

轻压下对 20CrMnTiH 钢 240 mm × 240 mm 铸坯 中心碳偏析和低倍组织的影响

李荣¹ 晁霞² 郭江¹

(1 济源职业技术学院冶金与化学工程系, 济源 459000; 2 河南济源钢铁(集团)有限公司, 济源 459000)

摘要 试验研究了单辊轻压下量(0~14 mm)和压下位置(1#~7#)对低碳钢 20CrMnTiH 240 mm × 240 mm 铸坯低倍组织和中心碳偏析的影响。结果表明,从 3#拉矫辊开始压下,最大压下量 9 mm,低倍无缩孔比例上升 12.3%,中心疏松 1.0 级比例和中心碳偏析无明显改善;从 2#拉矫辊开始压下,最大压下量 11 mm,中心疏松 1.0 级比例和无缩孔比例下降,中心碳偏析合格率提升 14.2%;从 1#拉矫辊开始压下,最大压下量 14 mm,中心疏松 1.0 级和无中心缩孔比例均为 100%,中心碳偏析合格率达到 71.4%。综合分析得出,20CrMnTiH 240 mm × 240 mm 铸坯在拉速 0.85 m/min,结晶器搅拌 300 A、5 Hz,单辊轻压下量 14 mm 时,铸坯中心碳偏析和低倍组织最佳。

关键词 20CrMnTiH 钢 铸坯 轻压下 低倍 中心碳偏析

Effect of Soft Reduction on Central Carbon Segregation and Macrostructure of 240 mm × 240 mm Casting Bloom of Steel 20CrMnTiH

Li Rong¹, Chao Xia² and Guo Jiang¹

(1 Department of Metallurgical and Chemical Engineering, Jiyuan Vocational and Technical College, Jiyuan 459000; 2 Henan Jiyuan Iron and Steel (Group) Co Ltd, Jiyuan 459000)

Abstract The effect of single roll soft reduction (0~14 mm) and reduction position (1#~7#) on macrostructure and central carbon segregation of 240 mm × 240 mm casting bloom of low carbon steel 20CrMnTiH has been tested and studied. Results show that as from roll No. 3 reduction and maximum soft reduction 9 mm, the ratio of the without shrinkage cavity increases by 12.3% and the ratio of center porosity 1.0 rating and center carbon segregation do not improve obviously; as from roll No. 2 reduction with maximum soft reduction 11 mm, the ratios of center porosity 1.0 rating and the without shrinkage cavity decrease, and the ratio of center carbon segregation increases by 14.2%; as from roll No. 1 reduction and the maximum soft reduction 14 mm, the ratios of center porosity 1.0 rating and without shrinkage cavity are up to 100%, and the ratio of center carbon segregation is 71.4%. By comprehensive analysis it is obtained that with casting speed 0.85 m/min, mold stirring 300 A and 5 Hz, the central carbon segregation and macrostructure of steel 20CrMnTiH 240 mm × 240 mm casting billet are better by single roll soft reduction 14 mm.

Material Index 20CrMnTiH Steel, Casting Bloom, Soft Reduction, Macrostructure, Central Carbon Segregation

随着市场对钢铁产品质量要求的不断提高,连铸生产无缺陷铸坯显得尤为重要。钢水凝固时从铸坯表面向铸坯中心不断生长的树枝晶,对钢水中的残余元素有一个排斥作用,使得这些元素随着树枝晶的伸长而不断向铸坯的中心富集,从而引起宏观偏析^[1-2]。在凝固末端,铸坯中心凝固时沿中心轴会快速降温,而铸坯表面不可能产生相应的温降。这样在凝固收缩过程中,铸坯中心就会形成一定的孔隙。

轻压下工艺不仅可以消除或减轻凝固收缩形成的中心孔隙,而且可以使凝固末端与液相穴上部保持联通,从而有效的改善钢坯内部质量^[3-5]。轻压下技术目前已成为国内外特钢厂解决铸坯内部质量的主要措施之一^[6]。日本新日铁室兰厂采用轻压下

技术改善了铸坯的 V 偏析和中心偏析^[7];韩国浦项采用轻压下后中心碳偏析从 1.6 降到 1.1,中心偏析评级改善了 87.5%^[8];蒂森 Ruhror 厂采用轻压下后消除了中心偏析和 V 型偏析,压下 8.5 mm 时孔隙度降低^[9-10];攀钢采用轻压下后中心碳偏析指数从 1.17 降到 1.05;中心疏松 1.0 级比例从 10.53% 增加到 51.15%;武钢采用轻压下后中心碳偏析指数从 1.10 降到 1.06^[11]。

轻压下的关键工艺控制参数有压下量、压下区间和压下速率^[12-13]。压下量指铸坯受轻压下作用前后厚度的改变总量,压下区间指轻压下的作用区域,压下率指压下量在压下区间内的分配规则。其中压下量在补偿钢水凝固时体积收缩、抑制钢水流动上发挥了至关重要的作用,压下量过大会使铸坯

内部产生裂纹,压下量过小铸坯中心疏松、中心缩孔及中心碳偏析等改善不明显。合适的压下量可以补偿压下区间内钢液在凝固过程中的体积收缩量、避免铸坯产生内裂、产生的反作用力要在铸机拉矫辊许可载荷范围内^[14-15]。

济源钢铁公司1[#]连铸机2012年投产,目前主要生产断面为240 mm×240 mm铸坯,主要生产优质碳素结构钢、合金结构钢、齿轮钢、耐磨钢球、弹簧钢、轴承钢等高端特殊钢产品。

为进一步提高钢坯内部质量,对1[#]连铸机实施轻压下技术改造,并以1[#]连铸机生产的断面为240 mm×240 mm 20CrMnTiH钢连铸坯为试验钢种,在对20CrMnTiH钢固相率进行模拟的基础上,制定轻压下参数,通过分析各阶段试验低倍控制情况、碳偏析控制情况确定最佳试验方案,确定合适的轻压下模型,从而使铸坯内部质量得到显著提高。

1 试验条件及方案

1.1 试验条件

在断面240 mm×240 mm的20CrMnTiH钢连铸坯上进行轻压下试验,研究轻压下的铸坯质量改善效果,试验钢20CrMnTiH目标化学成分见表1。试验在现有连铸机的基础上,对4架钳式拉矫机及底座主体设备进行改造,采用7架牌坊式拉矫机代替4架钳式拉矫机,压下辊间距1 150~1 200 mm,结晶器搅拌参数为300 A、5 Hz,同时将原有的多点矫直改为连续矫直,增加相关的液压、润滑、冷却等辅助系统及电气控制系统。试验所用连铸机主要技术参数见表2,设备改造参数见表3。

表1 20CrMnTiH钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel 20CrMnTiH/%

C	Si	Mn	Cr	P	S	Ti	Als
0.19	0.22	0.90	1.2	≤ 0.020	≤ 0.010	0.055 ~ 0.065	0.020 ~ 0.035

表2 连铸机的主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of caster

项目	技术参数
机型	弧形
流数	7流
流间距/mm	1 400
弧形半径/mm	10 000
结晶器长度/mm	900
断面/(mm×mm)	240×240
结晶器配置	外置结晶器电磁搅拌+凝固末端电磁搅拌
二次冷却	分为4区,足辊全水冷却+其余气雾冷却
结晶器铜管材质	CuAg合金
结晶器搅拌	300 A×5 Hz

表3 技术改造主要参数

Table 3 Main parameters of technical reconstruction

项目	技术参数
结构形式	牌坊式动态压下拉矫机组
最小开口度/mm	180
最大开口度/mm	360
机架数	7架/流
辊子数量	7对
驱动辊	上辊驱动
压下型式	液压缸驱动上辊压下
矫直方式	连续矫直

1.2 试验方案

试验分为3个阶段(次),各试验阶段的轻压下参数见表4,

2 试验结果与讨论

2.1 各试验阶段低倍组织

压下量和压下位置是轻压下工艺的重要工艺参数,不同的压下量和压下位置对铸坯成分的偏析影响也是不同的。240 mm×240 mm试验铸坯各阶段(次)的低倍组织情况见图1。

从图1可以看出,未实施轻压下时,方坯横截面中心有大的缩孔,有较为明显的V型偏析以及较严重的点状偏析;实施第1次轻压下后,中心缩孔明显改善;实施第2次轻压下后,中心缩孔和点状偏析未得到明显改善;实施第3次轻压下后,中心缩孔和中心偏析都得到很好的控制,检验结果显示中心疏松全部为1.0级,且没有产生中心缩孔。

2.2 各试验阶段低倍控制情况

试验铸坯各阶段(次)的低倍控制情况见表5。

第1次从3[#]辊开始压下,最大压下量为9 mm,试样无缩孔比例由87.7%增加到100%,其他低倍参数无变化;第2次从2[#]辊开始压下,最大压下量为11 mm,中心疏松1.0级比例由85.7%下降到57.14%,无缩孔比例由100%降回到87.7%;第3次从1[#]辊开始压下,最大压下量为14 mm,中心疏松

表4 各试验阶段轻压下参数

Table 4 Parameters of soft reduction at each test stage

足辊	各辊至弯月面距离/m	各辊固相率	试验压下量/mm		
			1次	2次	3次
1 [#]	11.6	0.21	0	0	3
2 [#]	12.8	0.41	0	3	7
3 [#]	14.0	1.0	2.5	7	11
4 [#]	15.2	1.0	6	11	14
5 [#]	16.4	1.0	9	11	14
6 [#]	17.5	1.0	9	11	14
7 [#]	19.7	1.0	9	11	14

注:试验过程拉速为0.85 m/min。

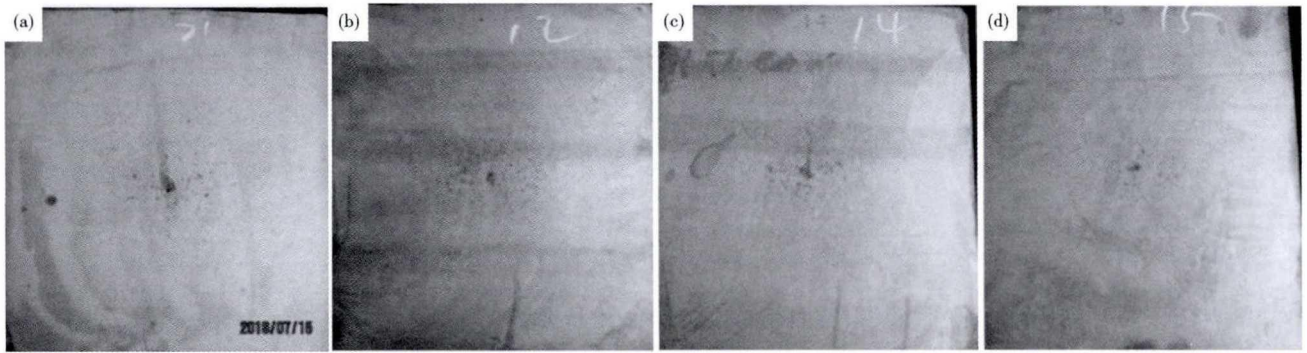


图 1 20CrMnTiH 钢 240 mm × 240 mm 铸坯未轻压下(a), 第 1 次轻压下试验(b), 第 2 次轻压下试验(c) 和第 3 次轻压下试验(d)的低倍组织

Fig.1 Macrostructure of steel 20CrMnTiH 240 mm × 240 mm cast bloom without soft reduction (a), with first soft reduction test (b), second soft reduction test (c) and third soft reduction test (d)

表 5 各试验阶段铸坯低倍控制参数

Table 5 Control parameters of macrostructure of cast bloom at each test stage

试验进度	1.0 级比例/%	无缩孔比例/%	低倍合格率/%	过热度/℃	拉速/(m · min ⁻¹)
未用轻压下	85.7	87.7	100	19	0.85
第 1 次	85.7	100	100	29	0.85
第 2 次	57.14	87.7	100	21	0.85
第 3 次	100	100	100	35	0.85

1.0 级比例由 57.14% 增加到 100%, 无缩孔比例也由 87.7% 恢复到 100%; 结合图 1 和表 4 可以看出, 随着轻压下的实施, 无缩孔比例达到 100%, 明显改善铸坯的中心疏松和缩孔。结合第 3 次试验结果和低碳钢凝固特性可以判断第 2 次试验发生的 1.0 级比例和无缩孔比例下降是因为压下量偏小, 压下位置偏后, 压下区间偏短导致的。综合上述分析第 3 次试验方案得到的 20CrMnTiH 铸坯的低倍质量是最优的。

2.3 各实验阶段中心碳偏析控制情况

试验铸坯各阶段的中心碳偏析控制情况见表 6。

第 1 次试验从 3[#] 辊开始压下, 最大压下量为 9 mm, 试样的中心碳平均偏析指数由 1.13 降到 1.10, 最大偏析指数由 1.24 降到 1.20; 第 2 次试验从 2[#] 辊开始压下, 最大压下量为 11 mm, 试样的中心

表 6 各试验阶段铸坯中心碳偏析控制参数

Table 6 Control parameters of central C segregation of cast bloom at each test stage

试验进度	中心偏析合格率/%	平均偏析指数	最大偏析指数	过热度/℃	拉速/(m · min ⁻¹)
未用轻压下	42.9	1.13	1.24	19	0.85
第 1 次	42.9	1.10	1.20	29	0.85
第 2 次	57.1	1.11	1.31	21	0.85
第 3 次	71.4	1.07	0.81	35	0.85

表 7 铸坯最佳轻压下控制参数

Table 7 Control parameters of optimum soft reduction for cast bloom

压下位置	各辊距弯月面距离/m	各辊固相率	设定压下量/mm
1 [#]	11.6	0.21	3
2 [#]	12.8	0.41	7
3 [#]	14.0	1.0	11
4 [#]	15.2	1.0	14
5 [#]	16.4	1.0	14
6 [#]	17.5	1.0	14
7 [#]	19.7	1.0	14

注: 当拉速为 0.85 m/min 时, 轻压下从 1[#] 拉矫辊开始连续压下; 当拉速为 0.90 m/min 时, 轻压下从 2[#] 拉矫辊开始连续压下。

偏析合格率由 42.9% 提高到 57.1%, 中心碳平均偏析指数由 1.10 增加到 1.11, 最大偏析指数由 1.24 增加到 1.31; 第 3 次试验从 1[#] 辊开始压下, 最大压下量为 14 mm, 试样的中心偏析合格率由 57.1% 提高到 71.4%, 中心碳平均偏析指数由 1.11 降到 1.07, 最大偏析指数由 1.31 降到 0.81; 可以看出, 随着轻压下压下量的增加, 压下位置的提前, 中心碳偏析合格率不断增加, 平均偏析指数和最大偏析指数均呈下降趋势。尤其是当最大压下量达到 14 mm 时, 中心偏析合格率达 71.4%, 最大偏析指数仅为 0.84, 明显地改善了铸坯中心碳偏析的问题。

结合第 3 次试验结果和低碳钢凝固特性可以判断第 2 次试验的平均偏析指数和最大偏析指数增加和 1.0 级比例和无缩孔比例下降是相同的原因。综合上述分析第 3 次试验方案得到的 20CrMnTiH 铸坯质量是最优的。

通过 3 个阶段的试验, 最终确定最佳轻压模型参数见表 7, 采用表 7 工艺参数进行扩大试验, 每季度累计生产 20CrMnTiH 低碳钢 0.72 万 t, 铸坯质量良好, 轧材质量稳定。

3 结论

(1)未实施轻压下时,方坯横截面中心有大的缩孔,有较为明显的 V 型偏析以及较严重的点状偏析;最大压下量为 14 mm,7 个足辊均压下时,中心疏松全部为 1.0 级,且没有产生中心缩孔。

(2)最大压下量为 14 mm,拉速为 0.85 m/min,过热度为 35 ℃时,低碳钢 20CrMnTiH 中心疏松 1.0 级比例和无缩孔比例均达到 100%,有效地改善了

中心疏松和中心缩孔。

(3)最大压下量为 14 mm,拉速为 0.85 m/min,过热度为 35 ℃时,低碳钢 20CrMnTiH 中心碳偏析合格率由 57.1% 提高到 71.4%,中心碳平均偏析指数由 1.11 降到 1.07,最大偏析指数由 1.31 降到 0.81,较好地解决了中心碳偏析,低倍质量最优。

河南省自然科学基金项目资助(19B450003)

参考文献

[1] 陈俊儒,张 慧,王明林,等.特殊钢连铸大方坯内部质量问题研究现状[J].铸造技术,2019,40(8):874-878.

[2] 杜东福,赵喜庆,张建业,等.提高 20CrMnTiH 齿轮钢冶金质量的工艺实践[J].特殊钢,2018,39(2):34-37.

[3] 王羽翀,王庆娟,徐李军,等.轻压下技术在板坯连铸生产中的应用[J].钢铁研究学报,2012,24(3):1-7.

[4] 周伟基,沙玉峰,路 辉,等.GCr15 连铸大方坯凝固终点及末端的大压下区间[J].钢铁,2018,253(1):41-45.

[5] 闫卫兵,郭旭东.宣钢小方坯连铸应用轻压下技术试验[J].河北冶金,2018(2):5-9.

[6] 赵军普,刘 浏,范建文,等.轻压下技术及其在连铸中的应用[J].材料导报,2018,30(8):57-61.

[7] Luo S,Zhu M Y and Ji C. Theoretical Model for Determining Optimum Soft Reduction Zone of Continuous Casting Steel [J]. Ironmaking & Steelmaking,2014,41(3):233-239.

[8] Ji C, Luo S and Zhu M Y. Analysis and Application of Soft Reduction Amount for Bloom Continuous Casting Process[J]. ISIJ International,2014,54(3):504-510.

[9] Liu K,Sun Q and Zhang J, et al. A Study on Quantitative Evaluation of Soft Reduction Amount for CC Bloom by Thermo-Mechanical FEM Model[J]. Metallurgical Research & Technology,2016,113(5):504-559.

[10] Sun H and Zhang J. Study on the Macrosegregation Behavior for the Bloom Continuous Casting; Model Development and Validation [J]. Metallurgical & Materials Transactions B,2014,45(3):1133-1149.

[11] 曾 杰,陈伟庆,曹长法,等.轻压下对 82B 钢矩形坯内部质量的影响[J].炼钢,2015,31(4):63-66.

[12] 李茂印,杨树峰,李京社,等.轻压下调对模具钢宽厚板坯中心质量的优化[J].钢铁,2017,52(12):36-41.

[13] 林大帅,李晓斐,张文涛,等.轻压下对 C610L 连铸板坯内部品质的改善[J].炼钢,2019,35(5):50-53.

[14] 李德军,廖相巍,于赋志,等.轻压下对高碳钢小方坯内部质量的影响[J].上海金属,2017,39(6):45-49.

[15] 李德军,李泽林,赵志刚,等.单辊轻压下对高碳钢 SWRH72B 180 mm × 180 mm 铸坯内部质量的影响[J].特殊钢,2017,38(6):33-36.

李 荣(1980-),女,硕士(2005 年内蒙古大学),副教授,2002 年包头钢铁学院(本科)毕业,冶金工艺技术研究。E-mail:15660109651@163.com

收稿日期:2020-04-28

**欢迎全国冶金、机械、耐材及相关
行业在《特殊钢》杂志上刊登工艺设备
和技术、产品研发宣传广告**