

南钢小方坯连铸生产45钢二冷制度的优化

马骏¹ 胡道峰¹ 张悦¹ 文光华² 唐萍² 余杰²

(1 南京钢铁有限公司转炉炼钢厂,南京 210035;2 重庆大学材料科学与工程学院冶金系,重庆 400044)

摘要 通过低倍组织和二冷制度计算机仿真软件分析了2[#]连铸机150 mm×150 mm,4[#]连铸机150 mm×220 mm 45钢铸坯中心和中间裂纹发生距弯月面的位置,铸坯表面温度与目标温度的对比。结果表明,二冷比水量和各段冷却水分配不当是形成铸坯裂纹的主要原因,通过降低二冷水量和优化冷却水分配使铸坯表面温度接近目标温度曲线,明显降低了铸坯中间和中心裂纹的发生率。

关键词 45钢 小方坯连铸 中心裂纹 二冷制度

Optimization on Secondary Cooling Scheduling for 0.45C Steel Billet Casting at Nanjing Steel

Ma Jun¹, Hu Daofeng¹, Zhang Yue¹, Wen Guanghua², Tang Ping² and Yu Jie²

(1 Converter Steelmaking Plant, Nanjing Iron and Steel Group Co Ltd, Nanjing 210035;
2 Dept of Metallurgy, College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract Location of medium and center crack- distance from mold meniscus and comparison between aim temperature and surface temperature of 0.45C steel billet 150 mm×150 mm strand of No2 caster and 150 mm×220 mm strand of No4 caster have been analyzed by macrostructure and computer simulation software for secondary cooling scheduling. Results showed that unsuited secondary cooling water rate and cooling water distributing at each part were main cause to form billet crack, the occurrence ratio obviously decreased by decreasing secondary cooling water rate and optimizing cooling water distribution so that the surface temperature of strand was close to aim temperature curves and the occurred ratio of billet medium and center crack obviously decreased.

Material Index 0.45C Steel, Billet Casting, Center Crack, Secondary Cooling Scheduling

转炉-连铸-轧材工艺生产45优质碳素结构钢产品是钢铁企业扩大品种生产的必然选择^[1-3]。为改善铸坯质量,南钢与重庆大学合作开展了小方坯连铸45钢二冷工艺制度优化的研究。

1 生产工艺流程及铸机特点

南钢小转炉45钢生产工艺流程:(1)150 mm×150 mm铸坯:出钢量30 t的转炉→LF吹氩、喂Ba-Ca-Si线→2[#]、3[#]方坯(150 mm×150 mm)连铸机→轧钢。(2)150 mm×220 mm铸坯:出钢量30 t的转炉→LF、喂Ba-Ca-Si线→4[#]矩形坯(150 mm×220 mm)连铸机→轧钢。

南钢小转炉3台方坯连铸机(表1)的特点为:2[#]、4[#]铸机流数多、中间包容量小。由于铸机弧半径

小,要保证足够的拉速,采用强的二次冷却水制度。3[#]机为新投产铸机,从中间包容量、铸机弧半径和冷却方式(采用气水冷却)来看,对铸坯质量的保证程度好于2[#]、4[#]铸机。

2 现有二冷生产制度与缺陷关系分析

在对二冷各相关参数进行仿真计算之前,首先对重庆大学开发的仿真软件的可信度进行分析。现场铸坯表面温度采用红外测温仪测定,测试位置为矫直点前1.5 m处。由表2结果可见,实测温度与仿真温度温差范围为5~27℃,偏差范围在0.51%~3.00%。然后,根据45钢的特点,建立了该钢种冷却过程中的目标温度曲线。

2.1 2[#]机铸坯质量

从图1(a)中可以看出,2[#]机所生产的铸坯的主要缺陷为中心偏析裂纹、中心偏析引起的缩孔以及中间裂纹。中心裂纹起始处距离铸坯表面42~53 mm,中间裂纹起始处距离铸坯表面15~18 mm。从二冷仿真得到的2[#]机坯壳厚度生长曲线图1(b)中可以发现,中心裂纹起始处主要是从距弯月面5.3~

表1 南钢方坯连铸机主要参数

Table 1 Main parameters of billet casters at Nanjing Steel

铸机	圆弧半径/m	中间包容量/t	中间包液位/mm	流数	浇铸断面/mm×mm	拉速/(m·min ⁻¹)
2 [#]	5.25	11~12	400~500	5	150×150	2.0~2.2
3 [#]	8.00	17~18	700~800	4	150×150	2.0~2.2
4 [#]	6.00	11~12	400~500	4	150×220	1.5~1.7

表 2 铸坯实测温度和仿真温度比较

Table 2 Comparison between measured and simulated strand surface temperature

铸机	测温位置及方式	温度/℃	温差/℃	偏差/%	
2 [#]	矫直辊前 (距弯月面 9.22 m)	实测	984	5	0.51
		仿真	979		
	矫直辊前 1.5 m (距弯月面 7.72 m)	实测	983	10	1.02
		仿真	973		
3 [#]	矫直辊前 (距弯月面 11.81 m)	实测	1 004	16	1.59
		仿真	988		
	矫直辊前 1.5 m (距弯月面 10.31 m)	实测	1 007	15	1.49
		仿真	992		
4 [#]	矫直辊前 (距弯月面 9.42 m)	实测	904	8	0.88
		仿真	896		
	矫直辊前 1.5 m (距弯月面 7.92 m)	实测	899	27	3.00
		仿真	872		

7.1 m 处的位置,这段位置对应于 2[#] 机为二冷 2 段结束(距弯月面 5.14 m 处)后的一段空冷段。从 2[#] 机铸坯表面中心温度计算曲线观察发现,如图 1(c) 所示,铸坯进入空冷段后,表面温度回升速度过大,达到 148 °C/m(超过 100 °C/m),远偏离目标温度曲线。这主要是由于二冷 0 段冷却强度不够,导致水冷段结束后铸坯内部凝固潜热仍未全部释放。进入空冷段后,冷却强度进一步减小,铸坯内部凝固潜热继续释放导致铸坯表面温度回升过快,回温引起坯壳膨胀,当施加到凝固前沿的张应力超过钢的允许强度和临界应变时,铸坯就产生了中心裂纹。同时,铸坯表面回温速度过大也是中间裂纹产生的

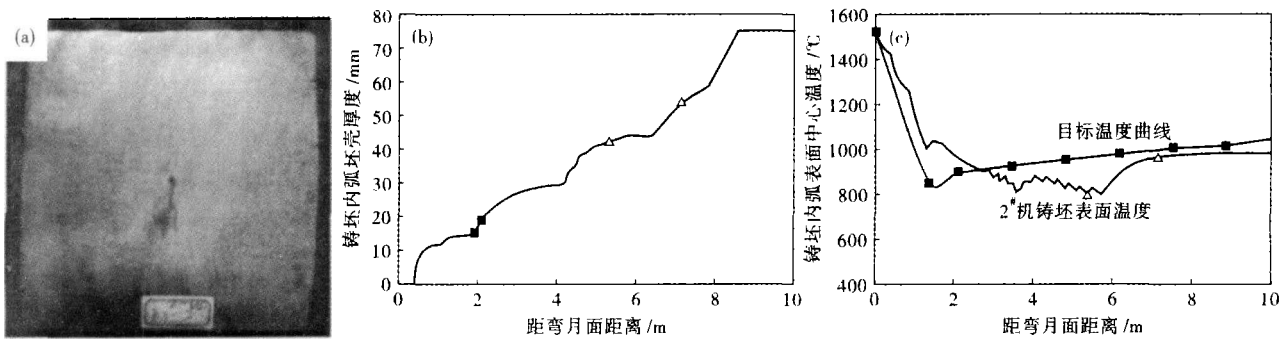


图 1 2[#] 机 150 mm × 150 mm 铸坯低倍组织 (a)、坯壳生长曲线和中心裂纹发生位置 (b)、模拟铸坯表面温度和目标温度对比 (c)
Fig. 1 Macrostructure of 150 mm × 150 mm billet (a), shell growth curves and location of center crack formation in strand (b) and comparison between surface temperature and aim temperature (c), No2 caster

主要原因^[4]。

2.2 3[#] 机铸坯质量

3[#] 机所生产的铸坯并不存在明显的质量缺陷(图 2a),其铸坯表面温度曲线与目标表面温度曲线相近(图 2b)。

2.3 4[#] 机铸坯质量

4[#] 机所生产的铸坯的主要缺陷为铸坯中心与内外弧垂直方向的中间和中心裂纹(图 3a)。中心裂纹起始处主要是从距弯月面 4.1 ~ 4.5 m 处,这段位置对应于 4[#] 机为二冷 2 段区域(图 3b)。4[#] 机总体比水量(1.59 L/kg)相对 45 钢常用水冷比水量(0.9 L/kg)明显过大^[5],造成 4[#] 机铸坯柱状晶发达并有穿晶现象发生。由于 4[#] 机 2 段区域侧弧喷嘴布置高度(170 mm)大于内外弧喷嘴布置高度(150 mm),所以内外弧水冷强度[水流密度 2.521 L/(m² · s)]相对侧弧[水流密度 1.975 L/(m² · s)]偏大,导致铸坯进入二冷 2 段后不久,中心凝固前沿处的发达柱状晶受到侧弧拉应力的作用而撕裂,形成与内外弧垂直方向的中心裂纹,受力分析示意图见图 3(c) 所示。

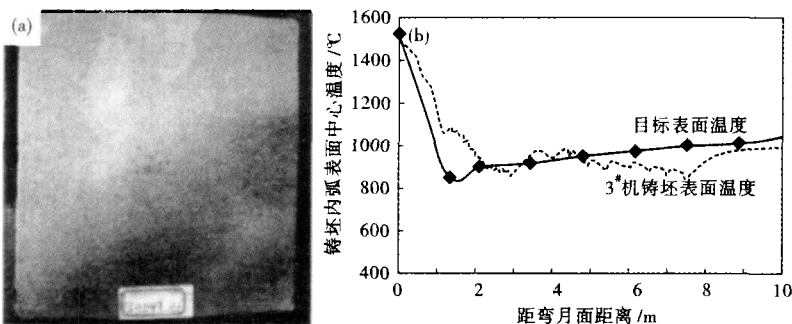


图 2 3[#] 机 150 mm × 150 mm 铸坯低倍组织 (a)、模拟铸坯表面温度曲线与目标温度对比 (b)

Fig. 2 Macrostructure of 150 mm × 150 mm billet (a) and comparison between surface temperature and aim temperature (b), No3 caster

3 2[#] 和 4[#] 机二冷制度优化及验证

对 2[#] 机二冷制度的优化主要

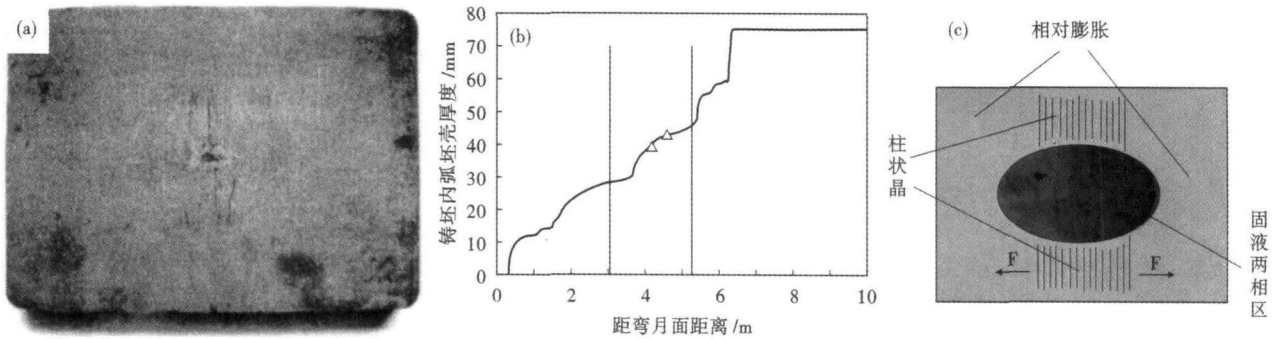


图 3 4#机 150 mm × 220 mm 铸坯低倍组织 (a)、坯壳生长曲线和中心裂纹发生位置 (b) 和二冷 2 段裂纹产生受力示意图 (c)
Fig. 3 Macrostructure of 150 mm × 220 mm billet (a), shell growth curves and location of center crack formation in strand (b) and sketch of stress for crack formation in No2 part of secondary cooling zone (c), No4 caster

包括 0、1、2 段冷却水量调整至 $Q_1 = 12.62 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q_2 = 9.52 \text{ m}^3/\text{h}$; $Q_3 = 3.27 \text{ m}^3/\text{h}$ 。计算得到如图 4 (a) 所示的铸坯表面温度曲线。进行调整后 2# 机总水量 25.41 m^3/h , 铸坯液芯长度 8.52 m, 避免了二冷 2 段末端表面温度的大幅回升, 图 4 (b) 是优化后的铸坯低倍组织。

4#机比水量 1.59 L/kg, 不论与同类钢种其他厂家生产工艺 (一般为 0.7 ~ 1.2 L/kg) 相比, 还是同 2# 机 (1.22 L/kg)、3# 机 (0.77 L/kg) 相比都明显偏大。

现有冷却强度下 4# 机液芯长度 6.33 m, 与矫直点位置 9.42 m 相差较大, 可见比水量尚有减小余地。等比例减小二冷各段的冷却水量, 在取比水量 1.4、1.3、1.2、1.1、1.0 L/kg 5 组数据进行计算后比较发现, 当比水量为 1.2 L/kg 时铸坯液芯长度增加到 8.02 m, 与原来相比能大幅降低柱状晶发展趋势。另外, 降低侧弧喷嘴布置高度至 130 mm, 加大侧面冷却强度, 提高其坯壳强度, 减轻侧面受拉应力。喷嘴布置调整和水量优化后铸坯表面温度计算结果与优化前和目标温度对比见图 4 (c) 所示, 图 4 (d) 是优化后的铸坯低倍组织。

4 小结

通过 2#、4# 铸机二冷工艺优化, 铸坯表面温度接

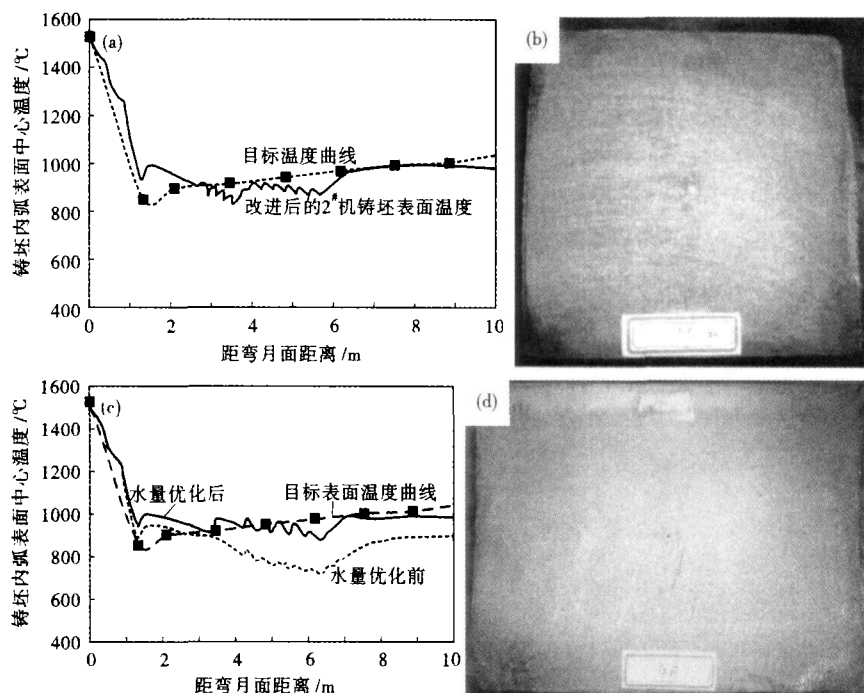


图 4 优化后的 2# 机 (a) 和 4# 机 (c) 模拟铸坯表面温度与目标温度对比; 优化后 2# 机 150 mm × 150 mm 铸坯 (b) 和 4# 机 150 mm × 220 mm 铸坯 (d) 低倍组织
Fig. 4 Comparison between improved simulated billet surface temperature and aim temperature of No2 caster (a) and No4 caster (c); improved macrostructure of 150 mm × 150 mm billet, No2 caster (b) and 150 mm × 220 mm billet, No4 caster (d)

近目标温度, 铸坯内裂缺陷明显降低。

参考文献

- 1 梁 政. LD-LF-CC 流程生产 45 钢的工艺优化. 钢铁, 2003, 38 (4): 21
- 2 赵修领. 转炉 45# 钢内裂分析. 山东冶金, 2003, 25 (3): 46
- 3 王文虎. 河南济钢 45# 钢生产实践. 河南冶金, 2006, 14 (5): 50
- 4 蔡开科. 浇注与凝固. 北京: 冶金工业出版社, 1987
- 5 罗 钢. 转炉开发 45# 钢的生产实践. 湖南冶金, 2005, 33 (5): 21

马 骏 (1966-), 男, 工程师, 1990 年鞍山科技大学毕业, 主要从事炼钢、精炼及连铸方面的生产技术工作。

收稿日期: 2008-07-11