

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20170300

CSP 流程薄规格热轧带钢氧化铁皮控制技术

汪水泽, 刘洋, 孙宜强, 胡宽辉

(宝钢股份中央研究院武汉分院, 湖北 武汉 430080)

摘要: 为了研究主要工艺参数对热轧带钢表面氧化铁皮的影响, 基于 CSP 生产线开展了工业试验。试验结果表明, 带钢的厚度规格对氧化铁皮厚度有重要影响, 并且由于供氧的差异, 带钢宽度方向氧化铁皮厚度的分布不均匀; 通过调整终轧温度和层流冷却方式, 可以减小氧化铁皮厚度, 但效果并不明显; 降低卷取温度, 有利于促进 FeO 共析反应的发生, 提高 α -Fe+Fe₃O₄ 的体积分数, 室温下氧化铁皮的附着力也得到一定程度的改善; 带钢宽度方向上氧化铁皮结构存在区别, 中部 FeO 的共析反应更为充分。

关键词: 薄板坯连铸连轧; 热轧带钢; 薄规格; 氧化铁皮

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2018)01-0054-05

Control technology of oxide scale for thin gauge hot rolled strip in CSP process

WANG Shui-ze, LIU Yang, SUN Yi-qiang, HU Kuan-hui

(Wuhan Branch, Baosteel Central Research Institute, Wuhan 430080, Hubei, China)

Abstract: In order to study the influence of the main process parameters on the oxide scale of hot rolled strip, the industry experiment was carried out on the basis of CSP production line. The results show that the thickness of the strip has an important influence on the thickness of the oxide scale, and the thickness of oxide scale is unevenly distributed along the width of the strip due to the difference of oxygen supply. By adjusting the final rolling temperature and laminar cooling method, the thickness of oxide scale can be reduced, but the effect is not obvious. Decreasing the coiling temperature is beneficial to promote the occurrence of eutectoid reaction of FeO, increase the ratio of α -Fe+Fe₃O₄, and improve the adhesion of oxide scale at room temperature. The distribution of oxide scales in the width of strip is uneven, and the eutectoid reaction of FeO in the middle is more adequate.

Key words: thin slab casting and direct rolling; hot rolled strip; thin gauge; oxide scale

薄板坯连铸连轧流程板坯温度均匀, 轧制过程稳定, 可以实现薄规格热轧产品的批量、稳定性生产, 目前产品的最小厚度达到 0.8 mm, 可覆盖 1/3 以上冷轧产品的厚度规格范围^[1-2]。采用薄规格热轧钢板直接替代同等规格的冷轧产品, 可大幅度缩短产品的制造流程, 降低生产成本, 这是热轧板带发展的重要方向。但与此同时, 对热轧带钢的质量也提出了更高的要求。一方面要求热轧带钢具有更高的板形和尺寸精度, 达到或者接近冷轧产品的水平; 另一方面, 要求热轧带钢具有更高的表面质量, 氧化铁皮具有更高的附着力, 避免在成形过程中起粉甚至大面积脱落。本文重点研究了 CSP 流程下主要工艺参数对表面氧化铁皮厚度、结构和附着力的影响,

对提升薄规格热轧带钢的表面质量具有重要的指导意义。

1 试验方案设计

1.1 总体思路

结合氧化铁皮控制机理和 CSP 流程特点^[3-13], 提出薄规格热轧带钢氧化铁皮控制技术路线, 如图 1 所示。主要通过钢种成分优化、均热工艺气氛调整和提高高压水除鳞压力来提高铁皮的剥离性, 提高除鳞效率, 避免氧化铁皮类缺陷的产生。通过采取低的开轧温度、高的终轧温度、机架间冷却和前段快速冷却等措施实现高温快轧, 控制氧化铁皮厚度; 通过降低卷取温度、钢卷进行堆垛冷却, 控制氧化铁皮结构。

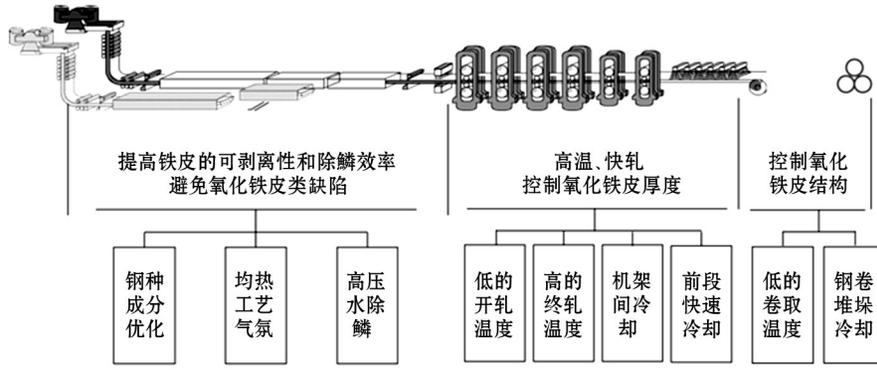


图1 CSP 流程薄规格热轧带钢氧化铁皮控制总体思路

Fig. 1 General idea of oxide scale control of thin gauge of hot rolled strip in CSP process

1.2 试验材料及主要工艺参数设计

试验钢种的主要化学成分见表 1, 主要工艺参数设计见表 2。此外, 均热炉高温段均采用还原性气氛, 摆车和公共段采用偏氧化性气氛, 高压水除鳞压力不低于 28 MPa, 钢卷下线后进行堆垛冷却。

表 1 试验钢种的主要化学成分(质量分数)

Table 1 Main chemical composition of test steel %						
C	Si	Mn	Cr	Al _s	Ti	Nb
≤0.30	≤0.20	≤1.5	≤0.4	0.02~0.05	≤0.05	≤0.03

1.3 试验检测方法

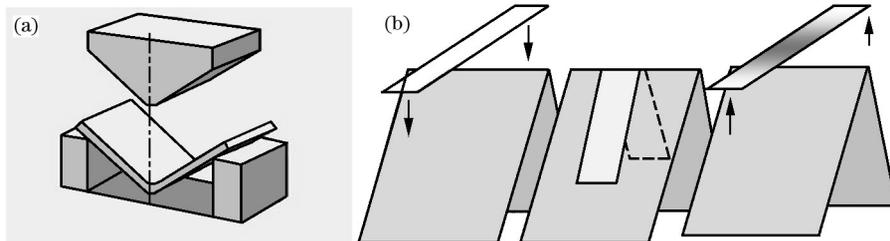
在带钢长度方向上的头部、中部和尾部上分别取 1 200 mm × 200 mm 的试样, 再沿宽度方向分别取边部、1/4 处和中部的试样进行检测, 分析氧化铁

表 2 主要工艺参数设计

Table 2 Design of main process parameters

厚度规格/mm	编号	出炉温度/℃	终轧温度/℃	卷取温度/℃	层流冷却模式
2.0	1-1	1 200±20	890±20	530±20	前快模式
	1-2	1 200±20	890±20	620±20	后慢模式
1.4	2-1	1 200±20	910±20	550±20	前快模式
	2-2	1 200±20	890±20	620±20	后慢模式

皮厚度、结构和附着力。其中, 氧化铁皮厚度和结构的检测采用扫描电镜, 氧化铁皮附着力采用弯曲试验法, 如图 2 所示。先将试样弯成一定角度, 一般为 90°, 然后将特定的胶带贴在弯曲处, 再将胶带撕下。此时弯曲处氧化铁皮会发生起粉并脱落粘到胶带上, 根据起粉情况判断铁皮的附着力。



(a) 弯曲试验; (b) 氧化铁皮剥落检测。

图 2 弯曲试验法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of bending test method

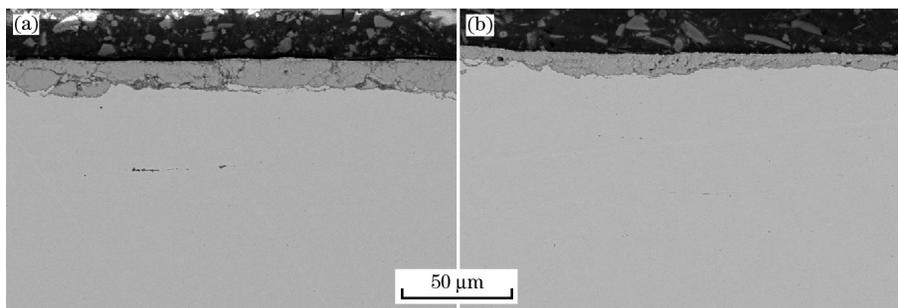
2 氧化铁皮厚度控制结果及分析

典型氧化铁皮厚度扫描电镜观察结果如图 3 所示, 不同工艺和不同部位的氧化铁皮厚度统计结果如图 4、图 5 和表 3 所示。由图 4 和图 5 可以看出, 由于带钢边部的供氧更为充分, 该处的氧化铁皮厚度大于 1/4 处和中部, 特别是在带钢头部和中部, 规律较为明显。而带钢尾部受到卷形的影响, 规律受到一定影

响。此外, 从表 3 可以看出, 氧化铁皮厚度随带钢厚度减小而减薄的现象比较明显, 厚度为 2.0 mm 带钢的氧化铁皮平均厚度为 13.2 μm, 而厚度为 1.4 mm 带钢的氧化铁皮平均厚度仅为 9.6 μm。分析认为, 主要的原因是带钢厚度越薄, 轧制速度越快(2.0 mm 规格的轧制速度约为 6.3 m/s, 而 1.4 mm 规格达到 8.9 m/s), 其在空气中停留的时间越短, 可以有效减少氧化铁皮厚度的增长。对于同一厚度规格带钢的相同部位, 通

过提高终轧温度和采用前段快速冷却的方式,氧化铁皮厚度的减薄效果并不明显,相差仅为 1~2 μm。

主要原因是在实际生产过程中,终轧温度提高 20 °C 对轧制速度的影响较小,仅提高 0.2~0.3 m/s。



(a) 钢卷头部宽度方向 1/4 处; (b) 钢卷中部宽度方向 1/4 处。

图 3 典型氧化铁皮厚度扫描观察结果

Fig. 3 SEM results of thickness of oxide scale

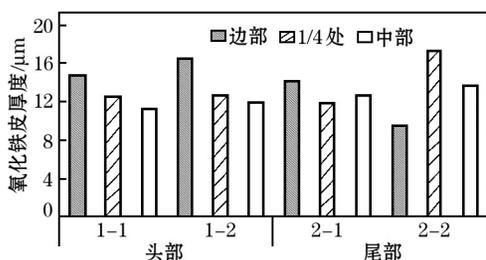


图 4 厚度规格为 2.0 mm 带钢不同工艺和部位的氧化铁皮厚度分布

Fig. 4 Distribution of oxide scale in different process and parts of 2.0 mm strip

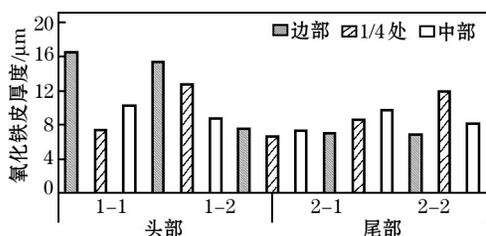


图 5 厚度规格为 1.4 mm 带钢不同工艺和部位的氧化铁皮厚度分布

Fig. 5 Distribution of oxide scale in different process and parts of 1.4 mm strip

表 3 不同部位氧化铁皮厚度均值

Table 3 Average thickness of oxide scale in different parts

编号	头部	中部	尾部
1-1	12.8	—	15.1
1-2	13.7	—	16.9
2-1	11.0	7.1	8.4
2-2	12.6	—	8.9

3 氧化铁皮结构控制结果分析

不同卷取温度对氧化铁皮结构的影响如图 6 所

示。当卷取温度由 620 降低至 550/530 °C 时,氧化铁皮结构由 FeO+少量 α-Fe/Fe₃O₄ 转变为 α-Fe/Fe₃O₄+少量 FeO, 主要原因是根据 Fe-O 二元相图, 当温度在 570 °C 以下时, FeO 会发生共析反应, 生成 Fe₃O₄ 和 Fe。较低的卷取温度有利于促进 FeO 共析反应的发生, 因此, 带钢中部通过共析反应生成的 α-Fe+Fe₃O₄ 的体积分数显著增加。

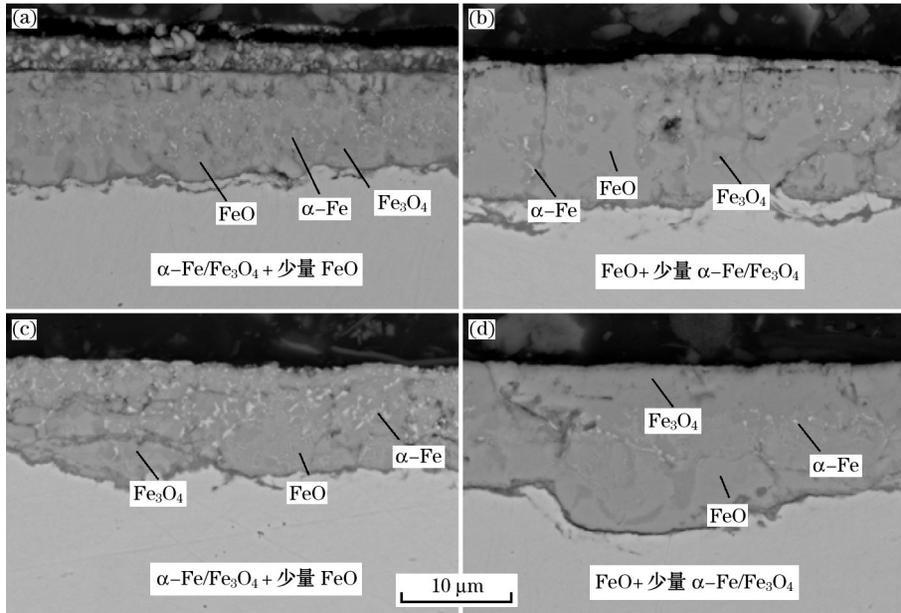
同一工艺条件下宽度方向不同部位的氧化铁皮结构如图 7 所示。可见, 不同部位的氧化铁皮结构存在明显差异, 带钢边部主要以 FeO 结构为主, 而越靠近带钢中部, 共析反应生成的 α-Fe+Fe₃O₄ 的体积分数越高。主要原因是带钢边部供氧更为充分, 且温降较快, 不利于 FeO 共析反应的发生, 而在带钢中部, 外部供氧不足, 且温降较慢, 有利于 FeO 共析反应的发生。

4 氧化铁皮附着力控制结果分析

采用上述冷弯试验的方法, 对不同工艺条件下氧化铁皮的附着力进行检测, 结果如图 8 所示。由图可以看出, 1-1 号和 1-2 号的氧化铁皮脱落情况整体上比 2-1 号和 2-2 号更为严重。这主要与其氧化铁皮厚度较厚有关。由表 3 可以看出, 1-1 号和 1-2 号尾部的氧化铁皮厚度分别为 15.1 和 16.9 μm, 而 2-1 号和 2-2 号的氧化铁皮厚度仅为 8.4 和 8.9 μm。氧化铁皮越厚, 其在冷弯变形过程中变形越大, 越容易破碎而导致起粉脱落。此外, 1-1 号与 2-1 号的表面氧化铁皮脱落整体少于 1-2 号和 2-2 号, 这主要与氧化铁皮结构有关。氧化铁皮主要包含 4 种结构, 即 FeO、Fe₃O₄、Fe₂O₃ 和共析的 α-Fe+Fe₃O₄, 其中共析组织具有最高的抗拉强度, 可以承受一定程度的变

形,附着力最好;氧化得到的 Fe_3O_4 附着力一般;而 Fe_2O_3 和 FeO 附着力最差。1-1 号和 2-1 号通过降低

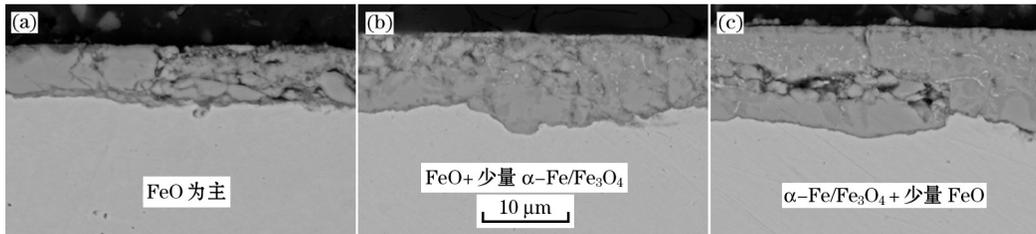
卷取温度,氧化铁皮结构中中共析的 $\alpha-Fe+Fe_3O_4$ 比例显著增加,因此具有相对更优的氧化铁皮附着力。



(a) 1-1号带钢中部; (b) 1-2号带钢中部; (c) 2-1号带钢中部; (d) 2-2号带钢中部。

图 6 不同卷取温度对氧化铁皮相结构的影响

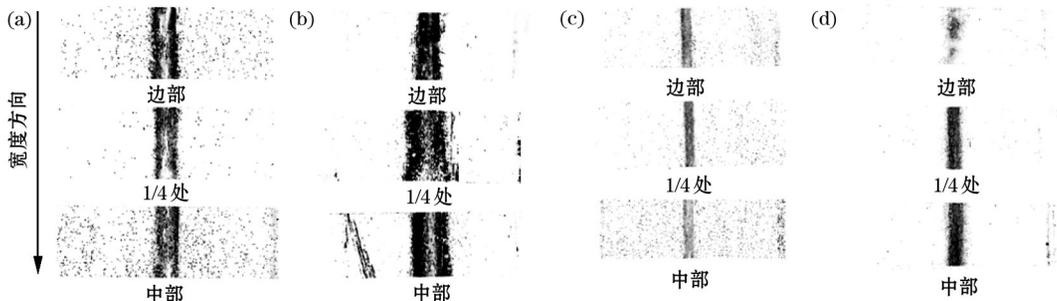
Fig. 6 Effect of coiling temperature on structure of oxide scale



(a) 边部; (b) 1/4处; (c) 中部。

图 7 2-1号尾部宽度方向上不同部位的氧化铁皮结构

Fig. 7 Structure of oxide scale in different parts along wide of strip on tail of No.2-1



(a) 1-1号钢卷尾部; (b) 1-2号钢卷尾部; (c) 2-1号钢卷尾部; (d) 2-2号钢卷尾部。

图 8 不同工艺下带钢表面氧化铁皮的剥落情况

Fig. 8 Spalling condition of oxide scales under different process conditions

5 结论

(1) 带钢的厚度规格对氧化铁皮厚度有显著影响,这是因为带钢厚度越薄,轧制速度越快,其在空

气中停留的时间较短,可以有效避免氧化铁皮厚度的增长。带钢宽度方向上的氧化铁皮厚度分布是不均匀的,边部的供氧更为充分,氧化铁皮较厚;通过调整终轧温度和层流冷却方式,可以减小氧化铁

皮厚度,但效果并不明显。

(2) 卷取温度对氧化铁皮结构有显著影响,当卷取温度由 620 降至 550/530 °C 时,共析反应生成的 $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ 的比例明显增加;此外,同一温度下带钢宽度方向边部、1/4 处和中部的氧化铁皮结构存在明显区别,中部 FeO 的共析反应更为充分。

(3) 氧化铁皮附着力的检测结果表明,降低卷取温度,室温下氧化铁皮的附着力得到一定程度的改善,同时厚度规格效应明显。

参考文献:

- [1] 毛新平,高吉祥,柴毅忠. 中国薄板坯连铸连轧技术的发展[J]. 钢铁, 2014, 49(7): 49. (MAO Xin-ping, GAO Ji-xiang, CHAI Yi-zhong. Development on thin slab casting and direct rolling[J]. Iron and Steel, 2014, 49(7): 49.)
- [2] 毛新平,孙新军,汪水泽,等. 薄板坯连铸连轧流程微合金钢控制轧制技术[J]. 钢铁, 2016, 51(1): 52. (MAO Xin-qing, SUN Xin-jun, WANG Shui-ze. Control rolling technology of Ti-microalloyed strip produced by TSCR[J]. Iron and Steel, 2016, 51(1): 52.)
- [3] Chen R Y, Yuen W Y D. Review of the high-temperature oxidation of iron and carbon steels in air or oxygen[J]. Oxidation of Metals, 2003, 59(5), 433.
- [4] 齐慧斌,钱于海,王巍,等. 热轧带钢四次铁皮及其形成机制[J]. 宝钢技术研究, 2007, 1(1): 42. (QI Hui-bin, QIAN Yu-hai, WANG Wei, et al. "Quartus Scale" of hot-rolled strip steels and its formation mechanism[J]. Baosteel Technical Research, 2007, 1(1): 42.)
- [5] Friedel F, Bolt H, Cornet X, et al. Investigation of the Formation, Constitution and Properties of Scale Formed During the Finishing Rolling, Cooling and Coiling of Thin Hot Strips[R]. European Commission, 2004.
- [6] 刘振宇,王国栋. 热轧钢材氧化铁皮控制技术的最新进展[J]. 鞍钢技术, 2012(2): 1. (LIU Zhen-yu, WANG Guo-dong. The R&D process on technology for controlling oxide scales on hot rolled steel products[J]. Angang Technology, 2012(2): 1.)
- [7] 吴光亮,孟征兵,李一为,等. 薄板坯连铸连轧过程氧化铁皮变化规律研究[J]. 钢铁, 2011, 46(6): 79. (WU Guang-liang, MENG Zheng-bing, LI Yi-wei, et al. Variation characteristics of scale during thin slab continuous casting and rolling[J]. Iron and Steel, 2011, 46(6): 79.)
- [8] 刘洋,韩斌,谭文,等. 热轧带钢氧化铁皮控制技术的现状与发展趋势[J]. 轧钢, 2012, 29(4): 34. (LIU Yang, HAN Bin, TAN Wen, et al. Status and development trends of oxide scales control techniques for hot-rolled strip[J]. Steel Rolling, 2012, 29(4): 34.)
- [9] 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. (LIU Zhen-yu, YU Yang, GUO Xiao-bo, et al. Techniques of oxide scales control during hot strip rolling[J]. Steel Rolling, 2009, 26(1): 5.)
- [10] 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. (LI Zhi-feng, CAO Guang-ming, WANG Fu-xiang, et al. Review of characterization techniques on oxide scale microstructure of hot rolled steels[J]. Steel Rolling, 2017, 34(3): 56.)
- [11] 周旬,王松涛,王晓东,等. 机架间除磷对热轧带钢三次氧化铁皮的影响分析[J]. 轧钢, 2016, 33(4): 17. (ZHOU Xun, WANG Song-tao, WANG Xiao-dong, et al. Influence of interstand descaling on the oxide scale of hot rolled strip in the finishing mill[J]. Steel Rolling, 2016, 33(4): 17.)
- [12] 孙彬,曹光明,贾涛,等. 热轧高强钢氧化铁皮演变规律的研究[J]. 钢铁, 2010, 45(11): 53. (SUN Bin, CAO Guang-ming, JIA Tao, et al. study on evolution law of oxide scale of hot rolled high strength steel[J]. Iron and Steel, 2010, 45(11): 53.)
- [13] 杨晓江. 唐钢薄板坯连铸高碳钢 65Mn 的质量控制[J]. 中国冶金, 2016, 26(12): 36. (YANG Xiao-jiang. Quality control of 65Mn thin slab casting high-carbon steel in Tangsteel[J]. China Metallurgy, 2016, 26(12): 36.)