● 实用成型技术 Practical Shaping Technology

DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2019.02.020

Q235B 连铸二冷配水分析

陈 伟,和保民,郭高翔,于兴旺,王嘉琦,杨改彦

(华北理工大学冶金与能源学院;河北省高品质钢连铸工程技术研究中心,河北 唐山 063009)

摘 要:针对北方某钢厂在生产 Q235B 断面 180 mm×675 mm 时遇到较多内部裂纹的问题,运用有限元方法,在 ANSYS 软件中进行二冷配水的模拟计算,并与实际情况进行对比,找出二冷配水存在的问题,提出相应的解决方案。经 验证,采用调整方案后铸坯鼓肚、角部裂纹等缺陷的数量减少了 60%,成效显著

关键词:Q235B;连铸;有限元法;二冷配水

中图分类号:TF771 文献标识码:A 文章编号:1000-8365(2019)02-0213-04

Analysis of Q235B Continuous Casting Secondary Cooling Water Distribution

CHEN Wei, HE Baomin, GUO Gaoxiang, YU Xingwang, WANG Jiaqi, YANG Gaiyan

(School of Metallurgy & Energy, North China University of Science and Technology, Hebei Province High Quality Steel Continuous Casting Engineering Technology Research Center, Tangshan 063009, China)

Abstract: In view of the problem that a steel plant in north China encountered many internal cracks in the production of Q235B section $180 \times 675 \text{ mm}^2$, the finite element method was used to carry out the simulation calculation of secondary cooling water distribution in ANSYS software. Compared with the actual situation, the existing problems of secondary cooling water distribution were found out, and corresponding solutions were proposed. It has been proved that the number of defects such as billets drum and corner crack has been reduced by 60% after adopting the adjustment scheme, and to achieve remarkable results.

Key words: Q235B; continuous casting; finite element method; second cold water distribution

连铸是炼钢生产的最后一个环节,是高温条件 下的复杂过程,铸坯的凝固和冷却对铸坯质量起着 决定性作用。高洁净度、良好质量的连铸坯是炼钢 厂永恒追求的目标,而连铸坯的质量与二冷配水是 否合理密切相关^[1]。

近年来,我国在连铸凝固过程中的数值模拟应 用方面发展迅速,如周建川等¹²建立了异形坯在结 晶器内的二维非稳态热力耦合数学模型,以此作为 异形坯结晶器铜板锥度设计的基础数据;马交成¹³ 建立了应力场模型和传热模型,并在现场进行了应 用研究。本课题组的陈伟¹⁴对异型坯整个连铸过程 的热力耦合分析,并与冶金准则相对比,对二冷配 水的工艺参数进行了优化。

本文针对 Q235B 生产时遇到较多内部裂纹的问题,运用有限元方法系统分析了铸坯的凝固特性,并在此基础上优化二冷配水方案,对减少铸坯

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.51574103)

作者简介:陈 伟(1974-),女,河北唐山人,博士,教授.研究方向:连铸坯质量控制.电话:18633385596,

Email: hblgdxzzb@163.com

缺陷,提高连铸坯质量起到了非常重要的作用。

1 数值模型

1.1 几何建模

研究对象的横断面尺寸为 675 mm (宽面)×180 (窄面)mm。根据异型连铸坯的对称性,为对计算进 行简化故只选取 1/4 铸坯断面进行分析。图 1 为 1/4 铸坯断面和计算中采用的网格划分。



图 1 几何模型与网格划分 Fig.1 Elements and geometric model

1.2 Q235B 参数

计算中需要用到的钢种参数见表1和表2。

表1 Q235B温度计算所需参数 Tab.1 Q235B steel parameter of temperature calculator

固相线温度 /℃	液相线温度 /℃	浇铸温度 /℃		
1 483	1 522	1 540		

收稿日期: 2018-08-24

	表2 Q235B钢种成分表 w(%)						
Tab.2	Chemical composition of Q235B steel						

С	Si	Mn	Р	S
0.10~0.20	0.10~0.15	0.40~0.45	0.020~0.045	0.020~0.045

1.3 模型的简化与假设

建立模型所作的假设条件如下59:

(1)不考虑结晶器内的钢液流动行为,对铸坯 两相区和液芯对流传热通过增大结晶器中钢液导 热系数值的 3~6 倍进行考虑。

(2)忽略结晶器的振动、结晶器的锥度、钢液凝固偏析和铸坯弯月面的影响。

(3)将弯月面处熔融态的金属温度定为浇注 温度。

(4)不考虑结晶器内气隙以及渣膜对传热的 影响。

1.4 初始条件与边界条件

在结晶器上表面,假设钢液温度与中间包浇注 温度(T_0)相等,也即t=0时刻, $T=T_0$ 。

(1)结晶器内边界条件属于第二类边界条件^[6], 其表达式为:

$q=a-b\sqrt{t}$

其中,*a*为经验常数,*b*为结晶器冷却水量、冷却水温 差、铸坯结构尺寸等参数的函数。

(2)在二冷区,边界结点热流率与边界温度成 线性关系,即:

$q = h_{\rm f}(T_{\rm w} - T_{\infty})$

(3)在空冷区,以辐射传热为主,辐射传热热流 密度采用四次方定律:

$h = \in \sigma(T_s^4 - T_0^4)$

上述主控方程与边界条件,构成了连铸坯二维 瞬态传热模型基本条件。

2 控制方程

主控方程连铸传热过程的主控方程为下述的 非稳态热传输方程^[78]:

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

其中, ρ 为钢水密度,T为温度,t为时间,C为比热,k为导热系数,q为内热源强度。相变过程中产生的潜热L可用下式表示:

$$q = \rho(T)_{s}L \frac{\partial f_{s}}{\partial t}$$

其中,fs代表固相分率。

这里用热焓(H)方法来简化公式。相对于等效 热容法来说,热焓法可以有效的避免等效热熔法对 时间步长和空间步长的严格限制,可以大幅度提高 计算精度。在热焓法中,诸如比热、潜热、密度等非线 性参数可用如下一个参数代替:

$$\frac{\partial H(T)}{\partial t} = c(T) \rho(T) \frac{\partial T}{\partial t} - \rho(T)_{s} L \frac{\partial f_{s}}{\partial t}$$

热传输主控方程可描述为:

$$\frac{\partial H(T)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

相比于铸坯横向带走的热量,拉坯方向的传热 可以忽略不计。该式可以进一步简化成为二维形式:

$$\frac{\partial H(T)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

3 计算结果与分析

3.1 拉速为 1.0 m/min 的温度场计算结果

图 2 和图 3 分别为 Q235B 钢 180 mm×675 mm 断面在原配水方案, 拉速为 1.0 m/min 时结晶器出 口、足辊段末、零段上部末、零段下部末、二冷一区 末、二区末、三区末、四区末、五区末、六区末、七区末 的云图以及铸坯特征点温度历程图。结合计算可知, 结晶器出口处凝固坯壳厚度约为 17 mm; 铸坯液芯 完全凝固的位置在距结晶器液面 9.02 m 位置处,在 矫直点位置(11.36 m)之前,即铸坯完全凝固矫直; 在二冷区内,铸坯窄面温度范围 888~1 274 ℃;宽面 温度范围为 934~1 164 ℃; 窄面最高返温出现在零 段为 166 ℃; 宽面最高返温出现在二冷 4 区末,为 80 ℃;在第一矫直点,窄面中心温度为 978 ℃,宽面 中心温度为 934 ℃。该拉速下二冷配水基本适用于 该断面铸坯的生产。

3.2 结果验证

为保证计算结果的正确性,对数值计算结果与 生产实际的温度值进行对比,结果如表3所示。比较 实测温度与计算温度可知,模拟计算真实可靠。

3.3 不同拉速的计算结果

不同拉速下的数值模拟计算结果如表 4 所示。 根据计算结果可知,满足的冶金准则为:出结晶器坯 壳厚度大于 8~15 mm,且完全凝固矫直。不满足的 冶金限制准则为:拉速达到 1.0 m/min 以上时,在二 冷零段铸坯窄面返温大于 150 ℃;窄面二冷零段因 出现返温导致温度高于 200 ℃。

通过 180×675 mm² 断面 Q235B 钢的凝固温度 场计算,并结合现场实际发现窄面氧化铁皮较重,同



	表 3 极坯现场测温与计算数据对比	
Tab.3	Comparison of slab temperature measurement and calculation da	ta

拉速(m/min)	测温位置 -	上表面中心度 /℃		角部温度 /℃		窄面中心温度/℃	
		实测	模拟	实测	模拟	实测	模拟
1.0	5段末	988	1 013	876	842	970	940
	距弯月面 17.43 m	942	977	844	815	876	856
	距弯月面 22.43 m	902	908	812	781	827	800



Fig.3 Temperature history diagram at a pull speed of 1.0 m/min

时二冷零段因出现返温致使温度高于1200℃,容 易产生皮下裂纹; 拉速小于0.8 m/min 时铸坯窄面 在矫直点温度低于900℃,处于第三脆性区,易产 生表面裂纹。

铸坯窄面凝固过程前期属于高温运行。建议在 二冷零段添加适当长度窄面水条,以降低窄面温度 同时减少返温。

3.4 调整结果

工厂采纳建议之后,在二冷零段添加适当长度 窄面水条,并调整了生产节奏,铸坯鼓肚、角部裂纹 等缺陷的数量较原来减少了约 60%,调整后收到了 良好的效果。

4 结论

(1)通过将 ANSYS 模拟计算的结果与现场实 测值的对比可知,模型建立正确,传热边界条件设置 合理,程序设计较为可靠,计算结果可信。

(2)由各拉速下温度计算结果与冶金准则的 对比推测,皮下裂纹成因是在拉速较高时,铸坯在二 冷段表面返温过大,提出将拉速维持在1.0 m/min 或以下。

(3)拉速较低时,铸坯窄面在矫直点温度低于 900℃,处于第三脆性区,易产生表面裂纹,拉速应 维持在 0.8 m/min 以上。

(4)在二冷零段添加适当长度窄面水条并调

Tab.4 180×675 mm ² calculation results under different pulling speed Q235B steel							
拉速(m/min)	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
结晶器水量内外弧(t/h)	200	200	200	200	200	200	200
结晶器侧面水量(t/h)	50	50	50	50	50	50	50
结晶器出口宽面温度/℃	1 269	1 265	1 260	1 254	1 249	1 245	1234
结晶器出口窄面温度/℃	1 247	1 243	1 238	1 230	1 226	1 223	1218
结晶器出口坯壳厚度 /mm	19	18	17	16	15	14	13
宽面最低温度 /℃	897	917	934	946	955	966	974
宽面最高温度 /℃	1 175	1 170	1 164	1 1 5 9	1 153	1 147	1143
宽面最大返温/℃	61	71	80	92	106	119	128
窄面最低温度/℃	825	857	888	916	942	965	983
窄面最高温度/℃	1 259	1 266	1 274	1 280	1 286	1 292	1298
窄面最大返温 /℃	136	152	166	180	195	208	220
窄面矫直点温度/℃	912	947	978	1 006	1 031	1 054	1069
宽面矫直点温度 /℃	897	917	934	946	955	966	974
液芯长度 /m	7.43	8.22	9.02	9.80	10.68	11.25	12.17
比水量 /kg	0.74	0.77	0.79	0.81	0.82	0.83	0.87

表4 180×675 mm²不同拉速下Q235B钢的计算结果

整生产节奏,铸坯鼓肚、角部裂纹等缺陷的数量 较原来减少了约60%,效果良好,有效提高了产品 质量。

参考文献:

- [1] 许少普,李京社,高向宙.Q345 钢二冷配水模型的优化研究[J]. 河南冶金,2013,21(5):7-12.
- [2] 周建川. 异形坯连铸结晶器锥度的优化设计[D]. 秦皇岛:燕山 大学, 2015.
- [3] 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.

- [4] W Chen, Y Z Zhang, C J Zhang. Thermomechanical analysis and optimization for beam blank continuous casting [J]. Ironmaking and Steelmaking, 2008, 35(2): 129-133.
- [5] 陈伟.H型钢异型坯表面裂纹和洁净度控制研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009.
- [6] Kivela E, K onttinen J, Rartaruukki O. Dynamic secondary cooling model for continues casting [C]. Steel Making Conference Proceedings. America, 1995.
- [7] 黄华. 连铸板坯凝固过程温度场与应力场数值模拟[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2012.
- [8] 何森. Q345C 宽厚坯连铸凝固过程数值模拟[D]. 包头:内蒙古科 技大学, 2013.



《铸件均衡凝固技术及应用实例》

本书由西安理工大学魏兵教授编著。共8章:1、铸铁件均衡凝固与有限补缩;2、铸铁件冒口补缩设计及应用;3、压边浇冒口系统;4、浇注系统大孔出流理论与设计;5、铸件均衡凝固工艺;6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺;7、浇注系统当冒口补缩设计方法;8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书320页。 特快专递邮购价:226元。

邮购咨询: 李巧凤 电话/传真: 029-83222071

技术咨询: 13609155628