

文章编号:1005-7854(2015)S0-0090-05

# 首钢超低碳线材铸坯质量与轧材缺陷关系研究

孔祥涛<sup>1</sup> 王坤<sup>1</sup> 杨子森<sup>1</sup> 吕迺冰<sup>1</sup> 刘珂<sup>1</sup> 孙齐松<sup>1</sup> 朱殷祥<sup>2</sup>

(1. 首钢技术研究院,北京 100043; 2. 首钢股份公司迁安钢铁公司,河北 唐山 056700)

**摘要:**采用线切割方法对首钢生产的超低碳线材铸坯进行制样,半定量分析了铸坯表面气孔、角部裂纹之间不同的关联程度,以及钢中硫含量与角裂对轧材表面质量的影响及铸坯中心裂纹对轧材的表面影响,进一步提出产品质量的改进方向。

**关键词:**超低碳钢;皮下气泡;角裂;线切割

中图分类号:TG333 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1005-7854.2015.z1.020

首钢超低碳线材品种钢( $C < 0.01\%$ ,  $Si < 0.03\%$ ,  $Mn < 0.10\%$ )采用连铸 $160\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ 小方坯工艺进行生产,由于钢水液相线温度高,二冷区冷却强度大,铸坯容易产生各种内部裂纹。高速线材厂在轧制超低碳钢时,在粗轧、中轧、精轧道次经常发生轧材表面严重开裂现象,严重制约着高速线材厂的生产节奏和产品质量。为深入研究方坯内部裂纹对后序热轧缺陷的影响,对小方坯连铸坯存在的各种裂纹缺陷进行了轧制全程跟踪,以确定连铸坯裂纹与轧材缺陷之间的对应关系。

## 1 超低碳轧材的典型缺陷

轧材在轧机的中轧部位,直径 $\Phi 60 \sim 90\text{ mm}$ 出现了严重的裂纹情况(图 1):一是严重横向裂纹且不连续;二是多边形尖锐裂纹,中心放射状,深度大

小不一。

成品盘条表面缺陷有典型两类(图 2),一是结疤:盘条表面上呈舌、块或者鱼鳞状结疤,不规格分布,结疤大小不一,深浅不等;二是麻面:连续成片,也有局部或呈周期性分布。

## 2 铸坯内部具体取样

文献[1]认为,轧材上述的典型缺陷跟钢坯的质量密切相关,坯料上的裂纹、结疤、皮下气泡或非金属夹杂物等缺陷未消除掉,轧制后暴露,形成纵向裂纹,硫、磷含量偏高的钢坯,在轧制变形较剧烈的情况下轧制容易造成横向裂纹。凡是不暴露的内部裂纹,只要在轧制时不与空气直接接触(即在裂纹处不氧化),可以焊合,不影响线材成品的质量。

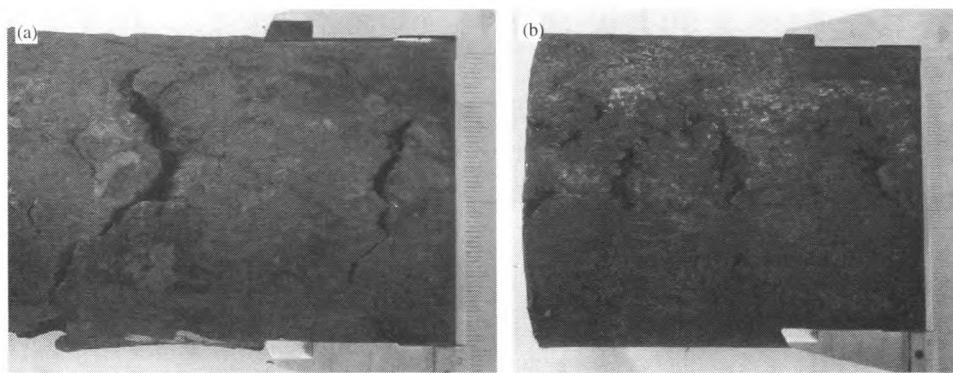


图 1 轧材开裂照片

为详细了解首钢低碳钢的铸坯内部质量情况,对缺陷进行定量分析,对一块铸坯进行了线切割取样,具体情况如图 3 所示:在一块低倍铸坯的左上角和左下角逐层取样,厚度为 $3\text{ mm}$ ;中心部位厚度为

作者简介:孔祥涛,硕士,主要研究方向为钢材的加工。

4 mm。为了描述线切割试样的裂纹危害程度,定义

一个概念,纵向裂纹指数  $R = \sum L_{\text{裂纹长度}} / L_{\text{拉坯长度}}$ 。

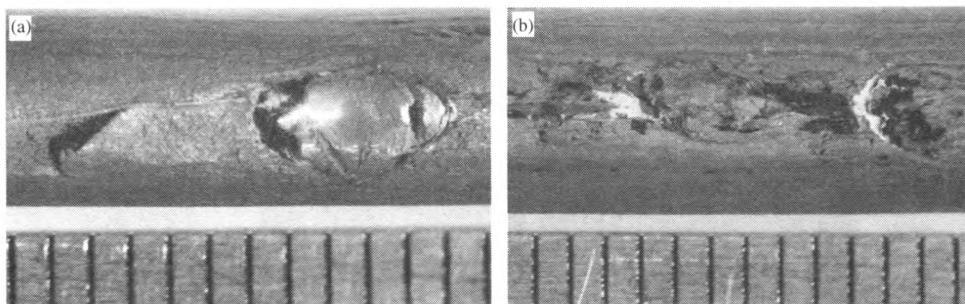
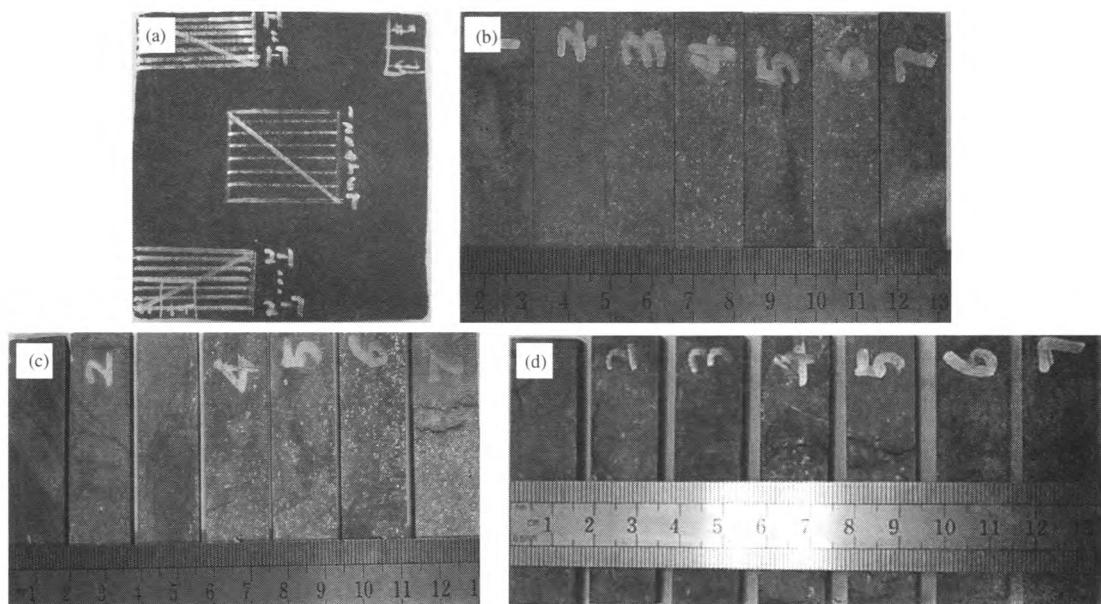


图 2 轧材结疤照片



(a) 取样位置; (b) 左上角切片; (c) 左下角切片; (d) 中心部位切片

图 3 铸坯制样全貌

左上角铸坯线切割 1、2 号上面有肉眼看得到的气孔:1 号样 25 个针孔、2 号样 23 个针孔、3 号样 3 个气孔。试样 1 单位面积气孔数为  $4.4 \text{ 个}/\text{cm}^2$ ; 试样 2 单位面积气孔数为  $6.2 \text{ 个}/\text{cm}^2$ 。

试样在金相显微镜下观察,气孔现象会更加明显,针孔数量会更多,从表 1 的照片中可以看出,微观气孔数量比肉眼会高出一倍以上。最大针孔深度计算值为 9 mm。可以推断,3 号样上铸坯最大针孔深度将超过 10 mm。

左下角铸坯切割 6、7 号样上面有明显的裂纹,按照上述定义的裂纹指数定义:

$$R_6 = (9 + 6 + 3 + 2 + 1 + 1 + 1) / 15 = 1.53$$

$$R_7 = (8 + 9 + 5 + 3 + 2 + 3) / 15 = 1.90$$

中心部位线切割取样具体如下:

$$R_4 = 9 / 15 = 0.6$$

$$R_5 = (5 + 7 + 10) / 15 = 1.47$$

$$R_6 = (7 + 3 + 4 + 3 + 4) / 15 = 1.6$$

$$R_7 = (3 + 2 + 11) / 15 = 1.02$$

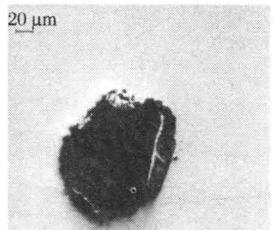
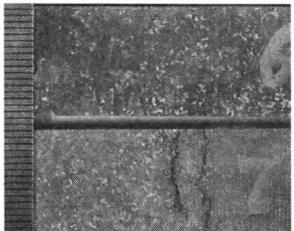
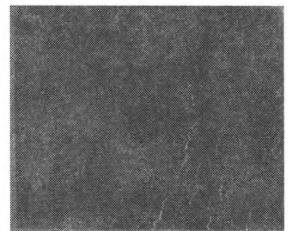
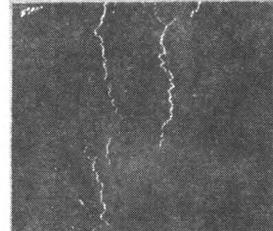
铸坯中心区域的每一块切片厚度为 5 mm, 切割损耗为 1.5 mm。那么, 这块试样的横向裂纹总长为:  $4 \times 5 + 1.5 \times 3 = 24.5$ 。

### 3 分析与讨论

采用线切割制样分析, 最大优势在于可以保持铸坯内部原貌。铸坯左上角气泡理论计算深度可以达到 10 mm。

也就是说, 铸坯气泡分布在铸坯皮下 10 mm 范围之内。肉眼能观察到的纵裂纹主要分布在 3、4、5 号切片上面, 裂纹在空间分布上呈现多层次、间断的断裂分布。铸坯气孔与皮下裂纹, 在空间分布上存在两种情况: 一是气孔与铸坯角裂之间没有贯通; 二是气孔与铸坯角裂之间已经贯通。

表 1 铸坯的缺陷分布

切片位置	缺陷形貌		
左上角			
左下角			

### 3.1 气孔和角部纵向裂纹之间未贯通

图 4 为铸坯皮下气孔和角部纵裂示意图。气孔与铸坯角部裂纹之间没有贯通, 铸坯上的裂纹在轧制变形过程中没有愈合, 则会在轧材表面演变成轧

制方向的微裂纹, 长短不一, 深浅取决于铸坯的裂纹程度, 裂纹演变过程示意图如图 5 所示, 图 6 为现场热开裂的实物照片。

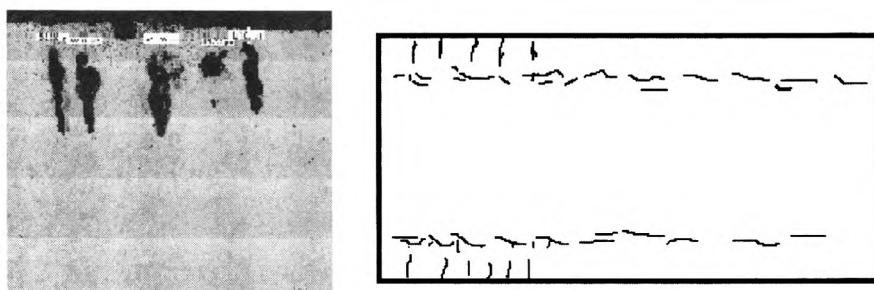


图 4 铸坯皮下气孔和角部纵裂示意图

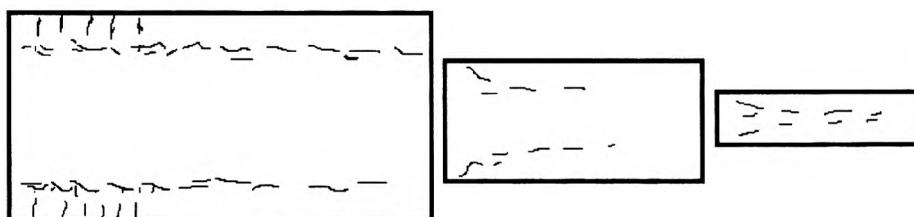


图 5 铸坯纵裂演变过程示意图

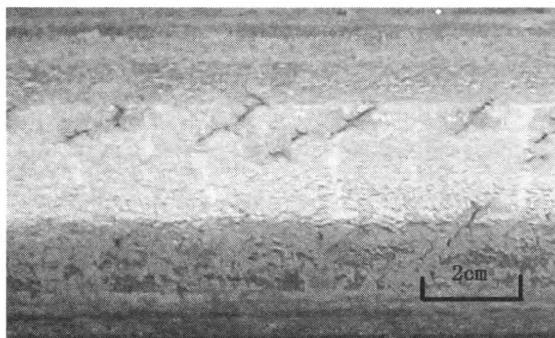


图 6 轧钢现场轧材开裂照片

### 3.2 气孔和角部纵向裂纹之间贯通

图 7 为铸坯皮下气孔和角部纵裂已经贯通的示意图。图 8 为铸坯裂纹演变过程示意图。气孔与铸坯角部裂纹之间发生贯通, 在加热炉里面长时间加热, 气孔和角部裂纹发生氧化, 硫、氧元素验晶界发生偏聚。

在轧钢温度下, 钢中裂纹处发生偏析的  $[S] \geq 0.08\%$  时, 在晶界产生低熔点的共晶化合物  $\text{FeO}-\text{FeS}$  (熔点为  $940^\circ\text{C}$ ), 高浓度的  $[O]$  加速了它的形

成,其熔点远低于轧、煅温度(1 150 ℃左右)。因此,热加工时在钢坯内液体处开裂,也就形成轧钢开

裂的原因<sup>[2]</sup>。图9为钢坯表面有气孔发生完全过烧和部分过烧的形貌图。

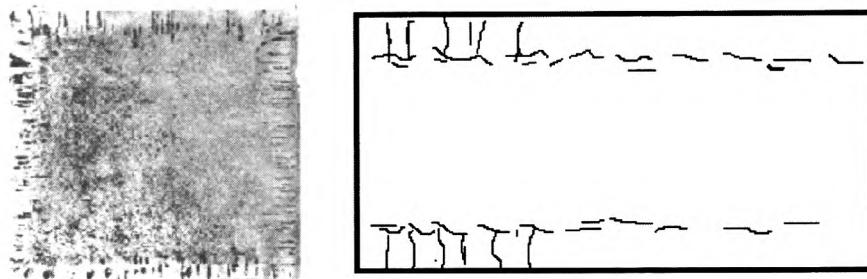


图7 铸坯皮下气孔和角部纵向裂纹示意图

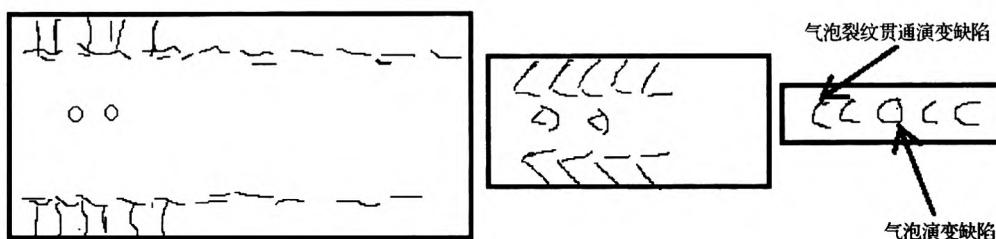


图8 铸坯裂纹演变过程示意图

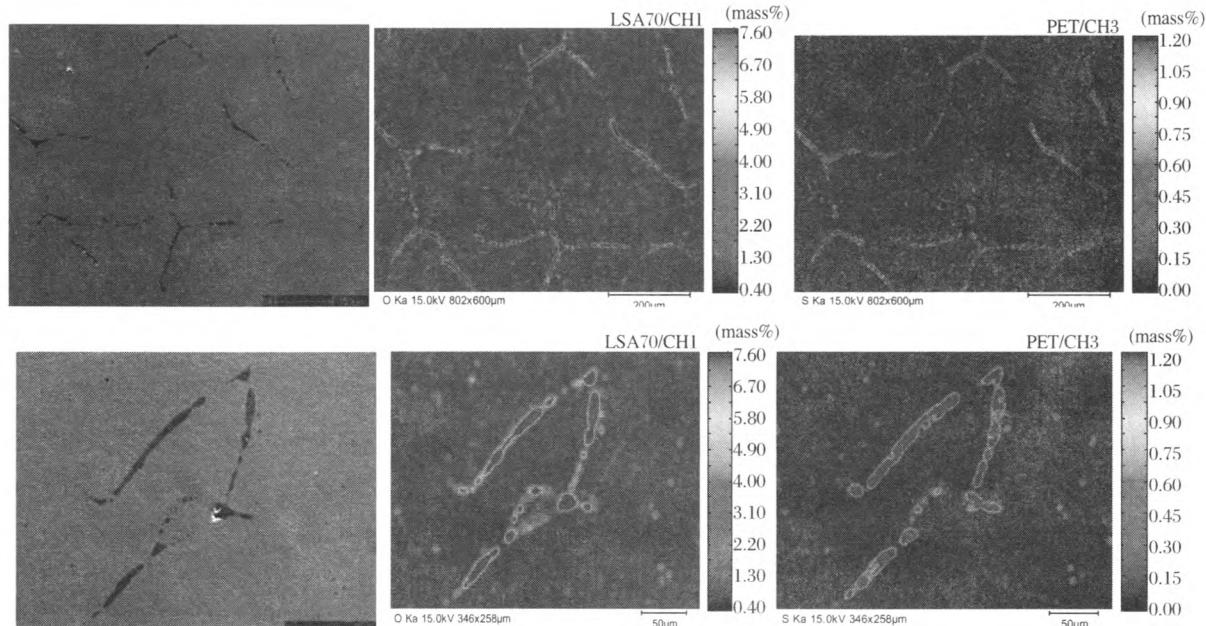


图9 铸坯皮下气孔和角部纵向裂纹 EPMA 图

### 3.3 铸坯中心裂纹对轧材表面质量影响分析

方坯的中心凝固裂纹缺陷疏松、缩孔和偏析是共生的,它们是影响高品质、高附加值产品质量的主要缺陷之一,在研究方式上也是主要通过推断和数值模拟等技术来验证。为了更准确地描述铸坯中心裂纹对轧材内部裂纹区的影响,引入铸坯裂纹指数来定量分析铸坯中心裂纹的危害程度对轧材表面的影响。

取样铸坯的中心切片综合折算,在拉坯方向上和空间上分布如图10所示,裂纹指数分别为0.60、1.47、1.60和1.47。

铸坯裂纹指数值大于1.0的裂纹,在轧钢工序加热炉里面经过长时间的反复加热,凝固裂纹处溶质元素富集偏析,钢中的强度和韧性大大降低,在轧机压下力的传导下,发生撕裂并沿裂纹处扩展,图11为典型的钢坯在粗轧道次的中心裂纹照片,最终

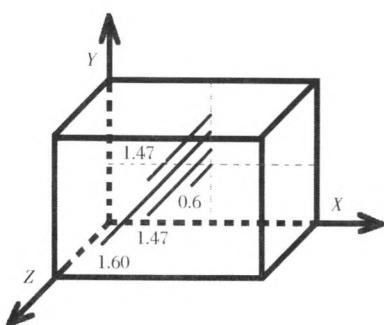


图 10 铸坯皮下气孔和角部纵向裂纹空间示意图

铸坯中心处的裂纹缺陷随着压下道次的增加,最终暴露在轧材的表面缺陷(见图 12)。

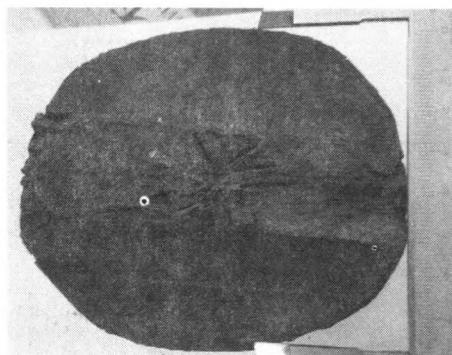


图 11 轧材中心裂纹缺陷

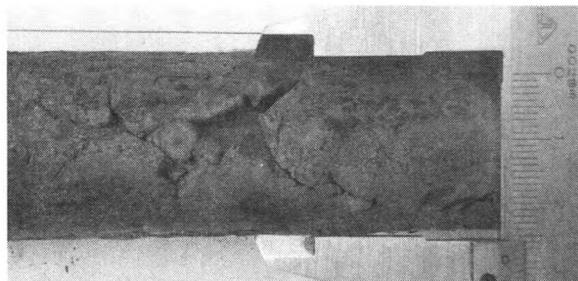


图 12 典型轧材裂纹缺陷

采用线切割薄片制样分析超低碳钢铸坯的缺陷,是对常规铸坯低倍检验工作的一种改进的新尝试。铸坯的气孔和角裂缺陷之间是否贯通,对轧材的表面质量的影响至关重要;钢中的有害元素硫含量的控制,对轧材的表面开裂起到催化剂的作用。优化结晶器冷却强度、更改二冷区水量分布、拉速等工艺参数,改善铸坯角部横裂纹缺陷程度,可以大大降低轧制开裂问题。

#### 4 结论

1) 气孔与铸坯角裂之间没有贯通,深度 10 mm 以上的气孔在加热炉里面被氧化,是造成轧钢过程中初轧表面裂纹的主要原因。

2) 气孔与铸坯角裂之间已经贯通,铸坯在加热炉里面反复加热,引起气孔和裂纹氧化;钢中的硫含量超过 0.015%,在晶界产生低熔点的共晶化合物 FeO-FeS(熔点为 940 °C),高浓度的 [O] 加速了它的形成,其熔点远低于轧、锻温度(1 150 ~ 1 250 °C),形成典型的热“硫脆”现象。

3) 铸坯中心放射状裂纹在纵向上裂纹指数大于 1.0 的铸坯,在理论上是对小规格轧材的表面质量有影响。

#### 参考文献:

- [1] 王浦江. 我国出口的第一台连铸机—印尼小方环连铸机的设计与实践[J]. 钢铁厂设计, 1991(4): 32-38.
- [2] 宋维锡. 金属学[M]. 修订版. 北京:冶金工业出版社, 2004: 276-277.