锰硫比对SPHC薄板边部裂纹的影响

马 鑫[1,2], 杨吉春[1], 李 彬[3]

(1. 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010;
2. 包钢(集团)公司生产部, 内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 对包钢2 250 mm热轧线生产的SPHC钢卷出现边部裂纹进行了分析, 认为钢卷$w[Mn]/w[S]$较低, 使板坯边角部位易出现微裂纹, 并在轧制过程中随着金属流变至带钢边部而形成缺陷。经实践, $w[Mn]/w[S] \geqslant 12$时, 可有效避免SPHC边部裂纹的出现。

关键词: SPHC钢卷; 边裂; 分析
中图分类号: TG335.5 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2018)01-0049-05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.01.017

Effect of Manganese-sulphur Ratio on SPHC Thin Plate Edge Crack

MA Xin[1,2], *YANG Ji-chun*[1], *LI Bin*[3]

(1. *School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Productive Dept. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
3. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The edge cracks on SPHC coil produced in 2 250mm hot rolling line of Baotou Steel is analyzed. It is concluded that the lower $w[Mn]/w[S]$ of coil can cause micro cracks in the edge and corner of slab, forming defects along with the metal flow to the edge of the strip during rolling process. In practice, when $w[Mn]/w[S] \geqslant 12$, SPHC edge crack can be effectively avoided.

Key words: SPHC coil; edge crack; analysis

低碳铝镇静钢SPHC热轧钢带是目前产量较大、使用较为广泛的冲压用钢板, 其特点是通过在低碳钢中加Al脱氧并控制AlN的固溶、析出, 获得强烈织构, 从而提高钢板的深冲性能[1]。稀土钢板材厂2 250 mm热轧线在生产SPHC薄规格钢带时经常出现边部裂纹缺陷, 严重时甚至出现钢带整卷烂边的严重质量问题, 影响了产品质量的同时造成产线非计划停机, 降低了生产效率, 造成合同无法按时交付。为此, 本文探寻了SPHC薄规格钢带边部裂纹的缺陷形貌及形成机理, 并提出了改进措施。通过优化调整产品化学成分设计, 取得了较好效果, 在一定程度上减少了钢卷边部裂纹的发生几率。

* **收稿日期**: 2017-11-06
作者简介: 马 鑫(1984-), 男, 内蒙古包头市人, 在读硕士, 工程师, 现从事炼钢、轧钢生产管理工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 缺陷定义及宏观特征

包钢稀土钢板材厂2 250 mm热轧生产线生产的SPHC冷轧基料，存在较为严重的边裂现象，具体缺陷形貌见图1。边裂缺陷是指钢卷边部沿长度方向参差不齐，在单侧或两侧的边部呈连续或间断的树皮状或严重的锯齿状，有的已经氧化呈现锈斑，且裂纹向内延伸呈裂口状。一般情况下边裂缺陷集中于钢卷的头尾部分，严重的钢卷边部全长均呈锯齿状，热轧边裂对冷轧影响很大，容易出现断带等质量事故。仅两个月内，稀土钢板材厂热轧生产线在轧制SPHC冷轧基料时多次出现钢带边裂的质量事故，共计判废13卷，中废1卷，造成了较为严重的经济损失。

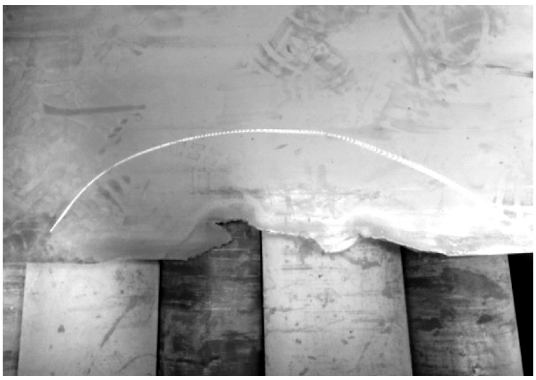


图1 缺陷试样形貌

2 钢带边裂原因调查

2.1 SPHC炼钢生产工艺路线

高炉铁水—KR脱硫—转炉—LF精炼炉—1 650 mm连铸机。

2.2 炼钢工艺调查

为了找到钢带边部裂纹产生的根本原因，对炼钢生产工艺过程控制参数(过热度、拉速、结晶器液面波动)进行了详细的统计。对同批次轧制钢卷的连铸工艺参数进行了详细整理与分析，具体参数见表1。

250548浇次中，熔炼号15104015钢连铸坯在轧制过程中因边裂缺陷判废6卷，同浇次另两炉钢连铸坯轧制后全部合格，无表面质量缺陷；250550浇次中，熔炼号15303787钢连铸坯在轧制过程中因边裂缺陷判废2卷，该炉钢其余连铸坯返库，同浇次另两炉钢连铸坯轧制后全部合格，无表面质量缺陷；250580浇次中，熔炼号15304067钢连铸坯在轧制过程中因边裂缺陷判废5卷、中废1块，同浇次另两炉钢连铸坯轧制后全部合格，无表面质量缺陷。

2.3 板坯表面质量检验

对与存在边裂缺陷钢卷相同炉号的加热炉返回坯进行详细的表面质量复查，其板坯角部区域质量良好，未见气孔聚集及角部横裂纹等影响钢带产品质量的缺陷。

表1 缺陷钢卷所在炉次与无缺陷钢卷所在炉次连铸工艺参数对比

浇次号	连浇号	熔炼号	平均过热度/℃	平均拉速/(m·min^{-1})	结晶器液面波动/mm	钢坯轧制后质量
250548	4	15204218	25.0	1.30	±3	全部合格
	5	15104015	20.5	1.40	±3	6卷边裂
	6	15104016	27.0	1.30	±2	全部合格
250550	3	15104034	26.0	1.30	±3	全部合格
	4	15303787	23.0	1.30	±3	2卷边裂，其余返库
	5	15104036	26.0	1.30	±3	全部合格
250580	10	15304066	26.0	1.30	±3	全部合格
	11	15104330	17.0	1.35	±2	全部合格
	12	15304067	18.5	1.30	±3	5卷边裂，1块中废

2.4 板坯低倍检验

对与存在边裂缺陷钢卷相同炉号的加热炉返回坯取样进行低倍冷酸蚀宏观检验，其内部质量未见明显异常，且角部未见皮下裂纹缺陷，低倍评级结果见表2。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　低倍冷酸蚀宏观检验结果

目标		实验情况	
中心偏析	中心疏松	中心偏析	中心疏松
≤B 类 2.0 级	≤2.0 级	B 类 0.5 级	0.5 级

2.5　氮铝积的控制

因钢中铝和氮对钢高温塑性的影响主要是通过 AlN 在奥氏体晶界沉淀析出，引起晶界结合力减弱，增强了裂纹敏感性。AlN 的析出强度与钢中 $w[Al]\cdot w[N]$ 浓度积成一定比例，理论上认为奥氏体中 AlN 形核缓慢，需要较高的 $w[Al]$、$w[N]$ 和高 $w[Al]\cdot w[N]$ 浓度积才能使 *AlN* 析出，一般认为 $w[Al]\cdot w[N] > 3\times10^{-8}$ 才能保证 AlN 析出[2]。为了进一步找到钢卷产生边裂的主要原因，对轧制后出现边裂缺陷的钢卷以及轧制后表面质量合格的钢卷分别取样，进行了气体含量及氮铝积控制的检验，具体结果见表 3。

表 3　缺陷钢卷及合格钢卷氮铝积含量

项目	$w[O]$ /10^{-6}	$w[N]$ /10^{-6}	$w[Als]$ /10^{-2}	$w[Al]\cdot w[N]$ 浓度积 /10^{-8}
缺陷钢卷 1	44	51	0.027	1.38
缺陷钢卷 2	37	43	0.029	1.25
缺陷钢卷 3	30	39	0.033	1.29
合格钢卷	35	36	0.034	1.22

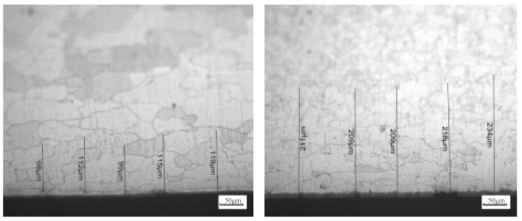
2.6　热轧工艺调查

为了确定存在边裂缺陷的钢卷在热轧生产过程中是否出现了工艺参数的异常波动，对加热炉的加热时间、均热时间、出炉温度进行了详细分析，SPHC 板坯执行热装工艺时要求加热时间控制在 180 ~ 240 min，均热时间控制在 30 ~ 60 min，板坯出炉温度要求为(1 220 ± 15) ℃。经调取热轧加热炉二级参数后得知，所有存在边裂缺陷的板坯加热制度均严格执行质量计划要求，其加热时间集中在 189 ~ 212 min，均热时间集中在 31 ~ 45 min，出炉温度均符合(1 220 ± 15) ℃的控制范围要求。

在调取热轧粗轧机、精轧机和卷取机二级参数后得知当时热轧生产时序良好，缺陷钢卷在轧制过程中无异常轧制现象，不存在板坯在炉时间过长的情况，可排除因板坯过热或过烧造成的边裂缺陷，同时所有出现边裂缺陷的钢卷随机出自 4 座加热炉，可排除某一加热炉出现异常的情况。

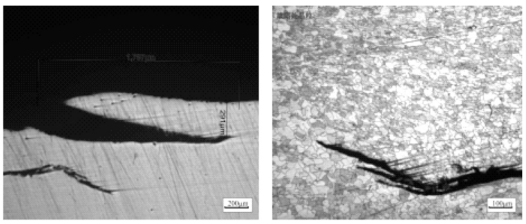
2.7　金相检验

在出现边裂缺陷的钢卷上，分别在边部和 1/4 处取样做金相分析，发现边部晶粒度为 6 级、1/4 处为 8 级，边部晶粒比 1/4 处要粗大，有明显混晶现象，且缺口处伴有氧化铁皮，但不存在非金属夹杂物及 AlN 在奥氏体晶界沉淀析出的现象。从脱碳层检验结果看，边部脱碳深度为 0.137 mm、1/4 处脱碳深度为 0.192 mm，脱碳程度并不明显。具体形貌见图 2 和图 3。



(a) 边部　　(b) 1/4 处

图 2　金相检验晶粒度



(a) 未腐蚀　　(b) 腐蚀

图 3　金相检验边裂处

通过对加热炉工艺进行调查后发现，出现边裂缺陷的钢卷加热时间均符合质量计划要求，出现晶粒异常应为局部过热，导致奥氏体晶粒异常长大造成[3]。

2.8　扫描电镜检验

对边裂缺陷处取样用扫描电镜进行化学成分分析，经检验只有 Fe 和 O 元素，未发现其它类似非金属夹杂物等相关元素，也未发现有 AlN 析出，检验结果见图 4 和图 5。

2.9　化学成分

低碳铝镇静钢 SPHC 是目前使用最广泛的冲压用钢板品种之一，其对化学成分要求很严格。于是重点对产生边裂缺陷钢卷的化学成分重新进行详细梳理，并与同批次轧制合格钢卷的化学成分进行了比对。具体情况见表 4。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

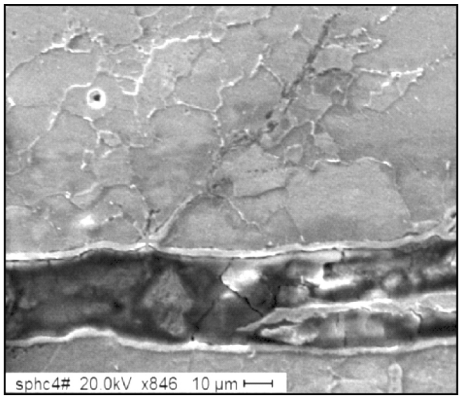


图4 裂纹缺陷图

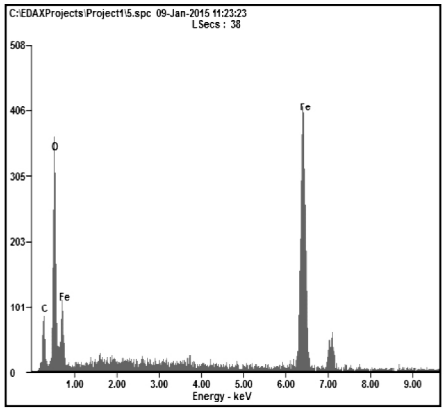


图5 裂纹边部对应的成分

表4 缺陷钢卷与合格钢卷化学成分对比

项目	质量分数/%						$w[Mn]/w[S]$
	C	Si	Mn	P	S	Alt	
标准成分上限	0.08	0.05	0.60	0.020	0.020		
缺陷钢卷1	0.02	0.02	0.06	0.010	0.009	0.031	6.6
缺陷钢卷2	0.02	0.02	0.05	0.009	0.008	0.033	6.3
缺陷钢卷3	0.02	0.02	0.05	0.007	0.007	0.036	7.1
合格卷平均成分	0.03	0.02	0.11	0.010	0.007	0.027	15.7

从表4可以看出,产生边裂缺陷钢卷的化学成分与合格钢卷的化学成分相比较,钢中Mn元素含量明显偏低,而$w[Mn]/w[S]$更是低于正常钢卷15.7的控制水平。为了进一步研究化学成分与钢卷出现边裂缺陷的对应关系,对415炉SPHC的化学成分进行详细统计,分析了$w[Mn]/w[S]$与边裂率的关系,具体数据见图6。

从图6可知,冷轧基料SPHC化学成分中$w[Mn]/w[S]$与边裂缺陷发生率有较明显的反比关系,当$w[Mn]/w[S] \geqslant 12$时,边裂率为0。

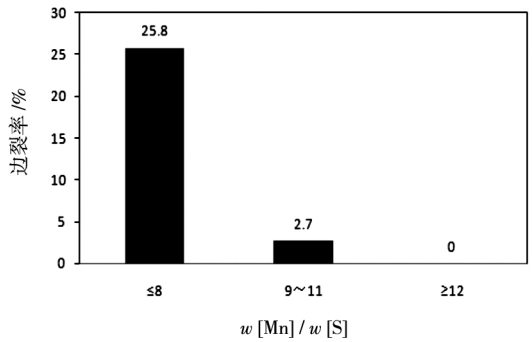


图6 $w[Mn]/w[S]$与边裂率的关系图

3 分析

(1) 经过对存在边裂缺陷钢卷的炼钢、热轧生产工艺过程控制参数进行详细调查,并将其工艺控制参数与合格钢卷进行对比分析后得知,产生边部裂纹缺陷的SPHC钢带其炼钢、热轧工艺过程控制均正常,此次钢带边部裂纹缺陷与炼钢、热轧工艺控制无关。

(2) 从表3可知缺陷钢卷的$w[Al]\cdot w[N]$浓度积均小于3×10^{-8},因此推断此次边裂缺陷与其AlN析出无直接关系。

(3) 由于Mn与S的亲和力大于Fe与S,故Mn与S易结合形成高熔点MnS(熔点为1 600 ℃)取代低熔点FeS(Fe和FeS的共晶熔点为988 ℃),当温度低于1 004 ℃时,钢中发生S—Mn—Fe包共晶反应,奥氏体晶界处生成的富铁硫化物与奥氏体间的界面能较低,铁硫化物在晶界处以薄膜形态析出,降低了奥氏体晶界强度及钢的高温延性。缺陷卷$w[Mn]$较低,导致低熔点FeS在晶界富集;此外,在板坯加热、轧制早期,板坯边角部位温度较低,当没有足够的Mn固定S,导致奥氏体状态下富铁硫化物

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

增多,使晶界结合力降低,在板坯边角部位形成微裂纹,轧制过程中边角部位的金属流变至钢卷边部,形成钢卷边裂[3]。经过上述大数据的统计和理论分析可以推断,化学成分中 $w[Mn]/w[S]$ 与钢卷边裂有比较直接的关系,提高钢卷 $w[Mn]/w[S]$ 对改善钢卷边裂有所帮助。

(4) 钢种 SPHC 不同锰硫比下的板坯过热起始温度不同,低锰硫比的过热起始温度小于高锰硫比的过热起始温度,且锰硫比低的连铸板坯比锰硫比高的连板坯过热效应严重。在文献中实验数据得出 $w[Mn]/w[S]=6$ 的试样过热起始温度为 1 210 ℃, $w[Mn]/w[S]=7.9$ 的试样过热起始温度为 1 240 ℃, 低 $w[Mn]/w[S]$ 试样比高 $w[Mn]/w[S]$ 试样过热效应严重。不论 $w[Mn]/w[S]$ 高低,加热到 1 270 ℃时都会出现严重过热,到 1 300 ℃已严重过烧[4],故钢种 SPHC 边裂纹另一原因是由于板坯加热温度与钢中 $w[Mn]/w[S]$ 不匹配造成的。

(5) 通过金相检验发现,边裂缺陷钢卷边部的晶粒度为 6 级、1/4 处为 8 级,边部晶粒比 1/4 处要粗大,有明显的混晶现象且缺口处伴有氧化铁皮,这就需要热轧工序对板坯加热工艺制度进一步进行优化控制,避免板坯边角部出现过热或过烧造成钢带边裂现象的发生。

4　措施及效果

4.1　采取措施

(1) 重新调整 SPHC 钢种质量计划中化学成分要求,将 $w[Mn]/w[S]\geqslant 12$ 作为该钢种的内控标准进行生产控制。

(2) 加强对连铸坯加热制度的管理,同时对停轧、待轧时加热工艺进行优化,要求根据停轧时间降低均热段炉温,以改善铸坯边角部过热、过烧情况。

4.2　应用效果

在重新调整 SPHC 钢种化学成分后,共计轧制 38456 卷,仅有 3 炉钢合计 35 卷钢带因冶炼操作不当、设备故障及实验直上工艺等原因导致钢中 $w[Mn]/w[S]$ 低于 12 的内控标准后引起钢带边裂缺陷外,其整体应用效果显著。

5　结束语

SPHC 薄板边裂缺陷的产生与 $w[Mn]/w[S]$ 偏低有直接关系。当 $w[Mn]/w[S]$ 较低时,板坯边角部位在高温加热时晶界结合力降低,在轧制过程中易出现晶界微裂纹,随着金属流变至带钢边部形成舌状裂纹缺陷。实践表明,将钢种 SPHC 化学成分中 $w[Mn]/w[S]$ 控制在 12 以上,可有效避免 SPHC 薄板边部裂纹缺陷的发生。

参　考　文　献

[1] 刘建潮,胡恒法. SPHC 热轧板卷边部黑线成因分析[J]. 轧钢,2008,25(5):13 - 15.

[2] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京: 冶金工业出版社,2010.

[3] 李波涛. SPHC 钢板卷边裂原因分析[J]. 山东冶金,2010,32(4):31 - 33.

[4] 王宏霞. 低碳钢过热过烧温度的确定[J]. 中国重型装备,2008,(4): 31 - 33.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net