

25MnCrNiMoA 钢 Φ120 mm 轧材表面裂纹分析与工艺改进

吕安明 李 猛 刁 峰 张 庆

(山钢股份莱芜分公司特钢事业部, 莱芜 271104)

摘 要 25MnCrNiMoA 钢(/% : 0.25 ~ 0.26C, 0.22 ~ 0.25Si, 1.25 ~ 1.30Mn, 0.008 ~ 0.011P, 0.002 ~ 0.004S, 0.45 ~ 0.50Cr, 0.36 ~ 0.38Ni, 0.24 ~ 0.26Mo, 0.04 ~ 0.08Cu, 0.025 ~ 0.031Al) 的生产流程为 100 t UHP EAF-LF-VD-Φ650 mm 坯连铸-轧制 Φ120 mm 材。试制过程热轧材出现批量表面裂纹。通过对轧材表面裂纹缺陷部位组织观察和分析,发现裂纹附近组织存在明显的脱碳及夹杂物,并且裂纹末端存在多条铁素体条带,表明连铸坯质量缺陷是 25MnCrNiMoA 圆钢产生表面裂纹的主要原因。通过控制[S] ≤ 0.003%, 连铸时液面波动 ≤ 2 mm, 拉速 0.26 m/min, 过热度 20 ~ 30 °C, 降低二冷水量, 矫直温度 ≥ 950 °C, 优化保护渣组成等工艺措施, 避免了 25MnCrNiMoA 钢热轧材表面裂纹的形成。

关键词 25MnCrNiMoA 钢 Φ120 mm 轧材 表面裂纹 脱碳 夹杂物

An Analysis on Surface Cracks of Φ120 mm Rolled Products of Steel 25MnCrNiMoA and Process Improvement

Lü Anming, Li Meng, Diao Feng and Zhang Qing

(Special Steel Department, Laiwu Branch, Shandong Iron and Steel Corp Ltd, Laiwu 271104)

Abstract The production flowsheet of steel 25MnCrNiMoA (/% : 0.25 ~ 0.26C, 0.22 ~ 0.25Si, 1.25 ~ 1.30Mn, 0.008 ~ 0.011P, 0.002 ~ 0.004S, 0.45 ~ 0.50Cr, 0.36 ~ 0.38Ni, 0.24 ~ 0.26Mo, 0.04 ~ 0.08Cu, 0.025 ~ 0.031Al) is 100 t UHP EAF-LF-VD-Φ650 mm bloom casting-rolling to Φ120 mm products. By observing and analysis on structure at crack area, it is found that there is obvious decarburization and inclusions in structure near the cracks, and multi-ferrite strips exist at end of cracks, it shows that the quality defects of casting bloom are main reason to form surface cracks of round bar of steel 25MnCrNiMoA. With the process measures including controlling [S] ≤ 0.003%, liquid surface fluctuation ≤ 2 mm during casting, casting speed 0.26 m/min, overheating extent of liquid 20 ~ 30 °C, decreasing secondary water rate, straightening temperature of bloom ≥ 950 °C and optimizing ingredient of shielding slag, the surface cracks of hot-rolled products of steel 25MnCrNiMoA are avoided.

Material Index Steel 25MnCrNiMoA, Φ120 mm Hot-Rolled Products, Surface Cracks, Decarburization, Inclusions

1 25MnCrNiMoA 钢工艺流程和技术要求

25MnCrNiMoA 钢主要用于铁路车辆钩尾框的制造,必须具备良好的力学性能、组织稳定性以及抗腐蚀和氧化能力^[1]。

采用 100 t UHP EAF→120 t LF→120 t VD→连铸坯 Φ650 mm→步进式加热炉→轧制→精整扒皮的流程生产 25MnCrNiMoA 钢(表 1)。

电弧炉冶炼:采取炉内留钢、留渣操作,入炉原料采取废钢 + 热装铁水,铁水比 65%,装入量 (125 ± 5)t。出钢过程采用石灰(4 kg/t_钢)、脱氧促进剂(3 kg/t_钢)、铝块(1 kg/t_钢)预先脱氧。

精炼造渣工艺:钢包到达精炼炉后,定量加入复

合精炼渣(表 2)对精炼渣成分及碱度进行调整,采用少量铝粒和 SiC 配合进行扩撒脱氧,同时采用大流量吹氩,促进钢渣反应^[2]。真空处理参数为:氩气流量 100 × 2 L/min,真空度 ≤ 67 Pa,处理时间 ≥ 15 min,破真空后软吹时间 ≥ 15 min。

连铸过程采用保护浇注,25MnCrNiMoA 钢液相线温度为 1 503 °C,中间包钢水过热度控制在 (25 ± 5) °C;结晶器采用中碳钢 Ni、Mo 保护渣;结晶器电磁搅拌为 200 A、1.2 Hz,末端电磁搅拌为 120 A、0.9 Hz,二冷制度采用结晶器水流量 4 100 L/min,足辊前期 25 L/min,活动段前期 18 L/min 弱冷控制;拉速 0.25 ~ 0.27 m/min,热送温度 610 ~ 700 °C。

表 1 25MnCrNiMoA 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel 25MnCrNiMoA / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
协议	0.24 ~ 0.28	0.20 ~ 0.40	1.20 ~ 1.50	≤ 0.020	≤ 0.020	0.40 ~ 0.60	0.20 ~ 0.35	0.35 ~ 0.55	≤ 0.15	0.020 ~ 0.035
实测	0.25 ~ 0.26	0.22 ~ 0.25	1.25 ~ 1.30	0.008 ~ 0.011	0.002 ~ 0.004	0.45 ~ 0.50	0.24 ~ 0.26	0.36 ~ 0.38	0.04 ~ 0.08	0.025 ~ 0.031

表2 连铸保护渣成分和碱度

Table 2 Ingredient of casting shielding slag and basicity

渣的成分/%										碱度
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O*	F ⁻¹	C _固	H ₂ O		(R)
29.38	10.84	0.99	24.55	3.84	7.03	1.73	17.82	0.48	0.84	

注:表中 R₂O 为碱性氧化物, C_固- 固溶碳。

采用 950 轧机进行轧制,主要轧制规格为 $\Phi 120$ mm,铸坯的加热段温度控制在 1 180 ~ 1 280 °C,均热段 1 200 ~ 1 250 °C,总加热时间应大于 6.5 h,开轧温度 $\geq 1 130$ °C,圆钢快速下冷床,及时入坑缓冷,小于 200 °C 出缓冷坑,抽检 15% 左右热轧材无芯磨床扒皮,单边扒皮 0.5 mm 后约抽检量 3% 材的表面发现裂纹。

25MnCrNiMoA 钢的化学成分按内控标准和客户协议设计。25MnCrNiMoA 热轧材未发现成分异常,检测结果见表 1。

2 裂纹形态及检测分析

2.1 裂纹宏观形态

从宏观形貌上看, $\Phi 120$ mm 热轧材表面扒皮后仍清晰可见长条裂纹缺陷,裂纹处于钢材的局部表面,与轧制方向一致,整体基本呈直线型,裂纹长度从几厘米到几十厘米不等,外观形状为断续的单条、多条直线或 Y 型。裂纹形貌见图 1。

2.2 微观组织分析

在裂纹横向截取试样,经磨制、抛光处理,并经 4% 硝酸酒精浸蚀,观察试样的显微组织和裂纹的微观形貌,从图 2(a) 可看出,裂纹两侧有明显脱碳,裂纹端部尖锐,有延伸趋势。从图 2(b) 中可以看出裂纹周围伴随有较细小的夹杂物。

2.3 扫描电镜分析

对图 2(a) 试样进行检测发现裂纹两侧有明显脱碳现象、端部有延伸倾向,裂纹端部尖锐,有硅、锰、铬、铁氧化析出物存在,见图 3(a)。

对图 2(b) 试样进行检测,裂纹内部能谱结果显示存在 Na₂O、K₂O、CaO 等成分及少量 MnS 夹杂,见图 3(b) 能谱分析成分。根据所使用的原材料成分含 Na、K 可确定该类物质为连铸结晶器保护渣成分(表 2)中 R₂O 物

质,证明连铸阶段裂纹已经形成^[3]。因此判断此类缺陷产生的原因为皮下夹渣。

3 原因分析

连铸坯表面裂纹经加热后轧制,裂纹两侧会形成明显脱碳^[4]。裂纹附近存在 Si、Mn、Cr 等氧化析出物,见图 3。相关文献证明^[5-6],氧化物物质点形成的条件是在一定的氧化性气氛下加热一段时间,氧原子可穿透脱碳层向基体内部渗透,亲氧元素(如 Si、Mn、Cr、V 等)将优先被氧化,从而在基体上形成离散的氧化物物质点,说明连铸坯进加热炉之前已存在表面裂纹。

裂纹内部能谱结果显示存在 Na、K、Si、Ca 等保护渣成分,见图 4,为夹渣、夹杂类冶金缺陷引起^[7]。结晶器液面波动控制差、保护渣液化不良、保护渣加入操作不当、水口插入深度不合适以及拉速波动等方面均造成结晶器钢水卷渣。形成皮下夹渣后,保护渣分布在连铸坯的浅表面,热轧的过程中由于应力的作用,在夹渣处应力集中形成裂纹并在轧制过

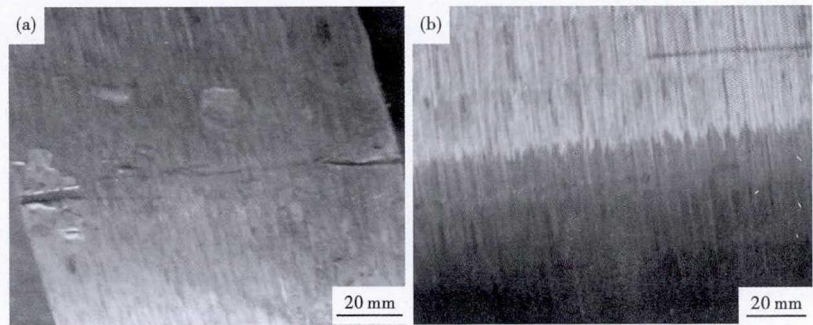


图1 25MnCrNiMoA 钢 $\Phi 120$ mm 热轧材表面裂纹形貌:(a) 试样 1;(b) 试样 2
Fig. 1 Morphology of surface cracks of steel 25MnCrNiMoA $\Phi 120$ mm hot-rolled products: (a) specimen 1; (b) specimen 2

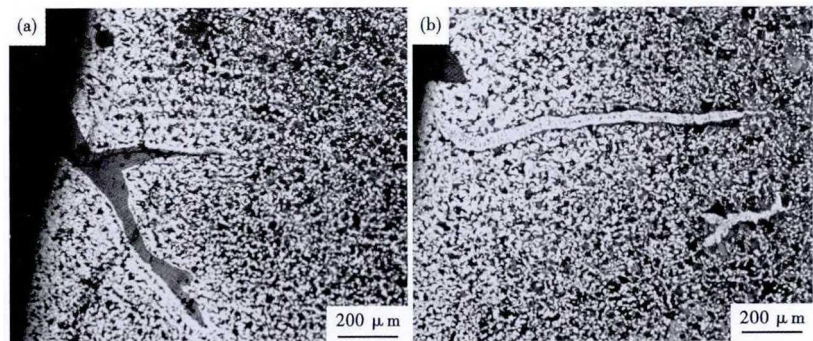


图2 25MnCrNiMoA 钢 $\Phi 120$ mm 热轧材表面裂纹处组织形貌:(a) 试样 1,裂纹两侧明显脱碳;(b) 试样 2,裂纹周围聚集细小夹杂物

Fig. 2 Morphology of structure at surface cracks of hot-rolled products of steel 25MnCrNiMoA $\Phi 120$ mm hot-rolled products: (a) specimen 1, obvious decarburization at both sides of crack; (b) specimen 2, fine inclusions clustering around cracks

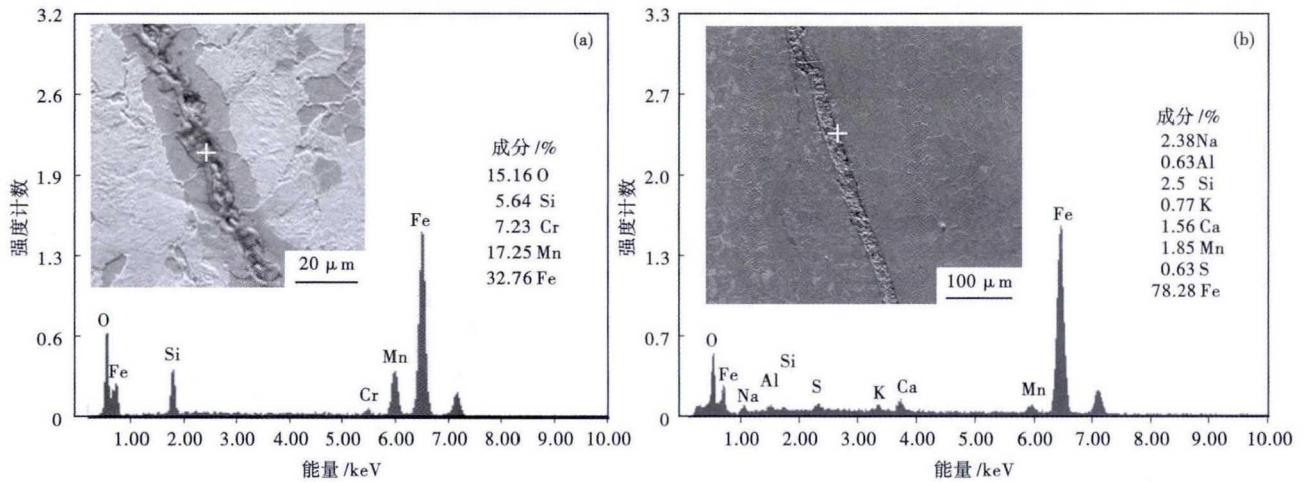


图 3 25MnCrNiMoA 钢 Φ120 mm 热轧材表面裂纹的能谱分析,SEM:(a) 试样 1;(b) 试样 2

Fig. 3 Energy dispersive spectrum (EDS) analysis of surface crack area of steel 25MnCrNiMoA Φ120 mm hot-rolled product: (a) specimen 1; (b) specimen 2, SEM

程中沿轧制方向纵向延伸。

4 工艺改进措施及效果

(1) 控制钢水成分 $[S] \leq 0.003\%$, 提高 $[Mn]/[S]$ 比, 从而减少晶界处 MnS 形成。

(2) 采取轧废为主 + 少量社会废钢 + 70% 铁水等钢铁原料组织生产, 确保五害元素之和小于 0.10% (实际生产控制在 0.008% 以下), 减少边裂的产生, 从而减少表面横裂纹的诱发^[8]。

(3) 稳定连铸“三恒”操作, 液面波动控制在 2 mm 之内, 拉速稳定在 0.26 m/min, 过热度控制在 20~30 °C, 保证连铸坯的良好润滑作用和均匀传热作用, 最大限度地避免裂纹的产生。

(4) 二冷区采用弱冷制度, 足辊水流量由之前 25 L/min 调整为 20 L/min, 活动段水流量由之前 18 L/min 调整为 12 L/min, 比水量 0.07 L/kg, 保证其矫直温度 ≥ 950 °C。

(5) 保护渣性能优化, 采用中碳含 Ni、Mo 专用保护渣^[9], 其指标固溶碳 ($C_{固}$) 由之前的 15.52% 调整为 17.82%, 熔速由之前的 48 s/1350 °C 调整为 50 s/1350 °C, 熔点由之前的 1192 °C 调整为 1197 °C。

通过以上工艺改进措施, 跟踪后序几个月的生产, 工艺控制正常, 圆钢表面质量明显改善, 性能检验全部合格。仅存在极少量的裂纹修磨现象, 目前该钢种没有因裂纹判废情况。

5 结论

(1) 25MnCrNiMoA 管坯钢表面裂纹产生的主要原因是铸坯本身存在表面裂纹, 经加热、轧制后铸坯表面裂纹扩展、暴露所致。

(2) 结晶器钢水卷渣形成皮下夹渣后, 保护渣分布在连铸坯的浅表面, 热轧的过程中由于应力的作用, 在夹渣处应力集中形成裂纹并沿轧制方向纵向延伸。

(3) 通过控制钢水成分、稳定连铸“三恒”操作、二冷制度及保护渣性能优化等改进措施, 精确控制工艺参数, 严格工艺制度, 消除了铸坯表面裂纹所致 25MnCrNiMoA 钢轧材表面裂纹。

参考文献

- [1] 王玉玲. 锻造钩尾框用 25MnCrNiMoA 钢性能研究[J]. 山西冶金, 2008, 31(2): 1-3.
- [2] 官常忠. 电站模具钢 T91 脱磷、去硫研究[J]. 特钢技术, 2002(2): 35-39.
- [3] 刘进步, 张新文, 张庆武. 圆坯表面网状裂纹产生原因及控制[J]. 连铸, 2016, 41(2): 66-70.
- [4] 王建钢, 王皓, 李人杰, 等. 热送裂纹产生机制及生产工艺控制研究[J]. 连铸, 2017, 42(2): 22-26.
- [5] 祝桂合, 万友堂, 张继明, 等. 钢板表面裂纹及氧化物圆点形成条件模拟试验[J]. 山东冶金, 2012, 34(2): 30-33.
- [6] 周云, 王世俊, 何烈云, 等. 低碳含镍钢表面裂纹的研究与改进措施[J]. 钢铁研究学报, 2012, 24(1): 40-43.
- [7] 苏瑞先. 连铸夹渣类缺陷的成因分析和控制措施[J]. 特殊钢, 2011, 32(1): 27-29.
- [8] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
- [9] 李殿明. 连铸结晶器保护渣应用技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.

吕安明(1986-), 男, 工程师, 2009 年内蒙古科技大学(本科)毕业, 炼钢、连铸工艺技术管理。

E-mail: 13626347923@126.com

收稿日期: 2017-11-15