

试验研究

# 明火式常化炉 150 °C低温回火能力诊断试验

杨超,宋中华,丁翠娇,欧阳德刚,韩斌

(武汉钢铁(集团)公司 研究院,湖北 武汉 430080)

**摘要:**为考察明火式常化炉(设计回火温度 250~650 °C)的低温回火功能,采用炉内钢板黑匣子测温的方法对该常化炉 150 °C的回火能力进行了诊断。结果表明,低温状态下该常化炉炉膛内炉气温度分布不均匀,边部炉温高于中部,且波动较大,宽度方向炉温均匀性较差;试验板坯加热温度厚度方向温差控制在 ±2 °C,长度方向温差控制在 ±5 °C,沿宽度方向温差则达 20~28 °C,边部加热温度明显高于中部。

**关键词:**明火式常化炉;低温回火;工艺能力诊断;测温

中图分类号: TG156.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2014)06-0039-02

## 1 前言

硬度 HBW450 及以上高级别耐磨钢的生产工艺决定了钢板在进入热处理工序后必须走低温回火工艺路线,低温回火温度范围为 150~250 °C<sup>[1-3]</sup>,而国内现有中厚板热处理炉大多数按 350 °C 以上的中、高温回火工艺要求设计。随着市场行情的变化,高级别耐磨钢的研发和生产日渐迫切,需要热处理炉同样具备低温回火功能。

某中厚板厂热处理生产线拥有 3 座热处理常化炉,其中 1 座采用自身预热式烧嘴明火加热,另外两座均采用辐射管间接加热并带氮气保护。由玻尔兹曼辐射四次方定律<sup>[4]</sup>可知,随温度降低炉内辐射传热效率大幅下降,而与另外两座辐射管间接加热式常化炉相比,低温状态下明火炉内燃烧火焰仍可进行对流换热,因此首先考虑对该明火炉进行低温回火能力诊断,并在试验期间将炉温设置为低温回火温度范围的下限,即 150 °C。

## 2 150 °C低温回火能力诊断

### 2.1 试验条件设置

试验期间采用“黑匣子”温度记录仪对该常化炉内试验板坯的加热升温过程及实际炉温波动情况进行跟踪记录。试验板坯规格为 7 400 mm × 2 400 mm × 40 mm,板坯上设有 7 个测温点,另加 2 个炉温测点,共计 9 个测温点,各测点位置及钻孔深度见表 1。黑匣子测试期间,常化炉低温回火工艺参数设置见表 2。

### 2.2 试验结果及分析

相比由环境温度升温至 150 °C,从正常生产炉

表 1 测点位置及钻孔深度

电偶编号	测点位置	钻孔深度/mm
1#	板坯头部中心	20
2#	板坯边部下表面	35
3#	板坯边部中心	20
4#	板坯尾部中心	20
5#	板坯中部中心	20
6#	板坯中部上表面	15
7#	板坯中部下表面	30
8#	中部炉气温度	无钻孔
9#	边部炉气温度	无钻孔

注:所有测点钻孔的直径 φ2 mm。

表 2 试验板坯低温回火工艺参数

在炉时 间/min	运行速度 /(m·min <sup>-1</sup> )	各段炉温/°C									
		1段	2段	3段	4段	5段	6段	7段	8段	9段	10段
120	0.45	110	130	140	150	150	150	150	150	150	150

温降温至 150 °C,炉内热负荷大、热惯性周期长,炉内温度控制难度更大。因此试验前选择从正常生产的 700 °C 炉温提前降温至 150 °C,试验时间从板坯入炉到出炉共计 120 min。试验结束后,下载试验期间包括 7 点板坯温度数据和 2 点炉温数据在内的黑匣子温度跟踪数据如图 1 所示。

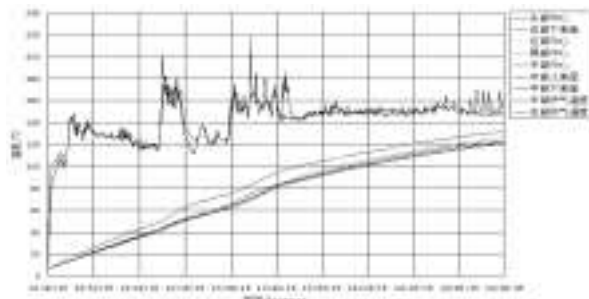


图 1 黑匣子测温数据

本试验选取了板坯中部和边部位置的 2 个炉温测点,炉温实测值及两者之间的差值如图 2 所示。

从测试结果及现场仪表监控数据可知,炉子在 150 °C 的低温状态下生产,存在的最大问题是炉温控制精度下降,稳定性变差。试验过程中,出现有

收稿日期:2014-09-02

作者简介:杨超,男,1978年生,2007年毕业于华中科技大学能源与动力工程学院,博士。现为武汉钢铁(集团)公司研究院高级工程师,研究方向为冶金热能。

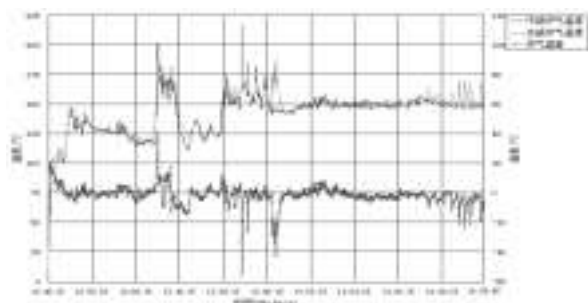


图2 炉气温度分布

多点炉温超出设定值,而且炉膛内部炉气温度分布不均匀,边部炉温高于中部,且波动较大,宽度方向炉温均匀性较差。

这是因为试验回火温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 远小于该炉子的额定加热负荷,从现场实际情况看,燃烧器在脉冲点火方式下燃烧,同一时刻整个炉膛区间同时燃烧的烧嘴个数为 $0\sim 2$ 个,数量很少且呈随机分布状态,因此导致炉温波动大,因燃烧器布置在炉膛两边,导致边部炉温波动更大,此种炉温波动情况在 $7\sim 9$ 加热区段(试验板坯在炉内匀速前进,整个炉膛按长度方向均匀划分为10个加热区段,120 min试验时间也均分为10个时间区段,因此板坯经过的加热区段与时间区段可以理解为——对应的关系)则有所缓解。

选取板坯低温回火过程中板坯温度测点1#、4#、5#,做出板坯沿长度方向的升温过程如图3所示。120 min试验结束时,板坯出炉温度比原定的 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回火温度低 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。板坯沿长度方向温度均匀性尚好,温差在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。板坯在 $1\sim 4$ 加热区段升温速率不大,尚可增加,在 $5\sim 10$ 控制区段升温速率趋缓,板坯保温时间不长,是否满足回火工艺要求需视具体钢种而定。

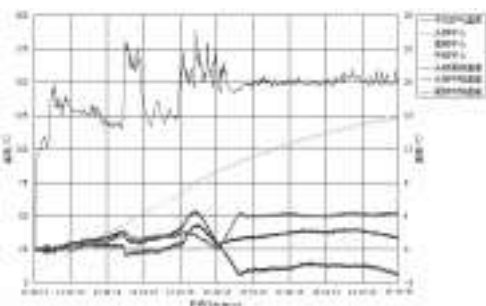


图3 板坯长度方向温度变化

选取低温回火过程中板坯温度测点5#、6#、7#,作出板坯沿厚度方向的升温过程见图4。板坯沿厚度方向温度均匀性良好,温差在 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

选取板坯低温回火过程中板坯温度测点2#、3#、5#,作出板坯沿宽度方向的升温过程如图5所示。板坯沿宽度方向在区段 $1\sim 5$ 升温速率较大,区段 $6\sim 10$ 升温速率趋缓,沿宽度方向板坯温度均匀性

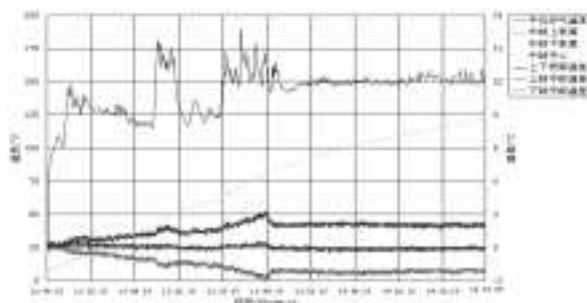


图4 板坯厚度方向温度变化

变差,左、右边部温度均匀性较好,温差在 $-6\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但边部温度明显高于中部温度,温差由中间区段的 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右逐渐缩小到末尾区段的 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,究其原因,这是因为炉膛侧边的燃烧器在低负荷状态下处于脉冲燃烧方式,边部炉气扰动大于中部,导致板坯边部对流加热强度高于板坯中部。

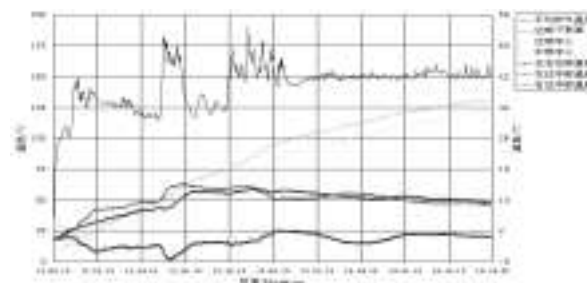


图5 板坯宽度方向温度变化

120 min试验结束时,板坯出炉温度边部比试验设定的 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 炉温低 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,中部则比 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 炉温低 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

### 3 结论

3.1 明火式常化炉在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温状态下炉膛内部炉气温度分布不均匀,边部炉温高于中部,且波动较大,宽度方向炉温均匀性较差,炉温控制精度下降,稳定性变差,是实现 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温回火工艺需要解决的主要问题。

3.2  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温回火工艺下试验板坯加热温度均匀性沿厚度方向较好,温差可控制在 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内;沿长度方向次之,温差可控制在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内;沿宽度方向则较差,温差达 $20\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,边部加热温度明显高于中部,这是由宽度方向炉气温差较大所引起的。

#### 参考文献:

- [1] 邓想涛.超高强度合金耐磨钢NM450成分设计及热处理工艺研究[D].沈阳:东北大学,2009.
- [2] 邓想涛,王昭东,张逊,等.HB450低合金超高强度耐磨钢回火过程中的组织性能演变[J].钢铁,2011,46(5):60-63.
- [3] 马玉喜,郭斌,欧阳珉璐,等.回火工艺对低合金耐磨钢组织与性能的影响[C]//中国金属学会.第九届中国钢铁年会论文集.北京:冶金工业出版社,2013:1-5.
- [4] 杨世铭,陶文铨.传热学[M].北京:高等教育出版社,1998.

(下转第43页)

心等轴晶区,减轻了中心偏析<sup>[4]</sup>。

## 5 改进措施及效果

1)优化LF精炼工艺,适当增加精炼剂投入,通过提高钢液纯净度,减轻连铸坯偏析。

2)强化连铸设备点检维护工作,投用连铸电磁搅拌(S-EMS),优化轻压下工艺,改进轻压下位置,增加总压下量,再通过连铸机精度控制和保证,降低连铸坯的偏析和疏松程度。

3)增加连铸坯加热时间,轧制阶段增加单道次压下量,要求每张钢板必须保证足够的12%以上变形率的道次数。

通过这些措施,厚度120 mm特厚钢板探伤合格率达到98.97%,钢板低倍组织明显改善,低倍试样上的残留疏松微孔隙完全消除,中心偏析也得到了明显的分散和减轻。改进后钢板中心处热酸浸低倍组织及金相组织见图6、图7。

## 6 结论

6.1 造成300 mm厚铸坯轧制120 mm厚钢板探伤不合格的主要原因是连铸坯有较严重的中心疏松和中心偏析。轧制过程心部压下不足,造成钢板厚度中心处残留疏松、组织粗大。中心偏析没有有效减轻,造成钢板中心硬脆组织量过多,严重处产生微



图6 改进后120 mm厚钢板中心处热酸浸低倍组织



图7 改进后120 mm厚钢板中心处金相组织 100×

裂纹。夹杂物局部偏聚也加剧了连铸坯的偏析。

6.2 提高钢液纯净度,保证连铸设备精度,电磁搅拌,合理的轻压下工艺可减轻连铸坯的中心偏析和中心疏松。后续加热、轧制工序提高道次压下率,提高心部变形渗透程度是提高钢板内部质量的有效手段。

### 参考文献:

- [1] 夏杰生.连续铸钢500问[M].北京:冶金工业出版社,1994.
- [2] 皱冰梅.中心偏析与中心疏松的形成与预防[J].钢铁技术,2005(2):2-3.
- [3] 蔡开科,程士富.连续铸钢原理与工艺[M].北京:冶金工业出版社,1999:322-337.
- [4] 蔡开科.连铸坯质量控制[M].北京:冶金工业出版社,2010.

## Defect Analysis and Improvement of Continuous Casting Slab for Limit Thickness Steel Plate

LI Hongwen

(Jiangyin Xingcheng Special Steel Co., Ltd., Jiangyin 214429, China)

**Abstract:** Pointing at UT failure problem of ultra-thick steel plate rolling by continuous casting slab, the slab and the plate were sampled for macro-etch testing and the plate samples were made metallographic analysis. The results showed that the continuous casting billet itself had more severe central porosity and center segregation; The porosity was remained in the plate after rolling; Micro-crack was found around the position where severe segregation exists. Measurements were applied such as improvement of steel cleanliness, application of S-EMS, optimization of soft reduction process, and increase of reduction amount of rolling pass, that guarantee the quality of ultra-thick plate. The UT pass rate reached 98.97% after improvement.

**Key words:** continuous casting slab; ultra-thick plate; porosity; segregation

(上接第40页)

## Diagnostic Test on Low-temperature Tempering Ability of a Naked-flame Normalizing Furnace at 150 °C Temperature

YANG Chao, SONG Zhonghua, DING Cuijiao, OUYANG Degang, HAN Bin

(The Research and Development Center of WISCO, Wuhan 430080, China)

**Abstract:** In order to investigate the low-temperature tempering ability of a naked-flame normalizing furnace in one plate rolling mill which was designed to have the medium and high temperature tempering ability from 250 °C to 650 °C, the temperature measurement test with "black box" on the steel plate in the furnace under 150 °C temperature was made. The experimental results showed that under the condition of low furnace temperature condition, the gas temperature in furnace distribute unevenly, the side gas temperature is higher than the middle gas temperature and fluctuate sharply. The temperature difference of the steel plate in furnace is under  $\pm 2$  °C along thickness direction, under  $\pm 5$  °C along length direction and under 20-28 °C along width direction. The side part temperature of the plate is obviously higher than the middle part temperature of it.

**Key words:** naked-flame normalizing furnace; low-temperature tempering; process ability diagnosis; temperature measurement