YQ450NQR1 乙字钢开裂原因分析*[1]

谭晓东，涛 雅，卜向东，刘 莉

（内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010）

摘 要： YQ450NQR1 乙字钢在轧制过程中出现开裂，导致判废。通过金相、夹杂物及扫描电镜检测分析，找出开裂原因并提出合理的控制措施。

关键词： YQ450NQR1 乙字钢；开裂；原因分析

中图分类号： TG335.4+2 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2019)03－0045－05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.03.014

Cause Analysis for Cracking of YQ450NQR1 Z－type Steel

Tan Xiao－dong, Tao Ya, Bo Xiang－dong, Liu Li

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The YQ450NQR1 Z－type steel is cracking during the rolling process so that it is determined to be rejected. Its causes are found out and reasonable control measures are put forward by metallographic examination, detection analysis of inclusions and scanning electron microscope.

Key words: YQ450NQR1 Z－type steel; cracking; cause analysis

YQ450NQR1 高强度耐大气腐蚀乙字钢，作为铁道上一种重要用途的产品，主要用来制作列车车厢关键部件的中梁，是列车重载的重要保证，具有高强度、耐腐蚀等特点[1－2]，轧钢厂出现了一批次YQ450NQR1 乙字钢开裂，为了找到开裂原因，本文对开裂的 YQ450NQR1 乙字钢进行了取样及检验分析，找出造成 YQ450NQR1 乙字钢开裂的主要因素。

1 开裂原因分析

1.1 缺陷宏观形貌

通过观察出现开裂 YQ450NQR1 乙字钢，缺陷位于 YQ450NQR1 乙字钢短腿内侧和长腿中间的部位上，均为纵向开裂，如图 1 所示。

1.2 取样

为了更好地分析开裂原因，有针对性地选取 3 支缺陷明显的 YQ450NQR1 乙字钢，裂纹缺陷位于 YQ450NQR1 乙字钢的短腿内侧和长腿中间，分别编号为 1#、2#、3#。在裂纹及其附近取样，进行化学成分、夹杂、金相检验分析。

1.3 检验分析

1.3.1 金相检验

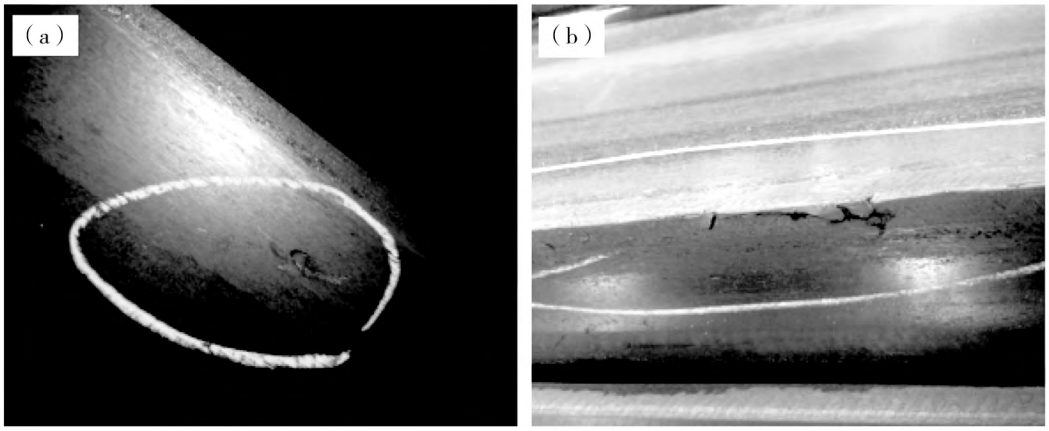
1#试样取自 310 乙字钢短腿内侧，将其进行金相检验。将抛光后的试样在显微镜下观察，发现一条主裂纹，与表面形成大约 30°的角度，裂纹长度达到 1 mm，深度达到 0.35 mm，在主裂纹旁边支出一条细小的裂纹，如图 2 所示。

2#试样取自 310 乙字钢短腿内侧，将其进行金相检验。将抛光后的试样在显微镜下观察，发现一

* 收稿日期：2019－01－11

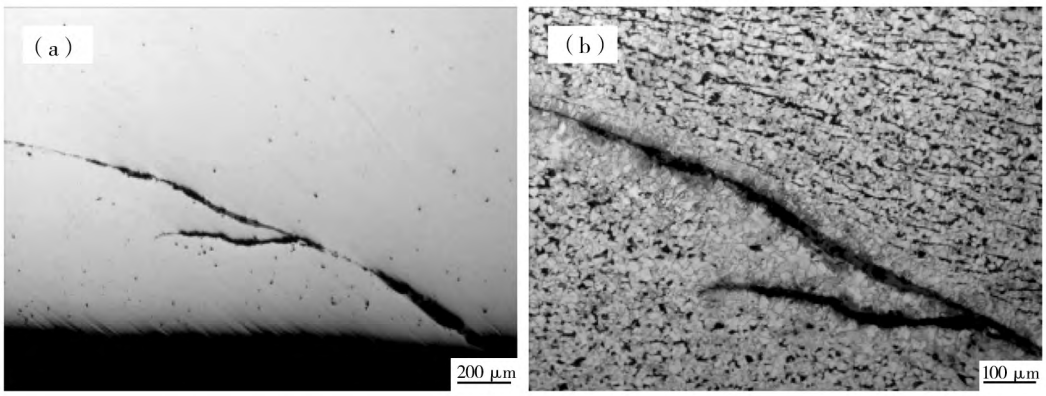
作者简介：谭晓东(1984－)，男，内蒙古丰镇市人，硕士，工程师，现从事中试实验工作。

条粗裂纹，与表面形成大约60°的角度，裂纹长度达到0.6 mm，深度达到0.35 mm，如图3所示。



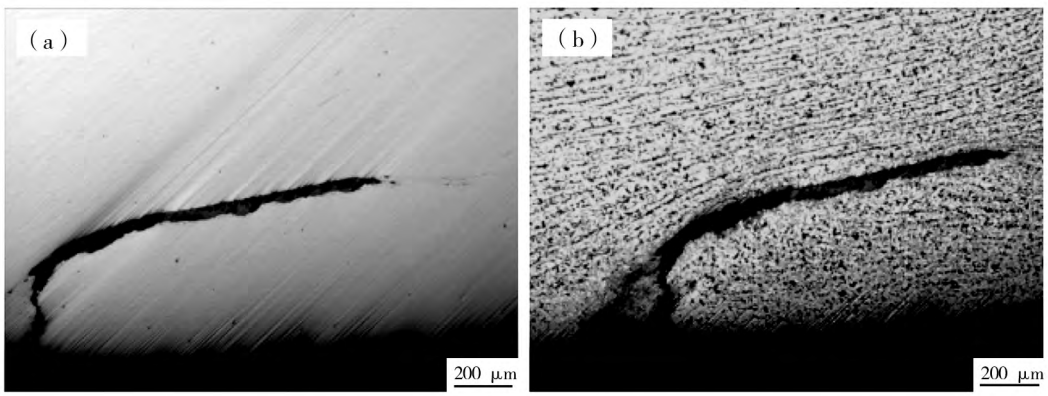
(a) 缺陷形貌1　　(b) 缺陷形貌2

图1　缺陷宏观形貌



(a) 抛光后的形貌　　(b) 4%硝酸酒精腐蚀后的组织形貌

图2　1#试样裂纹形貌及组织

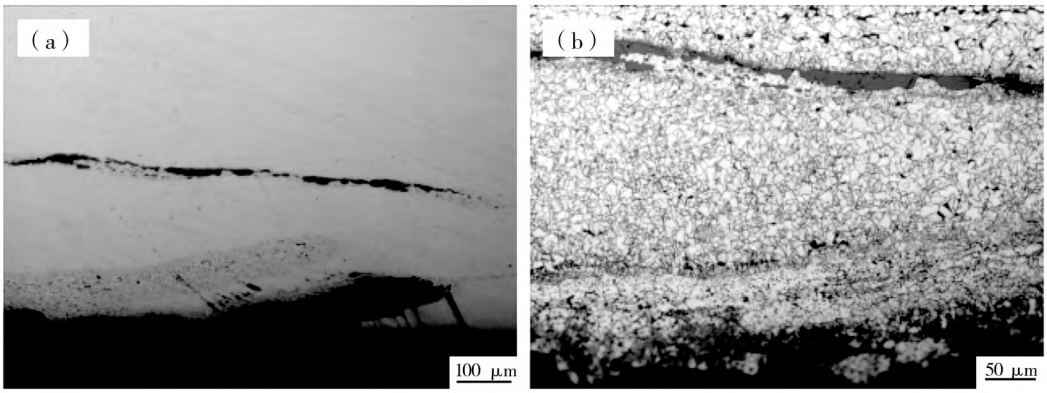


(a) 抛光后的形貌　　(b) 4%硝酸酒精腐蚀后的组织形貌

图3　2#试样裂纹形貌及组织

3#试样取自 310 乙字钢长腿中间，将其进行金相检验。将抛光后的试样在显微镜下观察，发现条起源于表面的主裂纹，在主裂纹的附近有多条细小的微裂纹。裂纹尾端近似平行于表面，裂纹内部充满了氧化铁，在裂纹周围及前沿存在氧化圆点，如图 4所示。

用 4% 硝酸酒精对 1#、2#、3#试样进行腐蚀后，依据 GB/T 13298—2015 [3] 和 GB/T 224—2008 [4] 进行显微组织、脱碳层检验，组织均为铁素体 + 珠光体，而且裂纹周围均有脱碳现象。



(a) 抛光后的形貌　　(b) 4%硝酸酒精腐蚀后的组织形貌

图 4　3#试样裂纹形貌及组织

1.3.2　夹杂物评级

在缺陷位置取样，依据 GB/T 10561—2005 [5] 进行夹杂物检验，检验结果见表 1。从检验结果来看，缺陷位置的 A、C、D、Ds 类夹杂物级别均为 1 级，但 B 类夹杂物达到 2 级。

表 1　夹杂物级别　　级

编号	A	B	C	D	Ds
2#	1	2	1	1	1

1.3.3　扫面电镜及能谱检测

为了进一步探究裂纹内部及周边的构成，对裂纹内部及周围氧化铁、氧化原点部位进行扫描电镜检测及能谱分析，见图 5。从检测结果来看，氧化原点主要成分为 O 、Si、Mn、Cr、V、Fe，主要构成为氧化铁。

对裂纹周围及基体进行能谱分析比较，主要成分为 Fe、Si，裂纹周围无铜析出，说明不是铜析出引起的裂纹，见图 6。

2　分析和讨论

2.1　结果分析

通过以上检验结果可以看出，裂纹周围及前沿有高温氧化圆点，内部有氧化铁，裂纹周围有明显脱碳现象，由此表明裂纹经过了高温氧化，而且从缺陷的形貌判定钢坯存在裂纹，在轧钢厂加热时与大气串通，脱碳并生成氧化圆点，造成后续在轧制过程中无法轧合，出现开裂。

通过观察 YQ450NQR1 乙字钢开裂的宏观形貌，裂纹位于 YQ450NQR1 乙字钢短腿内侧和长腿中间的部位上，为纵向开裂。再根据金相和扫描电镜检验的检验结果，分析认为连铸坯的皮下裂纹是造成 YQ450NQR1 乙字钢开裂的主要原因。

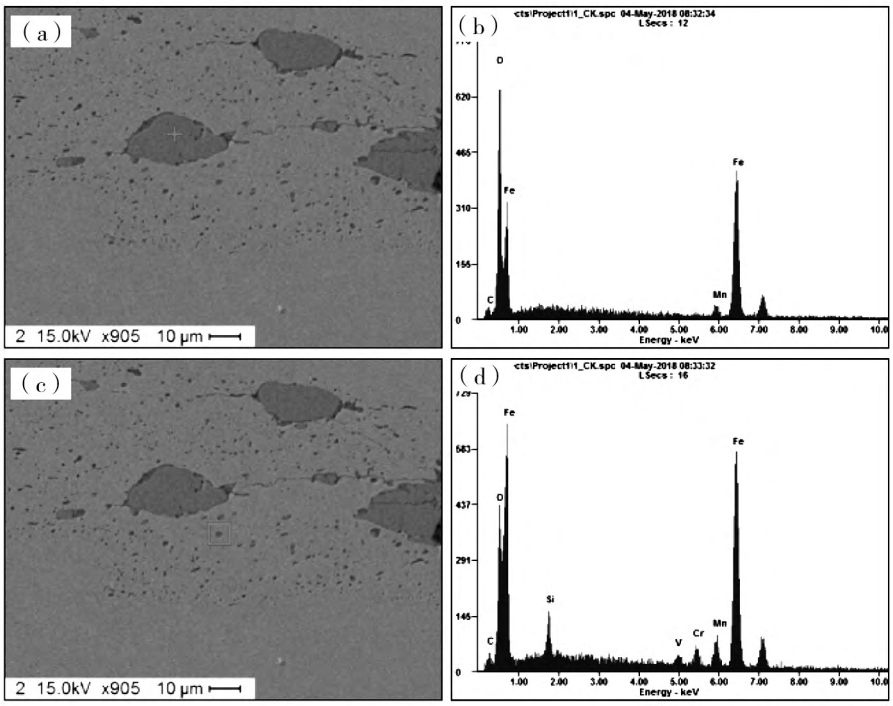
皮下裂纹一般产生于距离连铸坯表面1 ~ 5 mm 处，主要分布在铸坯的侧面。铸坯在加热过程中裂纹经过了高温氧化，裂纹周围有了明显脱碳现象。在随后的轧制过程中，裂纹周围产生应力集中，当裂纹进入轧制前滑区后，轧材表面拉应力使裂纹完全张开，并且使裂纹开口角度比初始裂纹开口角度更大。随着轧制道次的增加，由于前滑区内拉应力继续增大，促使裂纹进一步扩展，无法闭合，留在轧材表面，形成宏观裂纹。

2.2　皮下裂纹产生原因

(1) 铸坯侧面凝固前沿处聚集的大量 Al_2O_3 夹杂物，可能产生皮下裂纹。

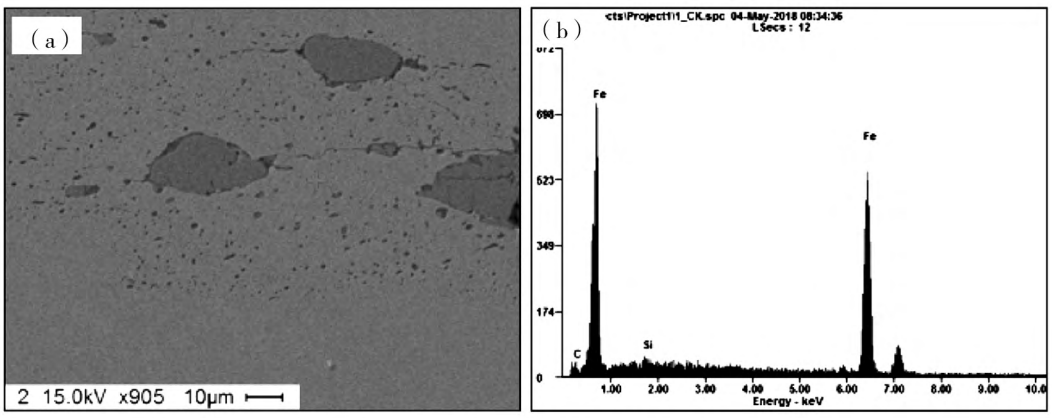
该钢种采用铝脱氧剂，形成的夹杂物为 Al_2O_3 夹杂物。尽管绝大部分夹杂物可以从钢液中排除，

但对于尺寸小于50 μm的夹杂物由于难以上浮去除，仍残留在钢液中。而弧形铸机的一个缺点就是夹杂物容易在内弧侧面弯曲区的固液界面处聚集。所以，在铸坯侧面凝固前沿处聚集的大量的Al_2O_3夹杂物是产生皮下裂纹的原因之一[3]。



（a）扫描区域1；（b）能谱分析1；（c）扫描区域2；（d）能谱分析2

图5 扫描电镜及能谱分析



（a）扫描区域　　（b）能谱分析

图6 裂纹周围及基体分析

(2) 连铸工艺及保护渣选用不当，可能产生皮下裂纹。

YQ450NQR1乙字钢的碳含量控制范围在0.08%～0.14%，属于包晶区内，为裂纹敏感区，如果连铸工艺的拉速波动较大、保护渣选择不满足要求、结晶器及二冷区冷却不均匀，不同段冷却水强度

梯度变大，铸坯表面出现温度回升[7]，铸坯在运动过程中的冷却效果变差，有可能产生皮下裂纹。

钢水在凝固过程中，经历了三个明显的脆性区，当温度处于第一脆性区间时，钢的塑性很低，它受到应力的作用就极易产生裂纹，皮下裂纹距离表面 1 ~ 5 mm。

2.3　控制措施

(1) 加强钢中夹杂物控制。保证软吹时间大于 13 min，静置时间大于 8 min，让夹杂物充分上浮。

(2) 优化连铸工艺，控制铸坯内部质量。全程吹氩保护浇铸，使用耐候钢专用保护渣；铸机全流生产，严格采用恒拉速操作，拉速控制在 0.50 ~ 0.60 m/min，过热度控制在 30 ℃以下。

(3) 增加连铸坯热酸检验频次。开浇第一炉每流取样，其余炉次按 1 ~ 2 ~ 3 顺序，每炉取一个样，进行铸坯内部质量监测。

(4) 轧制工艺优化。对轧辊孔型进行优化，降低每对成品辊的轧出量，控制 YQ450NQR1 乙字钢的表面质量。

3　结论

(1) 连铸坯皮下裂纹在轧制过程中遗传到轧材表面，是造成 YQ450NQR1 乙字钢开裂的主要因素。

(2) 钢水过热度控制在 30 ℃以内，采用恒拉速控制，拉速控制在 0.50 ~ 0.60 m/min 之间，可以有效地控制铸坯皮下裂纹的产生，提高 310 乙字钢铸坯质量。

(3) 适当减小结晶器的冷却水量，合理匹配各冷却段配水比例，可以减少皮下裂纹。

参　考　文　献

[1] 刘莉，李智丽. 310 乙字钢开裂原因分析[J]. 物理测试，2011，(01)：34 - 36.

[2] 王代文. 310 乙字钢轧疤缺陷原因分析及改进措施[J]. 物理测试，2012，30(05)：44 - 47.

[3] GB/T 13298—2015，金属显微组织检验方法[S].

[4] GB/T 224—2008，钢的脱碳层深度测定法[S].

[5] GB/T 10561—2005，钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法[S].

[6] 贾攀. YQ450NQR1 乙字钢拉裂缺陷原因分析[J]. 四川冶金，2012，29(03)：7 - 10.

[7] 郭秋实，文光华，程维玮，等. 齿轮钢矩形坯皮下裂纹的成因[J]. 钢铁研究学报，2012，(03)：30 - 31.

(上接第 44 页)

3　结论

(1) 两种成分体系热轧双相钢 DP590 卷板的力学性能都满足标准要求，强度波动较小，稳定性好，显微组织区别不明显。

(2) C - Si - Mn 成分体系 DP590 屈服强度和抗拉强度的富裕量较小，分别为 26 MPa 和 47 MPa；C - Si - Mn - Nb 成分体系的富裕量适中，分别为 81 MPa 和 103 MPa，且冲击韧性更优，综合力学性能较好，利于批量化稳定生产。

参　考　文　献

[1] 王利. 汽车轻量化与先进的高强度钢板[J]. 宝钢技术，2003，(5)：53 - 59.

[2] 王瑞珍，罗海文，董瀚. 汽车用高强度钢板的最新研究进展[J]. 中国冶金，2006，16(9)：1 - 9.

[3] 康永林. 汽车用双相钢板的开发与研究进展[J]. 汽车工艺与材料，2006，(5)：1 - 5.

[4] 郑芳，郑磊. 成分对经济型热轧双相钢性能的影响研究[J]. 宝钢技术，2007，(2)：30 - 34.

[5] Q/BG 562—2014，热连轧双相钢钢带和钢板[S].