

钎具钢 55SiMnMo 轧材表面裂纹的成因分析及工艺改进

赵景存, 朱 叶

(石钢京诚装备技术有限公司, 营口 115000)

摘要: 针对 100 t BOF-LF-VD- Φ 450 mm 连铸坯- Φ 200 mm 轧材流程生产的钎具钢 55SiMnMo 轧材表面易产生裂纹缺陷, 分析对比了过热度、二次冷却、拉速、成分 (Ti, B) 等对缺陷的影响。通过工艺改进; 控制钢水过热度 20 ~ 30 $^{\circ}\text{C}$, 控制 B 含量 $\leq 0.0008\%$, 加 Ti 0.015% ~ 0.025%, 拉速 0.41 m/min, 二冷比水量 0.17 L/kg, 使裂纹的缺陷率由原来的 12.2% 降低到 1.6%。

关键词: 55SiMnMo 钎具钢; 表面裂纹; 工艺改进

Cause Analysis on Surface Crack of Drill Steel 55SiMnMo Rolling Product and Process Improvement

Zhao Jingcun, Zhu Ye

(Shigang Jingcheng Equipment Development & Manufacturing Co., Ltd., Yingkou 115000)

Abstract: The surface of rolled products of drill steel 55SiMnMo produced by 100 t BOF-LF-VD- Φ 450 mm CC bloom- Φ 200 mm rolling bar production process is prone to surface crack. The effect of superheat, secondary cooling, casting speed and composition (Ti, B) on defects are analyzed and compared. Through process improvement which is obtained that by controlling superheat 20-30 $^{\circ}\text{C}$, B content controlled $\leq 0.0008\%$, Ti content 0.015%-0.025%, drawing speed 0.41 m/min, and secondary cooling ratio 0.17 L/kg, the crack defect rate decreases from 12.2% to 1.6%.

Key Words: 55SiMnMo Drill Steel; Surface Crack; Proess Improvement

55SiMnMo 钢用于生产轻型凿岩机用钎具, 产品主要包括 H22 mm 六角锥体连接钎杆, 由于受生产、工艺、设备条件, 原材料质量和生产成本等多方面因素影响, 国内市场上销售的轻型凿岩机用钎具产品在产品质量, 销售价格上都有较大的差异^[1]。55SiMnMo 钢是空冷贝氏体钢, 淬透性好, 其强韧性配合比较好, 具有很高的疲劳强度、弹性极限、比较低的缺口敏感性, 但是轧材表面容易产生裂纹缺陷。

特钢公司使用圆坯生产的 55SiMnMo 棒材, 在轧后发现表面存在不同程度的裂纹缺陷, 缺陷形貌相似, 大小不一, 并且由于裂纹较深, 无法进行机器修磨处理, 只能人工点磨, 修磨后超出尺寸公差的棒

材只能判废处理, 造成了一定的经济损失。

1 生产工艺流程

Φ 200 mm 钎具钢的工艺流程: 100 t 转炉 \rightarrow LF \rightarrow VD \rightarrow 连铸圆坯 (Φ 450 mm) \rightarrow 缓冷/热送 \rightarrow 步进式加热炉 \rightarrow 开坯机 \rightarrow 连轧机组 \rightarrow 锯切、收集 \rightarrow 检验入库。

钢的化学成分见表 1。轧钢使用 Φ 450 mm 连铸坯生产的 Φ 200 mm 棒材, 出炉温度 1 230 ~ 1 250 $^{\circ}\text{C}$, 开坯机开轧温度 1 150 ~ 1 170 $^{\circ}\text{C}$, 进连轧温度 980 ~ 1 000 $^{\circ}\text{C}$, 终轧温度 940 ~ 960 $^{\circ}\text{C}$, 收集温度 500 ~ 550 $^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 55SiMnMo 钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of 55SiMnMo steel/%

项目	C	Si	Mn	Mo	P	S	Ti	B
试验钢	0.51	1.24	0.73	0.46	≤ 0.010	≤ 0.003	0.004 ~ 0.009	≤ 0.0008
协议要求	0.50 ~ 0.56	1.15 ~ 1.35	0.60 ~ 0.90	0.45 ~ 0.55	≤ 0.020	≤ 0.020	-	-

2 轧材上的缺陷形貌及位置

2.1 缺陷形貌

在轧材上发现的裂纹缺陷成三角裂口形貌,大小不一,断续分布,最宽处约 25 mm,最长 50 ~ 60 mm,最深处 10 mm。缺陷形貌如图 1 所示。采

用高倍观察裂纹存在氧化和高温氧化质点,腐蚀后存在脱碳,裂纹一侧脱碳重于另外一侧,裂纹脱碳重于表面脱碳,裂纹尖端圆钝,如图 2 所示,说明裂纹经过长时间高温加热,在反复轧制过程中形成此缺陷形貌。

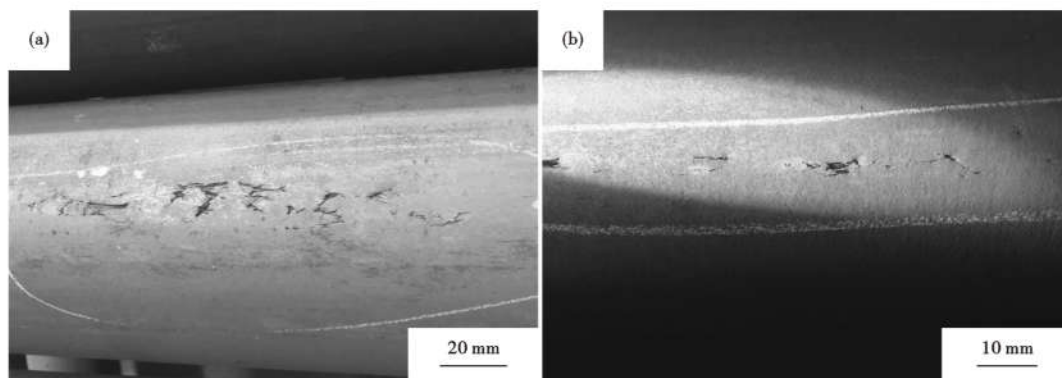


图 1 55SiMnMo 钢 Φ200 mm 轧材表面的缺陷形貌

Fig. 1 Defects morphology on the surface of 55SiMnMo steel Φ200 mm rolled product

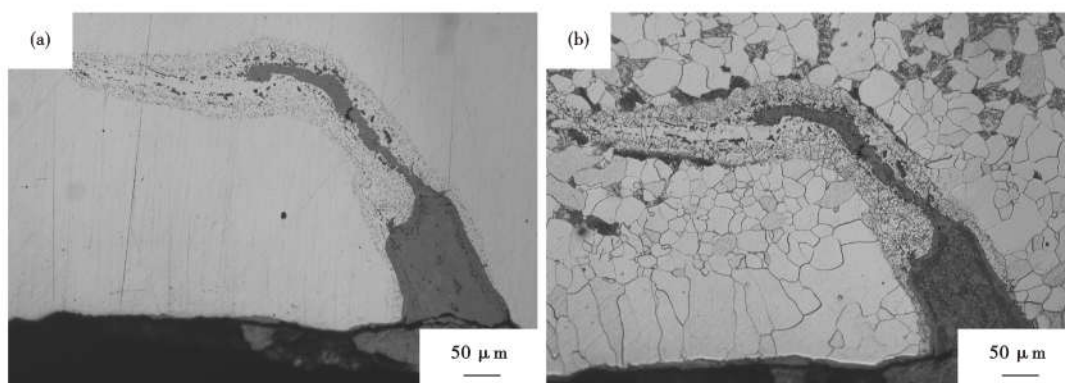


图 2 55SiMnMo 钢轧材裂纹氧化及氧化质点 (a)、腐蚀后脱碳 (b)

Fig. 2 Crack oxidation and oxidation particle (a) and decarbonization after corrosion (b) at crack of 55SiMnMo steel rolled product

2.2 缺陷的位置的追踪

在圆形连铸坯的尾部内弧侧用角磨机标记位置,然后经过蓄热式加热炉将连铸坯加热到 1 230 ~ 1 250 °C,经过高压水除鳞后在开坯前推床处手动操作推床使坯料转动,使坯料上带标记的位置朝正上方进入开坯机轧制,然后经过连轧机组轧制成棒材,轧后缓冷、出坑后摊检观察裂纹缺陷的位置。

通过 3 炉跟踪试验发现:同一支坯料生产的轧材上缺陷的位置在同一条直线上,但同一流连铸坯生产的轧材缺陷位置不固定。表 2 统计了轧材上缺陷的位置,可见轧材上的缺陷对应的连铸坯上的位置并不固定,说明缺陷在进入拉矫直之前已经存在。通过统计数据发现在上槽的三角裂口缺陷相对较重,主要是受到轧槽冷却水的影响,轧材上表面冷却

表 2 55SiMnMo 钢轧材缺陷位置统计

Table 2 Crack location statistics of 55SiMnMo steel rolled product

缺陷位置	缺陷支数/支	缺陷占比/%
上槽	18	38.29
下槽	16	34.04
水线	13	27.66

速度快,温度低,塑性差,轧制过程中存在拉应力并且由于 55SiMnMo 钢的淬透性好,加剧了缺陷的严重程度^[2]。

3 原因分析

3.1 过热度

统计了一年度的过热度与缺陷率的关系,55SiMnMo 钢的液相线温度为 1 478 °C,图 3 为过热

度与缺陷率的关系,可见,过热度过高或者过低都有利于减少缺陷的产生,低过热度时缺陷率最低。低过热度时可以促进柱状晶向等轴晶的转变和提高等轴晶率,从而有利于铸坯组织的均质化。连铸坯钢水大的过热度能产生两方面的效果。(1)钢水过热度大,有助于液态保护渣渗入到结晶器壁与铸坯之间的界面,增加铸坯与结晶器壁间的润滑作用。(2)如果钢水过热度增大,通过弯月面传出的热量也就相应增加,这样弯月面处的坯壳生长速度就减慢,有利于整个坯壳的均匀生长。对凝固收缩敏感的钢种来说,大的过热度是有利的,可避免钢水在弯月面处过早凝固,而导致初生坯壳由于收缩产生裂纹。过热度高,连铸坯柱状晶粗大,使连铸坯抵抗裂纹能力下降,同时,减小结晶器出口处坯壳厚度,易造成拉漏^[3]。

表 3 给出了不同合金物料中 B 的含量。合金辅料中含 B, B 容易在枝晶处偏析,降低钢的熔点,延长凝固时间是导致铸坯缺陷的主要原因,降低过热度使钢水在较低温度下浇注,更有利于加速钢水的凝固,并且降低硼的偏析程度。基于统计数据连浇炉的过热度控制在 20 ~ 30 °C 时生产稳定并且裂纹缺陷率较低。

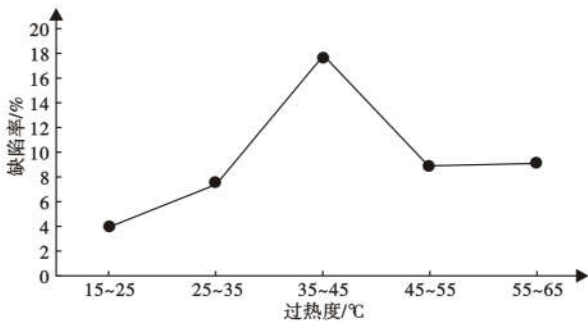


图 3 55SiMnMo 钢水过热度对轧材缺陷率的影响

Fig. 3 Effect of 55SiMnMo molten steel superheat on defect rate of rolled steel

表 3 原料中 B 的含量/%

Table 3 Content of B in raw materials/%

中碳锰铁	硅铁	低铝硅铁	硅锰	高碳锰铁	精炼复合渣	钢砂铝
0.006	0.012	0.012	0.01	-	0.026	0.000 3

3.2 二次冷却

55SiMnMo 是空冷贝氏体钢,淬透性好,连铸过程中二次冷却的不均匀性,使得铸坯表面温度反复回升,而引起坯壳膨胀、收缩,产生中间裂纹或皮下裂纹,铸坯表层的缺陷或者近表层的缺陷在加热过程中由于应力的作用造成缺陷扩展,经过高温加热

形成高温氧化质点以及脱碳层^[4]。在轧制中由于存在反复的拉/压应力,导致裂纹扩展形成三角裂口缺陷。更换连铸坯断面后优先生成裂纹敏感的钢种,保证水嘴通畅,减少二次冷却的不均匀性,是降低三角裂口缺陷率的一个有效的措施。

3.3 B 和 Ti 与缺陷率

图 4 统计了一年度 7 个批次的生产数据,图中数据为过热度的平均值。当轧材缺陷率高时, B 的含量相对较高, B 含量与三角裂口缺陷率成正相关。

当钢中含 B 较高时, B 和 N 容易结合生成 BN, 并优先在原始奥氏体晶界出现沉淀, BN 在晶界析出物很细小,连续钉扎在奥氏体和基体晶界处,降低了晶界的流动性,使再结晶温度提高^[5]。由于再结晶晶界受阻,晶界不能迁移,应力在晶界处集中而不能消除,从而引起晶界脆化,降低钢的热塑性,使钢的裂纹敏感性增加。为了避免在连铸坯上出现表面裂纹,可以通过减小二次冷却区冷却速率,促进粗大 BN 沉淀析出,从而减少原始奥氏体晶界处细小 BN 的析出。同时将 N 的含量控制在 40×10^{-6} 以下, B 的含量控制在 8×10^{-6} 以下,并且尽量冷装生产,通过完成组织转变来细化晶粒,对裂纹的扩展起到阻碍作用。

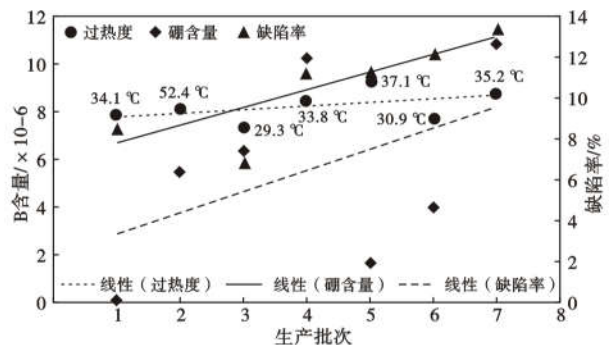


图 4 55SiMnMo 钢硼含量与缺陷率的关系

Fig. 4 Relationship of boron content and defect rate of rolled product 55SiMnMo steel

徐李军等人^[6]认为: B 元素在中碳钢中有极强的晶界偏聚特性,晶界处 B 含量 2% 左右(原子百分数),偏聚程度超过 300 倍,部分区域偏聚程度更高,达到 38.65%。用模拟软件模拟了不同 B 含量时 BN 的析出温度。也得出随着 B 含量的升高, BN 的析出温度和析出量都明显增加。

对比了 Ti 对缺陷的影响,同浇次中 4 炉加钛 ($150 \sim 250$) $\times 10^{-6}$, 6 炉不加 Ti, 加 Ti 的轧材缺陷率 1%, 不加 Ti 的缺陷率 15.8%, 加 Ti 后缺陷率明

显减低。TiN 在奥氏体中的开始析出温度很高, N 优先与 Ti 结合, 析出物容易长大, 当析出物长到一定尺寸时, 是无法起到钉扎晶界作用的。钢中 BN 在析出时, 易于附着在 TiN 等析出物上, 这就提高了细小析出物的长大趋势, 使其丧失钉扎晶界的作用, 有利于晶界的迁移。因此, 钢中加入 Ti, 能够改变 BN 的尺寸、分布和体积分数, 起到提高高温热塑性的作用^[7-8]。

3.4 拉速

试验了多次不同拉速对缺陷率的影响, 发现提高拉速后缺陷率升高, 提拉速前进/出拉矫机的温度分别为 880 °C 和 760 °C, 提拉速后进/出拉矫机的温度分别为 900 °C 和 790 °C, 高拉速时, 进拉矫机时 BN 正在析出, 外加的矫直应力使裂纹扩展, 在加热过程中裂纹进一步扩展, 轧后形成三角裂口形貌的

缺陷。进行了高拉速和低拉速各两流生产的对比, 发现高拉速的连铸坯生产的轧材缺陷占到总缺陷的约 75%。降低拉速后负滑脱率降低, 在一定程度上可以减少缺陷。

4 工艺改进措施

(1) 连铸工装的保证, 包括结晶器对弧精准、二次冷却水无阻塞、过热度控制在 20 ~ 30 °C, $\Phi 450$ mm 圆坯料的拉速控制在 0.41 m/min。使用低 B 的合金辅料, 并且加 Ti 控 B, 将 B 含量控制在 8×10^{-6} 以下, Ti 含量在 $(150 \sim 250) \times 10^{-6}$, 可以有效减少缺陷的产生。工艺参数的对比见表 4。

(2) 连铸坯尽量安排冷装生产, 利用相变细化晶粒, 进一步减少裂纹缺陷的产生。

表 4 工艺改进前后的参数对比

Table 4 Comparison of parameters before and after process improvement

工艺	B/%	Ti/%	过热度/°C	拉速/(m·min ⁻¹)	二冷比水量/(L·kg ⁻¹)	裂纹缺陷率/%	装炉方式
改进前	0.0007~0.0014	0.004~0.009	25~40	0.43	0.18	12.2	热送
改进后	≤0.0008	0.015~0.025	20~30	0.41	0.17	1.6	冷装

5 结论

由于 55SiMnMo 钢高温塑性差, 裂纹敏感性强, 首先应保证连铸工装的质量, 再通过冷装入炉生产以及成分的控制可以有效减少裂纹的产生, $\Phi 450$ mm 连铸坯控制裂纹的最佳的工艺参数: 过热

度 20 ~ 30 °C, B 含量控制在 0.0008% 以下, Ti 含量在 0.015% ~ 0.025%, 拉速为 0.41 m/min, 二冷比水量 0.17 L/kg。采取一系列措施后裂纹的缺陷率由原来的 12.2% 降低到 1.6%。

参考文献

- [1] 杨云, 唐维兵, 于嘉君, 等. 55SiMnMo 中空钢冶炼轧制制钎工艺探讨[J]. 凿岩机械气动工具, 2009(3): 57-60.
- [2] 李晓波. 大规格圆钢断面应力的有限元分析[D]. 唐山: 河北理工大学, 2008.
- [3] 李亚强, 刘建华, 何杨, 等. 15CrMoG 钢棒材表面缺陷机理分析和工艺改进[J]. 特殊钢, 2019, 40(6): 1-6.
- [4] 刘旭隆. 12Cr1MoV 钢轧材表面裂纹控制技术的研究与应用[J]. 特殊钢, 2019, 40(1): 23-26.
- [5] 陈远清, 仇圣桃, 李刚, 等. Q345E 钢 $\Phi 800$ mm 铸坯表面网状裂纹的分析及控制措施[J]. 特殊钢, 2018, 39(3): 43-46.
- [6] 徐李军, 陈青, 潘贻芳, 等. 硼在中低碳铝镇静钢中的行为及分布[J]. 金属热处理, 2015, 40(5): 14-19.
- [7] 田树生, 易耀云, 杨勇. 45B 含硼钢裂纹成因分析及改进[J]. 金属材料与冶金工程, 2010, 38(5): 36-38+48.
- [8] 蔡可森, 姚永宽, 刘伟建, 等. 含硼钢中硼的存在形式及控制研究[J]. 炼钢, 2015, 31(3): 45-49.