

310S 耐热不锈钢连铸板坯表面纵裂分析和工艺改进

李俊 李晓红 范新智 李国平
(太原钢铁(集团)有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 310S 奥氏体耐热不锈钢(%:0.05C、24.5Cr、19.3Ni)导热性差[100℃导热系数 $0.029 \times 4.18 \text{ J}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$],200 mm×(950~2150)mm连铸板坯易产生纵裂纹(宽0.1~10 mm,深1~20 mm)。通过采用熔点1085℃的保护渣(ST-SP/310)替代熔点1120℃的保护渣(ST-SP/810),结晶器宽面和窄面的冷却水流量分别从4500 L/min和460 L/min降至4300 L/min和430 L/min,钢水过热度从30~45℃降至20~35℃,拉速从0.95 m/min降至0.80~0.90 m/min,铸坯质量明显改善,消除了表面纵裂。

关键词 310S 耐热不锈钢 连铸板坯 纵裂 工艺改进

Analysis on Surface Longitudinal Crack of Concasting Slab of Heat Resistant Stainless Steel 310S and Process Improvement

Li Jun, Li Xiaohong, Fan Xinzhi and Li Guoping
(Technical Center, Taiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract As heat conductivity of austenite heat resistant stainless steel 310S (%:0.05C, 24.5Cr, 19.3Ni) is poor, only $0.029 \times 4.18 \text{ J}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$ at 100℃, the surface longitudinal cracks with wide 0.1~10 mm and depth 1~20 mm of 200 mm×(950~2150) mm casting slab easy produce. By using mold flux ST-SP/310 with lower melting point-1085℃ to replace mold flux ST-SP/810 with higher melting point-1120℃, decreasing broad face and narrow face cooling water rate respectively to 4300 L/min and 430 L/min from original 4500 L/min and 460 L/min, decreasing liquid super-heating extent to 20~35℃ from 30~45℃ and lowering casting speed to 0.80~0.90 m/min from 0.95 m/min, the quality of cast slab obviously improves to avoid the occurrence of surface longitudinal crack.

Material Index Heat Resistant Stainless Steel 310S, Concasting Slab, Longitudinal Crack, Process Improvement

310S(0Cr25Ni20)耐热不锈钢(典型成分%:0.05C、0.70Si、0.95Mn、0.025P、0.006S、24.5Cr、19.3Ni)是高铬镍奥氏体不锈钢,在氧化介质中具有优良的耐蚀性能,同时具有良好的高温力学性能,因此它既可以用于耐蚀部件又可以用于高温部件。

在钢厂生产冶炼310S耐热不锈钢时,连铸工序极易产生铸坯纵裂的缺陷,其纵裂大部分集中在铸坯内弧侧宽面的中部,呈锯齿状,长度不等,短则1~5 mm,长则贯穿整块铸坯,宽0.1~10 mm,深1~20 mm,有时可能部分交错,断断续续,如图1所示,其废品率有时高达13.7%。

1 影响310S铸坯纵裂的因素

连铸310S所用板坯连铸机的主要参数见表1。工艺改善前310S连铸的主要工艺参数见表2。

在连铸过程中,当结晶器弯月面的初生坯壳厚度不均匀的时候,如果作用于宽面坯壳的热应力、组织应力和摩擦力超过高温坯壳的允许强度,在坯壳薄弱处产生应力集中,沿树枝晶间或奥氏体晶界产生断裂,最终产生裂纹^[1]。

310S的导热性较差(表3)^[2],其导热系数为304的58%,Cr17的47%,铸坯易产生热裂纹。

1.1 结晶器冷却强度

影响铸坯纵裂的关键因素不是二冷,而是结晶器内的冷却强度,当结晶器冷却强度

不合适导致热应力过大时,表面纵裂指数上升^[3]。如果坯壳出结晶器后厚度比较均匀,在二冷水引起

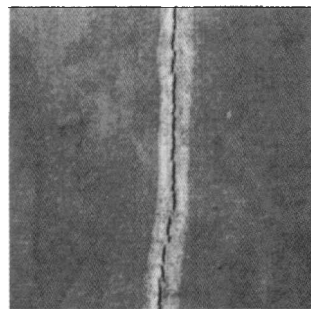


图1 310S 钢铸坯纵裂形貌
Fig.1 Morphology of longitudinal crack of steel 310S cast slab

表1 板坯连铸机的主要工艺参数
Table 1 Main parameters of slab caster

项目	工艺参数
机型	直弧型板坯连铸机,1机1流
浇铸断面/mm×mm	200×(950~2150)
铸机半径/m	9
钢包容量/t	180
结晶器长度/mm	800
拉坯速度/(m·min ⁻¹)	0.8~1.4

表 2 改善前 310S 连铸的主要工艺参数

Table 2 Main technology parameters for concasting steel 310S before process improvement

项目	改善前工艺参数
目标拉速/($m \cdot min^{-1}$)	0.95
目标过热度/ $^{\circ}C$	30~45
结晶器水量/($L \cdot min^{-1}$)	宽面 4 500, 窄面 460
保护渣	ST-SP/810
结晶器电磁搅拌	1 120 A, 3 Hz
振频/($c \cdot min^{-1}$)	160
振幅/mm	3

表 3 不锈钢的导热系数[100 $^{\circ}C$, 4.18 J/($cm \cdot ^{\circ}C$)]Table 3 Heat conductivity of stainless steels [100 $^{\circ}C$, 4.18 J/($cm \cdot ^{\circ}C$)]

钢种	304	316	Cr17	310S
导热系数	0.050	0.050	0.062	0.029

的热应力作用下不会导致铸坯出现纵裂。

1.2 钢水过热度

钢水过热度每提高 10 $^{\circ}C$, 在结晶器内高温钢水流动会使坯壳减薄约 2 mm^[4]。初生的坯壳薄, 在钢水自重的作用下, 坯壳承受的压力大, 易产生裂纹。

1.3 拉坯速度

当拉速波动 ≤ 0.1 m/min 时, 对纵裂基本无影响; 当拉速波动 > 0.1 m/min 时, 随拉速波动量的增大, 纵裂指数直线上升^[5]。

1.4 保护渣行为的影响

生产实践表明, 保护渣液渣层厚度应控制在 12~18 mm, 过厚会导致传热下降, 过薄会导致摩擦力增大, 都容易产生纵裂^[6]。

2 主要控制措施

2.1 更换保护渣

工艺改进前冶炼 310S 耐热不锈钢采用 ST-SP/810 保护渣(此保护渣适合 304 不锈钢), 生产过程发现 ST-SP/810 保护渣渣壳较厚, 说明其融化性不良。工艺改进后采用 ST-SP/310 保护渣。

从表 4 可以看出, 两种保护渣粘度、碱度相近, 但 ST-SP/810 熔点比 ST-SP/310 高 35 $^{\circ}C$, 而 304 不锈钢液相线温度比 310S 高 60 $^{\circ}C$, 通过比较, ST-SP/310 更适合 310S 的生产。

表 4 工艺改进前后保护渣的特性参数

Table 4 Characteristic parameters of mold flux before and after process improvement

工艺	保护渣型号	粘度/($Pa \cdot s$) 1 300 $^{\circ}C$	碱度 (CaO/SiO_2)	熔点/ $^{\circ}C$	流动点/ $^{\circ}C$
改进前	ST-SP/810	0.11	1.10	1 120	1 130
改进后	ST-SP/310	0.10	1.10	1 085	1 100

2.2 降低结晶器冷却强度

过去生产 310S 耐热钢时, 冷却水强度较大, 而 310S 耐热钢传热性较差, 冷却强度大加剧铸坯纵裂倾向。工艺改进前及改进后结晶器冷却强度如表 5。

表 5 工艺改进前后结晶器冷却强度

Table 5 Mold cooling water rate before and after process improvement

工艺	宽面/($L \cdot min^{-1}$)	窄面/($L \cdot min^{-1}$)
改进前	4 500	460
改进后	4 300	430

2.3 降低过热度

过热度高导致坯壳薄, 造成热应力大, 易产生裂纹。裂纹在结晶器形成并在二冷区扩大。过热度从 30~45 $^{\circ}C$ 降至 20~35 $^{\circ}C$ 。

2.4 降低拉速

拉速高, 影响初生凝壳正常生长, 使坯壳变薄, 也是造成纵裂原因之一。工艺改进前, 不同规格耐热钢拉速与 304 不锈钢相同, 但由于耐热钢传热性较差, 认为此拉速偏高, 因此在原拉速 0.95 m/min 基础上降低 0.05~0.15 m/min。

采取以上措施后, 铸坯表面质量得到了明显改善, 再未出现铸坯纵裂现象。

3 结论

(1) 310S 耐热不锈钢 Cr、Ni 含量高, 导热性差, 影响 310S 钢铸坯纵裂的工艺因素主要有保护渣、结晶器冷却强度、过热度 and 拉速。

(2) 通过采用 ST-SP/310 保护渣、降低结晶器冷却强度、降低过热度 and 拉速等措施后, 铸坯表面质量得到了明显改善, 再未出现铸坯纵裂现象。

参考文献

- 1 蔡开科, 程士富. 连铸钢原理与工艺. 北京: 冶金工业出版社, 1994
- 2 陆世英, 张廷凯, 康喜范, 等. 不锈钢. 北京: 原子能出版社, 1995
- 3 裴云毅. 中碳钢板坯的纵裂及其预防. 炼钢学组年会论文集. 宝钢金属学会, 1993
- 4 蔡开科. 碳钢凝固的包晶转变与连铸坯裂纹. 连铸, 1994(3): 19
- 5 许庆太, 张楠, 王英林. 连铸板坯表面纵向裂纹缺陷的检验与分析. 鞍钢技术, 2002(6): 17
- 6 修立策. 连铸板坯表面纵裂纹原因分析及控制措施. 炼钢, 2007, 23(6): 3

李俊(1978-), 男, 硕士, 不锈钢品种研究和开发。

收稿日期: 2009-03-25