DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.08.014

板坯二冷配水优化研究

刘　伟,莫志英,于兴旺,林　悦,孙　晴,李海旭
(首钢京唐钢铁联合有限责任公司,河北 唐山 063200)

摘　要:某钢厂在生产冷轧板时,钢板表面出现大量线状缺陷,对缺陷位置进行成分分析,确定缺陷是由铸坯裂纹导致。为降低铸坯表面裂纹缺陷率,以降低钢板表面线状缺陷率为研究对象,使用 ANSYS 建立铸坯凝固模型,并进行二冷配水分析,对照冶金准则提出质量改进方案,降低缺陷发生率。经验证,采用改进方案,降低了钢板表面线状缺陷的发生率,有效提升了产品质量。

关键词:板坯;连铸;数值模拟;配水优化
中图分类号:TF777　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)08-0816-03

Study on Optimization of Secondary Cooling Water Distribution of Continuous Cast Slab

LIU Wei, MO Zhiying, YU Xingwang, LIN Yue, SUN Qing, LI Haixu
(Shougang Jingtang Iron & Steel Co., Ltd., Tangshan 063200, China)

Abstract: A large number of defects appeared on the surface of cold-rolled steel sheet in a steel mill, the location of the defect was analyzed and the defect was determined to be caused by the slab crack. In order to reduce the defect rate of slab surface crack, the research object was to reduce the linear defect rate of steel plate surface. ANSYS software was used to establish the solidification model of casting billet, and secondary cooling water distribution analysis was carried out. It is proved that the improvement scheme can reduce the incidence of linear defects on the surface of steel plate and effectively improve the product quality.

Key words: slab; continuous casting; numerical simulation; optimization of secondary cooling

某钢厂在生产冷轧板过程中,钢板表面出现大量线状缺陷,严重影响了产品表面质量,造成大批量钢材降级,降低了产品的经济效益。

1　缺陷成因分析

1.1　缺陷形貌

钢板表面的线状缺陷形貌如图 1。

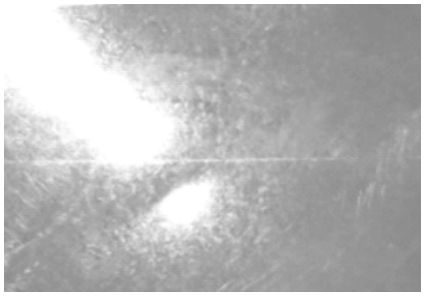


图 1 缺陷形貌
Fig.1 Morphology of the defect

缺陷位置处边缘不齐,且缺陷无明显深度,故排除缺陷是由钢板表面机械划伤造成的可能。

1.2　成分分析

对缺陷位置的化学成分进行检验，发现缺陷位置存在大量氧化质点,如图 2。结合前人的研究,确定缺陷是由铸坯裂纹引起[1]。

铸坯裂纹,形成于结晶器内,并在二冷区进一步长大。减少铸坯裂纹,需从研究二冷配水的合理性入手,而有限元方法是研究该类问题最简单可行的。对于使用有限元方法研究连铸过程，前人已有大量实践[2,3],并在理论研究和实际应用上都取得丰硕成果。

2　数学建模

为研究连铸过程二冷配水合理性，建立有限元模型并进行铸坯二冷配水分析。

2.1　条件假设

连铸过程中,随着拉速、保护渣、钢液条件的变化,传热边界条件也复杂多变,本研究主要针对二冷配水进行,故建模时作如下假设[4]:

(1)忽略结晶器振动、结晶器锥度、渣膜厚度变化对铸坯在结晶器内凝固过程的影响。

收稿日期:2019-09-09
作者简介:刘　伟(1984-),山西太原人,工程师.主要从事镀锡板全流程质量控制方面的工作.
电话:15832557864,E-mail:15612861832@163.com

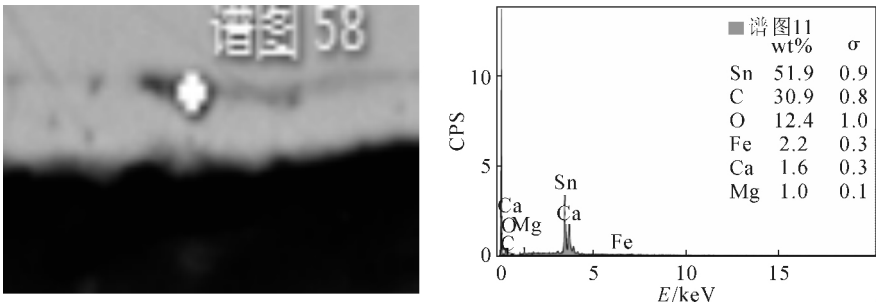


图 2 缺陷位置成分

Fig.2 Ingredient of the defect

（2）忽略结晶器内钢液流动行为，铸坯两相区和液芯对流传热靠增大钢液导热系数值 3~6 倍进行考虑。

（3）忽略由于重力的影响造成的铸坯在二冷区上下表面受水不均。

2.2 传热方程

铸坯凝固传热过程的主控方程[6]：

$$\rho(T)c(T)\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(z(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q \quad (1)$$

其中，ρ 为密度，T 为温度，t 为时间，C 为比热，k 为导热系数，为潜热。

2.3 边界条件

2.3.1 初始条件

钢液在结晶器内初始凝固温度等于中包钢液温度。

2.3.2 边界条件

连铸过程传热边界条件包括以下三部分[4]：

（1）结晶器内传热边界条件表达式[5]

$$q=a-b\times t^{0.5} \quad (2)$$

a 取经验值 2 680，t 为钢液凝固时间，b 为钢液凝固过程的时间、结晶器宽窄面水流量的函数。

（2）二冷区，铸坯表面热流与边界温度差成比例关系，即：

$$q=h_f(T_B-T_S) \quad (3)$$

其中，T_B 为铸坯表面温度；T_S 为冷却水温度；h_f 为对流传热的传热系数。

（3）在二冷段停止喷水至矫直段，铸坯处于在空气中自然冷却阶段，铸坯冷却方式为热辐射，该阶段传热以四次方定律计算：

$$h=\varepsilon\sigma\left(T_B^4-T_A^4\right) \quad (4)$$

其中，h 为铸坯表面辐射散热系数；T_B 为铸坯表面温度；T_A 为环境温度；为辐射系数；为常数。

2.4 建模与网格划分

以该钢厂生产的 900×237 mm² 断面板坯为研究对象建立模型。根据模型的对称性，选取 1/4 铸坯断面进行建模分析。几何模型及网格划分如图 3 所示。

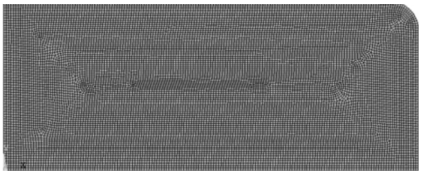


图 3 网格划分

Fig.3 Mesh model generation

3 计算参数

所研究的连铸机参数如表 1、表 2 所示。

表 1 板坯坯铸机参数

Tab.1 Parameters of the conticaster

序号	设备参数	数值
1	结晶器有效长度	880 mm
2	一段长度	2.31 m
3	二段长度	2.3 m
4	铸机半径	8 m
5	矫直点长度	13.00 m

表 2 矩形坯计算参数

Tab.2 Calculating parameters of rectangle billet

钢种	固相线温度 /℃	液相线温度 /℃	浇铸温度 /℃
Q235	1 487	1 526	1 544

模拟时采用的连铸工况为：结晶器宽面水量 80 t/h，窄面水量 240 t/h，结晶器进出口水温差 8.2 ℃；二冷段水量：0 段 23.3 t/h，一段 42.6 t/h，二段 13.8 t/h，拉速为 1.5 m/min。

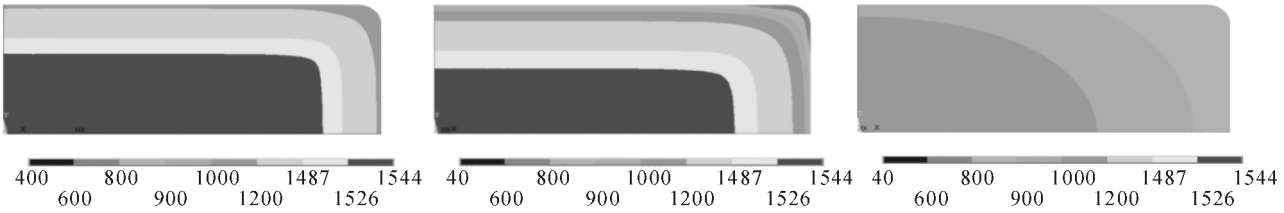
4 计算结果与分析

4.1 1.5 m/min 拉速时计算结果

图 4 为 1.5 m/min 拉速时，铸坯不同位置处的温度分布图。

凝固过程中铸坯不同位置点温度变化历程图如图 5。

由计算可知，1.5 m/min 拉速时：



(a)结晶器出口　(b) 段末　(c)矫直点

图 4 不同位置处铸坯温度分布图

Fig.4 Temperatures contours at different positions

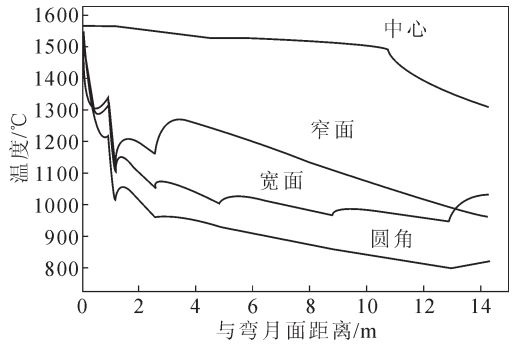


图 5 铸坯表面点温度历程图

Fig.5 Temperatures vs. time on different points of the slab

(1)结晶器出口处,铸坯坯壳厚度为 24 mm,满足冶金准则要求。

(2)铸坯在距弯月面 10.8 m 处完全凝固,在矫直点之前,即铸坯完全凝固后矫直,满足冶金准则要求。

(3)在矫直点,窄面中心温度为 980 ℃,宽面中心温度为 995 ℃。

(4)在二冷区,最大返温出现在窄面,为 180 ℃,满足冶金准则的要求。

在 1.5 m/min 拉速时,铸坯二冷配水合理。

4.2 不同拉速下铸坯凝固过程分析

针对该公司 900 mm×237 mm 连铸机生产对应钢种时的配水工艺,进行不同拉速下铸坯凝固过程计算,结果如表 3。

表3 不同拉速下的计算结果

Tab.3 Results of different casting speed

拉速 /(m/min)	1.6	1.7	1.8
结晶器水量 /(t/h)	225	240	260
足辊段水量 /(t/h)	19	20	21
一段水量 /(t/h)	18	19	20
二段水量 /(t/h)	7	8	9
宽面返温(MAX)/℃	174	182	217
窄面返温(MAX)/℃	147	154	157
窄面矫直点温度 /℃	889	923	942
宽面矫直点温度 /℃	1 003	1 052	1 062

4.3 结果分析及改进措施

综合分析连铸坯凝固过程可以发现,高拉速下(大于 1.7 m/min)铸坯宽面返温高于 200 ℃,表面返温过高容易造成铸坯内部裂纹的出现,因此,在不调整二冷配水量的前提下,应将拉速控制在 1.7 m/min 及以下。

4.4 效果验证

降低拉速前后,钢板表面缺陷率如表 4。

表4 不同拉速下缺陷率

Tab.4 Defect rate at different casting speed

拉速 /m·min^{-1}	比例(%)
1.4	0.45
1.7	0.19
1.8	1.65

降低拉速之后,钢板表面线状缺陷率大幅度降低。

5 结论

(1)冷轧钢板表面的线状缺陷是因板坯裂纹导致。

(2)浇铸板坯时,高拉速下(大于 1.7 m/min),铸坯窄面返温过高是导致板坯出现裂纹的主要因素,裂纹进一步导致了冷轧板表面线状缺陷的发生。

(3)将板坯浇铸速度控制在 1.7 m/min 以下,钢板表面线状缺陷率明显降低,有效改善了板材的表面质量。

参考文献:

[1] 祝枝合,万友堂. 钢板表面裂纹及氧化物圆点形成条件模拟试验[J]. 山东冶金,2012, 34(2): 30-33.

[2] Mizikar E A. Mathematical heat transfer model for solidification of continuously cast steel slabs [J]. Trans. TMS-AIME, 1967, 239: 1747-1753.

[3] Chen W, Zhang Y Z. Three-dimensional FEM study of fluid flow in mould for beam blank continuous casting: influence of nozzle structure and parameters on fluid flow [J]. Ironmaking and Steelmaking, 2012: 563.

[4] 马交成. 连铸坯凝固过程传热模型与热应力场模型的研究及应用[D]. 沈阳: 东北大学, 2009: 60-64.

[5] 娄娟娟,包燕平. 连铸异型坯凝固过程的数值模拟[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(2): 173-177.

[6] 史学亮. 连铸板坯动态轻压下力学特性的研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2014:18-20.