

55钢 150 mm × 150 mm 连铸坯皮下裂纹分析与工艺改进

林 鹏 张洪才 许正周

(江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司技术中心, 淮安 223002)

摘 要 55钢($C: 0.52 \sim 0.60\%$, $Si: 0.17 \sim 0.37\%$, $Mn: 0.50 \sim 0.80\%$, $P \leq 0.035\%$, $S \leq 0.035\%$)的 150 mm × 150 mm 连铸坯轧钢加热炉加热后存在表面纵向裂纹缺陷。采用金相显微镜对铸坯皮下裂纹缺陷进行分析, 结果得出: 由于二次冷却不均匀和有害元素 Pb 在晶界富集导致铸坯皮下产生细小裂纹并扩展长大。通过对二次冷却喷淋系统优化及降低钢水有害元素 Pb 含量, 改善二冷段喷淋冷却效果, 提高铸坯冷却均匀性, 提高铸坯晶界强度, 结果表明: 铸坯缺陷明显改善, 轧材一次探伤合格率从 45% 提高到 93%。

关键词 55 钢 150 mm × 150 mm 连铸坯 表面裂纹 有害元素 皮下裂纹 二次冷却

Analysis and Process Improvement on Subsurface Crack of 150 mm × 150 mm Casting Billet of Steel 55

Lin Peng, Zhang Hongcai and Xu Zhengzhou

(Technology Center, Huaigang Special Steel Co Ltd, Jiangsu Shagang Group, Huai'an 223002)

Abstract The longitudinal cracks exist at the surface of heated 150 mm × 150 mm continuous casting billet of steel 55 ($C: 0.52 \sim 0.60\%$, $Si: 0.17 \sim 0.37\%$, $Mn: 0.50 \sim 0.80\%$, $P \leq 0.035\%$, $S \leq 0.035\%$). The subsurface crack defects of casting billet are analyzed by metallographic microscope. The result indicates that the defect is caused by the strong non-nomogeneous secondary cooling and excessive harmful element Pb enriched at the grain boundaries. The optimization process of the spray system of the second cooling and reducing the harmful element Pb in steel is carried out. It improves the cooling uniformity and grain boundary strength of casting billet. The result shows the defects of casting billet have been effectively controlled. The qualification rate of the first inspection of rolled products increases from 45% to 93%.

Material Index Steel 55, 150 mm × 150 mm Casting Billet, Surface Crack, Harmful Element, Subsurface Crack, Secondary Cooling

随着国民经济的不断发展, 对钢铁产品的质量要求越来越高, 但铸坯的裂纹缺陷严重制约着产品质量的提升, 轧制过程中无法消除, 导致钢材合格率降低, 甚至降至 45%, 废品率升高, 成本显著增加。皮下裂纹是指连铸坯表皮下出现的裂纹, 有时裂纹会延伸很长。铸坯出结晶器形成厚度不等的初生坯壳, 坯壳温度往往处于低塑性区, 铸坯由结晶器铜壁冷却变为喷水冷却, 冷却强度和冷却方式都有较大变化, 铸坯可能会受到更大的热应力, 同时受足辊的错位和铸坯鼓肚作用, 机械应力增加, 方坯极易产生裂纹^[1]。

通过对 55 钢加热炉加热后出现表面纵向裂纹, 分析缺陷产生机理及生产过程影响因素, 提出改进措施, 从而解决了 55 钢连铸生产中的质量问题。

1 55 钢工艺流程和质量现状

55 钢主要用于轮毂轴承的制造, 必须具有良好的力学性能。工艺流程为: 70 t 超高功率电弧炉 → LF 精炼处理 → 连铸 (150 mm × 150 mm 方连铸坯) →

连轧, 化学成分见表 1。连铸机弧形半径为 8.5 m, 连铸过程采用保护浇注, 中间包过热度控制在 20 ~ 30 °C, 结晶器采用中碳钢专用保护渣, 结晶器电磁搅拌为 280 A、7.0 Hz, 结晶器水量为 2 000 L/min, 拉速 1.9 m/min。

铸坯经过轧钢加热炉加热, 出加热炉除鳞后对铸坯表面检查发现表面纵向裂纹, 如图 1 所示, 裂纹纵向通长, 严重影响轧材的质量, 铸坯直接报废处理。对加热后铸坯裂纹取横向低倍进行热酸液酸洗, 裂纹深度在 5 cm 左右。

对加热后铸坯裂纹用 4% 硝酸酒精进行腐蚀, 如图 2 所示, 从高倍金相分析看裂纹处上口部分存在严重的脱碳现象, 加热炉加热高温氧化, 这主要是由于铸坯表面存在缺陷造成的^[2], 下口部分存在延

表 1 55 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 55/%

C	Si	Mn	P	S
0.52 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	≤ 0.035	≤ 0.035

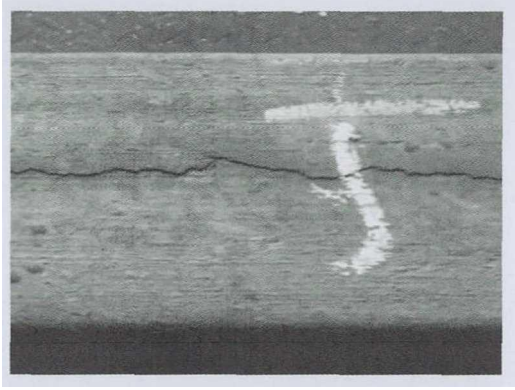


图 1 150 mm × 150 mm 铸坯加热后表面裂纹

Fig. 1 Surface crack of 150 mm × 150 mm casting billet after heating

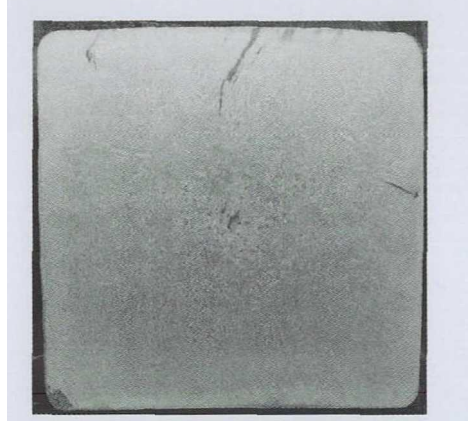


图 3 未加热铸坯横向低倍组织

Fig. 3 Cross section macrostructure of unheated casting billet

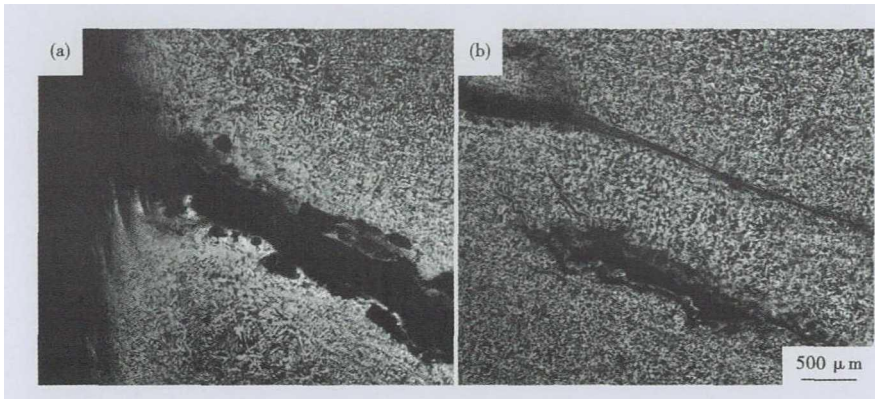


图 2 铸坯表面裂纹形貌:(a)上口(b)下口

Fig. 2 Surface crack of casting billet:(a) upper part(b) next part

伸细小裂纹和不连续裂纹,无明显的脱碳现象,延伸裂纹是由于铸坯裂纹出加热炉后冷却过程中受应力作用扩展,不连续裂纹主要是铸坯在加热过程中受热应力作用产生的内部裂纹^[3]。

对同一生产过程未进加热炉加热的铸坯取横向低倍样进行热酸液酸洗,结果如图 3 所示,发现 150 mm × 150 mm 铸坯多面存在皮下裂纹,最深裂纹的深度在 4 cm 左右,分析认为加热后裂纹是由内部向表面开裂^[3]。因为连铸坯在加热时必然形成表面和中心的温度差,这样钢表面的热膨胀率就比中心大,造成钢的表面受到压应力作用,中心受到拉应力。温差越大,热应力就越大,当热应力增大到超过钢的强度极限时,便形成内部开裂^[4]。而原始存在的裂纹沿原裂纹处扩展到连铸坯表面,所以裂纹处存在脱碳。为此,通过对铸坯皮下裂纹产生的原因进行分析,提出相应的改进措施。

2 产生铸坯皮下裂纹原因分析

对铸坯皮下裂纹进行高倍金相分析,如图 4(a)所示,裂纹是从内部沿晶界开裂,未延伸到铸坯表

面,如图 4(b)所示,铸坯内部存在不连续的沿晶裂纹,裂纹顺着枝晶生长方向,沿着晶界处扩展和延伸,根据裂纹的位置特点,分析认为裂纹主要是由二次冷却不均和弱化晶界元素偏聚等两方面原因造成的。

2.1 二次冷却

铸坯出结晶器后冷却过程中固液相变,奥氏体向铁素体和珠光体转变。现场生产过程发现二冷区喷淋架和喷嘴不对中,局部冷却过重,铸坯发黑,如图 5 所示,使得铸坯在二冷段冷却不均匀。

由于铸坯的形状、保护渣厚度、气隙宽度、钢液在结晶器内的流畅等因素,初生坯壳不可避免会受到冷却和收缩不均匀,铸坯会产生应力集中^[5]。根据数值模拟结果,铸坯出结晶器后存在较大的回温,当铸坯冷却不均匀时,会产生更大的热应力,还伴随着足辊错位和铸坯鼓肚产生机械应力,同时由于弱化晶界元素在晶界聚集,使得晶界塑性和强度较低,裂纹易沿着晶界处扩展和长大^[6]。

2.2 弱化晶界元素

对比之前生产的钢材成品成分发现,钢种有害元素 Pb 含量较高,达到 50×10^{-6} ,其它炉次为 $(3 \sim 5) \times 10^{-6}$ 。钢中 Pb 可以改善切削加工性,Pb 系易切削钢具有良好的力学性能和热处理性,由于污染环境以及在废钢回收熔炼过程中的有害作用,Pb 被逐渐替代。钢中 Pb 和 Fe 难以以固溶体或化合物的形式存在,易以球状偏聚于晶界,导致钢的热脆性下降,造成热脆或回火脆现象,沿着晶界产生裂纹^[7]。

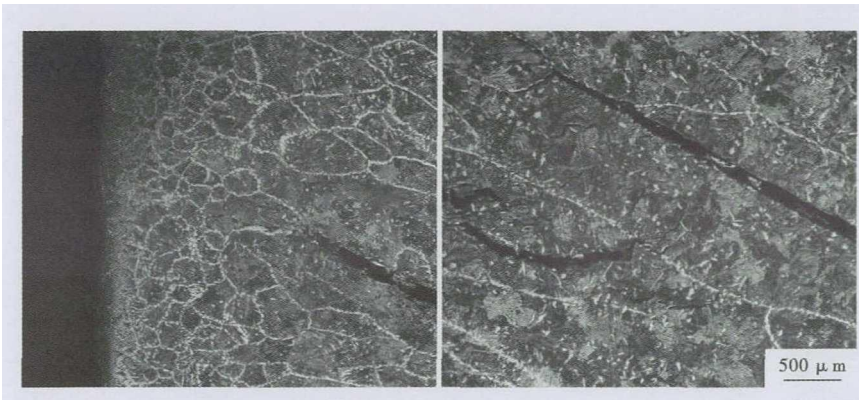


图4 铸坯皮下裂纹形貌:(a)裂纹未到表面;(b)裂纹不连续

Fig.4 Subsurface crack morphology of casting billet:(a) not to surface;(b) discontinuity of crack

在裂纹区域能检测到一定含量的 Pb 元素,表明裂纹处存在 Pb 元素富集,根据裂纹高倍金相分析结果显示,裂纹是从内部沿晶界开裂,同时铸坯内部存在不连续的沿晶裂纹,Pb 在晶界的富集弱化晶界强度,在二次冷却不均受到热应力作用时铸坯沿晶界开裂,在铸坯凝固冷却过程中由于回火脆现象原有裂纹继续沿晶界扩展延伸,同时晶界由于 Pb 偏聚产生其它脆性裂纹。

3 改进措施及效果

3.1 维护二次冷却设备

为改善二冷段冷却效果,做到均匀冷却,严格做好喷淋架的对中,及时清理维护喷嘴,防止堵塞。同时对铜管和保护渣加强检查,保证结晶器良好的冷却效果。对改进后的连铸生产过程进行跟踪,发现实际喷淋雾化冷却效果较好,二冷段铸坯表面情况如图7所示,铸坯温度分布比较均匀。

3.2 提高废钢质量,合理分配

钢中残存有害元素主要来自废钢,电弧炉炼钢使用废钢量较多,用一般的冶炼工艺很难去除它们,加强废钢管理是防止这些有害元素进入钢中之有效的措施。首先要严格管控废钢采购渠道,避免劣质废钢进厂,在现有条件下对不同来源的社会废钢分类存放和配料使用,加强入厂废钢验收检查,了解各类废钢中的残存有害元素含量,对废钢进行分类管理;同时通过计算机合理计算确定出最低成本的

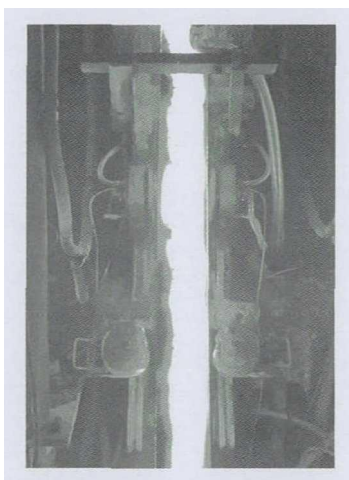


图5 二冷区铸坯表面温度情况

Fig.5 Surface temperature condition of casting billet at secondary cooling zone

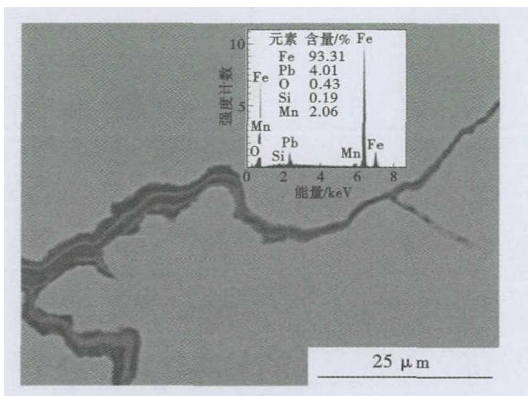


图6 裂纹区域能谱分析

Fig.6 Energy spectrum analysis of crack region

钢材在特定温度区间(例如 250 ~ 400 ℃)缓慢冷却至常温后会出现脆性上升的现象,一旦发生回火脆后无法用热处理方法消除。对铸坯裂纹区域进行扫描电镜能谱分析,结果如图6所示,在裂纹区域能检测到含量相对较高的 Pb 元素。

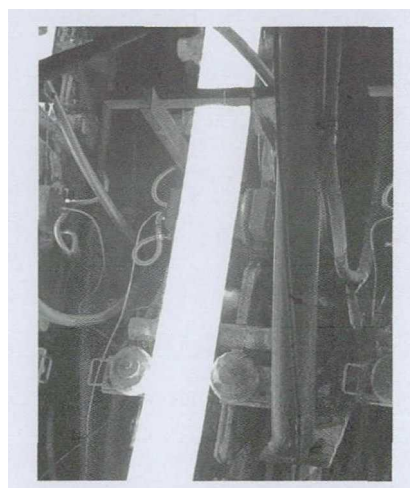


图7 整改后铸坯表面温度情况

Fig.7 Surface temperature condition of casting billet after optimization

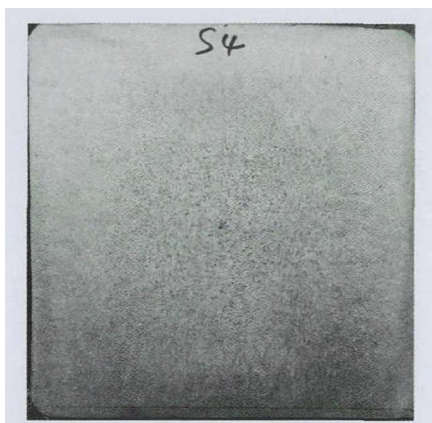


图 8 工艺改进后铸坯低倍组织

Fig. 8 Cross section macrostructure of casting billet after process improvement

配料比,达到充分利用低价的原材料,又使钢中残存有害元素含量不超出允许范围。通过这些措施,避免了因盲目使用高残存有害元素的废钢而导致的钢材报废事故发生,使生产的该钢种有害元素含量不超过 5×10^{-6} 。

3.3 实施效果

经过上述改进措施的严格管控,铸坯低倍质量得到明显改善,未发现明显质量缺陷,如图 8 所示;对入炉加热后铸坯加强检查,同样未发现明显的纵向裂纹缺陷,轧材成品率明显上升,统计 10 个批号约 900 t 轧材探伤结果,一次探伤合格率达到 93%,生产成本显著降低。

4 结论

(1)二冷区冷却不均匀及有害元素含量超标是 55 钢铸坯皮下裂纹产生的主要原因。

(2)严格执行喷淋架对中,避免喷嘴堵塞,提高二次冷却效果,铸坯表面温度更均匀。

(3)通过对二次冷却优化及降低有害元素含量,55 钢铸坯皮下裂纹缺陷得到明显改善。轧材一次探伤合格率从 45% 提高到 93%。

参考文献

[1]王志道. 低倍检验在连铸生产中的应用和图谱[M]. 北京:冶金工业出版社,2009:5-11.
 [2]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.
 [3]蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2010:216-217.
 [4]梁启华,宋满堂,王海峰. 特殊钢缺陷分析与对策[J]. 连铸,2014,4(1):45-48.
 [5]林 鹏,张洪才,印传磊,等. 含硫 45 钢铸坯缺陷分析与工艺优化[J]. 特殊钢,2018,39(5):40-43.
 [6]朱苗勇,杜 刚,阎立懿,等. 现代冶金学(钢铁冶金卷)[M]. 北京:冶金工业出版社,2010:344-346.
 [7]姜锡山. 特殊钢缺陷分析与对策[M]. 北京:化学工业出版社,2006:185-190.

林 鹏(1988-),男,硕士(2015 年江苏科技大学),工程师,2012 年江苏科技大学(本科)毕业,连铸工艺研究。
 E-mail:limpeng969891@163.com.

收稿日期:2019-12-13

下 期 要 目

100 t LD-LF-RH-CC 流程冶炼 60Si2Mn 弹簧钢非金属夹杂研究	刘 飞等
新型 H380 级别高强度钢轨热处理工艺的数值模拟	董嘉兵等
Q345R 抗酸钢 120 t BOF-LF-RH-260 mm × 2 070 mm CC 冶炼工艺实践	黄治成等
CSP 生产 DQ 深冲低碳钢连铸薄板坯中非金属夹杂物研究	飞尚才等
冷变形及热处理工艺对奥氏体不锈钢 0Cr18Ni12 和 0Cr16Ni14 组织及磁性能的影响	王鑫潮等
铌对 B50A1300 牌号无取向硅钢显微组织和电磁性能的影响	张 峰
14Cr1MoR 钢 136 mm 特厚板极限低温冲击韧性	李样兵等
1215MS 易切削钢中组织与硫化物分析	王高峰等
硼对 S31254 不锈钢固溶处理过程第二相溶解行为的影响	全中伟