

# 大板坯角部裂纹缺陷产生原因及预防

周文涛\*

河钢集团邯钢公司新区炼钢厂，邯郸，056015

## Cause and prevention of corner crack of large slab

Zhou Wentao

Handan Iron and Steel Co., Ltd. Corporation, Hebei steel and iron group

### 1. 前言

近年来随着炼钢厂连铸坯热装热送比例的提高，对连铸坯的质量提出了更高要求，生产中频繁发生铸坯表面裂纹严重制约着热装热送产量的提升，特别是中碳包晶钢微合金钢更为突出，因为中碳包晶钢化学成分本身处于包晶范围内，裂纹敏感性强，加之钢中含有 Nb、V、Ti 等微合金元素，容易形成细小弥散的碳化物和碳氮化物，在奥氏体晶界或晶界薄膜状铁素体上析出，导致钢的高温热塑性变差，产生表面裂纹，特别是小断面的直角连铸坯发生率更高，因此通过对连铸坯角部裂纹和轧制后钢板的边部裂纹缺陷进行取样分析，结合生产工艺制定相应的措施非常有必要。

本厂某次生产时突发钢板裂纹缺陷 527.5 吨，裂纹率达到了 0.44%。其中边裂 313.6 吨，占裂纹总量的 59.4%；纵裂 135 吨，占裂纹总量的 25.6%；表面裂纹和角部横裂纹 13.6 吨，占裂纹总量的 2.6%；开裂和其它裂纹 65.1 吨，占裂纹总量的 12.3%。通过对钢板和对应的连铸坯裂纹缺陷进行取样，借助金相显微镜、扫描电镜等研究手段分析，针对影响因素制订相关防治措施，有效预防了铸坯角部裂纹缺陷的发生。



图 1 不同裂纹缺陷分布

### 2. 分析方法

#### 2.1. 钢板边裂和角横裂形貌及特征

对生产 Q355B 钢板边部裂纹缺陷进行生产跟踪和取样，缺陷形貌见下图 2，缺陷呈现线状或云团状，距离钢板边部 15-30mm，严重时可达 45mm。对其连铸坯进行酸洗检验发现，连铸坯角部存在如下图 3 所示的角部裂纹缺陷，由图，裂纹被氧化铁皮覆盖无法观察到，但酸煮或扫边清理后，肉眼能够明显观测到，裂纹沿振痕呈线状分布，其位置、大小和形态各异，长度为 5-10mm 不等，深度为 1-3mm，主要分布于连铸坯外弧角部和靠近窄面附近。

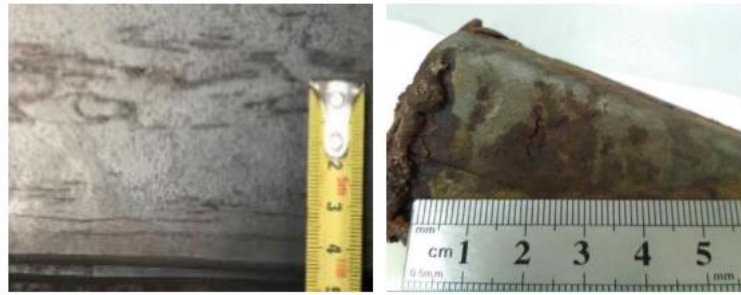


图 2 钢板边部裂纹宏观形貌

图 3 铸坯角部裂纹宏观形貌

## 2.2. 金相检验

通过对如图 3 所示的铸坯角样进行切割，制取金相样，采用金相显微镜进行观测，结果见下图 4 可知，裂纹角样金相组织缺陷主要以晶间裂纹为主，裂纹两侧存在脱碳，初步推断裂纹发生于连铸二冷初期<sup>[1]</sup>，后在二冷高温环境下发生脱碳导致。

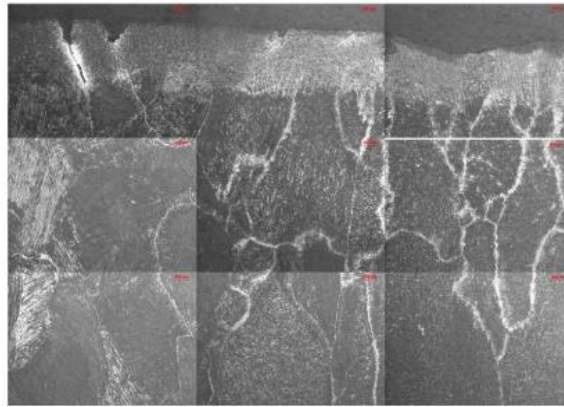


图 4 裂纹金相组织图

## 2.3 扫描电镜能谱分析

通过对图 4 所示裂纹进行扫描电镜能谱分析，结果见下图 5 所示可知，裂纹内部基本为 Si、Mn、Fe、O 等高温氧化物，无异常元素。

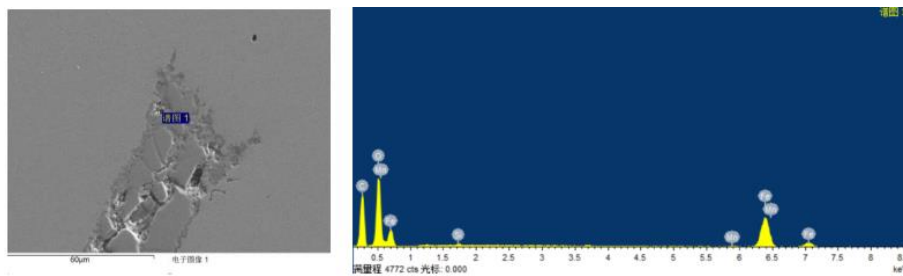


图 5 扫描电镜成分分析

## 2.4 钢水化学成分

Q345 系列包晶钢钢水化学成分标准要求见表 1。

表 1 Q345 系列钢水化学成分标准 (%)

钢种	项目	C	Si	Mn	P	S	Als	V
Q345 系列	标准	≤0.18	≤0.50	≤1.70	≤0.030	≤0.025	≥0.015	≤0.15
	内控	0.14~0.17	0.15~0.40	1.38~1.58	≤0.025	≤0.020	≥0.015	0.030~0.045

### 3. 原因分析

在连铸生产过程中，铸坯在结晶器振痕波谷的位置填充有保护渣<sup>[2]</sup>。此位置冷却较弱，凝固组织晶粒度粗大，抗裂纹能力差，坯壳强度低，而且又是化学成分中微合金元素容易析出位置，对钢的高温脆性区影响很大，很容易受力产生微裂纹。并且在铸坯出结晶器后，由于二次冷却不均匀产生的热应力、辊列不对中产生的外力和相变应力等，进一步促使裂纹发生与扩展。同时，铸坯经过矫直段时，铸坯内弧一侧收到拉伸应力，振痕的波谷处应力比较集中，此时受到的力主要为矫直段的矫直力，外加 Al、V 等元素的碳氮化物受铸坯表面回温析出影响，增加了钢的脆性，受力极易产生裂纹。裂纹在二冷区高温回温环境下脱碳，受力扩展，所以钢水的化学成分、二次冷却工艺和扇形段辊列精度都是影响裂纹形成的关键因素。

### 4. 铸坯角部裂纹预防措施

#### 4.1. 钢水成分优化

钢水成分对铸坯角部裂纹产生有着重要的影响，因此尽可能将钢水中[Al]含量控制在标准范围内的中下线。同时，严禁钢水增氮，钢水中的 N 尽可能控制在 0.0055% 以下，减轻铸坯凝固过程中 AlN、V(CN) 等第二相粒子在奥氏体晶界的沉淀析出<sup>[3]</sup>。并将部分钢水碳含量进行优化，尽可能避开包晶区。

#### 4.2. 结晶器和二次冷却区冷却工艺优化

通过对结晶器窄侧、足辊和连铸二冷制度优化，使二次冷却区铸坯角部温度尽可能保持在较高的温度区间，采用高温矫直，使矫直段铸坯边角部温度尽可能避开钢的第三脆性温度区间，减少碳化物、氮化物和碳氮化物的析出影响，防止矫直过程中铸坯角部裂纹的发生和扩展。主要通过堵塞连铸机二次冷却区弯曲段后二冷扇形段边部冷却喷嘴，并通过定期检查喷嘴堵塞和开发连铸二冷区高压空气杂质高效过滤技术，实现杂质的有效过滤，避免了气雾冷却喷嘴的堵塞，防止铸坯表面温度不均匀和角部温度过低现象发生。

#### 4.3. 提高连铸机辊缝精度

提高设备对弧精度，保证结晶器和二冷弯曲段以及各扇形段之间的辊缝精度，保证精度在 $\pm 0.5\text{mm}$  以内。并开发基于不同钢种收缩特性的静态辊缝，保证静态辊缝合理性，防止连铸坯在二次冷却区运行过程中受到外界附加的机械应力，产生铸坯角部微裂纹或本可以后期焊合的裂纹扩展。

### 5. 结语

(1) 钢水凝固过程中铸坯角部裂纹缺陷主要产生于铸坯角部振痕波谷应力比较集中位置，主要以晶间裂纹为主；

(2) 铸坯角部裂纹一部分形成于连铸机二冷初期，由于二次冷却工艺或辊缝精度控制不当等原因造成，后期在二冷高温环境下发生组织脱碳和长大，并发生扩展所致。另一种形成于二冷后期，在矫直段受力所致；

(3) 通过钢水化学成分优化、连铸冷却工艺优化、辊缝精度控制及提高矫直段前铸坯边角部温度等措施，可以有效预防铸坯角部裂纹缺陷产生。

### 参考文献

- [1] 林建农.微合金化钢连铸坯高温塑性研究[J].技术讨论, 2006, 12(5) 21-23.
- [2] 巩彦坤.包晶钢连铸坯角部裂纹缺陷产生原因分析与预防[J].河南冶金, 2019, 4(2) 9-13.
- [3] 周剑丰.中碳钢连铸坯角部裂纹缺陷研究与控制[J].涟钢科技与管理, 2014, 1(2) 11-13.