

22SiMn2TiB 钢 250 mm 连铸坯氧化铁皮分析及工艺改进

陈本文^{1,2} 张坤³ 苏春霞^{1,2} 赵刚^{1,2} 杨晰^{1,2} 付超^{1,2}

(1 海洋装备用金属材料及其应用国家重点实验室,鞍山 114009;2 鞍钢股份技术中心,鞍山 114009;
3 鞍钢股份鲅鱼圈分公司厚板部,营口 115007)

摘要 采用扫描电镜、EDX 能谱仪和 X 射线衍射仪对 22SiMn2TiB 钢连铸坯的氧化铁皮除不净的原因进行分析。结果表明,在现行加热工艺条件下容易使钢中 Si(0.70% ~ 1.00%)氧化,并在连铸坯氧化铁皮中形成 Fe₂SiO₄(铁橄榄石),经高压水除鳞冷却后 Fe₂SiO₄ 形成类似锚状形貌,将 FeO 层钉扎住,增加了与基体的附着力,致使氧化铁皮很难完全被除掉。通过优化加热工艺,控制连铸坯加热出炉温度为 1 250 ~ 1 300 °C,可使连铸坯经除鳞后温度控制在 1 173 °C 以上,减小氧化铁皮与基体的结合力,可有效的解决 22SiMn2TiB 钢连铸坯除鳞不净的问题。

关键词 22SiMn2TiB 钢 除鳞 氧化铁皮

Analysis on Oxide Scale of 250 mm Continuous Casting Slab in 22SiMn2TiB Steel and Process Improvement

Chen Benwen^{1,2}, Zhang Kun³, Su Chunxia^{1,2}, Zhao Gang^{1,2}, Yang Xi^{1,2} and Fu Chao^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Metal Material for Marine Equipment and Application, Anshan 114009; 2 Angang Steel Company Limited Technology Centre, Anshan 114009; 3 Bayuquan Heavy Plate Mill of AnSteel, Yingkou 115007)

Abstract The reason of oxide scale of continuous casting slab in 22SiMn2TiB steel cannot be completely removed was analyzed by SEM, EDX and XRD. The results show that silicon element(0.70% ~ 1.00%) of 22SiMn2TiB steel is easy oxidation, and form the phase of Fe₂SiO₄(fayalite) under the condition of primary heating process. The form of Fe₂SiO₄(fayalite) will be changed after high-pressure water descaling, like anchor, FeO will be packed by it, leading to the increment of adhesion force between inner layer oxide scale and steel matrix, which is the reason for the incompletely removed of oxide scale of continuous casting slab. According to the analysis results, we have optimized heating process of continuous casting slab, the temperature of continuous casting slab was elevated 1 250 ~ 1 300 °C, thus, the temperature of continuous casting slab was controled above 1 173 °C after high-pressure water descaling, leading to the decrease of adhesion force between inner layer oxide scale and steel matrix, the question of incompletely descaling of continuous casting slab in steel 22SiMn2TiB will be effectively resolved.

Material Index 22SiMn2TiB Steel, Descaling, Oxide Scale

热轧中厚板表面红锈、带状麻点、麻面、铁皮压入等缺陷大部分是由于连铸坯除鳞不净所造成的。连铸坯经高温加热,在其表面会生成一层氧化铁皮,内层主要以 FeO 为主^[1],FeO 在高温条件下具有一定的致密性和黏度,与钢基体结合相对较为紧密,若氧化皮在除鳞处理中得不到彻底清除,后续轧制时氧化铁皮就会被压入钢板而造成表面缺陷,阻碍了产品档次的提升并造成生产成本的增加,严重时造成产品降级。因此,研究连铸坯氧化铁皮除鳞不净的原因是非常重要的。本文分析了 22SiMn2TiB 连铸坯表面氧化铁皮经高压水除鳞除不净的原因,并提出了相应的工艺改进。

加热制度见表 2,高压水除鳞参数见表 3。将氧化铁

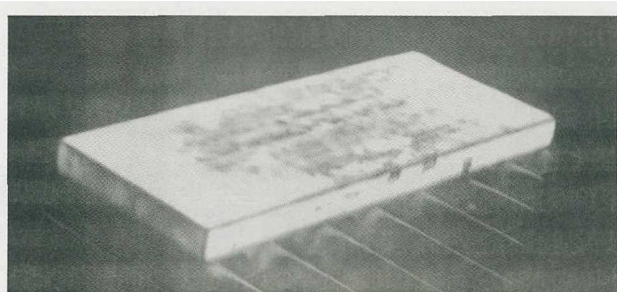


图 1 22SiMn2TiB 钢连铸坯残余氧化铁皮的形貌

Fig. 1 Morphology of residual oxide scale of continuous casting slab of 22SiMn2TiB steel

1 试验材料与方法

氧化铁皮取自图 1 两次除鳞不净的 22SiMn2TiB 钢连铸坯表面[铸坯尺寸为 250 mm × 1 800 mm × 3 550 mm(厚 × 宽 × 长)],连铸坯化学成分见表 1,

表 1 22SiMn2TiB 钢连铸坯化学成分/%

Table 1 Chemical composition of continuous casting slab of 22SiMn2TiB steel / %

C	Si	Mn	P	S	Ti	B
0.22	0.95	1.78	0.014	0.001 0	0.050	0.001 8

表 2 铸坯加热制度

Table 2 Heating schedule of continuous casting slab

炉子各段温度/°C								目标出炉
一下加	一上加	二下加	二上加	三下加	三上加	下均热	上均热	温度/°C
1 000 ~ 1 050	~ 1 150	~ 1 220	~ 1 150	~ 1 200	~ 1 100	~ 1 150	~ 1 200	
1 120	1 200	1 250	1 300	1 280	1 300	1 260	1 260	

表 3 高压水除鳞装置参数

Table 3 Parameters of high-pressure water descaling device

项目	参数
打击力/MPa	≤1.15
集管投射角/°	15
除鳞喷嘴前的压力/MPa	22
集管数量/根	4
单个集管的喷嘴数量/个	47
单个喷嘴喷射角度/°	22
重叠量/mm	12.3
单个喷嘴流量/(L·min ⁻¹)	45 (10 MPa 压力)
总流量/(L·min ⁻¹)	≤12 548 (22 MPa 压力)
喷嘴间距/mm	54

皮制成图 2 所示的试样,利用 SUPRA55 场发射扫描电镜、EDX 能谱仪和 X 射线衍射仪对氧化铁皮进行形貌、组成分析。

2 试验结果及分析

从图 2 所示的氧化铁皮宏观形貌来看,氧化铁皮厚度为 2 mm 左右,属于一次氧化铁皮或炉生氧化铁皮^[2],上表面比较粗糙,分布较多气孔,除鳞时容易出去;下表面比较致密,紧密的吸附在钢基体表面,很难去除。

图 3 为氧化铁皮上表面扫描电镜分析结果,图 3(b)显示氧化物呈块状凸起、簇状分布,EDX 能谱分析结果(表 4)和 X 射线衍射结果(图 4)表明氧化铁皮由 FeO, Fe₂O₃ 和 Fe₃O₄ 组成(FeO 2.0%, Fe₂O₃ 66.3%, Fe₃O₄ 31.7%),并含有一定量的 Si、少量 Mn 元素。

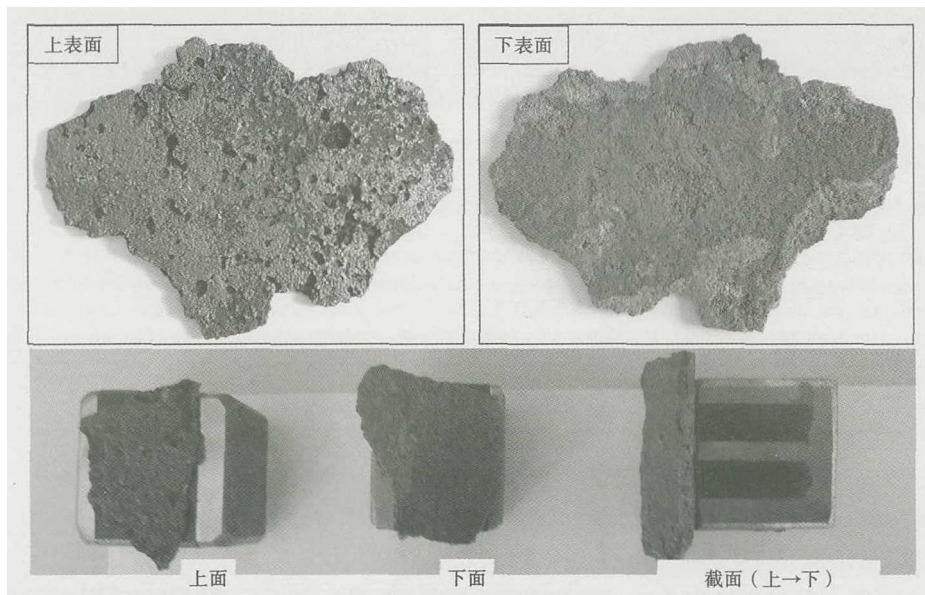


图 2 氧化铁皮试样形貌
Fig. 2 Morphology of sample of oxide scale

图 5 为氧化铁皮下表面扫描电镜分析结果,图 5(b)显示氧化物呈点状、条状分布,非常致密,很规则的排列在一起,EDX 能谱分析结果(表 5)和 X 射线衍射结果(图 6)表明氧化铁皮由 Fe₂SiO₄, FeO, Fe₂O₃ 和 Fe₃O₄ 组成(Fe₂SiO₄ 41.4%, Fe₂O₃ 26.3%, Fe₃O₄ 18.2%, FeO 10.1%, Fe 4%)。

图 7 为氧化铁皮截面扫描电镜分析。形貌大致与文献[1]所介绍的相同,即从外向内依次为:三氧化二铁(Fe₂O₃)、四氧化三铁(Fe₃O₄)、氧化亚铁(FeO),从整个截面元素分布来看,氧化铁皮主要由 Fe、O、Si 元素组成。

从上述氧化铁皮上表面、下表面、截面分析结果来看,氧化铁皮中含有一定量的 Si,其 Si 含量均高于基体成分 Si 含量(0.70% ~ 1.00%),X 射线衍射结果显示组成为 Fe₂SiO₄(铁橄榄石)。文献[3-5]研究表明,

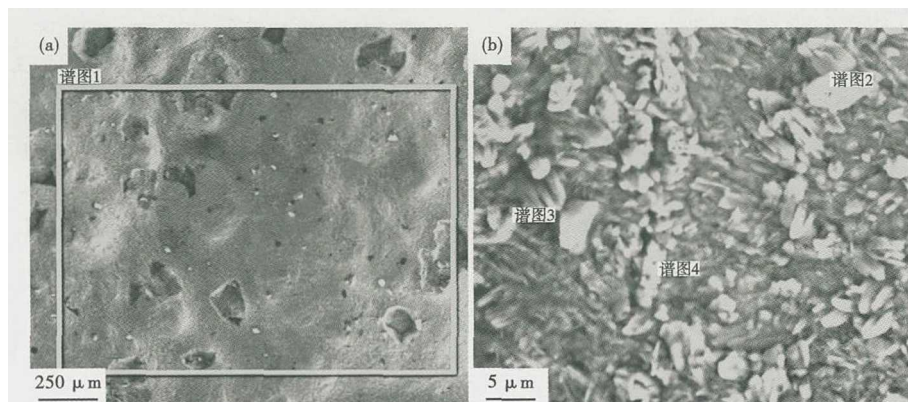


图 3 氧化铁皮上表面形貌
Fig. 3 Morphology of upper surface of oxide scale

Si 对一次鳞影响较为明显,当 Si 含量 0.2% 时,在 1 220 °C 以上容易形成平衡状态的 FeO + 液态 Fe₂SiO₄, 液态 Fe₂SiO₄ 将 FeO 晶粒包围而形成 FeO/Fe₂SiO₄ 的共析产物,而在 1 173 °C 以下时 Fe₂SiO₄ 凝固后形成类似锚状形貌,将 FeO 层钉扎住,钉扎住的 FeO 很难在除鳞中完全被除掉,因此,一般出炉后除鳞点温度要高于 1 173 °C [6]。22SiMn2TiB 钢中 Si 含量为 0.70% ~ 1.00%, 在加热过程中极易被氧化,表 2 连铸坯目标出炉温度为 1 200 °C, 生产实际数据显示连铸坯出炉温度通常为 1 200 ~ 1 220 °C, 因此,轧制之前液态 Fe₂SiO₄ 将 FeO 晶粒包裹住,形成 FeO/Fe₂SiO₄ 的共析产物,连铸坯从出炉到除鳞箱过程中温降约 30 °C, 接近 Fe₂SiO₄ (铁橄榄石)凝固点 1 173 °C, 因此,FeO 将会被凝固后的 Fe₂SiO₄ 包裹钉扎住,造成除鳞不净。

3 工艺改进措施

从 22SiMn2TiB 钢连铸坯氧化铁皮的上表面、下表面、截面分析结果来看,造成连铸坯除鳞不净的主要原因是现行加热工艺容易形成 Fe₂SiO₄ (铁橄榄石), 经除鳞冷却后 Fe₂SiO₄ 形成类似锚状形貌, 将 FeO 层钉扎住, 致使 FeO 很难完全被除掉。为此,在保证其它工艺不变的条件下,改进 22SiMn2TiB 钢连铸坯加热工艺,见表 6,同时考虑该钢属于中碳低合金钢高强度钢,轧制变形抗力较大,为保证轧制的顺利进行将铸坯的目标出炉温度控制在 1 270 °C 左右,以使连铸坯经除鳞点后温度控制在 1 173 °C 以上,从而使 Fe₂SiO₄ 保持熔融态,减小内层氧化铁皮对钢基体的附着力,便于氧化铁皮的去除。从实际生产轧制的 22SiMn2TiB 连铸坯除鳞情况来看,工艺调整后,连铸坯表面氧化铁皮基本去除,如图 8 所示。

表 4 氧化铁皮上表面组分

Table 4 Composition of upper surface of oxide scale

位置	元素	Fe	O	Si	Mn	Ca	Na	Cl	Mg	S	K	Al
谱图 1	元素百分含量/%	57.6	26.7	1.5	1.2	7.3	4.1	0.5	0.5	0.4	0.3	-
	原子个数百分含量/%	32.3	52.3	1.7	0.7	5.7	5.7	0.5	0.6	0.4	0.2	-
谱图 2	元素百分含量/%	16.2	45.5	13.3	0.4	0.8	2.7	1.4	8.7	0.3	1.4	9.3
	原子个数百分含量/%	6.4	62.7	10.4	0.2	0.4	2.6	0.9	7.9	0.2	0.8	7.6
谱图 3	元素百分含量/%	54.6	32.4	-	-	1.8	11.2	-	-	-	-	-
	原子个数百分含量/%	27.7	57.3	-	-	1.3	13.7	-	-	-	-	-
谱图 4	元素百分含量/%	52.4	31.8	-	-	2.3	11.4	1.7	0.4	-	-	-
	原子个数百分含量/%	26.5	56.1	-	-	1.6	14.0	1.3	0.4	-	-	-

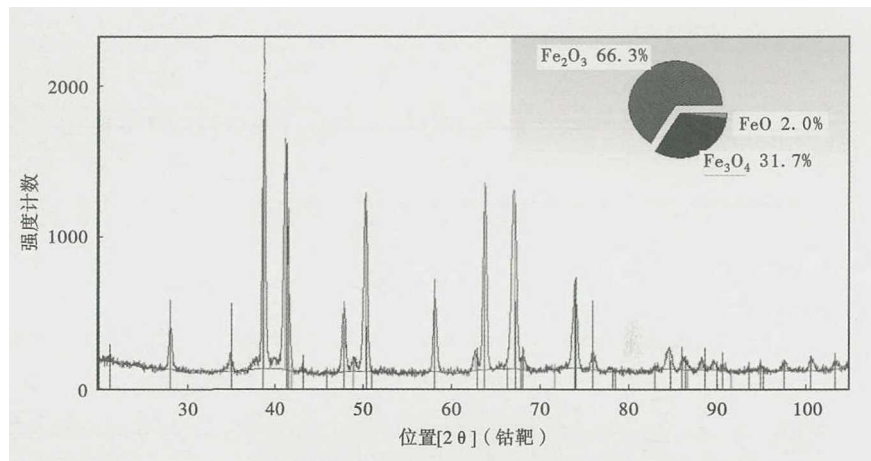


图 4 氧化铁皮上表面 X 射线衍射结果

Fig. 4 Results of X-ray diffraction analysis of upper surface of oxide scale

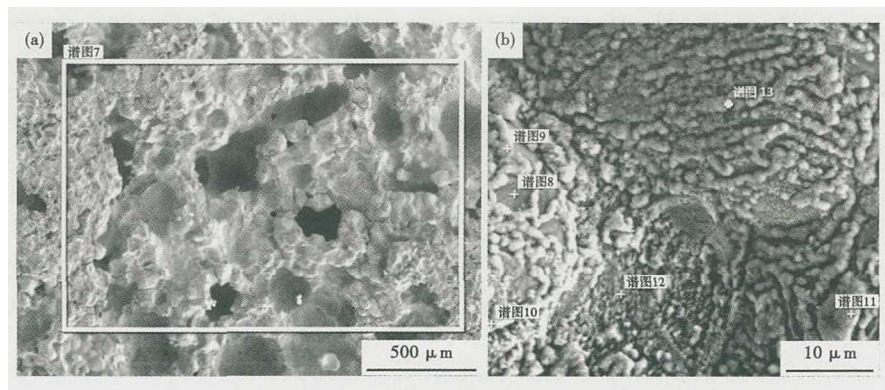


图 5 氧化铁皮下表面形貌

Fig. 5 Morphology of underside surface of oxide scale

4 结论

(1) 22SiMn2TiB 钢连铸坯表面氧化铁皮分析结果表明,造成连铸坯除鳞不净的主要原因是现行连铸坯加热工艺容易形成 Fe₂SiO₄ (铁橄榄石), 经除鳞冷却后 Fe₂SiO₄ 形成类似锚状形貌, 将 FeO 层钉扎住, 致使 FeO 很难完全被除掉。

(2) 优化 22SiMn2TiB 钢连铸坯加热目标出炉温度为 1 270 °C, 可使连铸坯经除鳞点后温度控制在

表 5 氧化铁皮下表面组分

Table 5 Composition of underside surface of oxide scale

位置	元素	Fe	O	Si	Mn	Ca	Na	Cl
谱图 7	元素百分含量/%	71.5	24.5	1.1	-	0.5	2.1	0.3
	原子个数百分含量/%	43.3	51.6	1.3	-	0.4	3.1	0.3
谱图 8	元素百分含量/%	66.6	33.4	-	-	-	-	-
	原子个数百分含量/%	36.4	63.6	-	-	-	-	-
谱图 9	元素百分含量/%	67.5	32.5	-	-	-	-	-
	原子个数百分含量/%	37.3	62.7	-	-	-	-	-
谱图 10	元素百分含量/%	68.4	30.5	-	-	-	1.1	-
	原子个数百分含量/%	38.6	59.9	-	-	-	1.5	-
谱图 11	元素百分含量/%	66.6	32.8	-	-	-	0.6	-
	原子个数百分含量/%	36.4	62.7	-	-	-	0.8	-
谱图 12	元素百分含量/%	59.1	32.8	3.2	2.0	-	2.9	-
	原子个数百分含量/%	31.2	60.5	3.4	1.1	-	3.7	-
谱图 13	元素百分含量/%	82.6	16.7	-	-	-	0.7	-
	原子个数百分含量/%	57.9	41.0	-	-	-	1.1	-

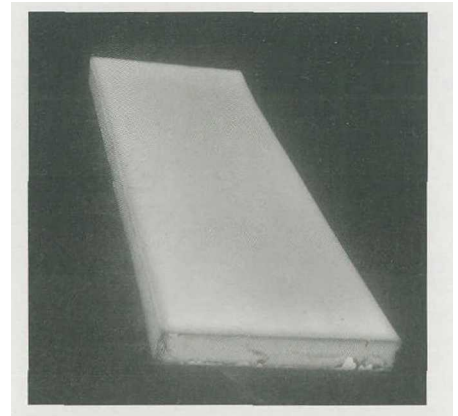


图 8 连铸坯表面(工艺改进后)的形貌
Fig. 8 Morphology of the surface of continuous casting slab after optimizing process

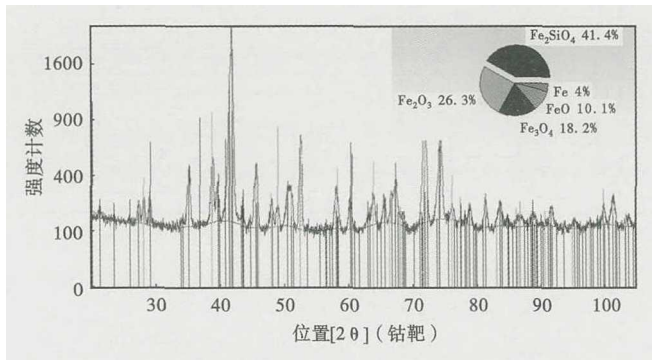


图 6 氧化铁皮下表面 X 射线衍射结果

Fig. 6 Results of X-ray diffraction analysis of underside surface of oxide scale

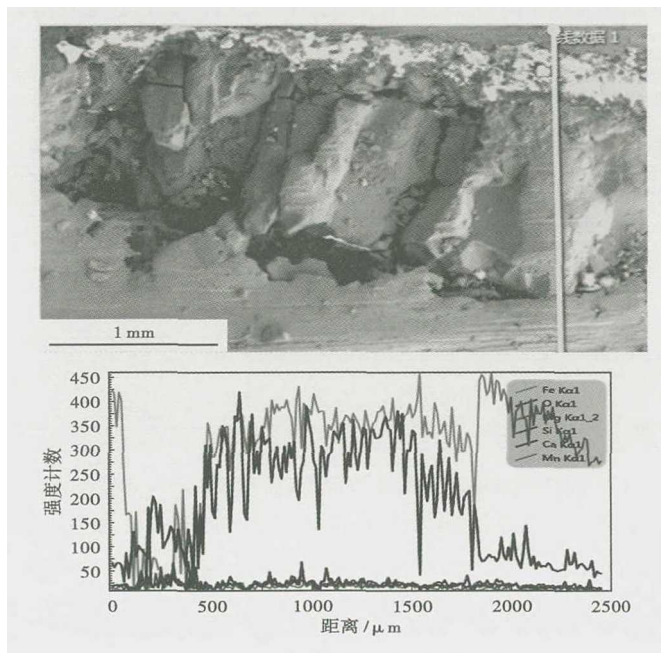


图 7 氧化铁皮截面形貌及组成

Fig. 7 Morphology and composition of oxide scale section

表 6 改进的连铸坯加热制度

Table 6 Improved heating schedule of continuous casting slab

炉子各段温度/℃								目标出炉温度/℃
一下加	一上加	二下加	二上加	三下加	三上加	下均热	上均热	温度/℃
1 000 ~ 1 050	~ 1 200	~ 1 250	~ 1 230	~ 1 280	~ 1 220	~ 1 220	~ 1 270	
1 150	1 230	1 250	1 300	1 280	1 300	1 280	1 300	1 270

1 173 ℃ 以上,减小氧化铁皮与基体的结合力,可有效的解决 22SiMn2TiB 钢连铸坯除鳞不净的问题。

参考文献

[1] 刘振宇,于洋,郭晓波,等.板带热连轧中氧化铁皮的控制技术[J].轧钢,2009,26(1):5-9.
 [2] 陈永利,查显文,陈礼清.热轧中厚板氧化铁皮控制技术[J].东北大学学报(自然科学版),2011,32(7):960-964.
 [3] 于洋,李清亮,刘振宇.板带热连轧过程中氧化铁皮生长动力学的数值模拟[J].钢铁,2008,43(1):55-57.
 [4] Okada H, Fukagawa T and Ishihara H. Prevention of Red Scale Formation during Hot Rolling of Steels[J]. ISIJ International,1995,35(7):886-891.
 [5] Liu Z and Gao W A. Numerical Model to Predict the Kinetics of Anisothermal Oxidation of Metals[J]. High Temperature Materials and Processes,1998,17(4):231-236.
 [6] 于洋,唐帅,郭晓波,等.热轧卷板氧化铁皮形成机理及控制策略的研究[J].钢铁,2006,41(11):50-52.

陈本文(1977-),男,硕士(2010年辽宁科技大学),高级工程师,2001年辽宁工学院(本科)毕业,炼钢和热处理工艺研究。E-mail:cbw_9703024@163.com

收稿日期:2018-02-08