

轧制工艺对冷轧基料氧化铁皮影响分析

郭立平 甄长鹏

德龙钢铁有限公司, 河北 邢台 054009

[摘要] 冷轧基料氧化铁皮缺陷对冷轧造成严重的影响, 酸洗不净导致下游工序的冲压、涂镀等深加工生产过程中存在起皮、白线条等缺陷。为了降低氧化铁皮厚度, 文中结合德龙钢铁有限公司 1250mm 生产线轧制工艺, 针对轧后冷轧基料氧化铁皮的形成过程进行分析, 通过采取有效的措施, 结果表明, 降低轧制温度、优化冷却方式、提高冷却效果及降低卷取温度可有效的控制轧后冷轧基料氧化铁皮组分及生长速度, 抑制氧化铁皮厚度的增长, 改善冷轧基料表面质量, 有利于提高酸洗效率和冷轧产品质量。

[关键词] 冷轧基料; 氧化铁皮; 厚度; 冷却; 温度; 表面质量

DOI: 10.33142/ect.v2i3.11733

中图分类号: TG335.55

文献标识码: A

Analysis of the Influence of Rolling Process on the Oxide Scale of Cold Rolled Base Materials

GUO Liping, ZHEN Changpeng

Delong Steel Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054009, China

Abstract: The defect of iron oxide scale in cold rolling base material has a serious impact on cold rolling. Unclean acid washing leads to defects such as peeling and white wire strips in downstream deep processing production processes such as stamping and coating. In order to reduce the thickness of iron oxide scale, this article combines the rolling process of the 1250mm production line of Delong Steel Co., Ltd. to analyze the formation process of iron oxide scale on the cold-rolled base material after rolling. By taking effective measures, the results show that reducing the rolling temperature, optimizing the cooling method, improving the cooling effect, and reducing the coiling temperature can effectively control the composition and growth rate of iron oxide scale on the cold-rolled base material after rolling, suppress the growth of iron oxide scale thickness, improve the surface quality of the cold-rolled base material, and improve the pickling efficiency and cold rolling product quality.

Keywords: cold rolled base materials; iron oxide scale; thickness; cooling; temperature; surface quality

引言

冷轧基料的表面质量缺陷有多种, 如结疤、翘皮、夹杂、划伤、辊印、氧化铁皮压入等, 其中氧化铁皮压入缺陷是非常普遍且对下游用户的使用有重大影响的质量缺陷。通常情况下氧化铁皮的厚度为 12~16 μm , 边部氧化铁皮厚度可达 20 μm 。若氧化铁皮缺陷程度非常严重, 即使酸洗工艺也无法完全去除, 下游的冲压、涂镀等深加工工艺生产也受到显著的影响。因此, 如何协调好控轧控冷工艺与过程中氧化铁皮形态结构的控制工艺, 是提高热轧带钢表面质量的关键和难点。

成量的影响, 而图 2 则为不同开轧温度条件下氧化铁皮中各相的厚度比例变化。由图 1 可知, 随着开轧温度升高, 氧化铁皮生成厚度呈现增长行为。开轧温度为 1060 $^{\circ}\text{C}$ 时氧化铁皮厚度约是开轧温度为 1000 $^{\circ}\text{C}$ 时的 2.1 倍, 开轧温度为 1120 $^{\circ}\text{C}$ 时的氧化铁皮厚度则为 1060 $^{\circ}\text{C}$ 开轧温度时的 1.4 倍。而图 2 可知, 开轧温度对氧化铁皮的组织结构影响较小, 三个开轧温度下 FeO 百分比含量均在 70% 左右, 且变化不大。

冷轧基料终轧温度与氧化铁皮厚度的关系如图 3 所

示, 其不同终轧温度氧化铁皮的组织结构则如图 4 所示。如图 3 所示, 终轧温度上升, 氧化铁皮的总厚度逐渐增加。840 $^{\circ}\text{C}$ 、880 $^{\circ}\text{C}$ 及 920 $^{\circ}\text{C}$ 终轧温度下氧化铁皮总厚度分别为 22、30 及 47 μm 。而终轧温度上升, 氧化铁皮中 FeO 层的含量逐渐增多, Fe₃O₄ 层和 Fe₂O₃ 层的含量逐渐减少, 这是源于温度降低氧化铁皮中的 FeO 会发生先共析转变。

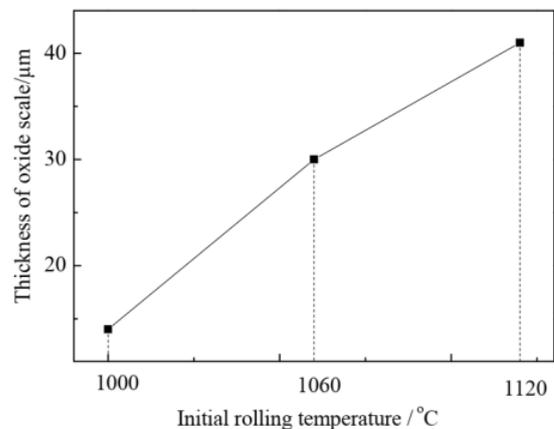


图 1 开轧温度与氧化铁皮总厚度关系图

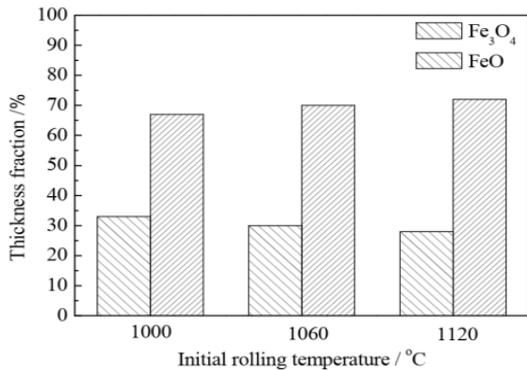


图2 不同开轧温度下各氧化铁皮厚度百分含量

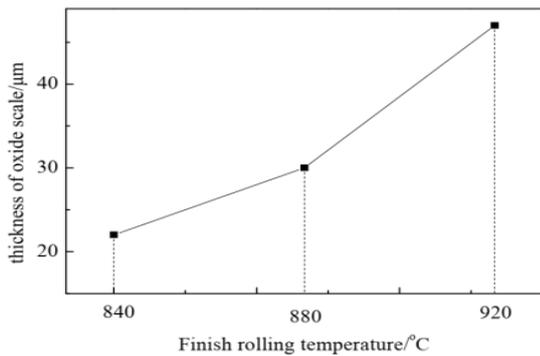


图3 终轧温度与氧化铁皮总厚度关系图

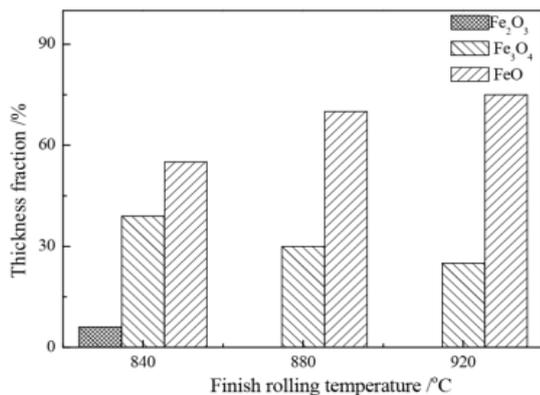


图4 不同终轧温度下各氧化皮厚度百分含量

2 冷却阶段氧化铁皮厚度影响因素

一般情况，热轧带钢的卷取温度大致在 520~740℃ 范围内，由于 FeO 相在 570℃ 时存在共析反应，生成具有片层状结构的 Fe₃O₄ 和 α-Fe，从而改变氧化铁皮结构。因此，控制卷取温度，可以通过促进或抑制共析反应以获得不同氧化铁皮的组织结构。如后续需进行酸洗时，试图获得更多的 FeO 可以在 570℃ 以上进行卷取，而热轧带钢直接应用的免酸洗钢需要更多的 Fe₃O₄，则可以在 570℃ 以下进行卷取。此外，不同冷却的条件对氧化铁皮的组织结构同样具有一定的影响，如图 6 所示为冷轧基料不同卷后冷却条件下的氧化铁皮截面形貌。结果表明在空冷和开炉门冷却条件下，氧化铁皮中没有先共析 Fe₃O₄ 生成，也没有

共析组织 (Fe₃O₄ 和 α-Fe) 生成；炉冷条件得到的氧化铁皮中靠近基体部位出现了大量的共析组织。

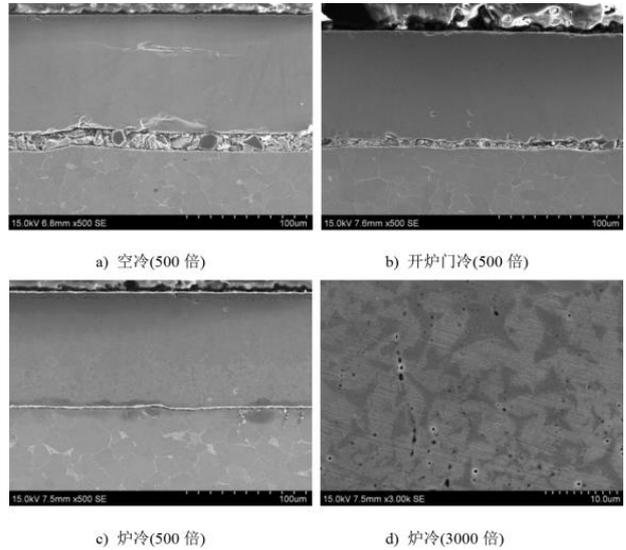


图6 不同卷后冷却方式下氧化铁皮截面形貌

氧化铁皮结构与开始冷却温度及冷却速度的关系如图 7 所示，按照冷却温度和冷却速度的不同，氧化铁皮被区分为 5 种不同的类型。

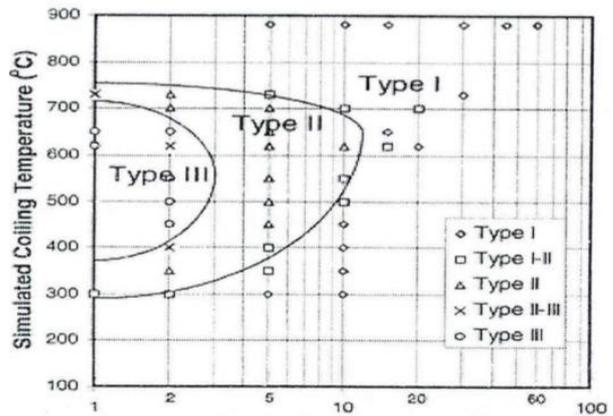


图7 氧化铁皮类型与开始冷却温度及冷却速率的关系图

I 型氧化铁皮结构是绝大部分的 FeO 仍然保留，初始形成的 FeO 层中有先共析的 Fe₃O₄ 析出。II 型氧化铁皮结构是大部分 FeO 层仍存在，析出 Fe₃O₄ 的量增多，不仅在初始形成的 FeO 层处析出，而且在铁基体界面上也析出，形成连续的一层 Fe₃O₄ 层。I-II 型氧化铁皮结构介于 I 与 II 型之间，其在铁基体界面上析出许多 Fe₃O₄ 的颗粒，但未形成连续的 Fe₃O₄ 层。III 型氧化铁皮结构包括在初始形成的 FeO 层附近析出的 Fe₃O₄，中间大部分的 Fe 与 Fe₃O₄ 的共析产物和残留的少量 FeO。II-III 型氧化铁皮结构介于 II 与 III 型之间，与 III 型氧化铁皮不同的是，其剩余 FeO 的较多。

3 氧化铁皮厚度控制工艺

根据氧化铁皮机理分析及氧化铁皮行为与温度场分

布情况，在德龙钢铁有限公司轧钢厂 1250mm 生产线制订如下工艺技术方案进行轧制试验。

(1) 粗轧工艺

表 1 粗轧工艺控制表

方案	粗轧炉后温度/°C	粗轧末道次温度/°C
方案一	1040-1140	1010-1090
方案二	1040-1140	1010-1090
方案三	1040-1140	1010-1090

(2) 精轧工艺

表 2 精轧工艺控制表

方案	精轧入口温度/°C	精轧终轧温度/°C
方案一	920-1040	750
方案二	920-1040	850
方案三	920-1040	900

(3) 卷取工艺

表 3 卷取工艺控制表

方案	卷取温度/°C	冷却方式
方案一	650±15	第 4 组稀疏冷却 2
方案二	580±15	第 4 组稀疏冷却 2
方案三	600±15	第 2 组集中冷却

4 试验效果分析

不同开轧温度 (950°C、1000°C 及 1050°C) 及相同终轧温度 (850°C) 条件下，冷轧基料氧化铁皮的总厚度随开轧温度上升而明显增加，最外层的 Fe₂O₃ 厚度仍最薄，约为 0.5 μm，最内层的 FeO 最厚。不同开轧温度条件下的各氧化产物结构层比例如图 8 所示。开轧温度为 950°C 时，Fe₂O₃ 层、Fe₃O₄ 层和 FeO 层的厚度比为 3 : 33 : 64；开轧温度为 1000°C 时，三层的厚度比转变为 2 : 28 : 70；开轧温度为 1050°C 时，各层的厚度比为 1 : 23 : 76。因此，随着开轧温度升高，Fe₂O₃ 层和 Fe₃O₄ 层在氧化铁皮总厚度中的比例逐渐减小，氧化铁皮中 FeO 的含量逐渐增加。

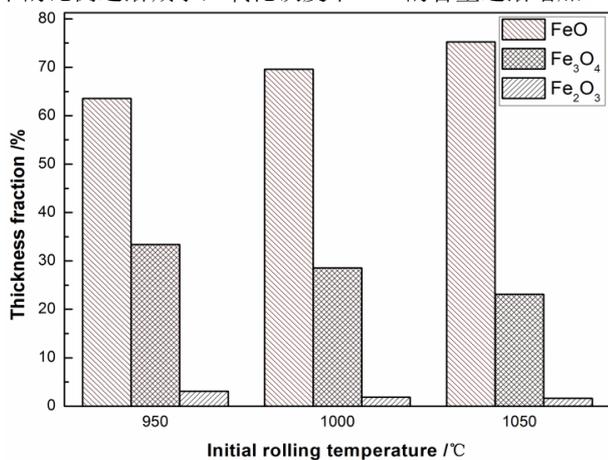


图 8 不同开轧温度下各层氧化铁皮厚度的百分含量

相同开轧温度 (1000°C)、不同终轧温度 (750°C、850°C 及 950°C) 条件下，随着终轧温度的升高，氧化铁皮的总厚度呈增加趋势。当终轧温度由 750°C 提升至 950°C 时，其氧化铁皮总厚度由 19.7 μm 增加到 36.3 μm。而且，终轧温度不仅对氧化铁皮生成量有影响，对各层的百分含量同样有明显作用。不同终轧温度条件下各氧化铁皮结构中各氧化物含量的变化。750°C 终轧时，Fe₂O₃ 层、Fe₃O₄ 层和 FeO 层的厚度比例为 3 : 35 : 62；850°C 终轧时，Fe₂O₃ 层、Fe₃O₄ 层和 FeO 层的厚度比例为 2 : 29 : 69；950°C 终轧时，Fe₂O₃ 层、Fe₃O₄ 层和 FeO 层的厚度比例为 1 : 25 : 74。由此可见，随着终轧温度的升高，Fe₂O₃ 层和 Fe₃O₄ 层的百分比不断减少，FeO 的占比不断增加。首先，这与氧化铁皮中的 FeO 在温降时会发生先共析转变有关。依据相变热力学原理，过冷度越大则相变的驱动力越大。因此，如果温度越低，则 FeO 的先共析转变的驱动力就越大，转变过程更容易进行，发生转变的 FeO 量也就越多。所以，在开轧温度不变的条件下，终轧温度越低，则 FeO 越容易发生先共析转变。此过程导致了 FeO 层和 Fe₃O₄ 层的比例随着终轧温度的降低分别呈现不断减少与不断增加的变化，这与试验中终轧温度对 FeO 层和 Fe₃O₄ 层的厚度比例变化规律相一致。Fe₂O₃ 层厚度随终轧温度变化不大，但是氧化铁皮的总厚度随着终轧温度降低而减小。因此，Fe₂O₃ 层的含量随着终轧温度降低而增加。

700°C 开冷条件下，经过不同冷却速度冷却分析得知，当冷速为 20°C/min 时，氧化铁皮组织与 860°C 时变化较小，仍然由外层较薄的 Fe₃O₄ 层及内层较厚的 FeO 层组成。但是，随着冷速的减小，外层的 Fe₃O₄ 层向内层 FeO 层扩散，导致 Fe₃O₄ 层变厚而 FeO 层变薄。此外，当冷却速度降低至 5°C/min 后，在 FeO 层与基体的界面处形成了一层 Fe₃O₄ 缝 (Fe₃O₄ seam)。另外，在 FeO 层中还观察到了有少许的 Fe₃O₄ 粒子析出。而在 600°C 开冷时，氧化铁皮组织结构随冷速的演变规律与 700°C 开冷时相似。而不同的是，当冷却速度为 10°C/min 时，600°C 开冷时 Fe₃O₄ 缝就已经开始形成，而且外层 Fe₃O₄ 层也比 700°C 开冷时薄。当冷却速度为 2°C/min 时，FeO 层内部也析出了 Fe₃O₄ 粒子。在 500°C 开冷时，氧化铁皮组织结构随冷速的演变规律出现了显著的变化，冷却速度为 10°C/min 时，整个 FeO 层中析出了大量细小的 Fe₃O₄ 粒子，而 Fe₃O₄ 层的厚度变化很小。随着冷却速度的进一步降低，氧化铁皮的形貌变化较小，及终轧温度对氧化铁皮的厚度和组织结构有明显的影 响。在 1050°C~750°C 范围内，随着开轧温度或终轧温度升高，氧化铁皮厚度呈线性增加，Fe₂O₃ 层和 Fe₃O₄ 层的底层比例减少，而 FeO 层的厚度比例相应地增加。

(2) FeO 在连续冷却条件下，存在一个鼻尖温度 (550~500°C)。其转变产物与开冷温度和冷却速度相关。

当冷却速度超过临界值 $13^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时, FeO 的转变被抑制, 冷却至室温的氧化铁皮组织与高温下生成的氧化铁皮组织相一致。当冷却速度为 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时, 如果开冷温度较高 ($700\sim 550^{\circ}\text{C}$), 在 FeO/Fe 界面处容易形成 Fe_3O_4 缝, 残余 FeO 仍然很多; 如果开冷温度较低 ($550\sim 300^{\circ}\text{C}$), 在 FeO 层会析出大量细小的 Fe_3O_4 粒子并且残余的 FeO 非常少。

(3) 在高温卷取 (650°C) 时, FeO 倾向在 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{FeO}$ 和 FeO/Fe 界面处发生先共析反应, 卷取后残余 FeO 较多; 随着卷取温度降低, 先共析反应倾向在 FeO 晶粒内部发生, 生成大量细小的 Fe_3O_4 析出粒子, 残余 FeO 的量减少而

Fe_3O_4 的量增多, 在 $550\sim 500^{\circ}\text{C}$ 内达到最高值; 当卷取温度降低至 350°C 后, FeO 将不再发生转变。

[参考文献]

[1] 苏振军, 曹晓恩, 杨建宽, 等. 980MPa 级汽车用高强钢冷轧厚度波动原因分析及解决方案 [J]. 河北冶金, 2019 (7): 4-7.

[2] 罗超. 冷轧产品厚度控制精度研究 [J]. 中国金属通报, 2019 (6): 263-264.

作者简介: 郭立平 (1982. 7—), 毕业院校: 河北工业职业技术学院, 所学专业: 材料工程技术, 当前就职单位: 德龙钢铁有限公司, 职务: 轧机班长, 职称级别: 工程师。