实施,使得SS400Ti在之后的生产中,纵裂问题得到了大幅的改善。经过统计。SS400Ti钢的纵裂率由之前的16.3%下降到目前的1.0%左右的水平。

3 结论

(1)钢中杂质以及亲氧元素氧化导致保护渣变性进而影响控制传热是纵裂缺陷产生的重要原因。通过将精炼热轧回收流程优化为出钢后回收,并将软吹时间由5 min延长至8 min,以提高钢水纯净度。此外,钢包下水口采用石墨质密封圈以进一步提高保护浇铸水平,避免亲氧元素氧化。

(2)结晶器保护渣卷入钢水并被坯壳捕获影响凝固坯壳强度,进而诱发纵裂缺陷。为在现有工艺条件下降低结晶器卷渣的发生几率,通过调整结晶器保护渣中w(NaF)和w(C),达到降低保护渣熔点,提高保护渣熔化速度。进而提高液渣层的厚度。避免因结晶器液位波动和漩涡等因素导致的卷渣问题。

参 考 文 献

[1] 卢盛意. 连铸坯质量[M]. 北京:冶金工业出版社,1993.

[2] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2010.

[3] 蔡开科. 连铸500问[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.

中国知网 https://www.cnki.net