

H 型钢 Q235B 连铸保护渣的优化

尹娜 景财良 张炯明 韩毅华 王伟

(北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083)

摘要 针对津西钢铁厂 H 型钢 Q235B(0.14%~0.18% C)铸坯(宽面 550 mm,窄面 440 mm,腹板 90 mm)经常出现纵裂等缺陷,基于原有保护渣(%:29~30SiO₂,25~26CaO,10~11Al₂O₃,3.0~3.5Fe₂O₃,15~17C,≤0.5H₂O),通过正交实验和优化设计,开发出一种高性能保护渣(%:37.50SiO₂,37.50CaO,6Al₂O₃,7CaF₂,12Na₂O,7石墨,1.5炭黑)。与原保护渣相比,优化渣的半球点温度、粘度和熔化时间分别从1167℃,0.77 Pa·s和57 s下降至1092℃,0.27 Pa·s和32.5 s。优化渣应用表明,当拉速由0.98 m/min提高到1.2 m/min时,铸坯质量良好。

关键词 H 型钢 Q235B 连铸 正交试验 保护渣优化

Optimization of Mold Powder for H-Shape Steel Q235B Casting

Yin Na, Jing Cailiang, Zhang Jiongming, Han Yihua and Wang Wei

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract To counter the situation of longitudinal crack defect usually occurred on bloom (wide side 550 mm, narrow side 440 mm, waist 90 mm) in H-shape steel Q235B (0.14%~0.18% C) casting at Jinxi Iron and Steel works, based on original mold powder (%:29~30SiO₂,25~26CaO,10~11Al₂O₃,3.0~3.5Fe₂O₃,15~17C,≤0.5H₂O), a high performance mold powder (%:37.50SiO₂,37.50CaO,6Al₂O₃,7CaF₂,12Na₂O,7 graphite,1.5 carbon black) is developed by orthogonal experimental and optimum design. As compared with original mold powder, the semi-sphere point temperature, viscosity and melting time of improved mold powder decrease respectively to 1092℃,0.27 Pa·s and 32.5 s from original 1167℃,0.77 Pa·s and 57 s. Application shows that as casting speed increase from 0.98 m/min to 1.2 m/min, the bloom has high quality by using the improved mold powder.

Material Index H-Shape Steel Q235B, Casting, Orthogonal Experimental, Optimization of Mold Powder

连铸异型坯表面缺陷主要是在结晶器内产生的,并在二冷区和空冷区进一步扩展形成,这些表面缺陷的成因是多方面的,但是最主要的共同影响因素是结晶器保护渣,保护渣理化性能的合适与否直接影响到异型坯的纵裂纹、表面针孔和翼缘端部凹陷等表面缺陷的产生和加剧^[1]。河北津西钢铁股份有限公司于2006年6月投产大H型钢异型坯连铸生产线,自投产以来,其表面纵裂纹、针孔、夹渣、划伤等问题时有发生。本文以该厂生产的H型钢Q235B保护渣为研究对象,根据现行设备和工艺条件,基于Q235B钢种的凝固特性分析,对此钢种保护渣的性能进行优化研究。

1 H 型钢 Q235B 现行保护渣的性能分析

异型坯连铸结晶器保护渣必须满足如下要求^[2]:(1)适当的熔化速度,能够及时补充液渣的快速消耗;(2)高的液渣流入能力,获得较大的渣耗量,以满足结晶器润滑的要求;(3)结晶器与铸坯间渣膜均匀,

使铸坯传热均匀,防止裂纹的产生;(4)对于裂纹敏感性钢种,渣膜应具有较高的热阻,防止热流过大,造成应力集中;(5)稳定合理的熔融结构,不会由于拉速的较大波动影响液渣层厚度。

津西钢铁厂连铸工艺参数见表1。H型钢Q235B化学成分为(%):0.14~0.18C、0.45~0.55Mn、0.18~0.26Si、≤0.025P、≤0.030S。图1为浇铸的异型铸坯断面图;H型钢生产所用的原渣和优化渣的化学成分、碱度等参数见表2。

采用试样变形法测定原渣样的熔化温度和熔化速度,应用经验式^[3]计算熔渣粘度:原渣样的半球点温度(即熔化温度)为1167℃,熔化速度为57s,

表1 H-型钢 Q235B 连铸工艺参数
Table 1 Parameters of casting for H-shape steel Q235B

结晶器有效长度/mm	铸坯断面尺寸/mm			结晶器水量/(t·h ⁻¹)		结晶器进出水温度差/℃	拉速/(m·min ⁻¹)	浇铸温度/℃
	宽面	窄面	腹板	宽面	窄面			
700	550	440	90	216	120	5.6	0.98	1549

通讯作者:张炯明,教授,北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083

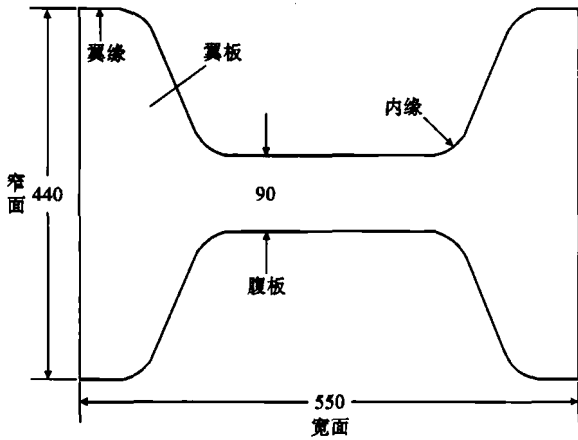


图1 H-型铸坯断面图

Fig. 1 Sectional drawing of H-shape cast bloom

表2 原渣和优化渣的化学成分、碱度和性能

Table 2 Ingredient, basicity and performance of original and improved mold powder

渣样	R	成分/%								半球点温度/℃	粘度/(Pa·s)	熔化速度/s	
		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	C	石墨				炭黑
原渣HDK-2	0.86	29~30	25~26	10~11	-	-	3.0~3.5	15~17	-	-	1 167	0.77	57
优化渣	1.0	37.50	37.50	6	7	12	-	-	7	1.5	1 092	0.27	32.5

坯表面产生纵裂。这就需要限制结晶器的热通量,要求保护渣具有较大热阻,实现结晶器的“弱冷却”。其保护渣应设计成具有较低的熔化温度、粘度,适当的熔化速度的特点。

2.1 H型钢 Q235B 保护渣熔化温度和熔渣粘度的优化

实验所用原料均为化学纯试剂,自行配方;保护渣基料为 CaO、SiO₂ 和 Al₂O₃,助熔剂为 Na₂O(以无水 Na₂CO₃ 代替),MgO 和 CaF₂。采用正交实验设计法,5 个因素为 0.8~1.2R(CaO/SiO₂),(%):3~7Al₂O₃,0~7MgO,5~9CaF₂ 和 8~12Na₂O,每个因素取 5 个水平,其中碱度 R 依次取 0.8、0.9、1.0、1.1 和 1.2,因此选用 L₂₅(5⁶) 正交实验表^[4] 进行方案设计。仍采用试样变形法测定保护渣熔化温度,应用 Koyama 等人^[3] 提出的经验式计算上述正交表中各组(共 25 组)实验保护渣的粘度。

通过实验测定和公式计算,测得的 25 组温度值在 1 084~1 279 ℃,其中只有 1 组超过 1 200 ℃,占 4%;1 150~1 200 ℃ 有 2 组,占 8%;1 050~1 150 ℃ 有 22 组,占 88%;可见大部分温度值处于 1 100 ℃ 附近,其中低于 1 090 ℃ 的只有 3 组;25 组粘度值中,在 0.17~0.35 Pa·s 有 17 组,占 68%;而在 0.35~0.66 Pa·s 有 8 组,占 32%。

设计合适的熔化温度,首先要保证在结晶器长度内全程液态摩擦,即实现“全程液态润滑”。使熔

粘度为 0.77 Pa·s。

从表 2 可以看出,原渣样 HDK-2 的熔点较高,熔化速度较慢,粘度较大。

从现场统计数据来看,浇铸 H 型钢 Q235B 钢种时,平均表面纵裂纹发生率为 2%。表面纵裂纹主要发生在腹板区域,且内弧发生率高于外弧。

2 H型钢 Q235B 保护渣性能的优化

H 型钢 Q235B 为中碳钢,此钢处于包晶区附近,具有强的裂纹敏感性,凝固时 δ→γ 相变伴随有 0.38% 的体积收缩,造成凝固坯壳和结晶器壁间的气隙厚度不均匀,传热也变得不均匀。如果沿铸坯横截面温度梯度过大,便会产生较强的热应力,使铸

点稍低于或等于结晶器下口处坯壳表面温度,保证在结晶器长度方向始终存在一定厚度的液渣膜,即实现“全程液态润滑”。经过建立铸坯传热模型,得知结晶器出口铸坯腹板中心表面温度为 1 096 ℃。因此,H 型钢 Q235B 保护渣的熔化温度 ≤ 1 096 ℃,即保证了结晶器内的全程液态润滑。

纵裂产生与熔渣粘度(η)和拉坯速度(v)有关^[5,6],对大断面宽扁型铸坯,η_(1300℃)v 值应控制在 0.20~0.35 Pa·s·m/min,对小断面方坯,ηv 控制值为 0.50 Pa·s·m/min;而津西钢铁厂实际生产的拉速(v)为 0.98 m/min,可知,H 型钢 Q235B 用保护渣的粘度应该控制在 0.20~0.36 Pa·s。

综合分析,从上述 25 组中选出 1 组满足设计要求的保护渣,其化学成分为(%) 37.50CaO、37.50SiO₂、6Al₂O₃、7CaF₂、12Na₂O,碱度 R 为 1.0,熔化温度(半球点)1 092 ℃,粘度 0.27 Pa·s。

2.2 H型钢 Q235B 保护渣熔化速度的优化

在碱度 R = 1.0,成分为(%) 37.50CaO、37.50SiO₂、6Al₂O₃、7CaF₂、12Na₂O 基料条件下,测定不同石墨含量(%:1、4、7、10、13、16、20)、炭黑含量(%:1、2、3、4、5、6、7)以及 7% 石墨与不同含量炭黑混合(7% 石墨+0.5% 炭黑、7% 石墨+1% 炭黑、7% 石墨+1.5% 炭黑、7% 石墨+2% 炭黑、7% 石墨+2.5% 炭黑)试样的熔化速度(即 1 350 ℃ 恒温下渣样完全熔化所需的时间),对比它们对熔化速度的

影响效果。

碳质材料能有效的控制保护渣的熔化速度^[7,8]。从图 2 实验所测结果看出,保护渣的熔化速度随着加入的碳质材料的含量增加而降低。同时,实验结果还表明石墨的控温能力很强,当石墨含量为 1%,熔化速度仅仅是 26 s,而当含量增大到 20%时,熔化速度已经达到 86 s;而炭黑的控温能力不是很强,因其着火点比较低,在 590 °C 左右,所以当炭黑含量从 1%变化到 7%时,熔化速度从 15 s 变化到 23.5 s。

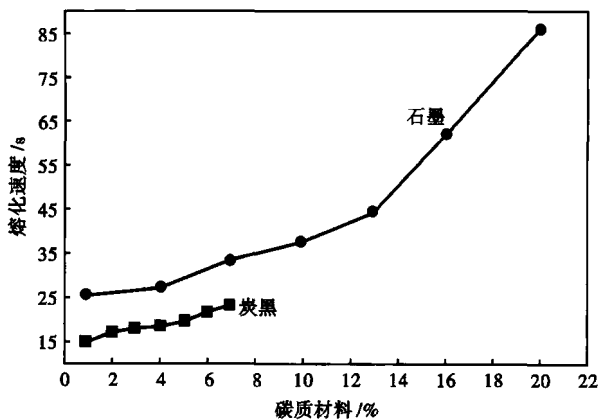


图 2 保护渣中碳质材料含量对熔化速度的影响

Fig. 2 Effect of carbon (graphite and carbon black) content in mold powder on melting rate

由图 3 可见,复合配碳的渣样熔化速度在 32 s 左右,说明复合配碳能有效控制保护渣的熔融特性,在相对较宽的范围内保持较稳定的熔融特性。H 型钢 Q235B 用保护渣的熔化速度为 30~40 s 时,铸坯传热条件较好,表面裂纹率较少^[9]。因此,复合配碳的效果优于单一配碳,它满足了 H 型钢连铸坯用保护渣的要求。

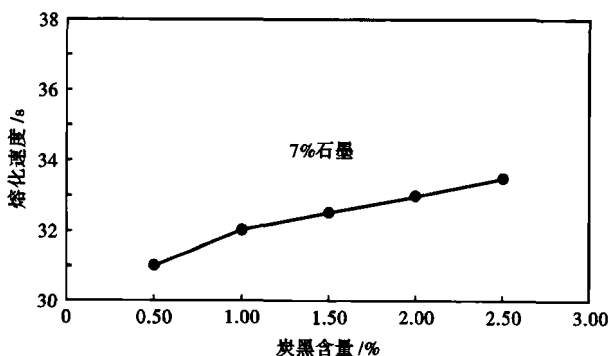


图 3 复合配碳(7%石墨+炭黑)材料中炭黑含量对保护渣熔化速度的影响

Fig. 3 Effect of carbon black content of mixed carbon material (7% graphite + carbon black) in mold powder on melting rate

2.3 最终优化方案和现场应用

最后得到最优的保护渣配方成分见表 2。对比此优化渣与津西钢铁厂 H 型钢 Q235B 现行保护渣(原渣)的性能参数(表 2)可以看出,优化渣熔点低于原渣,下降 75 °C;优化渣粘度明显低于原渣,下降了 2/3 左右;优化渣熔化速度较原渣也在一定程度上增加。说明该优化方案实现了降低熔点、粘度和提高熔化速度的目标,达到了优化 H 型钢 Q235B 保护渣性能的设计要求。

现场应用优化保护渣的结果表明,浇铸钢种 Q235B,铸坯断面 550 mm × 440 mm × 90 mm,拉速为 1.2 m/min,液渣层厚度为 10~13 mm,结晶器内保护渣消耗量为 0.8~0.9 kg/t,铸坯表面无夹渣、无裂纹、表面质量良好,并且连铸过程中保护渣铺展性好、熔化均匀、无渣圈,基本无漏钢现象。

3 结论

(1) 优化后的保护渣熔点低于原渣,下降 75 °C;粘度明显低于原渣,下降了 2/3 左右;熔化速度较原渣也在一定程度上增加。该优化方案达到了优化 H 型钢 Q235B 保护渣性能的设计要求。

(2) 经初步应用证明,当拉速由 0.98 m/min 提高到 1.2 m/min 时,使用此优化渣浇铸,铸坯质量保持良好,并且浇铸过程中保护渣铺展性好、熔化均匀、无渣圈,基本无漏钢现象。因此,该优化渣满足浇铸 H 型钢 Q235B 钢种的要求。

国家自然科学基金与宝钢联合资助项目(50774109)

参考文献

- 1 乌力平,李建中,汤寅波,等. 保护渣对连铸异型坯表面质量的影响. 炼钢, 2004, 20(6): 40
- 2 朱立光. 高速连铸保护渣性能优化及基于神经网络的连铸保护渣设计专家系统的研究[学位论文]. 北京: 北京科技大学, 1997
- 3 Koyama K. Design for Chemical and Physical Properties of Continuous Casting Powders. Nippon Steel Technical Report, 1987, 34(8): 41
- 4 何少华, 文竹青. 试验设计与数据处理. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002
- 5 蔡开科, 程士富. 连续铸钢原理与工艺. 北京: 冶金工业出版社, 1999
- 6 茆勇, 鲁怀敏, 汪开忠. 近终形连铸异型坯的质量问题及对策. 钢铁, 2001, 36(6): 22
- 7 Masayuki Kawamoto. Design Principles of Mold Powder for High Speed Continuous Casting. ISIJ International, 1994, 34(7): 595
- 8 Iverson F K, Busse K. A Review of First Year CSP Operations at Nucor Steel's New Thin-Slab Casting Facility. Stahl Eisen, 1991, 111(1): 37
- 9 王升, 孙维, 汪开忠, 等. Nb 微合金化钢异型坯连铸工艺的优化. 安徽工业大学学报, 2002, 19(3): 214

尹娜(1986-), 女, 硕士研究生, 连铸工艺研究。

收稿日期: 2009-10-16