

热轧低碳钢冷轧边裂原因分析及改善措施

张铭志, 张晓蒙

唐山瑞丰钢铁(集团)有限公司, 河北 唐山

收稿日期: 2022年7月21日; 录用日期: 2022年8月25日; 发布日期: 2022年8月31日

摘要

本文对Q195冷轧基料用途卷板经冷轧后存在边裂现象进行了分析。经过现场调查及金相检测,认为冷轧后边裂主要原因为热轧原带边部存在表层粗晶及全厚度混晶,混晶组织在后续冷轧中与基体组织的塑性存在差异,容易在变形过程中出现开裂现象。通过减少机架间冷却水及防剥落水使用数量,可控制边部粗晶范围及全厚度混晶范围。

关键词

冷轧, 边裂, 表层粗晶, 全厚度混晶

Reason Analysis and Improvement Measures for Edge Crack of Hot-Rolled Low Carbon Steel after Cold Rolling

Mingzhi Zhang, Xiaomeng Zhang

Tangshan Ruifeng Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Tangshan Hebei

Received: Jul. 21st, 2022; accepted: Aug. 25th, 2022; published: Aug. 31st, 2022

Abstract

This article examined severe edge crack strips of Q195 steel. By means of field investigation and metallographic examination, it is considered that the main reason for edge cracks after cold rolling is the existence of surface coarse grains and full-thickness mixed grains at the edge of the hot rolled original strip. The plasticity of the mixed grain structure is different from that of the matrix

structure in the subsequent cold rolling, which is easy to crack in the deformation process. By reducing the amount of cooling water and anti-stripping water used between racks, the coarse crystal range at the edge and the full-thickness mixed crystal range can be controlled.

Keywords

Cold Rolling, Edge Crack, Surface Coarse Grains, Full-Thickness Mixed Grains

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

边裂缺陷指板带边缘沿长度方向的单侧或两侧出现破裂呈裂口状[1]，包括热卷原料边部开裂，或者经冷轧轧制后边裂，两者均对下游客户使用效果产生不良影响，包括损伤辊面、影响成材率和使用性能等，严重时甚至断带。冷轧边裂缺陷是严重制约卷板中冷轧基料用途产品的重要因素，降低因冷轧边裂导致的降级率迫在眉睫。

前人已对板带冷轧后边裂进行了研究。王健[2]等人通过对 SPHC 冷轧板带出现边裂的研究发现，板带边部晶粒较粗大，且存在三次渗碳体是造成边裂的主要原因。宋进英[3]等人研究了夹杂物引起的边裂，钢板边部脱碳严重引起的边裂，横向冷却不均匀引起的边裂和聚集的气泡引起的边裂。李波涛[4]研究了 SPHC 钢板卷边裂原因，分析认为铸坯的加热不当造成铸坯过热、过烧，使边部晶粒异常长大，并且局部晶界产生缩孔是导致边裂的主要原因。

近期，下游客户反馈 Q195 冷轧基料用途卷板，经冷轧后存在边裂现象。本文对冷轧缺陷边裂的产生原因进行了分析，通过开展精轧工序的优化试验，在一定程度上减少了冷轧后出现边裂的现象。

2. 冷轧边裂缺陷基本情况

经统计，该类冷轧后边裂缺陷出现在 Q195，坯型主要集中在 200 * 940 mm 和 200 * 1020 mm，客户采取裁边后(裁边宽度为 7~10 mm 左右)进行冷轧加工工艺，采用单机架生产模式由原料厚度 3.0 mm 经 6 道次轧制到 0.18~0.39 mm，变形比为 89%~94%。严重时客户降级率可达到 7%，严重影响客户使用效果。产品生产的工艺流程为炼钢→连铸→加热→粗轧→精轧(7 连轧)→层冷→卷取。

化学成分见表 1 所示，成分控制符合判定标准。冷轧边裂缺陷分布的一般规律为边裂分布位置在冷轧成品卷芯 60 mm，单侧出现占比 65%，且操作侧频率高于传动侧，少量双侧均会出现，裂口深度 1.5~2 mm，严重时达到 3 mm。结合客户生产工艺，对应热轧卷板位置为尾部 40~50 m 范围内。具体形貌如图 1 所示。

Table 1. Chemical composition (wt%)

表 1. 化学成分(wt%)

钢种	类别	C	Mn	S	P	Si
Q195	判定标准	≤0.09	≤0.40	≤0.030	≤0.030	≤0.09
	实际控制	0.07	0.27	0.018	0.017	0.06



Figure 1. The photo of edge crack
图 1. 边裂缺陷照片

3. 实验部分

3.1. 研究方法

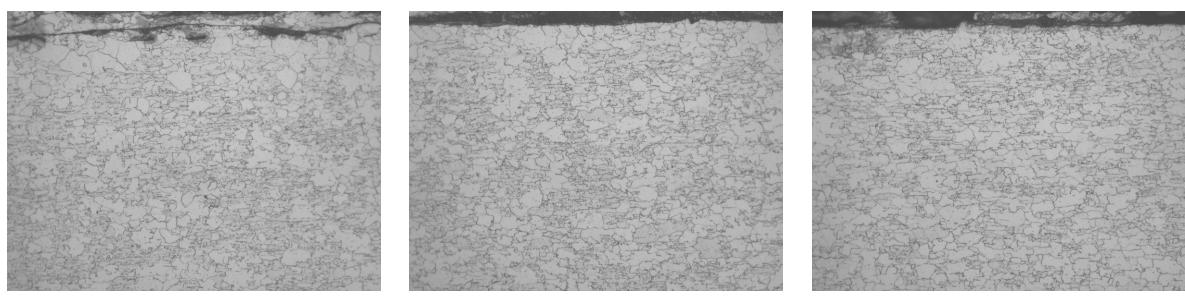
采用型号 AbrasiMet250 金相切割机截取距离钢带边部 90 mm 范围内横截面试样, 每个位置尺寸为 $30 * 8$ mm, 取样位置如图 2 所示。依次使用 400 目 \rightarrow 1200 目 \rightarrow 2000 目砂纸研磨后, 使用 $2.5 \mu\text{m}$ 抛光剂进行粗抛, 再以 $1.0 \mu\text{m}$ 抛光剂进行精抛, 最终使用清水进行精抛, 去除表面残留物质。金相组织采用 4% 硝酸酒精腐蚀, 腐蚀时间 10 s, 最终采用 Axio Imager. A1m 金相显微镜观察金相组织。



Figure 2. Schematic diagram of sampling location
图 2. 取样位置示意图

3.2. 金相检测分析

如图 3 和图 4 所示, 操作侧距离边部 15 mm 范围内为全厚度混晶组织, 晶粒均匀性较差; 传动侧距离边部 10 mm 范围内为全厚度混晶组织, 晶粒均匀性较差。



(a) 左, 距边部 5 mm, 200 \times (b) 中, 距边部 10 mm, 200 \times (c) 右, 距边部 15 mm, 200 \times

Figure 3. Metallographic structure of operation side
图 3. 操作侧边部金相组织

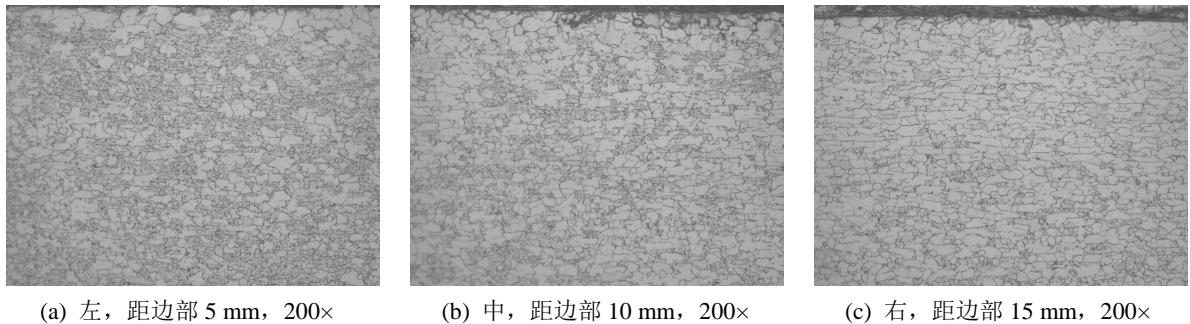


Figure 4. Metallographic structure of transmission side
图 4. 传动侧边部金相组织

3.3. 边部粗晶及混晶形成原因

精轧过程冷却水种类主要包括机架间冷却水、防剥落水、逆喷水等, 通过现场调查发现, Q195 系列冷轧基料生产控制模式中机架间水投入自动模式(一般数量为 F1~F3), 且 F1 和 F2 机架间冷却水量较大, 边部接触水量较多, 冷却速度较快。钢带尾部 F1 抛钢后, 防剥落水未及时关闭, 防剥落水冲浇钢带尾部, 导致钢带尾部冷却速度较快。

高温带钢边部位置属于二维传热, 边部热损失较主体位置快, 因而导致带钢边部及近边部表层的相变先于中间部分发生, 带钢在两相区($\alpha + \gamma$)终轧时, 奥氏体和已转变的部分铁素体会同时变形。变形后的奥氏体在随后的冷却转变中, 由于再结晶和相变使得变形潜能得到消除或部分消除; 而变形后的铁素体, 由于其变形潜能无法通过相变或再结晶消除而留在组织中。这些变形潜能以畸变能或亚结构等形式存在于铁素体之中, 相当于带钢表面(带钢表面由于温度较低而处于铁素体状态)留有一定的冷加工硬化, 在后续冷却的过程中, 容易发生晶粒粗化及边部混晶现象。经理论数据查询, Q195 低碳钢两相区温度为 800°C~875°C, 对应现有终轧温度 880°C, 结合现场实际温度测量, F1~F3 精轧阶段温降对边部粗晶形成有较大影响。

4. 改善措施

4.1. 减少机架间冷却水使用试验

试验钢种: Q195, 试验规格: 3.0 * 927 mm, 通过调整轧制速度及精轧入口温度 $\leq 1040^{\circ}\text{C}$, 终轧温度设定 900°C, 轧制过程投入 F1 机架间冷却水, 防剥落水 F1~F3, 逆喷水 F6、F7, 同时机架间冷却水边部水嘴进行封堵, 封堵数量为 8 个。

金相检测结果如表 2 所示: 钢带尾部 6 m 取样位置边部粗晶范围 ≤ 50 mm, 操作侧全厚度方向混晶 16 mm; 传动侧无全厚度方向混晶, 边部粗晶范围控制较前期有明显改善; 钢带尾部 24 m 取样位置边部粗晶范围 < 25 mm, 操作侧及传动侧均无全厚度方向混晶现象。

Table 2. The metallographic structure of the edges of reducing the use of cooling water between racks
表 2. 减少机架间冷却水使用试验方案边部金相组织检测情况

取样位置	边部组织情况
对比试样	操作侧上表面粗晶 76 mm, 下表面粗晶 54 mm; 传动侧上表面粗晶 48 mm, 下表面粗晶 38 mm; 操作侧全厚度方向混晶 19 mm; 传动侧全厚度方向混晶 4 mm。
6 m	操作侧上表面粗晶 50 mm, 下表面粗晶 40 mm; 传动侧上表面粗晶 39 mm, 下表面粗晶 32 mm; 操作侧全厚度方向混晶 16 mm; 传动侧无全厚度方向混晶。

Continued

24 m 操作侧上表面粗晶 24 mm, 下表面粗晶 20 mm; 传动侧上表面粗晶 22 mm, 下表面粗晶 21 mm;
操作侧无全厚度方向混晶; 传动侧无全厚度方向混晶。

4.2. 关闭防剥落水使用试验

试验钢种: Q195, 试验规格: 3.0 * 1010 mm, 针对 F1 抛钢后, 防剥落水冲浇尾部现象, 进行关闭 F1~F3 防剥落水试验, 与开启 F1~F3 防剥落水进行比对。

金相检测结果如表 3 所示: 钢带尾部 6 m 取样位置边部粗晶范围 ≤ 30 mm, 粗晶范围进一步缩小, 操作侧及传动侧均无全厚度方向混晶现象。

Table 3. Metallographic structure of closing the anti stripping water

表 3. 关闭防剥落水边部组织检测情况

取样位置	边部粗晶情况	备注
对比试样	操作侧上表面粗晶 27 mm, 下表面粗晶 30 mm; 传动侧上表面粗晶 15 mm, 下表面粗晶 13 mm; 操作侧无全厚度方向混晶; 传动侧无全厚度方向混晶。	试验卷
6 m	操作侧上表面粗晶 52 mm, 下表面粗晶 40 mm; 传动侧上表面粗晶 28 mm, 下表面粗晶 25 mm; 操作侧全厚度方向混晶 18 mm; 传动侧无全厚度方向混晶。	开启 F1~F3 防剥落水

5. 结语

以上试验结果表明, 通过减少机架间冷却水使用, 钢带尾部 6 m 处边部粗晶范围可缩减至 50 mm 范围内, 全厚度混晶范围 ≤ 16 mm, 钢带尾部 24 m 处全厚度混晶现象。在此基础上, 关闭 F1~F3 防剥落水试验, 钢带尾部 6 m 处边部粗晶范围可缩减至 30 mm 范围内, 无全厚度混晶现象, 有效改善冷轧后边裂缺陷。

以上两种方案试验卷, 经冷轧试用后, 冷轧边裂现象得到明显改善, 0.20~0.25 mm 厚度: 改善前降级边缘(1~1.5 mm)占比 15.38%, 达到降级标准占比 7.69%; 改善后降级边缘占比 7.59%, 较之前下降 7.79%, 达降级标准 1.27%, 较之前下降 6.42%。

参考文献

- [1] 刘志远. 板材边裂成因分析及控制[J]. 河北冶金, 2012(10): 58-60.
- [2] 王健, 田秀刚, 房锦超, 王卫东. SPHC 冷轧板带边裂原因分析[J]. 河北冶金, 2011(10): 45-47+38.
- [3] 宋进英, 董双鹏, 陈业雄, 张秉青, 陈连生, 田亚强. 钢板边裂缺陷原因分析及整改措施研究[J]. 钢铁钒钛, 2012, 33(2): 87-92.
- [4] 李波涛. SPHC 钢板卷边裂原因分析[J]. 山东冶金, 2010, 32(4): 31-33.