

## S355 钢板横向裂纹剖析

陈方玉, 周有预

(武汉钢铁(集团)公司 研究院, 湖北 武汉 430080)

**摘 要:** 采用金相显微镜和电子探针分析了某批次 S355 钢厚板横向裂纹的微观特征。研究发现钢中存在严重的带状组织, 裂纹附近有密集的点状内氧化, 还有大量的包状晶网络。这说明结晶器的冷却能力差, 在固相和液相共存区的包晶线附近通过的时间过长, 导致在二冷区夹辊作用下沿枝晶产生了裂纹。

**关键词:** 裂纹; 中厚板; 结晶器; 连铸

**中图分类号:** TF777 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1447(2008)02-0043-04

### Analysis on transverse crack of S355 steel plate

CHEN Fang-yu, ZHOU You-yu

(Research and Development Center, Wuhan Iron and Steel Corp., Wuhan 430080, China)

**Abstract:** Transverse cracks of S355 steel plate were studied by means of optical metallography microscope and electron probe microscope. The results showed that the micro-character of the transverse cracks embedded in the S355 steel plate was severe band structure. It was found that there were dense dot shaped internal oxidations and a large amount of spherical crystal nets. It means that the cooling rate of crystallizer was lower. The longer time staying at the coexisting area between solid phase and liquid phase, namely peritectic point, resulted in crack formation along dendritic crystals when rolling at the secondary cooling area.

**Key words:** crack; medium-thick plate; crystallizer; continuous cast

结晶器振动频率与振幅是最常见的横向裂纹影响因素,但在钢厂生产的过程中,有时调整结晶器的振动参数,并不能消除或减轻钢板上的横向裂纹。因此,横向裂纹的产生原因并不是单一的,除结晶器的振动参数之外,应该还有其它的影响因素存在。横向裂纹的出现,通常是浇铸的整炉钢甚至连续多炉钢都存在裂纹,故属于严重的产品质量事故。因此,有必要对这种横向裂纹予以剖析,查清产生的机理,避免以后再次发生。

### 1 S355 钢的浇铸工艺和化学成分

某钢厂采用转炉冶炼、立弯形连铸机铸钢,然后装炉加热、开坯、轧成厚板。钢包送到氩站时的钢液温度是 1 630 ℃,吹氩时间 7 min 48 s,吹氩后的温度 1 585 ℃,中包温度 1 537 ℃。浇铸拉坯速度是 0.38 m/min,坯厚 0.3 m,坯宽 1.5 m。成分

见表 1。

表 1 S355 钢化学成分 ( $w_B$ ) %

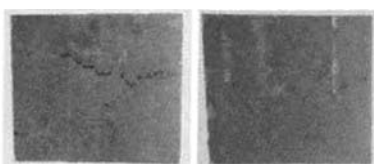
C	Si	Mn	P	S	Als	V
0.14	0.21	1.47	0.019	0.015	0.047	0.064

### 2 横向裂纹的宏观形态

工厂生产的厚板连续一周出现横向裂纹,裂纹均在钢板的上表面。150 mm 厚板的裂纹略呈不规则齿形,不连续,横向豁口缝宽约 2 mm。50 mm 厚板的裂纹近似山丘形,缝宽 0.1 ~ 0.5 mm,见图 1。

### 3 横向裂纹的板面微观分析

磨制表面,用电子探针观察,尽管表层氧化铁



150 mm 厚板      50 mm 厚板

图 1 钢板横裂的宏观形态

皮已经除去,但仍可看到 3 种嵌入钢基的氧化铁,即有缝条形、无缝条形和块形。放大后观察,内部氧化铁厚实,如图 2 所示。有缝条形的心部存在一条宏观裂缝,微观为两层氧化铁之间的一条缝隙。无缝条形的都很小,宏观只可见到一短条黑斑,用电镜观察,可见边沿存在无规则的微裂纹。

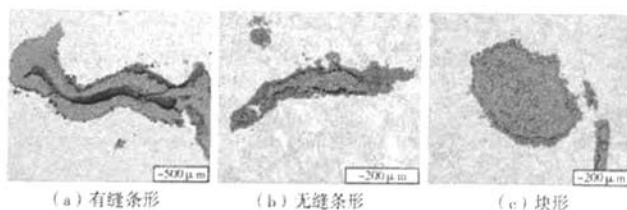


图 2 嵌入氧化铁的形态

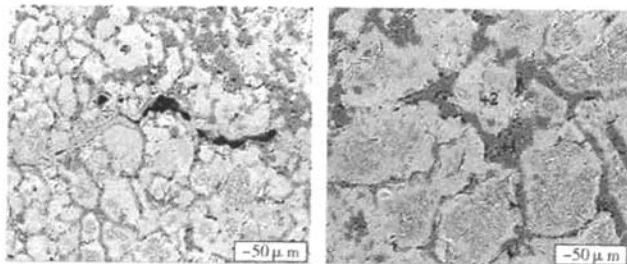


图 3 块形氧化铁内部的网络和微裂纹

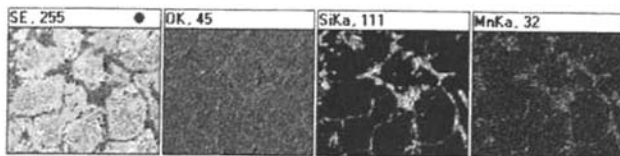


图 4 块形嵌入氧化铁内部的元素分布图

块形的宏观形态为一小斑点,放大后的形态接近于椭圆,边沿存在无规则的显微裂纹。

块形嵌入氧化铁内部存在丰富的网络图案,如图 3 所示,类似铸态的枝晶偏析,网络为枝晶间,网络包围区为枝杆。网络线上伴随有少量显微裂纹。成分分析,枝杆部位为氧化铁,枝晶间即网络为富硅、锰的氧化铁,见表 2。在图 4 的元素分布图上,富硅、锰的网络情晰可见。

表 2 图 3 中标记处的成分 ( $w_B$ ) %

标记	O	Si	Mn	Fe
+1	20.45	15.25	4.05	60.24
+2	2.58	0.15	1.06	86.22

#### 4 150 mm 厚钢板横向裂纹的截面微观分析

截面观察,150 mm 厚钢板裂纹根部圆钝,内部的氧化铁厚达 305  $\mu\text{m}$ ,见图 5。用背散射电子像观察,可见,与钢基结合部有一条灰暗带,见图 6。成分分析,灰暗带的硅明显高于平均值,是一

条在氧化铁中的硅富集带,见表 3 和图 7。

另外,在裂纹附近可见密集的点状内氧化,如图 8 所示。这是以硅和锰为主的氧化产物,见表 4。在图 9 的元素分布中硅、锰、氧的富集情况清晰可见。

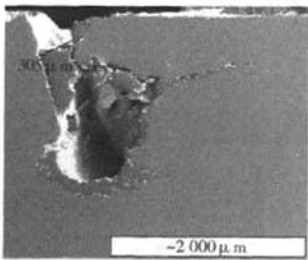


图 5 150 mm 厚板裂纹的截面形态

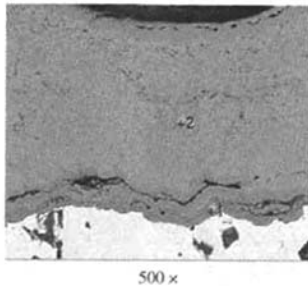


图 6 氧化铁和钢基结合部的灰暗带

表 3 图 6 中标记处的成分 ( $w_B$ )				%
标记	O	Si	Mn	Fe
+1	15.63	5.14	2.96	76.27
+2	11.64	0.09	1.20	87.07

表 4 裂纹附近点状氧化物的成分 ( $w_B$ )			%
$Al_2O_3$	$SiO_2$	MnO	
2.47	22.55	74.98	

5 50mm厚钢板横向裂纹的截面微观分析

50 mm 厚钢板为进一步轧制后的情况,原裂纹开孔被压合,并且变长,见图 10。但仍可分辨出其分界线,如图 11 中的虚线所示。在裂纹附近依然可以看到密集的点状内氧化。用硝酸酒精腐蚀后观察,钢基铁素体和珠光体呈严重的带状分布,见图 12。

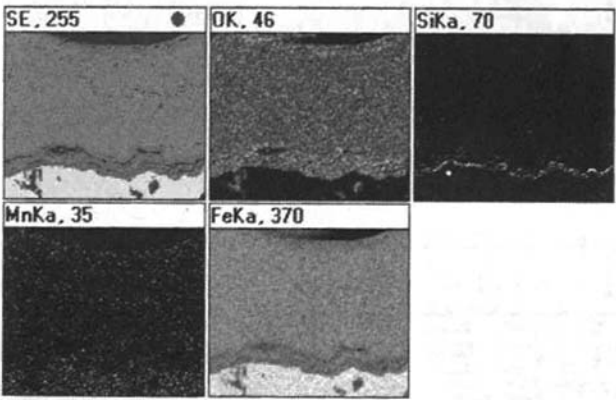


图 7 裂纹内氧化铁的元素分布图

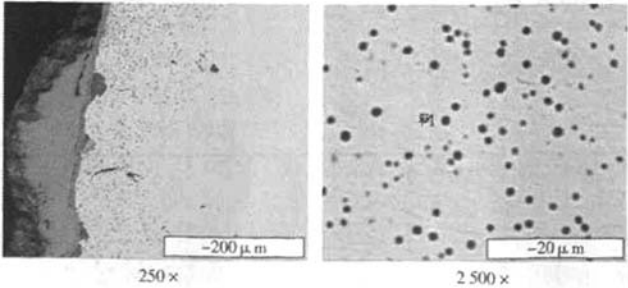


图 8 裂纹附近密集的点状内氧化

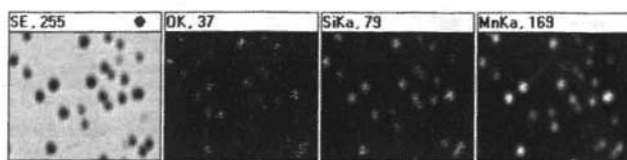


图9 裂纹附近点状内氧化物的元素分布图

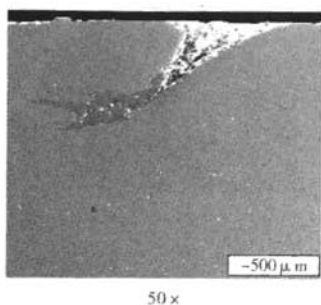


图10 大变形后裂纹的截面形态

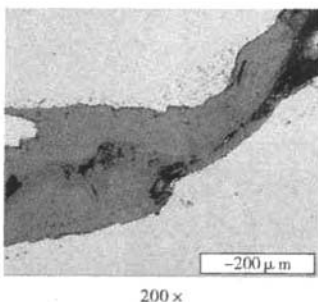


图11 原裂纹内壁示意图和近旁的内氧化

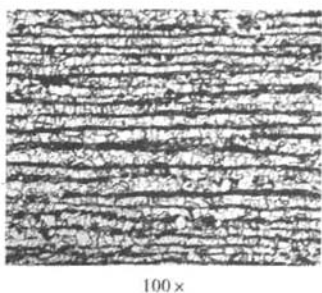


图12 50 mm厚板的带状组织

## 6 讨论

从工场纪录的工艺参数和化学成来看,应属正常范围,浇铸前段不应是引起裂纹的主要原因。表面观察到嵌入的氧化铁,实际上就是充满氧化铁的裂纹。从微观分析结果来看,块形嵌入氧化铁内部存在丰富的网络,显微裂纹与网络共存。

在裂纹附近存在密集的点状内氧化。基体的带状组织严重。这三大特征表明,裂纹应出现在凝固过程之中。

图3中块形氧化铁内部的网络形状类似包晶反应的特征。S355钢的 $w(C)$ 为0.14%,在冷却过程中,正好要通过铁-碳相图在1495℃的包晶线,见图13。按照杠杆定律计算, $\delta$ 铁素体质量分数占89%,还有11%为液相。即发生包晶反应的前夕, $\delta$ 铁素体占据多数,液相在 $\delta$ 铁素体的界面之间,平面观察,呈网络状。图3中显示的网络比率与计算值大体吻合。可以认为,该部位包含有包晶反应时刻的一些特征,由于高温氧化,形成硬质的氧化铁,其形态才得以保存下来。

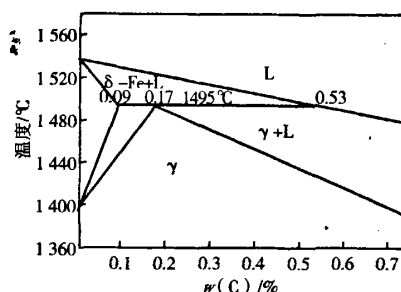


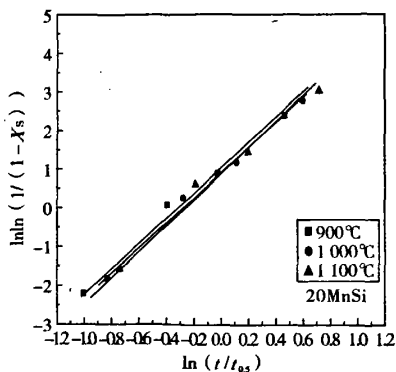
图13 铁-碳相图中的包晶反应部分

$\delta$ 铁素体为枝晶,低熔点元素则会在枝晶间的液相中富集,如硅、锰等。枝晶发达,说明钢液凝固时间长,结晶器的冷却能力不够,液相穴过宽并且过长,外壳凝固层太薄,在连铸机二冷区夹辊作用下,枝晶间很易出现裂纹。由于此时已经脱离保护渣作用区,直接与空气接触,温度还很高,硅、锰等易氧化元素向裂纹处扩散,形成富硅、锰的氧化铁。在相同温度条件下,比较硅和锰在铁中的扩散系数,在960℃时,Si的扩散系数为65,Mn的扩散系数为2.6。可知,硅的扩散系数远比锰的要大。这就正好说明网络上的硅远比锰要高。

图7、图8、表3所示的内氧化说明硅、锰向裂

(下转第55页)

和  $t_{0.5}$  的实测数据,可以得到 20MnSi 钢和 30MnSi 钢  $\ln \ln \frac{1}{1-X_s}$  与  $\ln(\frac{t}{t_{0.5}})$  的关系如图 7 所示,取直



线族的平均斜率,得到 20MnSi 钢和 30MnSi 钢的静态再结晶  $k$  值分别为 3.10 和 3.30。

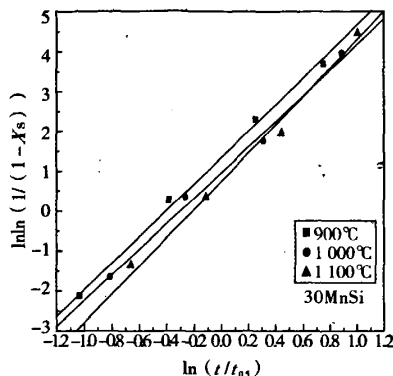


图 7 钢的  $\ln \ln (1/(1-X_s))$  与  $\ln(t/t_{0.5})$  之间的关系

### 3 结 论

(1) 确定了 20MnSi 钢和 30MnSi 钢的完全再结晶、部分再结晶及未再结晶区域,对改善组织、消除缺陷、提高性能有着重要的意义,是正确制订控制轧制工艺的基础。

(2) C 和 Mn 对 20MnSi 钢再结晶有延迟作用,因为随  $w(C)$  的增加,30MnSi 钢的动态再结晶激活能比 20MnSi 钢增加了 13.6%,静态再结晶激活能增加了 25.5%,抑制了再结晶的发生。

(3) 20MnSi 钢和 30MnSi 钢的静态再结晶值分

别为 3.10 和 3.30。

### 【参考文献】

- [1] 程晓茹. 管线钢 X65 高温变形再结晶研究[J]. 金属学报, 1997, (12): 1275 ~ 1281.
- [2] 赵 昆. IF 钢铁素体区热变形后的静态软化行为[J]. 钢铁研究学报, 1999, (4): 18 ~ 21.
- [3] Bai D Q, Yue S, Jonas J J. Static Recrystallization of Nb-B Steels under Continuous Cooling Conditions[J]. ISIJ Int., 1996, 36(8): 1084.

(收稿日期: 2007-05-09)

(上接第 46 页)

纹处扩散富集,由于是在钢基内部,不构形成块状的条件,只能以小点状存在。图 12 的带状组织则表示连铸坯的枝晶发达,此处说明凝固速度缓慢。

分析结果反馈到工厂,该厂将结晶器拆开后发现水冷腔存在大量铜屑和水垢,清除之后,生产立即恢复正常。

### 7 结 论

该批 S355 钢厚板横向裂纹,是由于结晶器冷

却能力差,在包晶线附近即固相和液相共存区通过的时间过长,导致在二冷区夹辊作用下沿着枝晶产生裂纹。

### 【参考文献】

- [1] 李慧. 钢铁冶金概论[M]. 北京:冶金工业出版社, 2005.
- [2] 宋维锡. 金属学[M]. 北京:冶金工业出版社, 2005: 177.

(收稿日期: 2007-07-30)