

冷轧基料 SPHC 烂边缺陷原因分析及控制技术研究

Cause Analysis and Control Technology Research on Edge Flaw of Cold Rolling Base Material SPHC

供稿|张宏斌 / ZHANG Hongbin

内
容
导
读

结合国内某大型钢铁企业在低成本生产 SPHC 冷轧基料时出现的较严重烂边缺陷的实际情况,通过对缺陷样品进行化学成分、缺陷形貌和组织金相检测,结合实际生产经验和相关工艺原理进行了分析,结果表明 SPHC 头、尾烂边缺陷产生的原因是钢中 B 类(Al_2O_3)夹杂物含量偏高导致板坯窄边或角部出现了裂纹,经过粗轧后板坯头尾处的裂纹产生了撕裂,从而在钢卷头、尾数圈形成烂边缺陷,据此提出相应的改进措施,轧制效果良好。

SPHC 代表热轧钢板(对应的冷轧板是 SPCC),相当于 GB/T 699—2015《优质碳素结构钢》中的 10[#]、15[#]钢的热轧板, C 质量分数是 0.10%~0.15%。随着钢铁冶炼技术的进步,高效节能的生产方式是大多数钢厂的追求,以求在激烈的市场竞争中占据有利地位。然而,国内某大型钢铁企业在低成本生产 SPHC 冷轧基料时经常有部分炉次的钢卷头、尾同时出现了较严重的烂边缺陷,这给公司造成了巨大的经济损失,严重制约了公司低碳钢系列产品的开发。为了消除烂边缺陷带来的不利影响,本文从炼钢和轧钢工艺方面着手,通过缺陷形貌、金相组织及轧制原理分析,找出头、尾烂边缺陷产生的原因,提出解决烂边缺陷的措施,取得了良好的效果,为公司挽回了损失。

SPHC 生产工艺流程概述

公司炼钢五厂目前配备 100 t 转炉 2 座,六机六流弧形方坯连铸机 1 台,四机四流板坯连铸机 1 台,SPHC 带钢由炼钢五厂和热卷厂协同生产。公司炼钢五厂 SPHC 钢种的化学成分控制如表 1 所示,其连铸板坯生产工艺为:转炉冶炼→脱氧合金化→吹氩微调成分→保护浇铸→定尺→热送,热卷厂目前热轧卷板 SPHC 生产采用全连轧工艺,流程为:上料→加热→除鳞→粗轧→切头尾→除鳞→精轧→卷取→打包→喷码→入库发货。

过程检验及分析

成分分析和氧氮分析

通过对烂边炉次的成品钢板(图 1)取样进行光

表 1 SPHC 成分控制范围 (质量分数)

标准	C	Si	Mn	P	S	Als
国标	≤0.12	≤0.30	≤0.50	≤0.035	≤0.040	—
内控	≤0.08	≤0.10	0.15~0.25	≤0.030	≤0.030	≤0.010

注: Als为酸溶铝

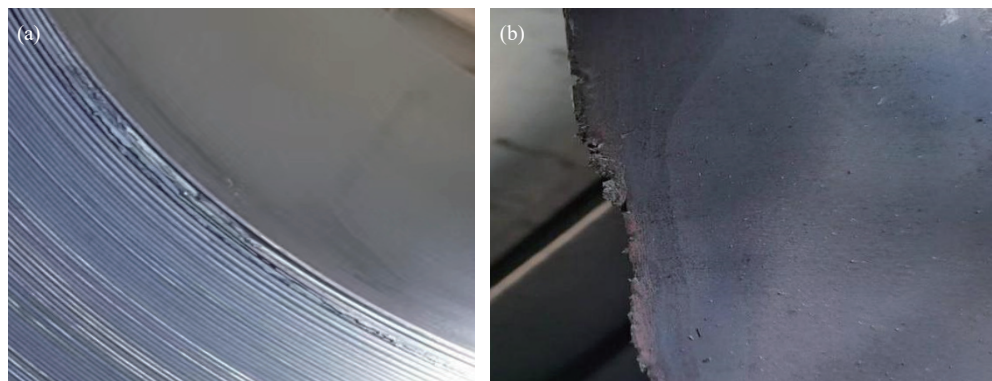


图 1 钢卷烂边缺陷: (a) 内圈; (b) 外圈

谱成分分析, 并采用钢研纳克 5500 氧氮氢分析仪测得氧、氮气体含量, SPHC 主要成分如表 2 所示。由

表 2 可知, 冶炼成分满足国标和内控要求, 未发现异常现象。

表 2 SPHC 各主要成分及氧、氮含量 (质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Als	O	N
0.07	0.01	0.2	0.016	0.013	0.027	0.0018	0.0048

金相组织及夹杂物分析

针对热卷厂此次热轧卷板 SPHC 烂边现象, 对钢卷进行取样, 通过粗磨→精磨→抛光等操作流程, 加工成一定厚度且抛光面积为 20 mm×10 mm 的

纵切面。参照标准 GB/T 10561—2005 进行检验, 运用光学金相法, 在光学显微镜 100 倍的视场下研究夹杂物和金相组织情况, 并利用扫描电镜对夹杂物进行能谱分析。其中缺陷形貌、夹杂物形貌及能谱情况分别如图 2、图 3 所示。

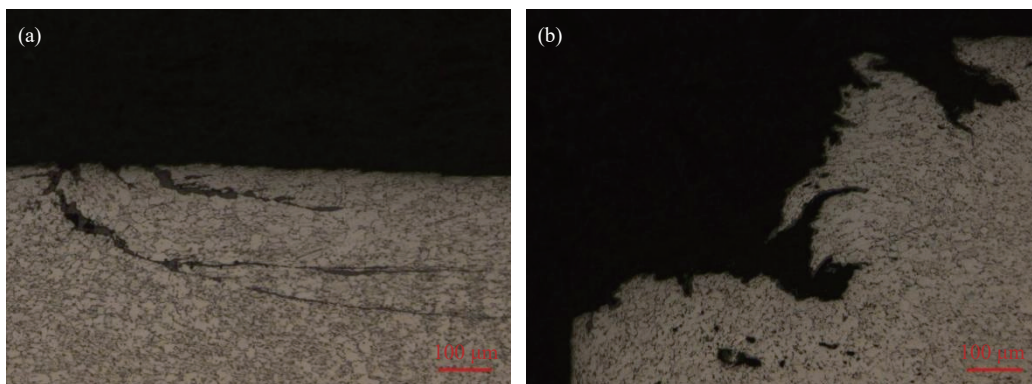


图 2 不同缺陷组织形貌: (a) 裂纹处; (b) 烂边处

从图 2(a) 可发现裂纹为典型的穿晶断裂, 存在

较多的氧化铁皮, 并伴有轻微的脱碳及晶粒长大,

可推断裂纹为连铸坯带来的裂纹,且裂纹有扩展的趋势。

从图 2(b) 可发现烂边处的金相组织与正常部位的金相组织几乎一致,形貌有撕裂迹象,但晶粒却没有拉伸或变形的现象,可推断烂边缺陷系板坯在高温时受外力撕扯作用所致,变形的晶粒在高温时

产生了回复再结晶。

从图 3 可发现 B 类 (Al_2O_3) 夹杂物含量偏高。经现场查看,发现本炉钢因生产节奏紧张未进行钙处理,可推断本炉次 B 类夹杂物偏高系未进行钙处理所致,从而推断钙处理工艺与烂边缺陷具有强烈的相关性。

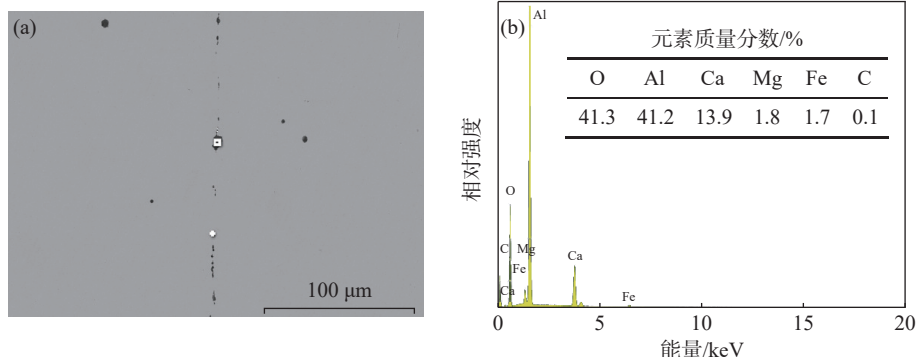


图 3 氧化铝类夹杂物: (a) 微观形貌; (b) 能谱

烂边缺陷产生的原因分析

SPHC 冷轧基料一般采用铝脱氧,钢中易生成大量的高熔点絮状 Al_2O_3 类夹杂物,容易导致水口结瘤及钢材性能恶化,需要对其进行改性。目前较常采用的夹杂物改性方法是通过合理的钙处理,将钢中高熔点的 Al_2O_3 和 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ 夹杂物改性为低熔点的钙铝酸盐类夹杂物,以防止浇铸过程中在水口结瘤并降低脆性夹杂物对冷轧基料延展性能的危害^[1-2]。合理的钙处理可以减轻水口结瘤,提高连浇炉数,在国内外的钢厂中已经得到广泛的应用^[3-4]。故 SPHC 烂边缺陷与异常的钙处理工艺具有强烈的相关性。

因烂边缺陷集中钢卷的内外数圈,自然考虑到粗轧立辊的短行程控制^[5-6],其控制原理是:根据大侧压调宽时板坯头尾收缩的轮廓曲线,使立辊轧机的辊缝在轧制过程中不断改变,其变化曲线对称且相反,以补偿侧压失宽量,再经过水平轧制后,使头尾部的轧制失宽量减少到最低限度。虽然粗轧采用了短行程控制轧制,但是头尾仍会有 500~600 mm 长度的中间坯出现失宽现象。切头、切尾后经 7~8 机架精轧至 1.5~2.5 mm 厚度的成品,发现头尾烂边缺陷长度与立辊短行程轧制长度正好相对应。

根据轧制后的板坯头尾变形特征^[7-8],两个类圆

弧段非均匀变形区只能与立辊不良接触甚至不接触,再加上头尾边角部位在除鳞水的激冷下温度偏低,经常处于发黑状态,如图 4 所示,若此时板坯已经存在裂纹,在平辊的轧制挤压下,必定会导致板坯沿着裂纹处出现挤压撕裂现象,从而导致成品卷的内外圈出现烂边缺陷。而板坯的均匀变形区在立辊的侧压和平辊的拉伸挤压下则将裂纹消除。



图 4 中间坯尾部边角发黑

综上所述,国内某厂的 SPHC 冷轧基料头尾烂边缺陷的原因为冶炼时未进行或未充分进行钙处理,导致 Al_2O_3 类夹杂物偏高,降低了基体的韧塑性,从而导致铸坯的窄面或角部振痕处出现了裂纹。在后续的粗轧过程中,由于头尾的非均匀变形区未充分受到立辊的侧压,而是在平辊的轧制挤压

和除鳞水的激冷下导致了裂纹扩张、撕裂，致使成品卷的内外数圈出现烂边缺陷^[9-10]。

改进措施

钙处理工艺

通过规范炼钢厂的钙处理工艺，如：喂钙线前 5 min 不得补铝；喂钙线时氩气流量控制在 250~400 L/min，Ca/Als 质量比控制在 0.07~0.12；喂钙线后保证软吹时间大于 6 min，后续生产的 SPHC 冷轧基料未出现过烂边缺陷。

立辊参数优化

通过修改存储在模型服务器上的短行程控制参数来优化短行程控制曲线。将板坯头尾的非均匀变形区长度从原来的 0.5~0.6 m 缩短至 0.3~0.4 m，并对炼钢工艺存在波动炉次的板坯增加切头、切尾长度，为可能存在缺陷的板坯“保驾护航”。

除鳞工艺优化

通过在除鳞箱的进口和出口处各增加一组铁链垂帘，减少高压除鳞水对板坯头尾的冲刷冷却，减少温降，提高均匀变形区的延展性。

结束语

通过对冷轧基料 SPHC 烂边缺陷样品进行化学成分检测、缺陷形貌检测分析和组织金相检测，表明冷轧基料 SPHC 烂边缺陷与化学成分无关，主要是钢中 B 类（ Al_2O_3 ）夹杂物含量偏高导致板坯窄边或角部出现裂纹，经过粗轧后板坯头尾处的裂纹产

生了撕裂，从而在钢卷头、尾数圈形成烂边缺陷。

通过采用钙处理工艺、立辊参数优化和除鳞工艺优化等改进措施后，冷轧基料 SPHC 烂边缺陷基本受到控制，攻关效果良好。

参考文献

- [1] 张立峰. 钢中非金属夹杂物. 北京：冶金工业出版社，2019
- [2] 陈牒斌，李光强，张战，等. 精炼渣和稀土 Ce 对 Fe-30Mn-10Al-1.1C 钢中非金属夹杂物的影响. 武汉科技大学学报，2022，45(6)：409
- [3] 李俊国，曾亚南，王树华，等. 20CrMnTi 冶炼过程中夹杂物行为研究. 钢铁钒钛，2010，31(1)：56
- [4] 朱君，杨吉春，湛智勇，等. 精炼渣对 U75V 钢中非金属夹杂物影响的研究. 炼钢，2022，38(4)：74
- [5] 吕程，朱洪涛，王国栋，等. 利用遗传算法优化板坯立轧短行程控制曲线. 钢铁研究学报，1998(5)：23
- [6] 吕小虎，王瑞，金鑫，等. 热轧立辊短行程模型解析与应用. 现代工业经济和信息化，2021，11(8)：62
- [7] 吴建峰. 热轧带钢调宽技术研究与优化 [学位论文]. 沈阳：东北大学，2009
- [8] 杨志强. 铝板热轧中间坯边部和头尾缺陷机器视觉检测 [学位论文]. 秦皇岛：燕山大学，2018
- [9] 林辉，周景如. 热轧薄板厂冷轧基料系列开轧及集约化生产工艺研究. 能源研究与管理，2018(2)：103
- [10] 赵启帆，向浪涛，汪涛，等. 冷轧基料烂边缺陷分析及应用. 甘肃冶金，2018，40(1)：33

作者简介：张宏斌（1983—），男，湖南娄底人，高级工程师。2007年毕业于南昌大学材料科学与工程专业，主要研究方向：中高碳优特钢及硅钢研究、先进轧制工艺研究、产品质量管理，曾获得涟钢科技进步二等奖。通信地址：福建省漳州芗城区店仔圩；E-mail：15979891303@163.com。