

梅钢精冲钢连铸板坯中心偏析控制技术与应用

于小春 倪修华

(上海梅山钢铁有限公司炼钢厂, 南京 210039)

摘要 连铸板坯的中心偏析是造成精冲钢带状组织的重要原因。动态轻压下技术是改善连铸板坯中心偏析的有效手段。本文通过射钉试验,准确测定了 230 mm 连铸板坯凝固末端的位置,为制定合理的轻压下工艺参数提供了重要参考。在轻压下工艺改进前(9、10 段,总压下量 7.5 mm),典型精冲钢的板坯中心偏析级别在曼标 M2.4 以上;通过改进轻压下位置和压下量参数后(8、9 段,总压下量 10 mm),连铸板坯的中心偏析得到明显改善,板坯低倍偏析曼标控制在 M2.0 以内,精冲钢用户的带状组织也得到有效控制。

关键词 精冲钢 连铸板坯 中心偏析 动态轻压下

Practice Application for Controlling Technology of Center Segregation of Fine Blanked Steel Continuons Casting Slab at Meigang

Yu Xiaochun and Ni Xiuhua

(Steelmaking Plant, Shanghai Meishan Iron and Steel Co Ltd, Nanjing 210039)

Abstract Center segregation of continuous casting slab is the main cause to form banding structure in fine blanked steel. Dynamic soft reduction technique is an effective measure to improve the center segregation of continuous casting slab. In this paper, final solidifying end of 230 mm continuous casting slab can be accurately determined by rivet pin shooting experiment improvement of soft reduction process. The center segregation of representative fine blanked steel was beyond M2.4 of Manesman standard before improvement of soft reduction process (at zone 9 and 10, total reduction 7.5 mm). The result of rivet pin shooting experiment is the reference of parameter of dynamic soft reduction. With the parameter optimizing of soft reduction (at zone 8 and 9, total reduction 10 mm), center segregation of continuous casting slab can be controlled within M2.0 of Manesman standard. Banding structure in fine blanked steel can also be controlled effectively.

Material Index Fine Blanked Steel, Continuons Casting Slab, Center Segregation, Dynamic Soft Reduction

精冲钢在汽车、五金、办公等行业应用广泛。由于精冲钢的碳及合金含量均高于传统热连轧企业生产的低碳低合金产品,因此对材料的成分设计、组织均匀性、碳化物分布等均有着非常高的要求。研究表明^[1-2],连铸坯的中心偏析对热轧产品的成分、组织和性能的均匀性有明显的遗传性。梅钢生产精冲钢碳含量从 0.15% ~ 0.65%,涵盖了中碳到高碳钢范围,部分 Mn, Cr 等合金含量高的产品热轧带状组织严重,除了热轧工艺影响外,还与连铸板坯内部质量尤其是偏析密切相关。

连铸坯的中心偏析是由于选分结晶的原因,溶质元素向熔池(液相区)积聚,当柱状晶增长而生成搭桥现象时,富集溶质元素的钢液被封闭而不能与其它液体交换,在该处形成 C、S 等元素的正偏析;同时,上部钢液不能补充此处的凝固收缩,从而伴随有缩孔,由此形成中心偏析和疏松^[3]。有研究表明^[4],随着钢中 C、P、S 等元素含量的增加,会导致中心偏析的增加,过热度、拉速和板坯宽度增加中心偏析程度也会增加。为了有效控制连铸坯中心偏

析,武钢通过动态轻压下、电磁搅拌技术、维护好二冷设备等措施,将中心偏析 B 类偏析发生率控制在 5% 以下^[5]。国内外很多钢厂的实践表明,动态轻压下对方坯和板坯的中心偏析和疏松都有较好的控制效果^[6]。

梅钢二炼钢的两台奥钢联连铸机于 2012 年投产,铸机配有动态轻压上等先进技术。动态轻压下技术的主要工艺参数有压下区间、压下量和压下速率。只有合理确定这些参数值才能达到消除或减少铸坯中心偏析与疏松的目的^[7]。梅钢 3# 连铸机的基本参数见表 1。

目前,梅钢 3# 板坯连铸机配备比较先进的动态轻压下在线控制模型,在二冷区具有远程辊缝调节功能的扇形段配合下,能够对铸坯在线实施动态轻压下,该技术也是解决精冲钢上述内部质量缺陷的主要手段。然而,受轻压下在线控制模型计算精度及不合理压下参数的影响,致使精冲钢内部质量缺陷不能得以稳定有效的改善,曼内斯曼标准中心偏析评级在 2.4 ~ 3.0,部分终端用户经常反馈产品由

表 1 3#连铸机的基本参数

Table 1 Basic parameter of No. 3 continuous caster

序号	项目	性能及参数
1	连铸机机型	垂直弯曲型,多点弯曲多点矫直
2	连铸机流数/机-流	2-2
3	连铸机基本半径/m	9.5
4	浇铸钢种	高强复相钢、高强冷成型用钢、供冷轧用钢、耐大气腐蚀用钢、一般结构用钢、超低碳钢、专用钢
5	板坯规格/mm × mm	230 × (900 ~ 1 650)
6	拉坯速度/(m · min ⁻¹)	1.1 ~ 1.65
7	铸机长度/m	35.155
8	连铸机生产能力/(万 t · a ⁻¹)	410

于中心偏析造成的带状组织超标。为高效、稳定解决精冲钢连铸坯内部质量缺陷,有必要对梅钢 3#板坯连铸机压下工艺进行优化。

1 射钉实验

射钉实验是当下广泛采用的测定铸流已凝固坯壳厚度的技术手段。该方法通过将含有硫化物的钢钉射入铸坯,硫化物在铸流未凝固的糊状区内发生明显的扩散,通过测量射钉低倍样硫扩散区域的位置可以确定出相应实验位置处的铸坯坯壳厚度,从而为最终确定铸流的凝固末端提供数据支撑。

为测定梅钢 3#板坯连铸机生产的 16MnCr5 钢板坯壳厚度,针对该钢种开展了射钉实验。实验过程中的工况条件为拉速 1.2 m/min,断面 230 mm × 1 300 mm,浇铸温度 1 535 ℃。化学成分见表 2。

实验过程成功在两个铸流位置进行了两次射钉,两个射钉试样的铸流位置参见如表 3。

图 1 为射钉试样的酸洗低倍,图中横线处为硫化物发生显著扩散区域边界,以钢钉开始扩散的位置作为凝固前沿,则试验钢种在射钉位置处的凝固坯壳及液芯厚度的测量结果分别如表 3 所示。通过射钉试验得到 16MnCr5 钢在该工艺条件下的凝固系数见表 4。该测量结果为校验后续所建立的凝固

表 2 16MnCr5 钢的化学成分/%

Table 2 Chemical composition of investigated 16MnCr5 steel / %

C	Si	Mn	Cr	P	S
0.17	0.049	1.13	0.97	0.015	0.002

表 3 射钉试样铸流位置分布

Table 3 Distribution of pin-shooting position in cast strand

试样编号	铸流位置 /m	扇形段
1#	20.615	8 段出口
2#	22.995	9 段出口

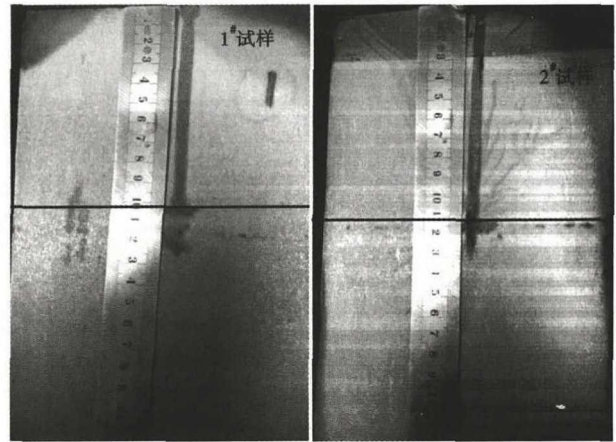


图 1 射钉试样低倍

Fig. 1 Macrostructure of pin-shooting test sample

表 4 16MnCr5 钢厚 230 mm 射钉试验得到的凝固系数

Table 4 Solidification coefficient by pin-shooting test of thickness 230 mm of steel 16MnCr5

位置	距弯月面距离/mm	坯壳厚度/mm	凝固系数 K/(mm · min ^{-1/2})
8#段出口宽 1/4 处	20.615	102	24.61
9#段出口宽 1/4 处	22.995	112	25.59

传热模型,并利用该凝固传热模型为最终计算出铸流的凝固终点位置提供了数据支撑。

2 铸坯凝固传热计算

为最终确定铸流凝固终点,并掌握铸坯芯部固相率在整个流线上的分布规律,通过建立的铸坯凝固过程数学模型,对 230 mm × 1 200 mm 断面铸坯在拉速为 1.2 m/min 条件下的凝固过程进行模拟计算,得到铸坯的凝固曲线如图 2 所示。由图 2 可以看出,该工况下模型预测铸坯液相点及固相点位置分别为 9.9 m 及 22.0 m。由于所建模型采用实测坯壳厚度对凝固传热模型进行了校正,可以看到坯

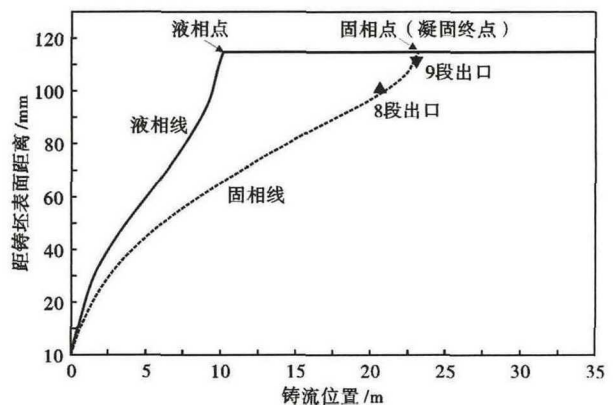


图 2 液相线及固相线变化趋势及实测坯壳厚度

Fig. 2 Liquidus temperature/solidus temperature and solidified shell by pin-shooting test

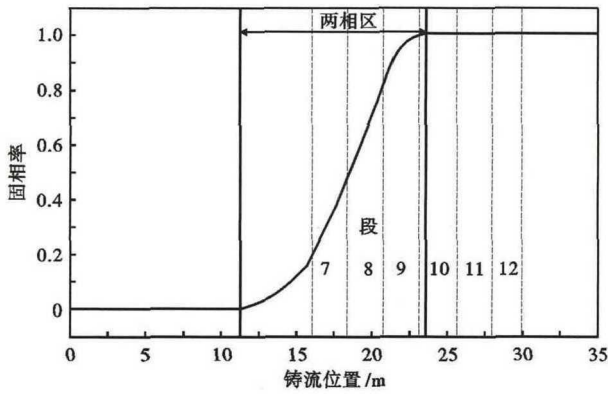


图 3 铸坯中心固相率变化趋势

Fig. 3 Solid fraction changing trend in center of slab

壳厚度计算值(即固相线位置)与实测值之间能够较好的吻合,两者间的绝对误差小于 1.75%。而铸机自带模型计算的凝固终点距离弯月面 24.2 m,两者相差 2.2 m(约 1 个扇形段长度)。

图 3 为铸坯中心位置固相率变化趋势。可以看到,铸坯中心固相率变化趋势与固/液相线发展趋势相似,即中心固相率增加趋势呈现出快速-放缓-快速的变化特征。此外,该模拟工况条件下,铸坯两相区长度约为 10.1 m。

3 轻压下工艺参数优化及效果

图 3 为基于射钉实验及凝固传热模型计算得到的精冲钢(16MnCr5)连铸坯中心点固相率变化情况。目前,现场生产过程中采用 9 段、10 段两个扇形段进行压下。然而铸流在 10 段范围内已完全凝固(中心点固相率为 1),意味着 10 段范围内的轻压下工艺将无法达到补缩铸坯两相区凝固收缩,从而改善缩孔、疏松及伴随而来的宏观偏析缺陷。为此,需将现有压下区间由 9 段、10 段向前移动至 8 段、9 段。

基于射钉试验和数值计算所提出的压下方案,在梅钢 3*板坯连铸机所生产的 16MnCr5 钢进行了现场试验。试验过程中,一流采用优化后的压下方案(压下区间为 8 段、9 段,总压下量为 10 mm),而另外一流则维持原有压下方案(压下区间 9 段、10 段,总压下量为 7.5 mm)。试验过程中,两流同时取样并制作低倍进行对比分析,低倍对比结果如图 4 所示。

可以看到,采用优化后的压下方案所生产的铸坯低倍显著优于优化前结果,优化后铸坯中心偏析

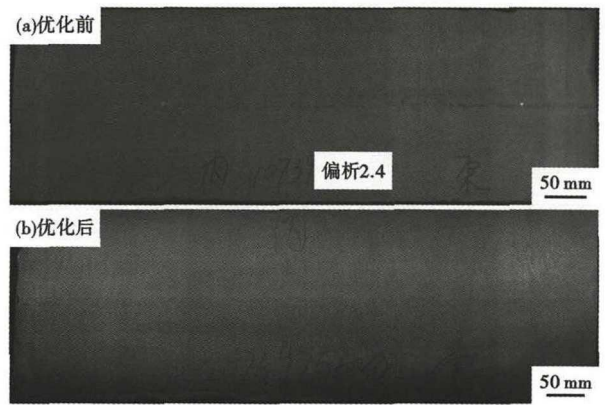


图 4 压下方案优化前(a)后(b)低倍组织对比

Fig. 4 Macrostructure comparison between before (a) and after (b) improvement of soft reduction process

及缩孔疏松评级均有显著提升,证明了优化后轻压下工艺的可行性。

4 结论

- (1) 精冲钢连铸板坯中心偏析级别偏高的主要原因是动态轻压下工艺中的压下位置偏后。
- (2) 通过射钉试验准确测定了 16MnCr5 钢典型工况下的凝固终点,距离弯月面 22.0 m,位于铸机扇形段 9 段第 4、5 对辊之间。
- (3) 采用射钉法实测的典型精冲钢凝固终点位置为轻压下工艺优化提供了准确的依据,生产结果表明,轻压下位置优化后,精冲钢的中心偏析控制在曼内斯曼标准 2.0 以内。

参考文献

- [1] 刘云旭. 低碳合金钢中带状组织的成因、危害和消除[J]. 金属热处理, 2000(12): 1-3.
- [2] 纪元, 张晓峰, 李鹏善, 等. 连铸坯中心碳偏析对其热轧盘条的遗传性[J]. 连铸, 2016, 41(6): 24-30.
- [3] 倪满森. 连铸坯的中心偏析问题[J]. 连铸, 2001(6): 24-26.
- [4] 孙群, 张波, 赵晨光, 等. 连铸中心偏析的研究[J]. 工业加热, 2007, 36(6): 38-40.
- [5] 黄成红, 陈国威, 刘光明. 控制连铸板坯中心偏析的实践[J]. 炼钢, 2009, 25(3): 25-28.
- [6] 胡晓红, 于铭杰, 陈永生, 等. 动态轻压下技术在连铸中的应用[J]. 连铸, 2010, 11(6): 8-11.
- [7] 林启勇, 蒋欢杰, 朱苗勇. 连铸坯动态轻压下的压下参数分析[J]. 材料与冶金学报, 2004, 3(4): 261-265.

于小春(1979-), 男, 硕士, 工程师, 2002 年辽宁科技大学(本科)毕业, 连铸工艺研究. E-mail: 630152@baosteel.com

收稿日期: 2019-03-31