

IF 钢冷轧板表面缺陷研究

朱国森 于会香 王万军 王新华

(北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083)

摘 要 对 IF 钢冷轧板表面缺陷进行了分析研究, 发现该缺陷是由夹杂物引起的, 夹杂物为 Al_2O_3 颗粒与 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ 系的复杂氧化物。其来源很可能是中间包覆盖渣与浸入式水口内堵塞物的结合物。在轧制过程中, 夹杂物的脆性部分被碾碎, 呈颗粒状零散分布; 塑性部分被碾平, 不均匀地分布在铁基体表面上。

关键词 夹杂物 IF 钢 冷轧板 连铸

中图分类号 TF771.2 **文献标识码** A

STUDY OF SURFACE DEFECTS OF COLD-ROLLED IF STEEL SHEET

ZHU Guosen, YU Huixiang, WANG Wanjuan, WANG Xinhua

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

ABSTRACT The surface defects of cold-rolled IF steel sheet were analyzed by scanning electron microscope. The results indicate that the defects are caused by Al_2O_3 particles and complicate oxides of $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$, which most probably are the mixture of tundish slag and nozzle clogs. During cold rolling, the brittle parts of inclusions are crushed to small particles and the plastic parts are flattened and spread on the surface.

KEY WORDS inclusion, IF steel, cold-rolled sheet, continuous casting

1 前言

IF 钢(无间隙原子钢)是一种具有高附加值和良好深冲性能的钢种, 已被广泛用于汽车、易拉罐等产品的制造业。目前, 世界上一些大型钢铁公司的 IF 钢年产量都在百万吨以上^[1]。

IF 钢冷轧板的主要质量问题是表面线状缺陷^[2~4], 这会影响后续深冲和涂层的质量。本文对 IF 钢冷轧板的表面缺陷进行了研究, 找到了缺陷的来源, 分析了缺陷的性质。

2 试验方法

对表面线状缺陷主要采用以下的方法进行检验: ① 采用便携式视频显微仪观察表面缺陷的全貌; ② 采用超声波振荡仪清洗试样, 在扫描电镜下分析缺陷表面的形貌和成分; ③ 截取表面缺陷的纵截面试样, 在镶样、磨样和抛光后, 采用扫描电镜分析缺陷的形貌和成分。钢种的化学成分见表 1。

3 分析结果

3.1 缺陷的表面形貌

收到修改稿日期: 2003-07-20

联系人: 王新华, 教授, wangxinhua@metall.ustb.edu.cn

表 1 钢种的化学成分

Table 1 Chemical composition of IF steel %						
[C]	[Mn]	[P]	[S]	[Al]	T[O]	[N]
0.005	0.18	0.006	0.006	0.044	0.003	0.003

图 1(a)为便携式视频显微仪得到的冷轧板表面缺陷的图片。可见, 该缺陷呈线形连续分布, 宽度约 5 mm, 宽度方向的颜色有深有浅。

3.2 缺陷表面的扫描电镜分析

如图 1(a)所示, 在冷轧板上截取试样 1-1。采用超声波振荡仪清洗试样后用扫描电镜观察缺陷。

图 1(b)为缺陷表面的扫描电镜照片, 其面成分及 A、B 和 C 点的成分见表 2。

可见, 缺陷含有较高的铝, 铝的百分比为 10.71%。缺陷表面有三种相互交错且颜色、形貌不同的区域, 黑色区域、灰色区域和大小不同的颗粒。由表 2 可知, 该缺陷是 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ 系复杂氧化物和 Al_2O_3 颗粒分布在铁基体上。



图1 表面缺陷的照片

Fig. 1 Photo of surface defects

(a) 形貌照片;(b) 扫描电镜照片;(c) 纵截面的扫描电镜照片

表2 图1(b)中面、A、B和C点的化学成分

Table 2 Chemical composition of surface, spot

A, B and C shown in Fig. 1(b)

%

元素	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
面	0.68	0.34	10.71	1.07	0.16	2.08	84.96
A	—	0.75	94.19	—	0.03	0.11	4.93
B	0.35	3.11	7.19	10.46	0.99	12.81	65.08
C	1.42	0.83	0.83	0.42	—	0.005	96.45

3.3 缺陷纵截面的扫描电镜分析

如图1(a)所示,在冷轧板上截取试样1-2。采用镶样、磨样和抛光处理后用扫描电镜观察缺陷的形貌。

图1(c)为表面缺陷纵截面的扫描电镜照片。其中,A、B、C和D点的成分见表3。可见,缺陷是附在铁基体表面的一层,厚度约为30 μm。由表3可知,有一个块状的Al₂O₃颗粒嵌入了铁基体,缺陷的主要成分为CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-Na₂O-K₂O。

此外,本次试验中所用的胶木粉的主要成分是碳和氧,镶样处理对表面缺陷的成分分析无影响。

表3 图1(c)中A、B、C和D点的化学成分

Table 3 Chemical composition of spot

A, B, C and D shown in Fig. 1(c)

%

元素	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
A	1.28	0.39	0.17	0.39	0.01	0.08	97.67
B	0.12	—	95.67	—	—	0.35	3.86
C	2.76	3.11	7.11	8.95	1.20	24.52	52.35
D	2.27	5.11	21.64	28.38	5.01	6.49	31.10

4 分析讨论

4.1 缺陷的原始尺寸估算

成分分析表明,该缺陷是由夹杂物引起的。为了估算夹杂物的原始尺寸,特采用如下假设:① 冷轧板表面的缺陷在宽度和厚度方向上是均匀的,长度、

宽度和厚度分别为20 mm、5 mm和30 μm;② 在计算体积时引入体积系数,其数值为缺陷面上除铁以外其余原子的原子百分数之和,即0.26;③ 夹杂物的原始形貌是球形的。

根据体积不变原理,夹杂物的直径为

$$D = (20\,000 \times 5 \times 0.03 \times 0.26 \times 6/\pi)^{1/3} = 11.4\text{ mm}$$

可见,夹杂物的原始尺寸达11 mm以上,而无论脱氧产物,还是结晶器保护渣卷入坯壳的夹杂物都不可能具有如此大的尺寸,这就表明该夹杂物不可能是内生的,不是脱氧产物。

4.2 缺陷的化学成分

在研究缺陷的化学成分时,首先去除铁基体的影响,再分析其他元素的百分比。具体的做法是,在去掉铁后,将其余原子的原子百分比折合成100%,再由原子百分比折合成对应氧化物的质量百分比,结果见表4。

表4 缺陷的化学成分

Table 4 Chemical composition of defects

%

化学成分	1-1	1-1-A	1-1-B	1-2-B	1-2-C	1-2-D
Na ₂ O	3.4	0	0.8	0.1	4.8	2.4
MgO	2.1	0.7	8.5	0	6.7	6.6
Al ₂ O ₃	74.7	99.2	22.4	99.6	17.4	31.9
SiO ₂	8.4	0	36.8	0	24.8	47.3
K ₂ O	0.7	0	2.0	0	1.9	4.7
CaO	10.7	0.1	29.5	0.3	44.4	7.1

可见,缺陷的化学成分包括Al₂O₃颗粒和Na₂O-MgO-Al₂O₃-SiO₂-K₂O-CaO系的复合成分。而轧钢过程的耐火材料及可能存在的外来物不具备该成分的特点。

据此,该缺陷的最大可能来源是两种外来物的混合物。其中,Al₂O₃的最大可能来源为连铸过程中浸入式水口内壁的粘附物,而Na₂O-MgO-Al₂O₃-

$\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O-CaO}$ 系复杂氧化物可能来自中间包覆盖渣。即在连铸过程中,当中间包钢水高度低于安全高度时,钢液表面会形成漩涡,将部分液态、半液态或固态的覆盖渣卷入浸入式水口,该覆盖渣颗粒在与水口内壁上的粘附物结合起来以后被钢水冲入结晶器中,在上浮时被凝固坯壳捕捉。

4.3 缺陷的延塑性

在研究缺陷的延塑性时,将缺陷成分中的铝、硅和钙的原子百分比转化为 100%,再转化为 Al_2O_3 、 SiO_2 和 CaO 的百分比后,将化学成分绘入 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三元相图。该缺陷颗粒在轧制过程中,脆性部分(Al_2O_3 含量高)被碾碎,呈颗粒状零散分布,而塑性部分(复相成分)被碾平,不均匀地分布在铁

基体上。

5 结论

(1) 通过对 IF 钢冷轧板表面缺陷的检验分析,发现该线形缺陷具有以下主要特征:① 该缺陷为附着在冷轧板表面的一薄层缺陷,其厚度约为 $30\text{ }\mu\text{m}$;② 缺陷的成分不均匀,主要包括块状 Al_2O_3 颗粒和 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ 系的氧化物。

(2) 该缺陷是由夹杂物引起的,夹杂物的最大可能来源是中间包覆盖渣与浸入式水口内壁堵塞物的结合物。

(3) 夹杂物在轧制过程中,脆性部分被碾碎,呈颗粒状零散分布,而塑性部分被碾平,不均匀地分布在铁基体上。

参 考 文 献

- 1 YE Zhongchao, WANG Shiyang, WANG Xiaochuan. Inclusions in IF Steel. *Acta Metallurgica Sinica*, 1999, 35(10): 1057~1061. (叶仲超,王石扬,王晓川. IF 钢中的夹杂物. *金属学报*, 1999, 35(10): 1057~1061.)
- 2 CAI Kaike. Development of Technology for Continuous Casting. *Steelmaking*, 2001, 17(1): 7~12. (蔡开科. 连铸技术的进展(一). *炼钢*, 2001, 17(1): 7~12.)
- 3 XUE Zhengliang, LI Zhengbang, ZHANG Jiawen. Application of Inclusion Control Technology in Valve Spring Steel Production. *Research on Iron and Steel*, 1997, (5): 10~13. (薛正良,李正邦,张家雯. 夹杂物控制技术在阀门弹簧钢生产中的应用. *钢铁研究*, 1997, (5): 10~13.)
- 4 Gladman T. Developments in Inclusions Control and Their Effects on Steel Properties. *Ironmaking and Steelmaking*, 1992, 19(6): 453~457.

~~~~~  
(上接第 26 页)

#### 4 结论

(1) 通过在结晶器铜管不同位置埋设热电偶,同时编写相应的测温软件,能够测量出结晶器铜管的温度场。

(2) 沿结晶器高度方向上热流均出现了两次波峰,第一次波峰出现在距结晶器上口  $180\sim 200\text{ mm}$ ,说明在该范围内气隙没有形成,保护渣液渣层

厚度较大,热阻很小,导致热流增大,第二次波峰出现在弯月面以下  $300\sim 400\text{ mm}$ ,说明在该范围内由于钢水静压力的作用气隙厚度有一个降低的过程,导致热流增大。

(3) 结晶器热流与拉速之间没有明显的变化规律,而且随着拉速的提高,在结晶器高度方向上,热流并不都是呈现增加的趋势。

#### 参 考 文 献

- 1 Kumar S, Meech J A. Development of Intelligent Mould for Online Detection of Defects in Steel Billets. *Ironmaking and Steelmaking*, 1999, 26(4): 269~284.
- 2 Kelly J E, Michalek K P. Initial Development of Thermal and Stress Fields in Continuously Cast Steel Billets. *Metallurgical Transaction A*, 1988, 10(9): 2589~2602.
- 3 JING Dejun. Mathematical Model Research of Thermal and Stress in Continuously Cast Steel Billets: [Master Degree Paper]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2001. (荆德君. 连铸结晶器内钢液凝固过程热和应力状态数值模拟研究: [硕士学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2001.)
- 4 Szekely J, Themelis N J. Reate Phenomina in Process Metallurgy. Wiley-InterScience. New York. 1971.