

单辊轻压下对高碳钢 SWRH72B 180 mm × 180 mm 铸坯 内部质量的影响

李德军^{1,2} 李泽林³ 赵志刚³ 许孟春^{1,2} 李晓伟^{1,2} 于赋志^{1,2}

(1 海洋装备用金属材料及其应用国家重点实验室,鞍山 114009; 2 鞍钢集团钢铁研究院,鞍山 114009;
3 鞍钢股份有限公司炼钢厂,鞍山 114021)

摘要 试验研究了单辊轻压下量(6~20 mm)和压下位置(1[#]~6[#]辊)对高碳钢 SWRH72B(γ :0.71C, 0.22Si, 0.64Mn, 0.010P, 0.006S)180 mm × 180 mm 铸坯中心碳偏析和低倍组织的影响。结果表明,在固相率 f_s 为0.45~0.63时,施加单辊轻压下有利于降低连铸坯的中心碳偏析,当固相率 f_s 大于0.82时,无法消除缩孔和降低中心碳偏析;在压下量6~20 mm,随着压下量的增加中心碳偏析度从1.15降低至1.04,在压下量大于15 mm后铸坯容易出现裂纹;超弱冷(比水量0.40 L/kg)较弱冷(比水量0.65 L/kg)更有利于控制中心碳偏析;综合分析得出,SWRH72B 钢 180 mm × 180 mm 铸坯在拉速1.3 m/min,结晶器搅拌300 A、5 Hz,比水量0.40 L/kg时,5[#]辊单辊轻压下的压下量15 mm 铸坯中心碳偏析和低倍组织最佳。

关键词 高碳钢 SWRH72B 180 mm × 180 mm 铸坯 碳偏析 单辊轻压下 低倍组织

Effect of Single Roll Soft Reduction on Inner Quality of 180 mm × 180 mm Casting Billet of High Carbon Steel SWRH72B

Li Dejun^{1,2}, Li Zelin³, Zhao Zhigang³, Xu Mengchun^{1,2}, Li Xiaowei^{1,2} and Yu Fuzhi^{1,2}

(1 State Key Laboratory of Metal Material for Marine Equipment and Application, Anshan 114009; 2 Iron and Steel Research Institute, Ansteel Group Corp, Anshan 114009; 3 Steelmaking Plant, Angang Co Ltd, Anshan 114021)

Abstract The effect of single roll soft reduction (6~20 mm) and reduction position (1[#]~6[#] roll) on central carbon segregation and macrostructure of 180 mm × 180 mm casting billet of high carbon steel SWRH92B (γ : 0.71C, 0.22Si, 0.64Mn, 0.010P, 0.006S) has been tested and studied. Results show that as solid fraction f_s is 0.45~0.63 the soft reduction is available to decrease central carbon segregation of casting billet, and as the solid fraction f_s is more than 0.82 the shrinkage cavity of billet can not be eliminated and the central carbon segregation can not be decreased; in condition of soft reduction 6~20 mm, with increasing reduction the central carbon segregation decreases from 1.15 to 1.04, and the cracks occur easily in billet as the soft reduction is more than 15 mm; compared with weak secondary cooling (water ratio 0.65 L/kg) and the ultra weak secondary cooling (water ratio 0.40 L/kg) is more favorable to control central carbon segregation; by comprehensive analysis it is obtained that with casting speed 1.3 m/min, mold stirring 300 A and 5 Hz, and secondary cooling water ratio 0.40 L/kg, the central carbon segregation and macrostructure of steel SWRH72B 180 mm × 180 mm casting billet are better by single roll soft reduction 15 mm at 5[#] roll.

Material Index High Carbon Steel SWRH72B, 180 mm × 180 mm Casting Billet, Carbon Segregation, Single Roll Soft Reduction, Macrostructure

高碳盘条钢 SWRH72B 主要用于拉拔生产钢丝和钢绞线,由于最终产品比较细,因此对组织要求较为严格,相关标准中规定,不得出现马氏体及网状渗碳体等异常组织。要求作为初始加工料的小方坯中心成分偏析度要低,尤其是中心碳元素的偏析度。然而在高碳钢小方坯的连铸过程中,面临的主要问题是铸坯的中心偏析和中心疏松的控制。大量的研究表明^[1-5],在连铸坯的凝固末端实施轻压下能够明显地改善铸坯中心偏析和中心疏松。本文进行了单辊静态轻压下对铸坯内部质量影响的研究。

1 试验方案

钢厂铸坯生产的钢种主要为普碳钢、高碳钢、帘

线钢、低合金钢、碳素结构钢、弹簧钢等钢种,连铸机的主要技术参数如表1所示。

为了使原有的小方坯连铸机实现具有大压下量功能,设计厂家(中冶连铸技术工程有限责任公司)根据工艺要求开发了共立柱一体化小辊间距动态压下拉矫机,其中拉矫机辊径为400 mm 辊距为800 mm。各流的6台拉矫机分别布置在弧形段、矫直段以及水平段上,其中1[#]拉矫机位于弧形段,2[#]至5[#]拉矫机位于矫直段上,完成对连铸坯的连续矫直,6[#]拉矫机位于水平段上。该设计的优点在于,不仅能够保证小辊间距的实现,而且还能解决设备在弧形段上的吊装问题,具备单机架上框架可独立拆卸功

表 1 铸机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of caster

项目	技术参数
机型	倾动存放式刚性引锭杆全弧六机六流小方坯连铸机
结晶器	液压正弦曲线振动,具有电磁搅拌功能
结晶器长度/mm	900
断面/mm	160 × 160, 180 × 180
流间距/mm	3 流与 4 流为 1 400, 其它为 1 250
弧形半径/mm	8 000
冶金长度/mm	25 000(弯月面至火切机)
二次冷却	足辊全水 + 3 个冷却区气雾冷却
单流拉矫机数/台	6
拉矫机拉速/(m · min ⁻¹)	0.2 ~ 4.0
定尺长度/mm	6 000 ~ 12 000

能,有利于设备维护。

为了研究单辊轻压下对连铸坯内部质量的影响,在试验条件(表 2)下进行了相关试验,选用的钢种为 SWRH72B 其成分如表 3 所示。

取长度方向 300 mm 的纵向中心切面为分析样本,每组试验将刨开的 3 块纵向样全部做冷酸侵蚀,挑选最严重的 1 块试样作为数据分析比较。在对铸

表 2 SWRH72B 钢 180 mm × 180 mm 坯连铸试验参数

Table 2 Casting testing parameters of 180 mm × 180 mm billet of steel SWRH72

中间包钢水 过热度/ ℃	拉速/ (m · min ⁻¹)	结晶器搅 拌电流/ A	搅拌频 率/Hz	比水量/ (L · kg ⁻¹)	压下量/ mm	压下辊
25 ~ 30	1.3, 1.5	300, 350	5	0.40 ~ 0.68	0 ~ 20	1# ~ 6#

表 3 SWRH72B 高碳钢化学成分/%

Table 3 Chemical composition of high carbon steel SWRH72B / %

元素	C	Si	Mn	P	S
内控值	0.68 ~ 0.76	0.15 ~ 0.36	0.58 ~ 0.75	≤ 0.020	≤ 0.015
目标值	0.70 ~ 0.73	0.19 ~ 0.30	0.60 ~ 0.70	≤ 0.015	≤ 0.010
检测值	0.71	0.22	0.64	0.010	0.006

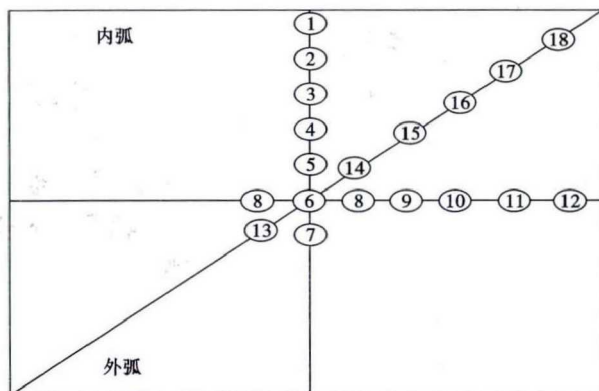


图 1 SWRH72B 钢 180 mm × 180 mm 铸坯取样部位

Fig. 1 Location of sampling at 180 mm × 180 mm casting billet of steel SWRH72B

坯成分偏析分析时,采用了 5 mm 钻头在铸坯横截面上钻屑的方法,考虑到铸坯的对称性,对铸坯采取了如图 1 所示的取样方法进行钻屑取样。本试验中碳偏析度采用所测试样点的碳成分与所有取样点平均碳成分的比值。

2 试验结果与讨论

2.1 压下位置对铸坯质量的影响

为了考察不同压下位置对铸坯质量的影响,在压下量为 10 mm,拉速为 1.3 m/min,结晶器搅拌电流 300 A、频率 5 Hz,比水量 0.40 L/kg 条件下,进行了各辊压下试验。试验铸坯的低倍组织情况及铸坯碳偏析结果如表 4 和图 2(a) 所示。

从表 4 中的缺陷统计情况来看,在压下量为 10 mm 的情况下,在 1# ~ 5# 辊,随着压下辊的后移铸坯的缩孔数量逐渐减少,在 5# 辊的位置进行压下时铸坯内部组织达到最佳,但当压下辊后移到 6# 辊时,缩孔数量又有所增多。说明压下辊的位置对铸坯的内部质量有重要影响,而压下辊的位置与铸坯内部两相区的固相率 f_s 相对应的。通过轻压下系统对铸坯的运算可以看出,4#、5#、6# 压下辊所对应的铸坯内部两相区固相率 f_s 分别为 0.45、0.63、0.82,表明该钢种在固相率 f_s 为 0.45 ~ 0.63 时施加压下效果相对能够达到最佳。当压下辊靠前即固相率 f_s 小于 0.45 时,就会导致上部的钢水无法补充到下部,使下部的铸坯容易产生疏松和缩孔,而当压下辊过于靠后即固相率 f_s 大于 0.82 时,钢水已大部分凝固,缩孔与碳偏析已经形成,此时进行压下已经难以对碳偏析和缩孔进行消除。

从图 2(a) 可以看出,不论是那个压下辊进行压下,其连铸坯的中心碳偏析相对其它位置都比较严重,这是选分结晶的结果。从铸坯的中心碳偏析情况来看,当压下辊过于靠前,铸坯中心的碳偏析越严重,随着压下辊的后移碳偏析有所减小,但当压下辊后移到 6# 辊时,中心的碳偏析又有所加重,这点与铸坯的内部组织缩孔及疏松情况是相符的,说明中心缩孔和疏松与碳偏析是相互对应的。

2.2 压下量对铸坯质量的影响

在轻压下工艺中,压下量是重要的工艺参数,不同的压下量对铸坯成分的偏析影响也是不同的,关于这点已经有许多学者进行了研究^[6-8]。由于通过之前的试验可以确定在 5# 辊采用压下能够提高铸坯的质量,因此在不同压下量对铸坯质量的影响试验中,针对 5# 辊采用不同压下量进行了不同压下量

对铸坯质量影响的考察,其结果如图 2(b) 所示。

从图 2(b) 可以看出,当压下量从 6 mm 增加到 20 mm 后,连铸坯中心的碳偏析度从 1.15 降低至 1.04,虽然随着压下量的增加对铸坯中心的碳偏析有良好的抑制作用,但从铸坯的低倍组织情况来看,压下量的增加也会出现新的质量问题,在压下量为 15 mm 和 20 mm 的试样中,沿着拉坯方向铸坯的中心附近都发现了压下裂纹。这主要由于在进行压下时,压下过程的应变会随着压下的进行逐渐向铸坯的中心渗透,当压下应变渗透到固液两相区后,压下应变带来的应力就会作用在铸坯凝固前沿,随着压下量的加大,伴随着应变的积累,应力也不断进行积累,当应力积累到大于凝固前沿的强度时,就会出现内裂纹。

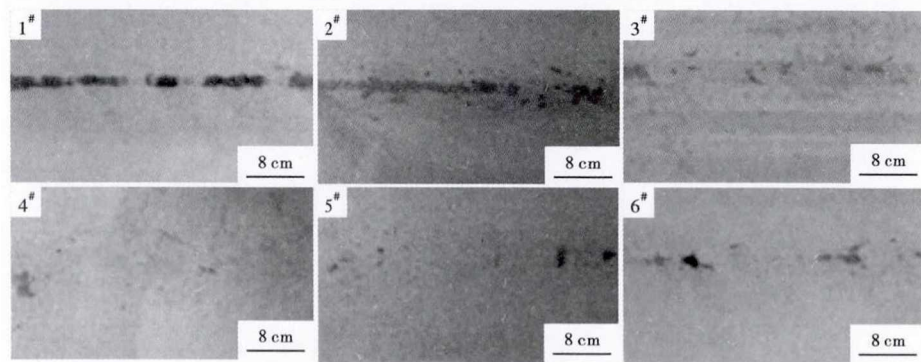
2.3 拉速对单辊压下铸坯质量的影响

为了分析在不同拉速下单辊压下对铸坯内部质量的影响,选取了 5# 辊在相同二冷条件下和相同压下量条件下,对拉速 1.3 m/min 和 1.5 m/min 进行了试验,试验结果如图 3(a) 所示。

从图 3(a) 可以看出,拉速在 1.3 m/min 时,连铸坯碳偏析范围是 0.96 ~ 1.07,当拉速升高到 1.5 m/min 时,碳偏析范围变为 0.95 ~ 1.13,明显加剧。这主要是因为,拉速增加时,在二冷条件不变的情况下,连铸坯内部的液相穴延长,5# 辊对应的压下区域的固液两相区的固相率 f_s 相应减小,在本试验的单辊压下工艺条件下,使单辊压下工艺没有更好地发挥出来。从试验的结果上来看,对于 SWRH72B 盘条钢适当降低拉速,能够有利于压下辊对铸坯在合适的固相率范围内实施压下,促进铸

表 4 轻压下量 10 mm 压下位置对 SWRH72B 钢 180 mm × 180 mm 铸坯低倍组织的影响,拉速 1.3 m/min,结晶器搅拌 300 A,5 Hz,二冷比水量 0.40 L/kg

Table 4 Effect of reduction position with soft reduction 10mm on macrostructure of 180 mm × 180 mm casting billet of steel SWRH72B with casting speed 1.3 m/min, mold stirring 300 A, 5 Hz, and secondary water ratio 0.40 L/kg



辊号	缩孔分布/个				缩孔/级	中心疏松/级	中心偏析/级	裂纹
	≤1 mm	2 mm	3 mm	5 mm				
1#	10	5	1	-	<1.0	<0.5	0.5	-
2#	7	2	2	1	1.0	<0.5	<0.5	有
3#	3	2	1	-	-	<0.5	<0.5	有
4#	7	2	-	-	-	<0.5	<0.5	-
5#	4	2	-	-	-	<0.5	<0.5	-
6#	10	3	-	-	-	<0.5	<0.5	有

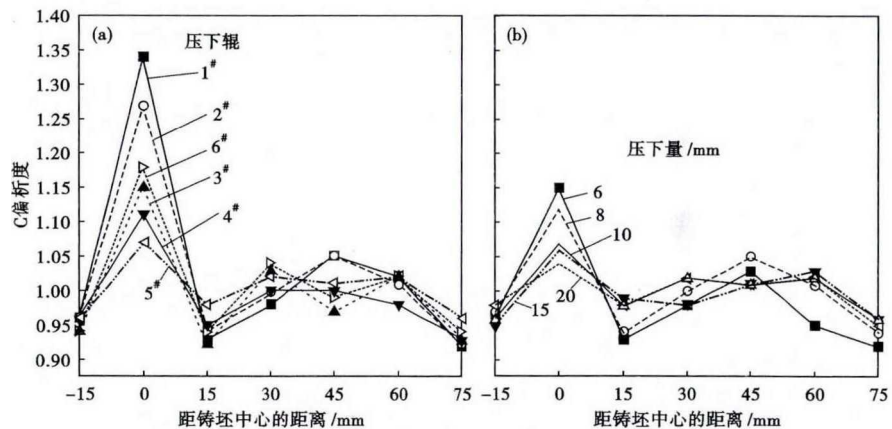


图 2 压下量 10 mm 压下辊位置(a) 和 5# 辊压下量(b) 对 SWRH72B 钢 180 mm × 180 mm 铸坯断面碳偏析分布的影响,拉速 1.3 m/min,结晶器搅拌 300 A,5 Hz,比水量 0.40 L/kg

Fig. 2 Effect of reduction roll position with soft reduction 10 mm (a) and 5# rolls reduction (b) on distribution of carbon segregation at cross section of 180 mm × 180 mm casting billet of steel SWRH72B with casting speed 1.3 m/min, mold stirring 300 A, 5 Hz and secondary water ratio 0.40 L/kg

坯内部质量提高。在原有二冷条件不变的情况下,提高拉速会使最佳的固相率区间偏离压下辊,导致难以提升铸坯内部质量,甚至有可能恶化铸坯内部质量,这点在生产过程中要引起足够的重视。

2.4 二冷强度对单辊压下铸坯质量的影响

二冷强度是连铸过程中重要的参数,不同的二

冷强度对铸坯实施单辊压下也会有很大影响。在 1.3 m/min 的拉速下,对铸坯实施了弱冷(比水量 0.65 L/kg)和超弱冷(比水量 0.40 L/kg)不同的二冷强度的冷却方式。为了便于分析和比较,同样采用 5[#] 辊压下 10 mm 压下量进行试验,其试验结果如图 4 (b)所示。

从图 4(b)可知,弱冷与超弱冷对比,在拉速同为 1.3 m/min 的条件下,弱冷铸坯的中心碳偏析严重,偏析度达到了 1.14,而超弱冷铸坯内部质量较好,中心碳偏析度可控制在 1.07。

为了进一步分析冷却强度对铸坯凝固组织的影响,对其试样进行了等轴晶率分析,在弱冷条件下等轴晶率为 18%,而超弱冷的等轴晶率为 26%。弱冷相对于超弱冷其冷却强度要强,一方面会导致铸坯的柱状晶发达,尤其是对于高碳钢表现得更为突出,不利于对中心偏析的控制;另一方面会使凝固末端前移,导致最佳的固液两相区所对应的固相率 f_s 偏离 5[#] 辊压下区。这两方面因素导致在单辊压下时,弱冷要较超弱冷铸坯的内部质量差。

3 结论

(1) 对于 SWRH72B 盘条钢在固相率 f_s 为 0.45~0.63 时,施加单辊轻压下能够减少连铸坯的中心碳偏析,当固相率 f_s 大于 0.82 时,缩孔已经形成,此时进行压下已经无法消除缩孔和中心碳偏析。

(2) 在单辊实施 6~20 mm 的压下量,随着压下量的增加,铸坯的中心碳偏析得到了改善,但在压下量大于 15 mm 后铸坯容易出现压下裂纹。

(3) 在二冷条件不变的情况下,提高拉速会使最佳的固相率区间偏离压下辊,难以提升铸坯内部质量;在拉速相同情况下,超弱冷(比水量 0.40 L/kg)较弱冷(比水量 0.65 L/kg)更有利于控制铸坯中心碳偏析。

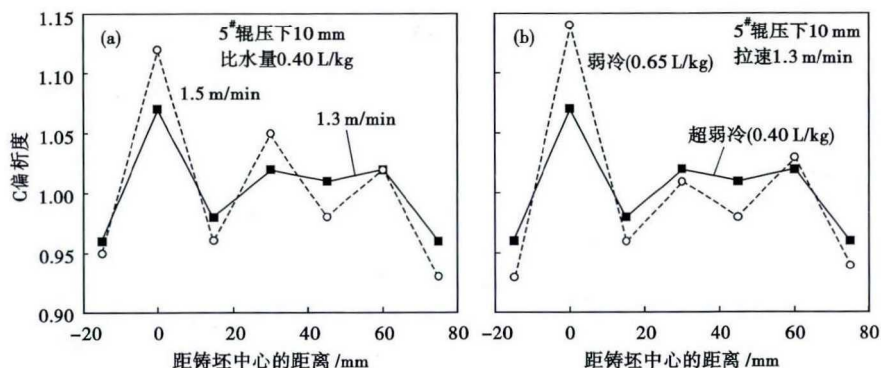


图 4 5[#] 辊轻压下 10 mm 时拉速(a)和二冷比水量(b)对 SWRH72B 钢 180 mm × 180 mm 铸坯断面碳偏析分布的影响

Fig. 4 Effect of casting speed (a) and secondary water ratio (b) on distribution of carbon segregation at cross section of 180 mm × 180 mm casting billet of steel SWRH72B with 5[#] rolls soft reduction 10 mm

(4) 对于 SWRH72B 盘条钢在拉速 1.3 m/min 实施单辊轻压时,在保证铸坯内部不出现裂纹的情况下,压下量为 15 mm 压下位置在 5[#] 辊位置铸坯质量最佳。

参考文献

- [1] 王一成,胡 鹏. 连铸方坯轻压下内裂纹形成研究[J]. 炼钢, 2015,31(2):49-53.
- [2] 赵 迪,许少普,乔华伟,等. 动态轻压下模型对连铸坯内部质量改善的影响[J]. 炼钢,2013,29(2):57-60.
- [3] 廖永松. 轻压下技术在高碳钢方坯连铸中的应用[J]. 炼钢, 2002,18(5):35-39.
- [4] 王光进,刘宗毅,洪 军. 静态轻压下技术在高碳连铸方坯生产中的应用[J]. 钢铁研究,2006,34(4):36-39.
- [5] 沈建国,王迎春. 大方坯连铸内部缺陷与轻压下工艺研究[J]. 铸造技术,2012,33(3):335-338.
- [6] 张冰成,金美余,李志刚,等. 连铸生产高碳钢方坯轻压下技术应用参数的选取[J]. 特种铸造及有色合金,2014,34(1):32-33.
- [7] 戴 欣. 动态轻压下技术对大方坯连铸工艺性能的影响[J]. 铸造技术,2015,36(6):1559-1562.
- [8] 刘 伟,吴 巍,刘 浏,等. 静态轻压下技术在 GCr15 轴承钢连铸生产中的应用[J]. 特殊钢,2009,30(1):44-45.

李德军(1976-),男,博士(2013年东北大学),副研究员,2000年鞍山钢铁学院(本科)毕业,连铸坯质量控制和研究。

收稿日期:2017-06-21