

镀锡产品边部线状缺陷分析与改进

周 旬¹, 艾矫健¹, 王晓东¹, 徐海卫¹, 李 瑞¹, 夏银锋¹,
王建功¹, 杨孝鹤¹, 孙超凡², 高小丽², 魏连后³

(1. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 河北 唐山 063000; 2. 首钢技术研究院薄板所, 北京 100043; 3. 中国科学院过程工程研究所, 北京 100190)

摘 要: 重点分析镀锡产品边部线状缺陷的生长机制和缺陷遗传规律。在大量现场试样分析的基础上, 探讨轧制过程工艺对细线缺陷产生的影响。采用 SEM, EDS 等方式分析缺陷的形貌, 成分及组织。结果表明, 边部线状缺陷主要由炼钢的夹杂物、热轧带钢边部翘皮、氧化铁皮以及冷轧热轧工序边部擦划伤缺陷遗传所致。通过热轧辊形优化可以有效控制边部翘皮缺陷; 通过系列工艺控制, 可以有效避免夹杂物、擦划伤及氧化铁皮缺陷。镀锡产品边部线状缺陷率降低 70% 以上, 产品质量得到有效改善。

关键词: 镀锡板; 线状缺陷; 边部翘皮; 氧化铁皮; 擦划伤; 辊形优化

中图分类号: TF76, TG174. 44 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-7638(2016) 05-162-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2016.05.028

Analysis and Improvement of Edge Linear Defects of Tinplate

Zhou Xun¹, Ai Jiaojian¹, Wang Xiaodong¹, Xu Haiwei², Li Rui¹, Xia Yinfeng¹,
Wang Jiangong¹, Yang Xiaohe¹, Sun Chaofan², Gao Xiaoli², Wei Lianqi³

(1. Shougang Jingtang Iron & Steel Co. Ltd., Tangsha 063000, Hebei, China ; 2. Hot Rolling Department, Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100043, China; 3. State Key Laboratory of Multi-Phase Complex System, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The growth mechanism and inherited characteristic of linear defect at the edge of hot rolling steel plate has been investigated in details. Based on the analysis, the effect of rolling process were discussed. SEM and EDS were used to analyze the morphology, component and structure of the defect. The result showed that, contributors to linear defect were inclusions from steel making process, the edge shell and oxide scale from hot rolling process and scratch from leveling process. The edge shell defect could be controlled by roll crown adjustment, the inclusion scratch and oxide scale could be improved by series of process control technology. The edge linear defect proportion decreased by more than 70%, and the surface quality had been improved significantly.

Key words: tinplate, linear defect, edge shell, oxide scale, scratch, roll shape change

0 引言

镀锡板主要用于食品罐, 饮料罐等包装行业, 因为其规格薄, 对表面质量的要求又极为严格, 因此生产难度大, 质量不稳定。尤其容易出现边部

质量缺陷, 通常热轧工序如果存在边部缺陷, 在冷轧轧制前不能被有效消除, 则缺陷经过扩展, 可能导致边部开裂或者表面质量下降, 严重情况可能会导致轧制断带事故, 影响轧制连续性、产量、成材率等指标。

针对冷轧产品边部线状缺陷的研究较多,通常认为冷轧后的边部细线主要原因包括:热轧原料的边部翘皮,部分文献认为热轧板的 Mn/S 偏低时,可能导致板坯边角部在高温加热过程中晶间结合力变弱,后续轧制过程中边部轧裂导致产生缺陷,通过提高热轧的轧制过程温度,提高定宽机的侧压量可以控制缺陷^[1]。也有文献认为是板坯边部横裂纹,纵裂纹以及边部的气泡,夹杂之类的缺陷,会在热轧形成边部缺陷,进而遗传到冷轧工序^[2]。还有文献认为,热轧的板形不良,边浪大容易导致边部的擦划伤。冷轧过程的乳化液使用不合理也可能导致局部区域出现擦划伤^[3]等等。

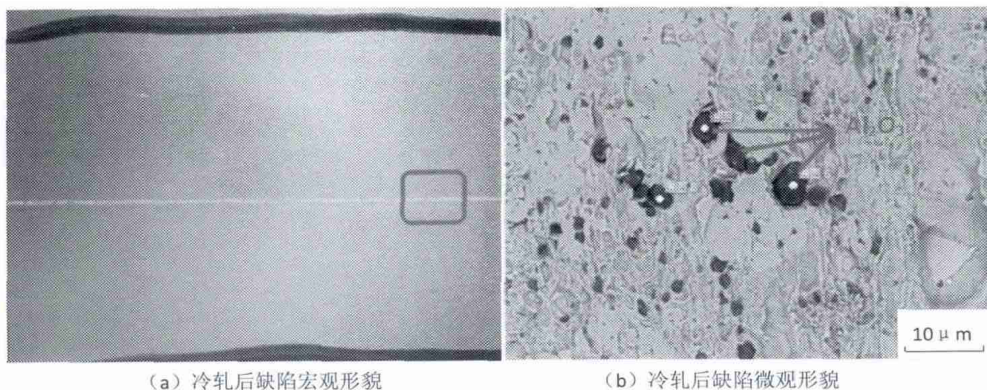
笔者针对首钢京唐公司冷轧产线在生产镀锡板过程中边部线状缺陷率较高的问题,通过批量

的取样分析研究,探索了缺陷的成因,并且针对性地开展措施,极大降低了镀锡板边部线状缺陷的发生率。

1 镀锡板线状缺陷的成因及遗传性

通过对镀锡板边部线性缺陷进行大量的取样分析,边部线性缺陷按成因分为五类:

第一类,炼钢翘皮,夹杂类缺陷。显微夹杂物主要为脱氧产物和二次氧化,大型夹杂物主要来源于二次氧化,结晶器卷渣,中间包卷渣和钢包引流沙。常见典型的 Al_2O_3 如图1所示,冷轧完缺陷宽度一般1~2 mm,宽度不变,长度一般100 mm以上,没有周期性,静态容易辨认,高速生产过程中容易和擦划伤,氧化铁皮等缺陷混淆。



(a) 冷轧后缺陷宏观形貌

(b) 冷轧后缺陷微观形貌

图1 镀锡板边部 Al_2O_3 夹杂物导致的线状缺陷

Fig.1 Linear defect at the edge of tinplate by Al_2O_3 inclusion

第二类,热轧边部细线、翘皮状缺陷(见图2)。该类缺陷主要是由于热轧轧制过程中,在850~930℃范围内,低碳钢存在高温脆性区。在这一温度区间内,试样材料进入($\alpha+\gamma$)两相区,随着奥氏体向铁素体相变的发生,在奥氏体相界面上产生了薄膜状的先共析铁素体的变形应力较小,外部应力容易在铁素体相集中,因局部累积变形较大,在先共析铁素体中产生了很多空隙,空隙成长、合并而导致脆裂^[4-5]。

第三类,在精整工序或者冷轧开卷过程中的层与层之间错动造成的擦划伤缺陷(见图3)。主要是由于薄规格带钢在热轧卷取工序张力控制不合理,导致在精整工序或者冷轧开卷工序过程中,层与层之间发生错动,不论在热轧精整工序,还是在冷轧生产工序过程中,由于前后张力不匹配,或者钢卷瞬间张力波动,都有可能引起层间错动,导致机械挫伤,或者叫擦划伤。这类缺陷,通常由于精轧工序以及

冷轧工序缺少表面跟踪设备,无法有效判定成因,导致批量的问题钢卷。

微观电镜下,未检测出O元素;缺陷呈“指甲盖”状,与周围基体有断层;缺陷影响区域约60 μm ;缺陷处组织与基体组织相比较细小。

第四类,为热轧的氧化铁皮缺陷。因为热轧带钢边部轧辊粗糙、边部氧化膜局部剥落、热轧产线边部除鳞不佳以及冷轧工序边部酸洗不净等原因,可能导致氧化铁皮残留。氧化铁皮残留特征明显^[6-7]。一般冷轧轧制后呈条状,经过退火和镀锡后更明显。

如图4所示,酸洗后的带钢缺陷部位,经过SEM观察及能谱分析,发现凹坑内存在细碎的氧化铁皮压入,在背散射模式下,细碎氧化铁皮和基体颜色不一,铁皮疏松,有轻微沿轧制方向的特征。能谱结果显示,均为Fe和O的成分。

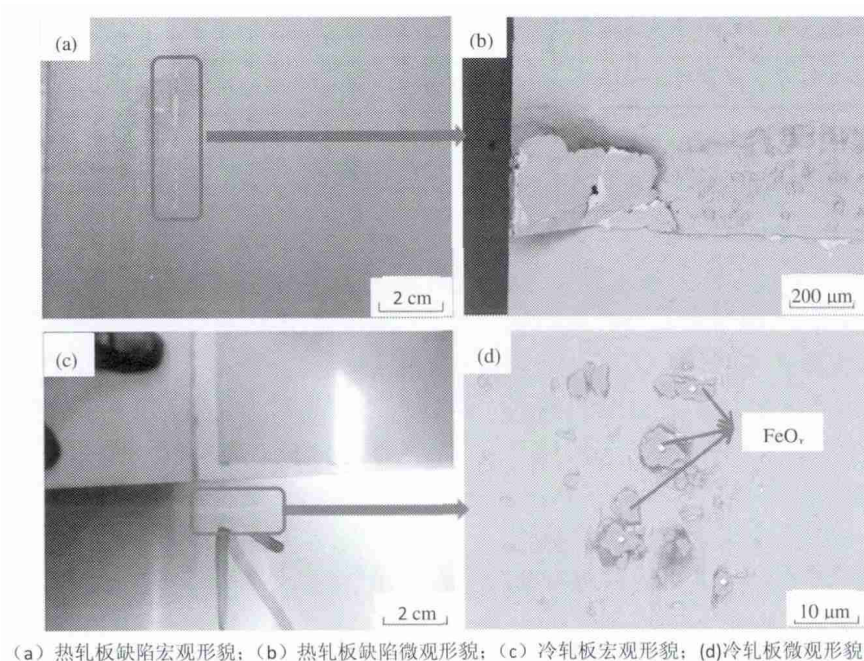


图2 边部翘皮冷轧工序的遗传

Fig.2 Inheritance of edge peeling defect at cold rolling procedure

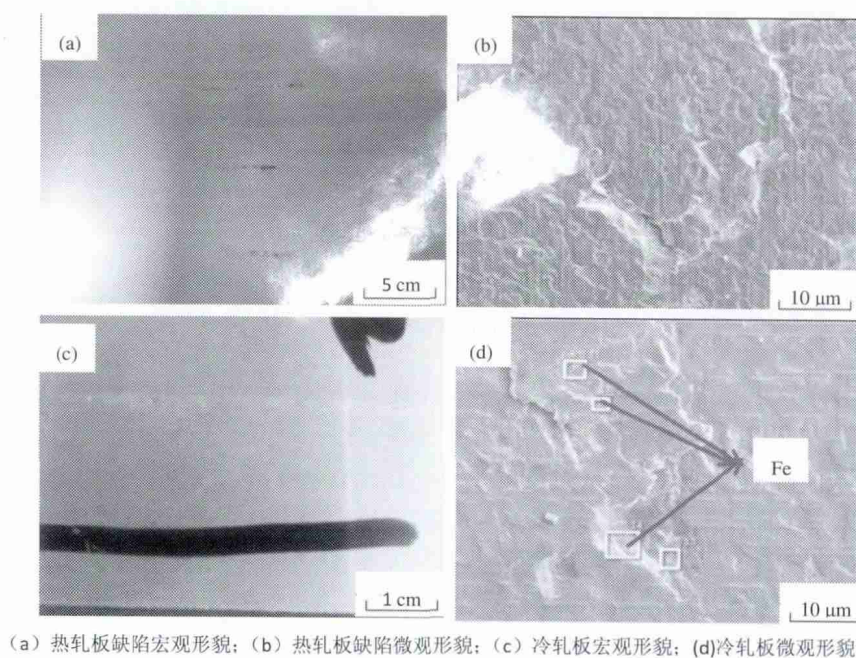


图3 挫伤缺陷的遗传

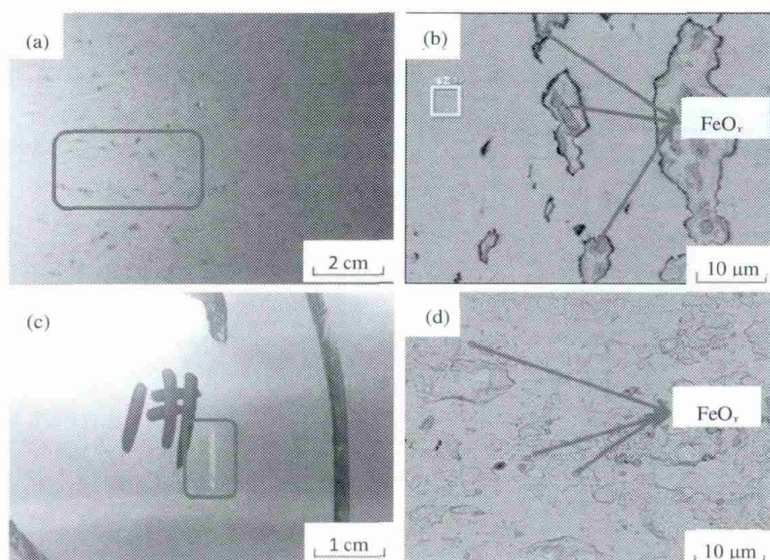
Fig.3 Inheritance of bruise defect at cold rolling procedure

第五类,为冷轧轧制过程中产生的短线状擦划伤(见图5)。原因包括:①轧机工作辊和带钢表面润滑不良导致的擦划伤;②乳化液喷嘴堵塞,工作辊冷却不均,局部过热;③带钢在各机架变形不合理,导致带钢和设备刮擦导致的缺陷,一般形状为短线或长线状划伤。

2 镀锡板边部细线缺陷控制方法

2.1 热轧板卷边部翘皮控制方法

粗轧过程板坯表面温度分布实测分析,以某钢厂2250线热轧生产过程板坯温度横向分布的变化情况测量结果为例(见图6)。



(a) 热轧板缺陷宏观形貌; (b) 热轧板缺陷微观形貌; (c) 冷轧板宏观形貌; (d) 冷轧板微观形貌

图 4 氧化铁皮缺陷的遗传

Fig. 4 Inheritance of oxide scale defect at cold rolling procedure

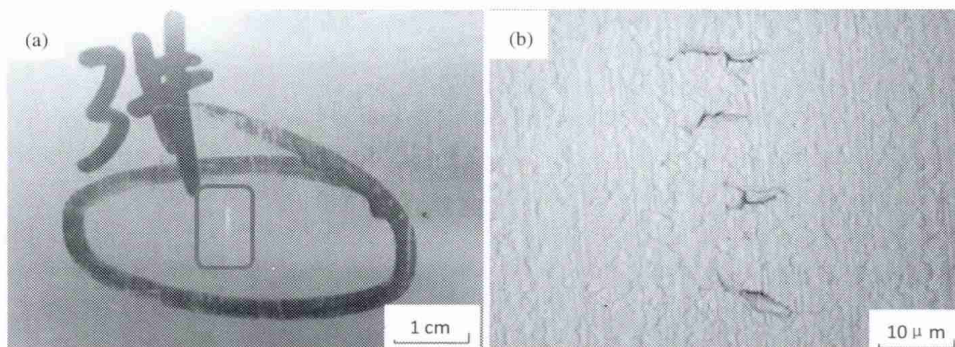


图 5 冷轧短线状划伤形貌

Fig.5 Short scratch on cold rolled strip

2.1.1 板坯出炉表面温度分布测量

刚出炉板坯中间和边部温度差为 30~50 ℃; 在粗轧区域, 因为反复除鳞水喷淋, 中间和最边角部的温度差为 120~150 ℃; 经过中间辊道的返温, 板坯在精轧入口中间和最边角部的温度差仍 130~180 ℃。

而正常的板坯在粗轧区域轧制时, 在轧机入口刚经过高压除鳞水的打击, 边角部温度更低, 因此极容易出现两相区。对于常规镀锡板, 虽然是低碳钢, 也有可能短暂地板坯表层组织进入两相区。

2.1.2 边角部温降大的解决措施

基于以上对热轧带钢边部翘皮缺陷的形成原因

分析, 针对热轧过程铸坯原角部位置温度偏低导致材料特性差异并在轧制过程中转移到带钢表面而形成的翘皮缺陷, 采取以下技术思路:

- 1) 改变板坯角部形状、消除尖角, 从而抑制板坯角部位置的局部大幅度降温。
- 2) 通过立辊侧压功能消除平辊轧制过程中金属流动造成的板坯角部金属向上下表面移动量。
- 3) 优化粗轧工艺, 通过降低整体温降减弱粗轧过程中铸坯角部的局部降温。

立辊辊形设计的关键在于以下几点: ①能够有效消除板坯角部尖角, 且不使角部金属向板坯

面内移动过大距离;②立辊辊形必须能够适合粗轧过程各道次铸坯的厚度、高度,一方面提高辊形效果,同时避免出现异形坯形;③辊形能够有效的

抑制金属流动造成的铸坯角部金属向表面移动,同时也要避免板坯侧面出现内凹现象;④不对宽度控制造成影响。

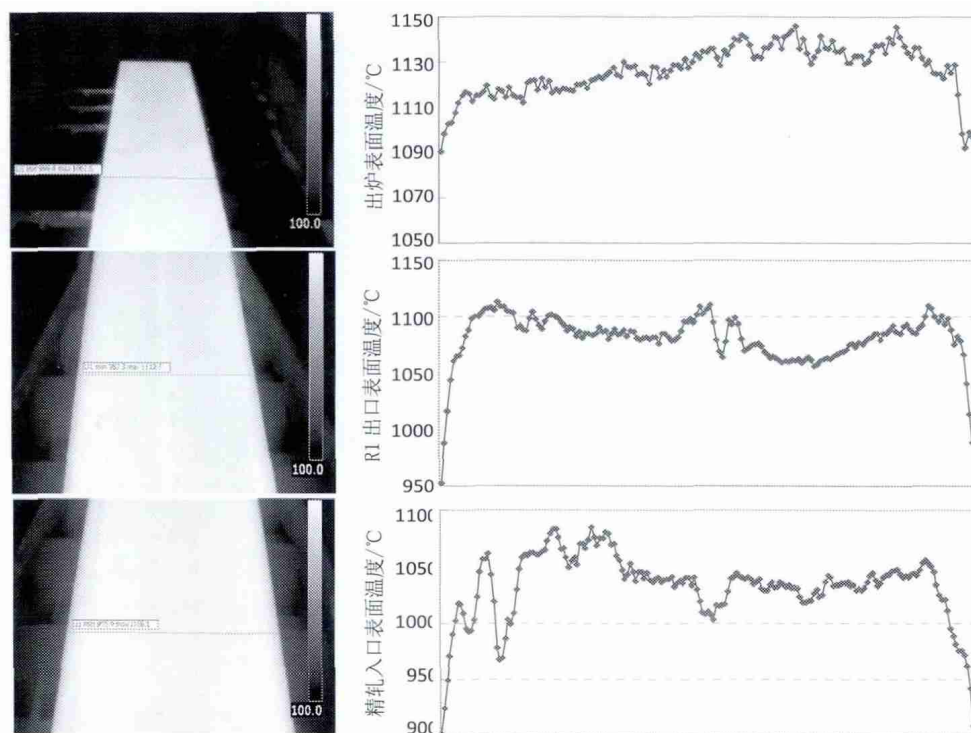


图6 板坯横向温度分布

Fig.6 Transverse temperature distribution of the steel billet

E1 立辊孔型设计由八段线段通过圆弧平滑过渡组成。使用该孔型 E1,板坯经过 E1 立辊的第一道次侧压时,板坯侧面与上表面形成的尖角部位会被 E1 立辊复合孔型的第五段进行轧制,轧制时改变了尖角部位的金属流动和尖角部位的温度,从而使后续 R1 平辊轧制时,无明显的温度较低的尖角部位被翻转到板带的上表面。在板坯经过 R1 逆向第二道次轧制后,板坯的厚度 $h < L$,防止板坯的侧面与上表面再次形成尖角,并且辊形的锥度改变了板坯侧面的金属流动。

2.2 镀锡板热轧原料擦划伤的控制

钢卷擦划伤是指在开卷张力与卷取张力以及机组运行的共同作用下,在钢卷层与层之间存在间隙的地方发生相对移动而产生的损伤,该缺陷存在于带钢尾部的上下表面。

镀锡板卷取温度通常控制在 570~680℃,需要冷却至常温下平整,温度 $\leq 35^\circ\text{C}$ 。由于热膨胀原因,带钢本身有一定的收缩,从而引起带钢层间有一定的松卷。而钢卷的内圈松卷现象是产生擦划伤缺

陷的根本原因。带钢层与层之间的松圈程度大,当投入张力瞬间,会产生相对挫动,由于互相接触的两个表面粗糙不平,就会产生擦划伤,并且随着速度增加,擦划伤缺陷的程度逐渐加重。

2.2.1 钢卷张力控制

精整过程擦划伤控制主要采取以下措施:将精整工序生产马口铁参数设置如下:开卷张力 30~45 kN;卷取张力 150~180 kN;轧制力 1 500 kN;根据现场来料钢卷板型情况增加轧制力,弯辊力随轧辊状态调节。

2.2.2 精轧工序速度控制

带钢运行前 50 m 内保持启车速度;30 m 后缓慢均匀提速至 100 m/min;带钢运行至 200 m 后,缓慢均匀提速,若钢卷松卷严重,则整个过钢过程深弯辊要压在钢卷表面过钢,最快速度不超过 350 m/min;若无松卷现象,卷形良好,则均匀提速,提速过程中根据深弯辊框架情况逐步抬起,直至加速至最大值 400 m/min。过钢过程速度恒定,不允许频繁变速。

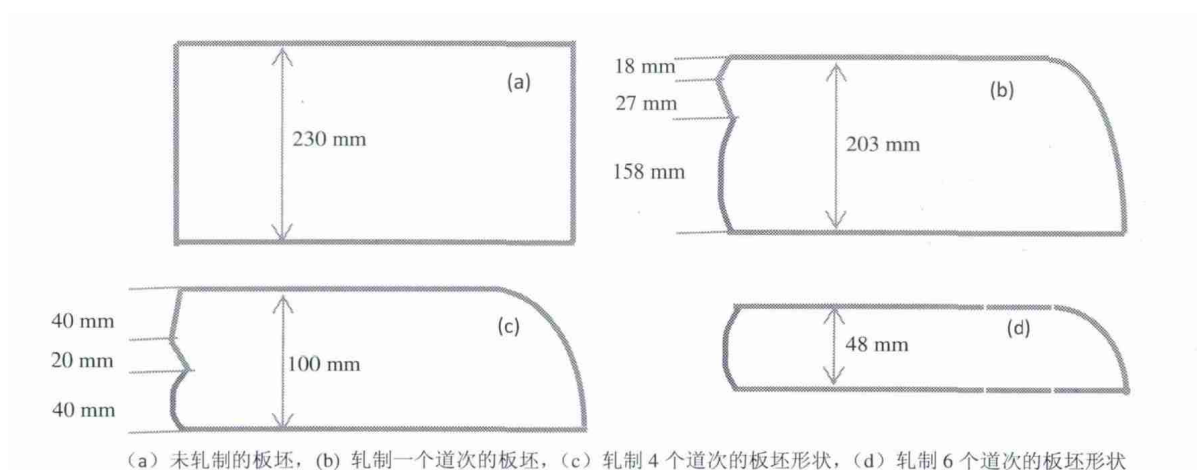


图7 粗轧轧制道次出口板坯形状

Fig.7 The shape of billet at the exit of each pass during rough rolling

2.3 热轧氧化铁皮缺陷遗传的控制

热轧为了减少边部氧化铁皮缺陷的发生,采取的措施包括:①投入机架间除鳞,一方面可以去除掉机架间产生的氧化铁皮。另一方面让表面快速冷却,控制带钢在精除鳞结束到 F4 入口段的表面温度,从而控制热轧带钢的精轧段氧化铁皮的结构和厚度,保证带钢表面质量优异^[8-9]。②限制单个计划的轧制公里数,控制在 50 km 以内。③增强轧辊的冷却能力,提高精轧工作辊冷却水压力和水量,从之前的冷却水管路压力 1.1 MPa 提升至 1.2 MPa, F1 ~ F4 工作辊冷却水流量提高到 950 m³/h 以上。④调整轧制润滑,减小轧辊表面粗糙程度。⑤优化换辊和磨辊标准,保证轧辊材质合理,确保轧制时好的辊面状态。⑥负荷往 F5 ~ F7 机架上转移 5% ~ 10%。

2.4 冷轧轧制过程的擦划伤

针对轧制过程中乳化液冷却,润滑不良导致的擦划伤缺陷,主要采取的措施包括:①通过提升乳化液的过滤精度,使乳化液中的铁粉,皂化值和灰分保证乳化液的清洁度。②通过调整支撑辊的刮水板,遮挡支撑辊的乳化液。③严格控制乳化液的浓度和温度,保证轧制过程润滑均匀充分。

2.5 炼钢过程的夹杂物控制

针对夹杂物的控制,采取的策略主要包括:①控制终点氧含量;②控制板坯拉速不超过 1.5 m/min;

③连铸过程控制液面波动不超过 3 mm。并通过严格的工艺措施控制夹杂物。

2.6 改善后镀锡板边部缺陷控制

通过以上系列措施的改善,镀锡板边部细线缺陷的发生率得到有效改善,边部缺陷发生率由之前的 2.3% 降低到目前的 0.4%,表面质量得到大幅度改善。

3 结论

通过对镀锡板边部缺陷进行大量取样分析,系统全面地研究了镀锡板边部缺陷的成因,针对性地开展系列改进措施,大幅减少了缺陷发生。

1) 边部线状缺陷主要由炼钢的夹杂物,热轧带钢边部翘皮、氧化铁皮以及冷轧热轧工序边部擦划伤缺陷遗传所致。

2) 针对炼钢的夹杂物,主要采取拉速 1.5 m/min 以下,连铸过程液面波动不超过 3 mm 进行控制。

3) 针对热轧边部翘皮缺陷,通过改进热轧立辊辊形,减少轧制过程板坯边部温降,从而提高边部质量。

4) 针对氧化铁皮缺陷,主要采取的措施包括:投入机架间除鳞设备,限制单辊期轧制公里数在 50 km 以内,提升工作辊冷却水压力以及负荷往 F5 ~ F7 机架上转移 5% ~ 10%。

参考文献

- [1] Ding Meiliang, Guan Jianhui, Sun Lin. Cause analysis of surface upwarping and edge defects of hot rolled strip [J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2015, 36(1): 1-6.
(丁美良, 关建辉, 孙林. 热轧带钢表面翘皮及边损缺陷成因分析 [J]. 钢铁钒钛, 2015, 36(1): 1-6.)
- [2] Li Maolin, Li Zhongchao, Peng Tao, et al. Production technology for clean steel at PZH steel [J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2001, 22(3): 15-19.
(李茂林, 礼重超, 彭涛, 等. 攀钢纯净钢生产实践与探讨 [J]. 钢铁钒钛, 2001, 22(3): 15-19.)
- [3] Su Qingxu. Analysis of scratches on the surface of hot rolled strip [J]. Iron and Steel, 1999, 34(3): 35-37.
(苏清旭. 热轧带钢表面挫伤缺陷产生原因分析 [J]. 钢铁, 1999, 34(3): 35-37.)
- [4] Xu Haiwei, Yu Yang, Li Fei, et al. Origination mechanism of the edge shell defect on the hot-rolled IF steel strip [J]. Iron and Steel, 2012, 47(9): 53-56.
(徐海卫, 于洋, 李飞, 等. IF 钢热轧薄板边部翘皮缺陷的产生原因及机制 [J]. 钢铁, 2012, 47(9): 53-56.)
- [5] Wang Guodong, Zhu Luling, Zhang Zuogui, et al. Analysis on surface upwarp defects in hot rolled steel plate [J]. Physics Examination and Testing, 2009, 27(1): 46-51.
(王国栋, 朱鲁玲, 张作贵, 等. 热轧钢板表面翘皮缺陷分析 [J]. 物理测试, 2009, 27(1): 46-51.)
- [6] Wei Tianbing. Analysis of scale forming reasons and descaling methods hot rolling process [J]. Research on Iron and Steel, 2003, 31(4): 54-58.
(魏天斌. 热轧氧化铁皮的成因及去除方法 [J]. 钢铁研究, 2003, 31(4): 54-58.)
- [7] Xia Xianping, Sun Yezhong. Formation causes of surface scale of hot rolled strip in finishing stands and its prevention measures [J]. Steel Rolling, 2002, 19(3): 9-12.
(夏先平, 孙业中. 精轧区热轧带钢表面氧化铁皮缺陷成因与预防 [J]. 轧钢, 2002, 19(3): 9-12.)
- [8] Wu Kangmian, Zhu Yuanzhi, Zhou Chunquan. Cause and morphology of inclusion and pressed in scale in cold rolled strip [J]. Iron and Steel, 2009, 44(2): 93-97.
(伍康勉, 朱远志, 周春泉. 冷轧板夹杂与氧化铁皮压入的原因与形貌辨析 [J]. 钢铁, 2009, 44(2): 93-97.)
- [9] John. Berwick. Tile. A study of the conditions which promote rolled-in-scale in the hot flat rolling of steel [M]. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2002: 8-10.

编辑 余文华

(上接第 161 页)

参考文献

- [1] Cai Kaike. The quality control of continuous casting slab [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010: 40-48.
(蔡开科. 连铸坯质量控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 40-48.)
- [2] Yin Ruiyu. The modern progress of the steel quality [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994.
(殷瑞钰. 钢的质量现代进展(下) [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.)
- [3] Sosinsky D J, Sommerville I D. The composition and temperature dependence of the sulfide capacity of metallurgical slags [J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1986, 17(2): 331-337.
- [4] Xue Zhengliang, Li Zhengbang, Zhang Jiawen, et al. Property and morphology of oxide inclusion in spring steel produced with different deoxidization processes [J]. Special Steel, 2001, 22(3): 24-26.
(薛正良, 李正邦, 张家雯, 等. 不同脱氧条件下弹簧钢氧化物夹杂的性质和形貌 [J]. 特殊钢, 2001, 22(3): 24-26.)
- [5] Hong Guohua, Yang Shunhu, Xiao Bo, et al. Production status and development prospects of spring steel at home and abroad [J]. Modern Metallurgy, 2009, 37(1): 1.
(洪国华, 杨顺虎, 肖波, 等. 国内外弹簧钢的生产现状和发展前景 [J]. 现代冶金, 2009, 37(1): 1.)
- [6] Wang Deyong, Lü Ming, Liu Chengjun, et al. The evolution and behavior of the non-metallic inclusions during the RH refining process [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2013(3): 373-377.
(王德永, 吕铭, 刘承军, 等. RH 精炼过程钢中非金属夹杂物行为及演变规律 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2013(3): 373-377.)

编辑 余文华