

## 精轧和吐丝温度对 SCM435 线材氧化铁皮物相结构的影响

王宁涛<sup>1,2</sup> 李世琳<sup>1,2</sup> 阮士朋<sup>1,2</sup> 王利军<sup>1,2</sup>

(1 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027; 2 邢台钢铁有限责任公司, 邢台 054027)

**摘要** 线材的氧化铁皮起着保护线材免锈蚀的作用,但是也需要在酸洗时容易除去。影响铁皮除去或结合力的主要是铁皮的厚度和其物相结构。通过对不同轧制条件下的氧化铁皮厚度、物相结构进行检测分析,研究了精轧温度和吐丝温度对  $\Phi 12$  mm SCM435 氧化铁皮物相结构的影响。研究表明,随着精轧温度或吐丝温度的升高,SCM435 线材的氧化铁皮厚度均会增加,且在 800 ~ 900 °C 短时间就会生成较厚(约 20  $\mu\text{m}$ )的氧化铁皮;由于 Cr 的氧化选择性,精轧温度在 870 °C 以上,吐丝温度在 810 °C 以上时,随精轧温度或吐丝温度升高,氧化铁皮中 FeO 比例提高;但是吐丝温度高于 860 °C 后,物相结构的变化趋缓,FeO 的比例变化不大。

**关键词** 氧化铁皮 SCM435 电子背散射衍射 物相

## Effect of Finish Rolling and Spinning Temperature on Phase Structure of Iron Oxide Skin of SCM435 Wire Rod

Wang Ningtao<sup>1,2</sup>, Li Shilin<sup>1,2</sup>, Ruan Shipeng<sup>1,2</sup> and Wang Lijun<sup>1,2</sup>

(1 Hebei Engineering Research Center For Wire Rod, Xingtai 054027; 2 Xingtai Iron & Steel Co. Ltd., Xingtai 054027)

**Abstract** Oxide Scale of wire plays a role to protect wire from rust, but it also needs to be removed easily when pickling. The thickness of iron scale and its phase structure are the main factors affecting the removal or adhesion of iron scale. The effects of finishing rolling temperature and spinning temperature on the phase structure of  $\Phi 12$  mm SCM435 scale were studied by testing and analyzing the thickness and phase structure of oxide scale under different rolling conditions. The results show that with the increase of finishing temperature or spinning temperature, the oxide scale thickness of SCM435 wire increases, and a thicker oxide scale (about 20 micron) will be formed in a short time between 800 °C and 900 °C. Because of the oxidation selectivity of Cr, the iron oxide scale has a high FeO ratio when the finishing temperature is above 870 °C and the spinning temperature is above 810 °C. However, when the spinning temperature is higher than 860 °C, the change of phase structure tends to slow down, and the ratio of FeO does not change much.

**Material Index** Oxide Scale, SCM435, Electron Backscattered Diffraction, Scale Phase

在热轧产品中氧化铁皮一般分为 3 层典型的结构,即表层为三氧化二铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、中间是四氧化三铁( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、内层是氧化亚铁( $\text{FeO}$ )<sup>[1]</sup>;不同的工艺得到的氧化铁皮厚度和成分有差异,致使线材在下游加工酸洗或者机械除鳞去除氧化铁皮时存在难易程度的差异。一般认为,线材氧化铁皮越厚,且氧化铁皮结构中 FeO 比例越高,在酸洗或机械除鳞时较易去除。而对于钢材表面的三层氧化铁皮结构不同的比例,国内虽然有研究,但是针对不同钢种结论也不一致;同时由于线材轧制中有破碎和水冷,形成的铁皮结构与实验条件下的自然氧化也有差异。对于合金钢,特别是含 Cr 的低合金钢,如 SCM435 或 40Cr 等钢种,其 Cr 的选择性氧化使得其氧化铁皮的组成与普通碳钢有较大区别<sup>[2]</sup>,目前国内对含 Cr 合金钢线材表面氧化铁皮结构的系统性研究较少。

通过对不同工艺下的氧化铁皮厚度和物相结构研究,分析了精轧温度和吐丝温度对 SCM435 线材

氧化铁皮物相结构的影响,为后续进一步优化 SCM435 线材表面氧化铁皮控制工艺提供数据及理论支撑。

### 1 试验材料及方法

试验材料采用  $\Phi 12$  mm SCM435 线材,通过调整控制线材的吐丝温度和进精轧温度,制作金相试样并使用莱卡 DM2700M 型金相显微镜观察不同工艺线材表面氧化铁皮形貌、厚度,使用 EBSD(电子背散射衍射,Electron Backscattered Diffraction,通过对电子背散射衍射花样的采集,分辨出不同的晶粒物相组成和取向等信息)<sup>[3-6]</sup>检测不同工艺线材表面氧化铁皮组分,检验设备为 FEI QUANTA FEG450 场发射扫描电镜配置 EBSD 探头。试验用钢 SCM435 的化学成分如表 1 所示。现场生产的试验方案见表 2。

线材生产工艺:160 mm × 160 mm 方坯经过加热炉→高压水除鳞→粗轧和中轧→预精轧→精轧→

表 1 SCM435 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel SCM435/%					
C	Si	Mn	S、P	Cr	Mo
0.33 ~ 0.38	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.85	≤ 0.025	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.25

表 2 工艺调整试验方案和氧化铁皮厚度

Table 2 Experiment scheme of process adjusting and thickness of scale			
工艺	进精轧温度/℃	吐丝温度/℃	氧化铁皮厚度/μm
1	870	860	5
2	935	900	20
3	935	860	12
4	935	810	7.5

吐丝→风冷线冷却。通过调整不同的精轧温度和吐丝温度来调整铁皮结构,通过试验检测铁皮厚度和物相组成。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 精轧温度和吐丝温度对氧化铁皮厚度的影响

各工艺条件氧化铁皮厚度见表 2。由图 1 和图 2 可知,随着吐丝温度、精轧温度的升高,氧化铁皮的厚度均呈增加趋势。

氧化铁皮的动力学方面,研究已经比较多<sup>[7]</sup>。随着温度升高和时间的增长,氧化铁皮的厚度随之增加,一般认为在 900 ℃ 左右,铁的氧化速率会有比较明显的增加;900 ℃ 以上时,在较短的时间内就能

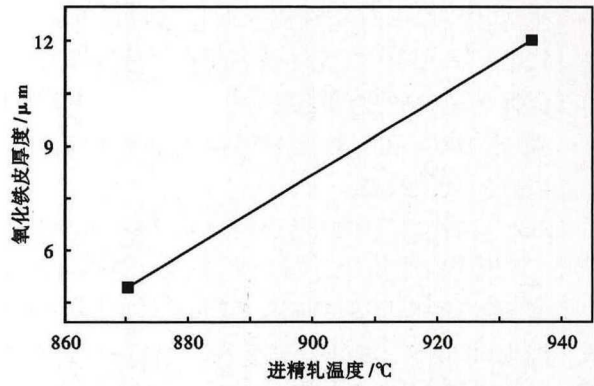


图 1 精轧温度对氧化铁皮厚度的影响  
Fig. 1 Effect of finish rolling temperature on thickness of scale

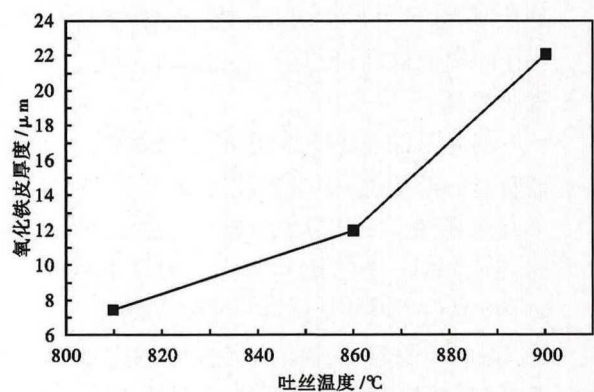


图 2 吐丝温度对氧化铁皮厚度的影响  
Fig. 2 Effect of wire outlet temperature on thickness of scale

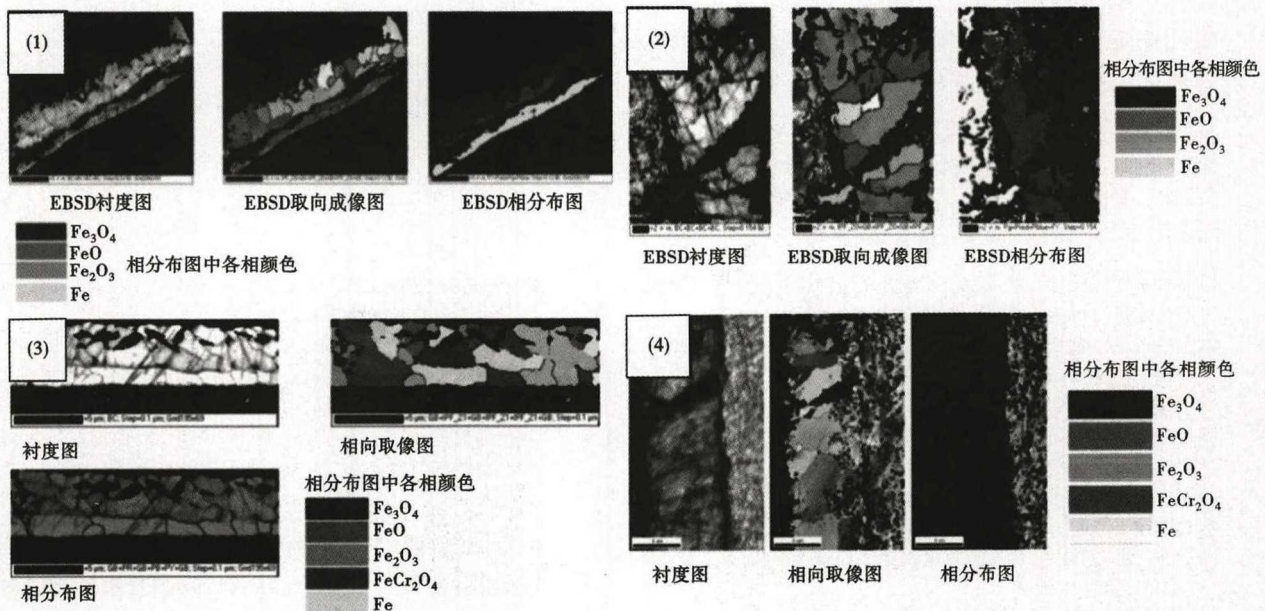


图 3 各工艺条件下氧化铁皮 EBSD 分析结果:(1)工艺 1, FeO 6.49%;(2)工艺 2, FeO 51.52%;(3)工艺 3, FeO 66.20%;(4)工艺 4, FeO 0%

Fig. 3 EBSD results of scale with different process:(1) Process 1, FeO 6.49%;(2) Process 2, FeO 51.52%;(3) Process 3, FeO 66.20%;(4) Process 4, FeO 0%

生成比较厚的氧化铁皮。而在线材轧制过程中,铁皮会破碎和再生,且线材表面有水冷,故轧制过程中温度与氧化铁皮的关系与一般的试验条件会有所区别,在 800 ~ 900 °C 短时间内就会生成较厚(约 20  $\mu\text{m}$ )的氧化铁皮。

## 2.2 精轧温度和吐丝温度对氧化铁皮物相的影响

使用 EBSD 对不同工艺下的氧化铁皮物相进行了测量,结果见图 3 所示。可以发现,在较低的精轧温度(870 °C)或吐丝温度(810 °C)时,氧化铁皮中的 FeO 比例明显较低,而  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的比例较高,如工艺 1 和工艺 4 所示。对比工艺 2 和工艺 3 可知,吐丝温度从 860 °C 提高到 900 °C 时,氧化铁皮中 FeO 的比例没有明显的升高;因此,随吐丝温度升高,FeO 的比例提高,但是到一定温度后这一比例几乎很难提高。

对热轧材的氧化铁皮的物相结构,国内学者已经有过一些检测,但是对于氧化铁皮中物相比例有不同的看法。一般认为,对于纯铁在 600 °C 或以上时,铁的氧化物的比例恒定在  $\text{FeO}:\text{Fe}_3\text{O}_4:\text{Fe}_2\text{O}_3 = 95:4:1$  的比例<sup>[8]</sup>;文献[9]指出,在 900 °C 及以上时  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的比例增加,而 FeO 的比例降低;文献[10]根据 Fe 和氧与水的反应动力学和热力学的公式进行计算得出,盘条与水蒸气和氧反应过程中,在高温状态下(700 °C 以上)均有利于 FeO 的形成,而在低温下,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的比例较高。

试验结果表明,在提高精轧温度或吐丝温度时,氧化铁皮中 FeO 的比例升高,而降低精轧温度或吐丝温度时,氧化铁皮中  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的比例升高,即对于含 Cr 的合金钢线材,精轧温度在 870 °C 以上,吐丝温度在 810 °C 以上时,氧化铁皮中 FeO 的含量才能有

明显的增长;该结果与国内学者的研究结论相一致,但是在具体的温度范围有所差异,温度比一般碳钢的试验结论要高。这是因为本试验钢种中含 Cr,其氧化选择性使得氧化铁皮的氧化性和生长速度都比一般的碳钢要慢。

## 3 结论

(1) 随着精轧温度或吐丝温度的升高,SCM435 线材的氧化铁皮厚度均会增加,且在 800 ~ 900 °C 短时间就会生成较厚(约 20  $\mu\text{m}$ )的氧化铁皮。

(2) 对于 SCM435 合金钢线材,由于 Cr 的选择性氧化,精轧温度在 870 °C 以上,吐丝温度在 810 °C 以上时,随精轧温度或吐丝温度升高,氧化铁皮中 FeO 比例提高;但是吐丝温度高于 860 °C 后,物相结构的变化趋缓,FeO 的比例变化不大。

(3) 根据以上的试验结果,可推测工艺优化对下游深加工影响。线材热轧后有抛丸和酸洗两种除去铁皮的工艺。抛丸除鳞时,需要高 FeO 比例和较厚的铁皮厚度,最佳的试验工艺是精轧 935 °C,吐丝温度 900 °C,得到的铁皮厚度 20  $\mu\text{m}$ ,FeO 比例为 50%,实际控制时温度还可以略高。酸洗去除氧化铁皮时,要求高的 FeO 比例和低的铁皮厚度。然而高的 FeO 比例和低的铁皮厚度呈负相关关系,无法同时达到最佳值。这种情况下,需要进一步研究 FeO 比例和铁皮厚度对酸洗效果的影响比重,确定两者的平衡点,以便确定最优的酸洗效果。

(4) 通过对工艺参数和 FeO 比例、铁皮厚度的关系,为工艺制定提供了参考依据。今后还需要对酸洗工艺的最优设计进行研究。

## 参考文献

- [1] 吴光亮,孟征兵,李一为,等.薄板坯连铸连轧过程中氧化铁皮变化规律[J].钢铁,2011,46(6):79-85.
- [2] 申田仁,武田 実佳子. Analysis of Surface Defect Generation Behavior and Decrease of Wire Rolling Defects[J]. R&D 神戸製鋼技報,2011,61(1):29-33.
- [3] 惠亚军,李文远,赵爱民,等.热轧带钢氧化铁皮的微观形貌和氧化动力学研究[J].钢铁研究学报,2013,25(4):54-58.
- [4] 李志峰,曹光明,王福祥,等.热轧钢材表面氧化铁皮微观结构表征技术综述[J].轧钢,2017,34(3):56-60.
- [5] 肖新星,刘俊亮.热轧板氧化铁皮结构显微分析[J].冶金分析,2010,30(4):36-40.
- [6] 张孟仪.普碳钢热轧板表面氧化皮显微结构分析[D].上海:上海大学硕士论文,2007.
- [7] 王 皓,孙 彬,王建明,等. Fe-1Cr 钢的高温氧化动力学研究[J].热加工工艺,2016,45(18):46-48.
- [8] 宋璐璐.热轧碳钢氧化皮结构、耐蚀性与酸洗行为研究[D].上海:上海交通大学,2009.
- [9] Tominaga J, Wakimoto K and Mori T, et al. Manufacture of Wire Rods with Good Descaling Property[J]. Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan,1982,22(8):646-656.
- [10] 郭大勇,任玉辉,王秉喜,等.精轧和吐丝温度对焊丝钢盘条表面红锈影响研究[J].金属制品,2013,39(2):34-36.

王宁涛(1987-),男,硕士(2012年钢铁研究院),工程师,2009年沈阳理工大学(本科)毕业,钢材组织和质量研究。E-mail:ddwangtao87@126.com

收稿日期:2019-02-28