

# 节镍型奥氏体不锈钢热轧带钢氧化皮分析

尚广浩 张力萍 张瑞英

长葛市金汇再生金属研发有限公司 河南 长葛 461507

**摘要:** 采用扫描电镜对 J2 节镍奥氏体不锈钢热轧带钢氧化皮的显微结构进行了分析。结果表明, 粗轧后 J2 节镍奥氏体不锈钢氧化皮厚度在 50 μm 左右, 氧化皮呈不同结构分布, 外层疏松多孔, 内层紧密与基体相连; 热轧黑皮卷的氧化皮出现局部脱落现象, 未脱落部分开裂, 为疏松易脱落结构。氧化皮厚度分布不均, 在 7-10 μm 左右。氧化皮主要由外层赤铁矿结构的  $\text{Fe}(\text{Mn})_2\text{O}_3$  以及内层尖晶石结构的  $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Mn}, \text{Si})_3\text{O}_4$  组成; 经过退火后氧化皮中 Cr、Mn 含量升高, 氧化皮厚度在 20 μm 左右, 外层主要以  $\text{Fe}(\text{Mn})_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$  为主, 内层以  $\text{FeO} + \text{FeCr}_2\text{O}_4$ 。

**关键词:** 节镍型奥氏体不锈钢; 热轧; 氧化皮

铬锰系 (J2) 节镍型奥氏体不锈钢是在钢中加入锰和 (或) 氮代替贵重金属镍元素而发展起来的, 钢中 Mn 起稳定奥氏体的作用, 由于 N 强烈的形成并稳定奥氏体且起很好的固溶强化作用, 提高了奥氏体不锈钢的强度, 因此这个系列的不锈钢, 适宜在承受较重负荷而耐蚀性要求不太高的设备和部件上使用<sup>[1,2]</sup>。在热轧的生产过程中由于带钢持续处于高温过程并暴露在空气中, 造成钢板表面被氧化形成氧化铁皮, 氧化铁皮一直是国内外研究的热点。加热炉和粗轧过程中产生的氧化皮基本上可以除去, 但精轧过程中产生的氧化皮大量保留下来, 这不仅影响热轧产品的表面质量, 而且影响后续酸洗的难易程度<sup>[2-3]</sup>。热轧带钢表面的氧化皮, 由于钢的化学成分、轧制时带钢表面温度、轧制时的加热及终轧温度、冷却制度、周围介质的含氧量的不同, 氧化皮的组成和结构也因之而异<sup>[4-5]</sup>。不同氧化皮成分与轧辊间的粘附性不同, 最终影响板材表面的粗糙度。不同氧化皮结构对后续酸洗的难易程度也有一定的影响。通过该项目的研究掌握 J2 氧化铁皮在轧制过程中的成分及变化规律, 本文以工业生产的 200 系节镍奥氏体不锈钢为研究对象, 分析轧制过程中氧化皮的变化。

## 一、试验材料与方法

本试验所采用的材料为是 2.0 mm × 650mm 的 J2 高锰低镍奥氏体不锈钢, 钢的粗轧开轧温度是 1200 , 粗轧中轧温度是 1150 , 精轧终轧温度是 980 , 采用层流冷却的方式进行冷却, 卷取温度为 720 。

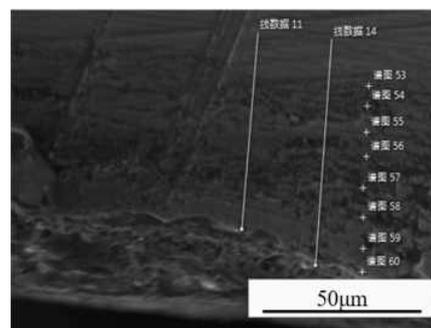
## 二、结论

### 1. 粗轧后中间坯氧化皮

粗轧后的氧化皮是经过高压水除鳞后, 在板坯表面重新生成的二次氧化皮。试验样品选自现场粗轧 5 道次后, 钢坯进精轧之前对板坯进行飞剪下来的头尾取样, 氧化皮形貌如图 1 所示。其表面氧化铁皮厚度大约在 50 μm 左右, 外层氧化皮的结构疏松多孔状态, 内层氧化皮紧密与基体结合。对氧化皮不同位置进行 EDS 成分分析, 从表 1 中可以

看出, 靠近基体的氧化皮中 Cr、Si 含量要大于外层氧化皮中 Cr、Si 含量, 且从氧化皮最外层到氧化皮最内层, Cr、Si 含量逐渐升高。可以判定中间坯的氧化皮外层主要以 Fe 的氧化物 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 为主, 内层主要以  $\text{FeO} + \text{Fe}$ 、Cr、Si 组成的尖晶石结构 ( $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Mn}, \text{Si})_3\text{O}_4$ )。

图 1 粗轧中间坯氧化铁皮截面形貌及能谱分析结果



谱图	Fe	O	Cr	Si	Mn
谱图 59(外层)	71.6	15.0	0.5	0.1	12.3
谱图 57(中部)	46.6	28.8	17.1	0.4	5.9
谱图 54(内层)	48.3	21.9	18.5	0.7	8.8

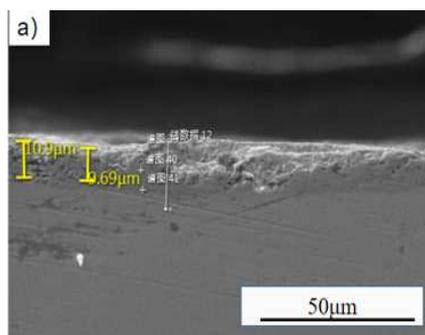
### 2. 热轧黑皮卷氧化皮

中间坯进精轧之前, 会经精轧机前的二次除鳞箱, 除去粗轧阶段产生的二次氧化皮。精轧阶段带钢与空气接触表面也会产生氧化铁皮, 称为三次氧化铁皮。热轧黑皮卷氧化皮的能谱分析结果如图 2 所示, 经测量上表面氧化铁皮厚度大约在 9-10 μm 左右, 下表面氧化皮带厚度在 7.2 μm 左右, 上表面氧化皮厚度略大于下表面氧化皮的厚度, 氧化皮的结构较为致密的附着在基体的表面。氧化皮最外层 7 μm 内只能检测出 Fe、Mn 和 O 元素, Cr 和 Si 元素极少; 推断最外层 7 μm 内以赤铁矿结构的  $\text{Fe}(\text{Mn})_2\text{O}_3$  为主。氧化皮内层 6 μm 内 Cr、Mn 和 Si 元素增加, Fe 和 O 元素减少, 并且当某一区域 Fe 减少时, 相对应的 Cr、Mn 和 Si 会有所增加; 推断氧化皮内层主要以尖晶石型结构的  $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Mn}, \text{Si})_3\text{O}_4$

为主。

表 2 热轧黑皮卷氧化皮图片及能谱分析结果 (wt%)

	谱图	Fe	O	Cr	Si	Mn
(a) 上表面氧化皮	谱图 39(外层)	52.3	30.2	8.2	0.6	7.7
	谱图 40(中部)	64.1	23.9	1.9	0.2	9.5
	谱图 41(内层)	40.0	27.7	23.	0.8	7.4
(b) 下表面氧化皮	谱图 44(外层)	67.6	26.7	0.2	0.2	4.3
	谱图 43(中部)	60.8	22.5	2.5	0.2	8.6
	谱图 42(内层)	45.3	23.2	22.	0.7	6.3

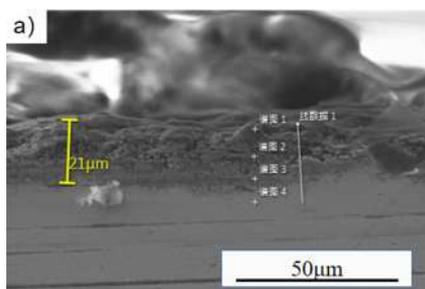


### 3. 退火黑皮卷氧化皮

J2 不锈钢退火带氧化皮形貌如图 3 所示，从中可以看出退火后氧化皮出现了分层现象，相对于未退火氧化皮，退火后的氧化皮结构较疏松，厚度在 20 μm 左右，氧化皮厚度略大于未退火氧化皮的厚度，与基的结合部位较紧密，氧化层向基体延伸明显，外层氧化皮较疏松。将氧化皮中不同元素在氧化皮中的变化制成表 3，从表 4 可以看出退火后 Cr 元素从基体向外扩散，氧化皮中 Cr 含量高于退火前氧化皮中 Cr 元素的含量，且外层氧化皮中的 Cr 元素含量高于内层 Cr 元素含量。氧化皮主要分两部分，外层主要以 Fe(Mn)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为主，内层以 FeO+FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>。

图 3 退火黑皮卷氧化皮截面形貌及能谱分析结果 (%)

	谱图	Fe	O	Cr	Si	Mn
(a) 上表面氧化皮	谱图 1(外)	43.4	24.6	22.1	0.4	3.5
	谱图 2(中)	47.5	29.0	16.5	0.3	5.1
	谱图 3(内)	70.6	12.8	8.4	0.3	5.3
(b) 下表面氧化皮	谱图 5(外)	44.3	30.4	20.1	0.2	4.3
	谱图 6(中)	34.6	29.8	25.7	0.4	8.7
	谱图 7(内)	56.3	19.0	15.3	0.8	5.3



从图 3 中可以看出，退火前后氧化皮中 O、Si、Mn 三种元素呈相同的变化趋势。从氧化皮最外层到氧化皮最内层，O 呈逐渐降低趋势，Si 呈逐渐升高趋势，Mn 呈先升高后降低趋势。退火前后 Fe、Cr 两种元素呈相反的变化趋势。退火前，热轧板 Fe 元素向外扩散，与 O 结合促进表面 Fe 的氧化物形成，O 向内层扩散与内层 Cr 元素结合形成 Cr 的氧化物附着在基体的表面，所以退火前外层氧化皮中的 Fe 含量大于内层，外层氧化皮中的 Cr 含量小于内层。经过退火工艺，Fe 元素向内层扩散，Cr 元素向外扩散，退火板外层氧化皮中的 Fe 含量小于内层，外层氧化皮中的 Cr 含量大于内层。

### 三、小结

采用扫描电镜对 J2 节镍奥氏体不锈钢热轧钢带氧化皮的显微结构进行了分析。结果表明，粗轧后 J2 节镍奥氏体不锈钢氧化皮厚度在 50 μm 左右，氧化皮呈不同结构分布，外层疏松多孔，内层紧密与基体相连；热轧黑皮卷的氧化皮出现局部脱落现象，未脱落部分开裂，为疏松易脱落结构。氧化皮厚度分布不均，在 7-10 μm 左右。氧化皮主要由外层赤铁矿结构的 Fe(Mn)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 以及内层尖晶石结构的 Fe(Cr,Mn,Si)<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 组成；经过退火后氧化皮中 Cr、Mn 含量升高，氧化皮厚度在 20 μm 左右，外层主要以 Fe(Mn)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为主，内层以 FeO+FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>。

### 参考文献

- [1] 梁新斌. 低镍奥氏体不锈钢组织与凝固模式 [D]. 兰州理工大学, 2009.
- [2] 景鹤. 热轧带钢氧化铁皮性质影响因素的研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2017.
- [3] Hiroshi Utsunomiya, Tsubasa Nakagawa, Ryo Matsumoto. Mechanism of scale to decrease friction in hot steel rolling[J]. Procedia Manufacturing 15(2018): 46-51.
- [4] 曹光明, 何永全. 热轧低碳钢卷取后冷却过程中三次氧化铁皮结构转变行为 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2014, 45(06): 1790-1796.
- [5] Yu-Ling Yang, Cheng-Hsien Yang. Effects of Si and its content on the scale formation on hot-rolled steel strips[J]. Materials Chemistry and Physics, 112(2008): 556-571.