

节镍型奥氏体钢板热轧分层分析及改进措施

尚广浩^{1,2}, 张力萍^{1,2}, 朱丽军², 郑山发², 李小磊², 段才锋¹

¹长葛市金汇再生金属研发有限公司, 河南 许昌

²河南金汇不锈钢产业集团有限公司, 河南 许昌

收稿日期: 2022年6月22日; 录用日期: 2022年7月20日; 发布日期: 2022年7月29日

摘要

通过光学显微镜、扫描电镜和能谱仪等手段对钢带1/2处进行分析, 研究钢板分层的原因及预防措施。结果表明: 钢带出现严重的中心偏析和较多夹杂物, 而轧制后应力集中在板厚中心处, 在后续热处理过程中, 应力集中释放, 造成钢板分层。通过改进连铸设备和工艺、优化连铸二冷水等措施, 使钢板的中心分层现象得到明显改善。

关键词

钢板分层, 中心偏析, 夹杂物, 连铸坯

Analysis and Improvement Measures of Hot Rolling Delamination of Nickel Saving Austenitic Steel Plate

Guanghao Shang^{1,2}, Liping Zhang^{1,2}, Lijun Zhu², Shanfa Zheng², Xiaolei Li², Caifeng Duan¹

¹Changge Jinhui Recycled Metal R&D Co., Ltd., Xuchang Henan

²Henan Jinhui Stainless Steel Industry Co., Ltd., Xuchang Henan

Received: Jun. 22nd, 2022; accepted: Jul. 20th, 2022; published: Jul. 29th, 2022

Abstract

Optical microscope, scanning electron microscope and energy dispersive spectrometer were used to study the region of half of slab to explore the causes and preventive measures of steel plate delamination. The results show that there are serious central segregation and lots of inclusions in the steel strip, and the stress is concentrated in the center of the plate thickness after rolling. In the subsequent heat treatment process, the stress is concentrated and released, resulting in the

文章引用: 尚广浩, 张力萍, 朱丽军, 郑山发, 李小磊, 段才锋. 节镍型奥氏体钢板热轧分层分析及改进措施[J]. 材料科学, 2022, 12(7): 714-720. DOI: 10.12677/ms.2022.127079

delamination of the steel plate. By improving the equipment and process of continuous casting and optimizing the secondary cooling water, the central delamination of steel plate has been significantly improved.

Keywords

Steel Plate Delamination, Central Segregation, Inclusions, Continuous Casting Slab

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

节镍奥氏体不锈钢是在传统 304 奥氏体不锈钢的基础上, 为节约成本, 减少贵金属镍, 增加锰、氮等形成室温下为单一奥氏体组织的经济型不锈钢。近年来, 由于该类钢优异的力学性能、一定的耐腐蚀性能以及较低的成本, 具有优异的机械性能、较高的强度、塑性和一定的耐腐蚀性, 被广泛应用于建筑装饰、不锈钢焊管制作等[1] [2] [3]。

目前某公司主要生产的 J2 钢种是节镍含氮经济型奥氏体不锈钢, 但在热轧过程中钢带头尾在精轧时偶有出现分层现象, 需对分层钢带进行剪切, 影响了产品的质量和正常生产, 严重时被判废或降级使用, 给公司造成较大经济损失。其公司生产 J2 宽坯(1020、1240 和 1530 mm)在前期加工热轧轧制薄板时偶有分层现象, 部分时段会批量出现, 在钢坯轧制中厚板(16 mm)时也有分层现象, 赵喜伟[4]在低合金中厚板 Q345E 在做拉伸实验过程中常出现分层脆性断裂缺陷, 出现分层缺陷的主要原因是钢板厚度 1/2 处出现带状组织, 夹杂物较多。通过优化炼钢工艺, 提高连铸机设备精度, 改进连铸工艺等措施, 降低了钢中的夹杂物含量, 减轻了连铸坯的中心带状组织偏析, 使钢板出现分层缺陷的情况得到了明显改善; 申鹏[5]对 0Cr18Ni9 不锈钢热轧卷的分层原因进行了分析, 主要原因是由于连铸过程中产生的氧化物夹杂物引起的。为避免分层的产生, 应加强连铸中间包保护渣操作的管理, 以避免夹杂物的产生。

为查找镍型钢种钢板“分层”原因, 提高成材率, 特对“分层”钢板进行了低倍分析、显微组织检验和电镜-X 射线能谱分析等检测手段和工艺排查寻找分层原因。

2. 试验材料与方法

2.1. 试验材料

试验 J2 钢带化学成分见表 1, 试样取自编号 210725072, 分层钢板的宽度为 1530 mm, 厚度为 16 mm。分层裂纹沿轧制方向扩展, 分层部位距板卷边部约 520 mm, 分层部位长度约 200 mm。将分层部位用火焰切割枪割下, 宏观形貌见图 1。

Table 1. Chemical composition of J2 steel strip (%)

表 1. J2 钢带化学成分(%)

钢种	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N
J2	0.126	0.43	9.59	0.045	0.008	13.56	1.20	0.29	0.163

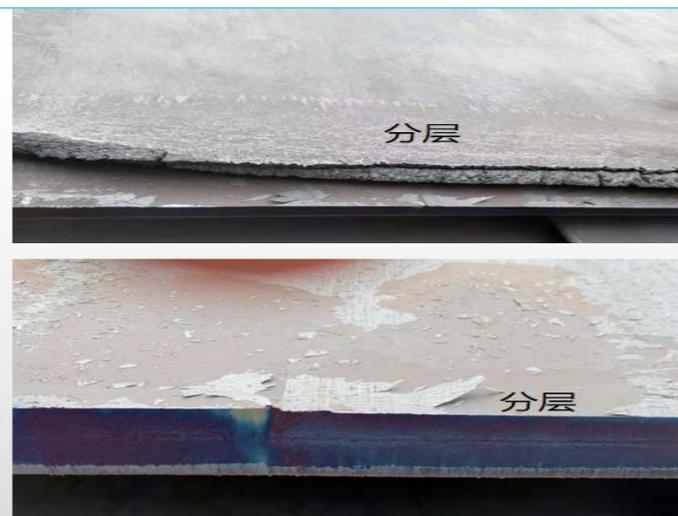


Figure 1. Hot-rolled layered samples
图 1. 热轧分层样品

2.2. 检测方法

本报告采用的检测方法见表 2。

Table 2. Analysis content and detection methods
表 2. 分析内容及检测方法

分析内容	检测方法	检测仪器
宏观形貌观察	肉眼	
金相	GB/T 13298-2015, GB/T 6394-2017	德国蔡司 AXI0
微观形貌观察	JB/T 6842-1993 《扫描电子显微镜试验方法》	德国蔡司 EVO-MA15

3. 实验过程及结果

J2 热轧时头尾分层情况有时非常严重, 大多数分层缺陷出现在钢板厚度方向 1/2 处(端面中部), 有时在精轧过程中还会听到钢板“放炮”的声音。对铸坯厚度方向 1/2 处进行取样分析, 如图 2 所示。

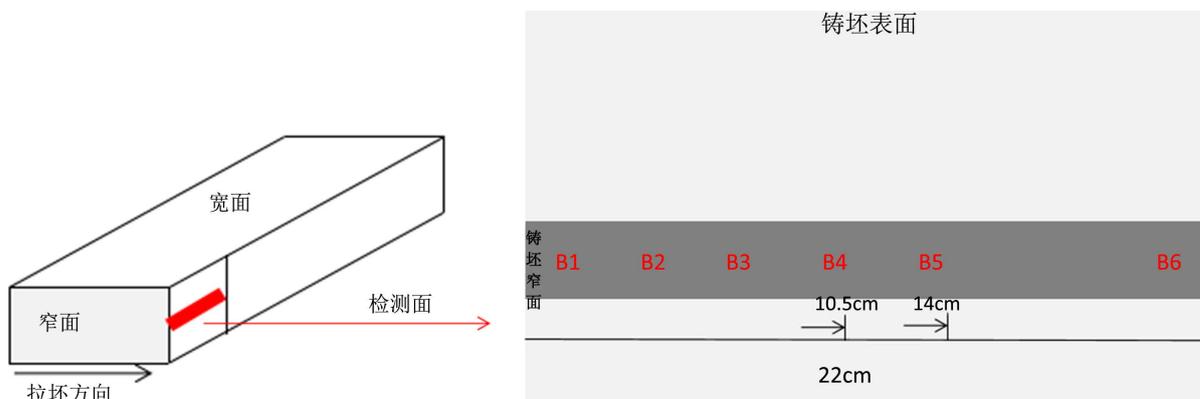


Figure 2. Sampling locations of continuous casting slab
图 2. 连铸坯取样位置

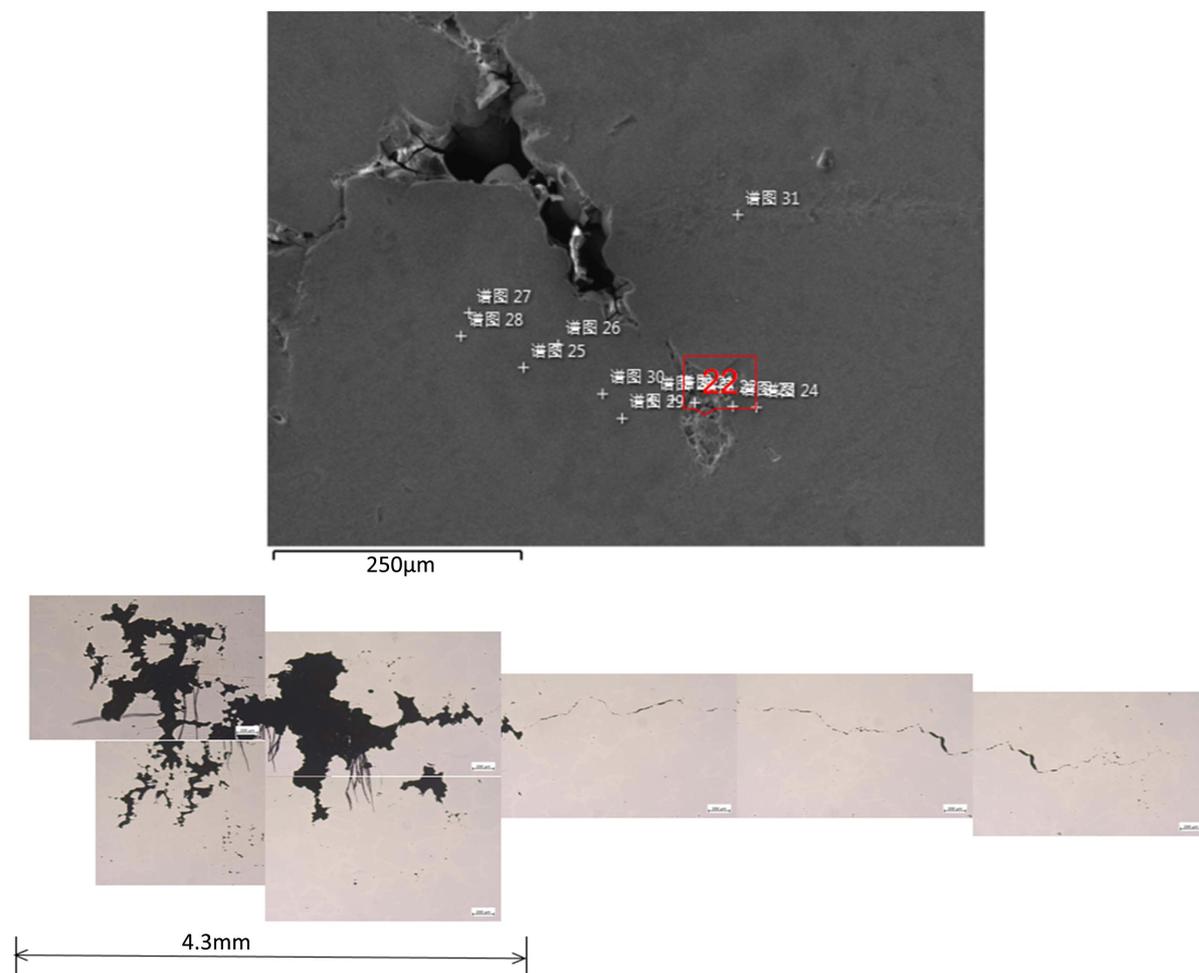


Figure 3. Inclusions and looseness at hot-rolled layers
图 3. 热轧分层处的夹杂物和疏松

在图 2 中 B4、B5 处缩孔价位严重，经检测发现缩孔处氧含量较高，如图 3 所示，存在很多非金属夹杂物，夹杂物的成分如表 3 所示。

Table 3. Content of Fe, Cr, Mn and O at hot-rolled layers (%)

表 3. 热轧分层处 Fe、Cr、Mn、O 元素含量(%)

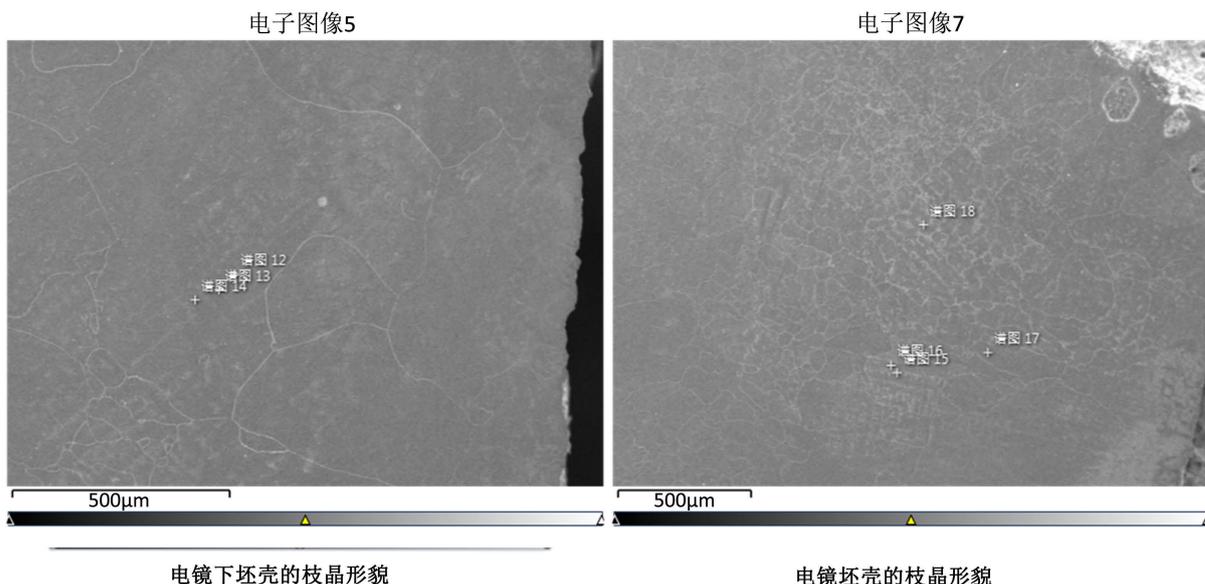
位置	Fe	Cr	Mn	O
谱图 22	53.5	15.1	10.2	16.5
谱图 24	70.3	14.1	13.1	/
谱图 25	72.7	13.7	7.8	5.9
谱图 26	74.8	14	10.7	/
谱图 27	68.8	13.1	9.5	8.3
谱图 29	67.6	14.2	10.3	8.0
谱图 31	72.6	14.2	9.6	3.6

由图 3 出现的现象和表 3 中的数据推断，在板坯切割的短时间内，缩孔处表面已氧化，其周围也存在

在渗氧现象。说明分层发生在连铸坯凝固的末端，由于此时 Cr、Mn、O 等元素的偏析，形成了一层与基体成分完全不一样的特殊层，该层的特点如下：

- 1) Cr、Mn、O 等元素明显偏析，有大量的夹杂物；
- 2) 该层的密度明显低于基体，切割后在加热炉内容易氧化，进一步形成夹杂物，导致分层更加恶化。

研究者都把分层的主要原因归结为 Mn 在凝固过程中出现较大的偏析，这也可以从图 4 中明显看出。



元素	枝晶主干 (δ 铁素体)	枝晶间隙 (奥氏体)	偏析量
Mn%	9.3	11.5	2.2

Figure 4. Mn segregation during the condensation process

图 4. Mn 在冷凝过程的偏析

图 4 中 J2 铸坯组织由网状或者树枝状铁素体以及亮块状奥氏体组成。具体的凝固过程为：

首先 J2 钢水液相中先析出 δ 铁素体，由于铸坯壳层的过冷度较大，铁素体以发达的树枝晶向液相中生长。凝固过程中发生了溶质再分配，铁素体生长过程中消耗大量的铁素体形成元素 Cr、Si 等，而使奥氏体形成元素如 Ni、Mn、Cu 等排挤到液相中，浓度不断增加。到凝固终了阶段，剩余液相中的铁素体形成元素贫乏，而奥氏体形成元素富集，导致铁素体生长受到抑制，剩余液相直接冷却得到奥氏体[2]。实际检测到此时的 Mn 平均偏差达到 20%。也就是说 J2 钢种在高锰的条件下，凝固末端更加恶化了锰的偏析，也是造成分层的主要原因。

根据相关文献[6] [7]报道，他们针对中厚板的分层问题，采用提高扇形段 5~7 段的水量，加快凝固末端的冷却，铸坯的表面温度明显降低，说明凝固末端冷却加快，可以减缓敏感元素 Mn 的偏析同时减少或消除了铸坯缺陷，从而改善了中厚板的分层问题。连铸环节在现有工艺基础上降低钢水浇注时的过热度(建议值 1460℃~1470℃)，中间包过热度控制在 35℃ 以下；中厚板拉速控制在 0.9~1.0 m/min；配水方案采用西重所推荐方案，加大凝固末端配水，如表 4 所示。

Table 4. Continuous casting water distribution used in the conditions of Xizhong
表 4. 西重所推荐采用的连铸配水方案

名称	冷却区号	介质	拉速(m/min)		
			0.9	1.0	1.1
足辊宽面	I 区 L、F	水	66	73	81
足辊窄面	I 区两侧	水	41	46	51
弯曲段上部	II 区 L、F	气水	231	261	291
弯曲段中部	III 区 L、F	气水	144	163	182
弯曲段下部	IV 区 L、F	气水	147	168	190
seg1 内弧	V 区 L	气水	75	87	100
seg1 外弧	V 区 F	气水	80	94	108
seg2-3 内弧	VI 区 L	气水	72	89	106
seg2-3 外弧	I 区 F	气水	86	106	127
seg4-6 内弧	VII 区 L	气水	37	52	69
seg4-6 外弧	VII 区 F	气水	49	69	92
seg7-8 内弧	VIII 区 L	气水	32	32	32
seg7-8 外弧	VIII 区 F	气水	44	44	44
seg9-11 内弧	IX 区 L	气水	38	38	38
seg9-11 外弧	IX 区 F	气水	50	50	50
总水量(l/min)			1192	1373	1561

前段将目标温度适度下调,以保证铸坯快速冷却,减小鼓肚的产生。在矫直段的目标温度适度提高,也可以避免产生过大的拉坯阻力,使铸坯在避开脆性区后尽量保持一定的温度直到出坯,使温度梯度平稳下降,减少热应力的产生。后续热轧中厚板未反馈有明显分层的现象。

4. 具体改进措施和工艺实施方案

根据以上对中厚板分层的机理分析,制订如下几点工艺的改进措施:

1) 连铸环节在现有工艺基础上降低钢水浇注时的过热度(建议值 1460℃~1470℃),中间包过热度控制在 35℃以下;中厚板拉速控制在 0.9~1.0 m/min;配水方案应加大凝固末端配水。

2) 优化当前喷嘴,减少喷嘴喷水异常率($\leq 3\%$),使连铸机的二次冷却更加高效、稳定,避免出现造成中厚板分层的缺陷,如三角区裂纹、中间裂纹、中心裂纹、成分偏析、柱状晶发达等一系列内部缺陷时不能用作中厚板。

3) 水质(浊度 ≤ 10),减少喷嘴喷水异常率;水量总体增大,特别是扇形段 5~7 段进行强冷,弥补液芯的偏析。

4) 提高连铸设备精度,包括加垫片、调辊缝。

参考文献

- [1] 任建斌,杨超,董涛,范方,郭文静. 节镍奥氏体不锈钢冷轧延迟开裂行为研究[C]//第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集 II. 北京:冶金工业出版社,2015: 217-219.
- [2] 王巍,张壮,张力萍,段才锋,尚广浩,张家泉. 节镍型奥氏体不锈钢轧板表面脱皮缺陷特征与成因[J]. 中国冶

金, 2022, 32(6): 139-154.

- [3] 王耘涛, 布茂东. 低镍和无镍奥氏体不锈钢的研究现状及进展[J]. 金属热处理, 2013, 38(1): 15-20.
- [4] 赵喜伟, 张秀收, 肖春江, 张永. 低合金中厚板 Q345E 分层缺陷的原因分析[J]. 河南冶金, 2019, 27(5): 23-25.
- [5] 申鹏, 颜海涛, 李杰, 周勇, 李亚峰, 江桂芝, 王士瑞. 0Cr18Ni9 不锈钢热轧卷分层原因分析[J]. 理化检验(物理分册), 2010, 46(9): 608-610.
- [6] 刘志远, 曹晓明, 王重君, 刘洪波, 韩传基, 高仲. 唐钢中厚板三维二冷配水系统开发与实践[C]//2014 年低成本炼钢连铸共性技术研讨会. 北京: 冶金工业出版社, 2014: 146-153.
- [7] 王斌. 中厚钢板分层缺陷的力学性能影响分析[J]. 物理测试, 2015, 33(4): 46-48.