

试验研究

# 钢板表面网状裂纹形貌特征及来源分析

祝桂合, 蒋雪军

(济钢集团有限公司 科技质量部, 山东 济南 250101)

**摘要:**为找出裂纹来源,解决钢板表面裂纹问题,对SM490A、AH32及E级船板等钢板表面的网状裂纹形貌特征进行分析,并对其周围组织进行电镜、能谱分析及金相分析,结果表明,裂纹底部除存在Fe、Ca、Al的氧化物(保护渣成分)外,还存在氧化物圆点、Cu质点;裂纹近表面一侧有明显的脱碳区,带状组织不明显,而裂纹另一侧呈现明显的带状组织形貌;裂纹周围组织中存在大量的二次氧化颗粒。认为裂纹不是在轧制过程中产生的,是铸坯中就存在。通过制定严格的结晶器使用管理规定,改善保护渣及钢水质量、热装制度等,彻底消除了该类缺陷。

**关键词:**钢板;网状裂纹;扫描电镜;二次氧化颗粒;铸坯裂纹

中图分类号: TG115.21\*5

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2014)02-0022-04

## 1 前言

在钢铁厂,钢板表面缺陷是个跨界课题。各种形状的裂纹缺陷发生时,轧钢工程师往往认为是连铸坯固有缺陷遗传,而不加深入分析;炼钢工程师认为缺陷不一定都遗传自连铸坯,也可能是再加热及轧制机械变形过程存在参数不当而撕裂产生。

2005年以后,在我国中厚板工业由大变强的过程中,各主力钢厂迅速开发了大量各种低合金高强度钢及合金钢,通过控制成分,调整轧制及控冷参数,1 200 MPa级甚至以上级别高强钢相继开发成功,大型油罐用钢、X80、X100等为代表的各种高等级钢种已经得到广泛应用。期间,各钢厂普遍遇到的棘手问题,便是钢板表面出现的大纵裂、网裂、横裂、山峰裂、密集发纹裂等裂纹缺陷。有些缺陷较浅,可以机械修磨;有些缺陷较深,直接判为废品。对于有些高级用户,钢板表面不允许修磨痕迹。因此,这些裂纹问题必须加以消除。

笔者带领攻关组对上述裂纹进行了长期深入研究,既探索了机理,也分析了来源,并在实践中找到了控制方法,目前,彻底消除了这些缺陷隐患。通过实验室研究,总结论述了依据氧化物圆点及脱碳层等现象查找钢板表面裂纹来源的观点<sup>[1]</sup>。本研究仍运用该观点分析钢板表面网状裂纹来源,并简述控制方法及实践结果。

## 2 网状裂纹形貌特征及分析

发生于连铸坯表面的网状裂纹,亦称为龟裂或星裂<sup>[2]</sup>。发生于钢板表面的网状裂纹没有统一名

称,笔者认为也可称为龟裂或星裂。通常网裂比较浅显,距钢板表面0.4~1 mm以内(见图1)。也有较深且很发达的网状裂纹(见图2),这种裂纹因其外围成椭圆簇状,故亦称马蜂窝状裂纹。有时,因该种裂纹既宽且深,会误解为过烧龟裂。

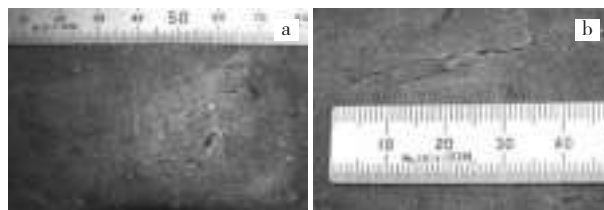


图1 SM490A钢板表面星裂照片

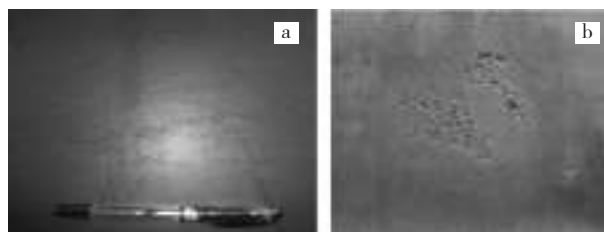


图2 AH32钢板表面网裂(马蜂窝)照片

笔者的韩国同行对上述SM490A钢板表面星裂进行电镜分析发现,裂纹底部存在Fe的氧化物(见图3)及Ca、Al的氧化物(见图4)。据此认为此裂纹可能是轧制过程产生,原因是除鳞及轧辊参数不当引起。但是,笔者认为,其忽视了氧化物圆点现象(图4)和保护渣成分的存在,图5为图1b裂纹成分扫描结果,图中A处为Fe氧化物,B处为Ca、Al氧化物,是保护渣成分。根据实验室研究结果<sup>[1]</sup>,可以推断其裂纹来源自连铸坯,并且Ca、Al氧化物恰好是保护渣成分,证明连铸阶段裂纹已经形成。

氧化物圆点是重要的信号。笔者在攻关早期阶段没有重视利用这一信号判断裂纹来源,走了一些弯路。通常,对于网裂,大家首先会想到Cu的作用,把目光集中在结晶器铜板以及Cu元素富集上。有文献对此类裂纹有详尽描述<sup>[2]</sup>。如图6所示,对

收稿日期:2014-01-21

作者简介:祝桂合,男,1961年生,2004年毕业于日本九州大学钢铁冶金专业,博士。现为济钢科技质量部副部长,高级工程师,从事钢铁冶金专业新技术研究及管理工作。

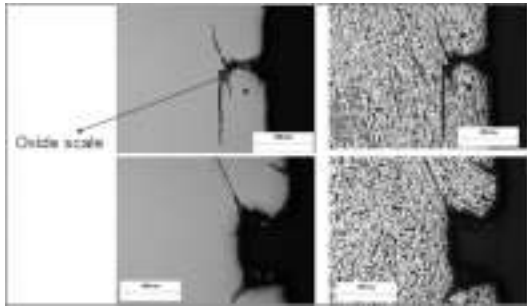


图3 图1a之电镜分析结果

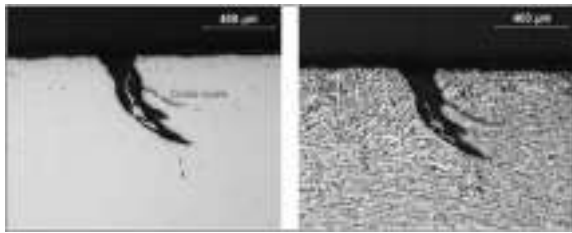


图4 图1b之电镜分析结果

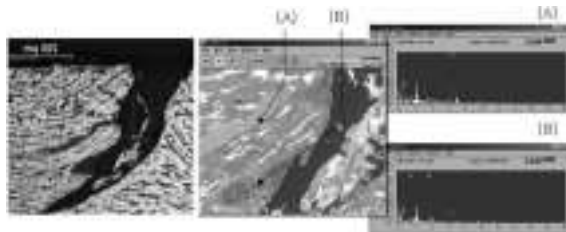


图5 图1b裂纹成分扫描结果

图2钢板严重网裂(马蜂窝)进行电镜扫描,很容易就发现了高纯度的Cu质点存在。由此,笔者制定了严格的结晶器使用管理规定。虽然大大减少了该类缺陷,但并没有完全消失。后来,笔者重新审视氧化物圆点带来的信息,着眼点进一步扩大至保护渣及钢水质量,最终彻底消除了该类缺陷。

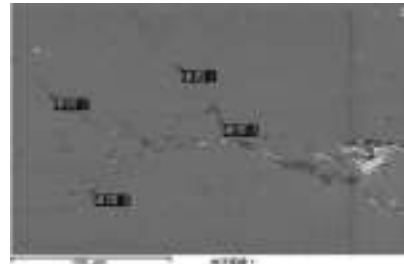
### 3 非Cu致网裂分析

#### 3.1 裂纹形貌特征

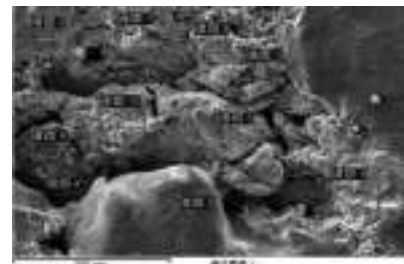
笔者研究了E级船板发生的网裂缺陷(马蜂窝),图7为E船板的两处马蜂窝裂纹形貌,马蜂窝裂纹分布很不规律,一般开口较大,裂纹长度较小。

把马蜂窝裂纹钢板沿轧向剖开,对平行于轧向的横截面进行机械研磨抛光腐蚀后,进行金相观察,图8为不同裂纹处的金相组织形貌。E船板的金相组织为铁素体+珠光体组织,珠光体呈带状分布(图中黑色组织为珠光体,白色为铁素体)。马蜂窝裂纹开口较大,由表面成喇叭状向里延伸,在裂纹近表面的一侧,可以观察到明显的脱碳区,而裂纹的另一侧脱碳较轻,只是在裂纹的附近存在脱碳,可以观察到少量的珠光体组织。裂纹内充满灰色的氧化物。

图9为一较深的马蜂窝裂纹处的组织形貌,在沿裂纹两边的组织存在较轻微的脱碳,但裂纹两侧



谱图	在状态	O	Mn	Fe	Cu	总的
谱图1	是	29.57	1.05	68.48	0.90	100
谱图2	是	9.40	0.98	78.24	11.37	100
谱图3	是			93.24	6.76	100
谱图4	是	26.41	1.26	71.49	0.84	100
最大		29.57	1.26	93.24	11.37	100
最小		9.40	0.98	68.48	0.84	100



谱图	在状态	O	Si	Ca	Mn	Fe	Cu	总的
谱图1	是	35.65	1.00	0.92	0.47	60.96	0.89	99.88
谱图2	是	31.74				64.76		96.51
谱图3	是	34.12	0.27		0.89	64.77		100.05
谱图4	是	40.34				66.25		106.58
谱图5	是	18.54			0.46	55.93		74.93
谱图6	是	14.14		0.25		43.97	7.31	65.68
谱图7	是	6.32				31.81	1.13	39.26
谱图8	是	18.84			0.40	52.23		71.46
谱图9	是	8.61		0.16	0.34	35.20	0.95	45.26
谱图10	是	22.50	0.29	0.42	0.56	55.80	3.22	82.80
最大		40.34	1.00	0.92	0.89	66.25	7.31	
最小		6.32	0.27	0.16	0.34	31.81	0.89	

图6 马蜂窝裂纹中发现的Cu元素质点

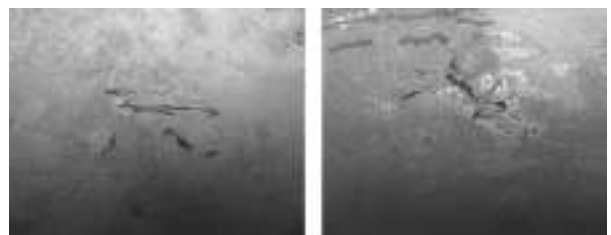


图7 E船板表面马蜂窝裂纹宏观形貌

的组织存在很明显的差异,近表面处的珠光体组织弥散分布,铁素体晶粒呈等轴状,有长大迹象;而在裂纹另一侧的基体中,珠光体成明显的带状分布,裂纹开口和裂纹扩展方向均平行于带状珠光体的方向。

图10为图9中马蜂窝裂纹扫描电镜分析,由局部放大分析可以看出,在裂纹周围基体中存在二次氧化颗粒,能谱分析表明,这些氧化物主要为含Si