Φ430 mm 断面结晶器电磁搅拌工艺优化*

付 岳,赵志东,王立军,李东明

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 在Φ430 mm圆坯断面的生产过程中将结晶器电磁搅拌电流方向由“单一方向转动”调整为“正反转交替转动”模式。试验结果表明断面中心等轴晶比率提升,碳偏析状况明显改善。

关键词: 结晶器电磁搅拌; 等轴晶率; 碳偏析

中图分类号: TG245 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)04-0039-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.04.010

Process Optimization for Electromagnetic Stirring of Mould with Φ430 mm Section

Fu Yue, Zhao Zhi-dong, Wang Li-jun, Li Dong-ming

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the production process of round billet with Φ430 mm section, the original current direction("single direction rotation") of electromagnetic stirring of mould was adjusted to "alternate rotation with positive and negative rotation" mode. The experimental results showed the equiaxial crystal ratio of section center was increased and the carbon segregation was obviously improved.

Key words: electromagnetic stirring of mould; equiaxial crystal ratio; carbon segregation

随着连铸钢种向着高品质钢种的转移,对铸坯内部质量的要求不断提高,原有结晶器电磁搅拌工艺的不足逐渐显现,已经不能满足新钢种对于铸坯质量的要求[1-2]。包钢1#铸机通过对照试验优化结晶器电磁搅拌工艺,将有原有的结晶器电磁搅拌由“单一方向转动模式”调整为“正反转交替转动模式”,改善了大断面圆管坯碳偏析,提高中心等轴晶比率,达到提高铸坯内部质量的目的。

1 连铸机的主要技术参数

包钢炼钢厂1#铸机为5机5流弧形大方坯连铸机,2013年完成了方改圆改造,增加了Φ270 mm~Φ430 mm断面,实现了单铸机多断面生产。1#铸机主要工艺参数和Φ430 mm断面结晶器电磁搅拌参数分别见表1和表2。

表1 1#铸机主要工艺参数

项目	参数
中间包容量/t	30
结晶器长度/mm	700~720
流间距/mm	1 650
铸坯规格/mm	Φ270、Φ300、Φ350、Φ390、Φ430
拉速/(m·min^{-1})	0.15~1.15

* 收稿日期: 2019-06-05

作者简介: 付 岳(1986-),男,内蒙古呼和浩特市人,工程师,主要从事连铸工艺的开发及应用工作。

中国知网 https://www.cnki.net

表2 结晶器电磁搅拌主要技术参数

项目	参数
磁场形态	旋转磁场
冷却方式	线圈采用独立循环净水进行冷却
电流/A	300
频率/Hz	1.8
电流方向	单一方向

2 研究方法

通过了解目前1#铸机Φ430 mm断面结晶器电磁搅拌工艺及应用情况，制定试验方案，具体情况见表3，研究结晶器电磁搅拌电流方向不同转动模式对铸坯内部质量的影响，确定最佳的电磁搅拌工艺。

表3 结晶器电磁搅拌工艺调整试验方案

项目	原有参数	试验参数
电流/A	300	300
频率/Hz	1.8	1.8
电流方向	单一方向	正转10 s，停3 s，反转10 s

根据试验方案进行现场试验，取铸坯横断面试样做热酸检验，测量铸坯的枝晶结构，对比中心等轴晶比率；用6 mm的钻头，沿铸坯内外弧中心线间隔一定的距离连续在铸坯的横断面上钻取试样，分析碳含量，对比其碳偏析情况[3]。每个试样从中心点（包括中心点）向内弧度方向间隔10 mm取一个点，取到边界（共计21个点），沿外弧方向间隔10 mm只取5个点，碳偏析取样位置见图1。

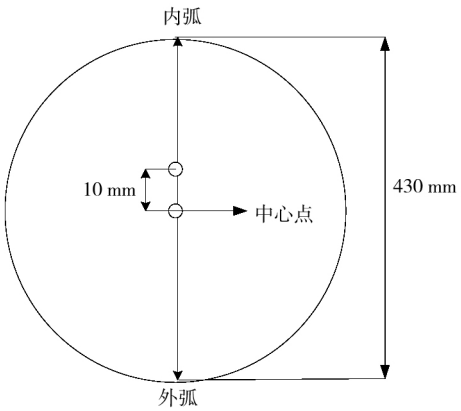
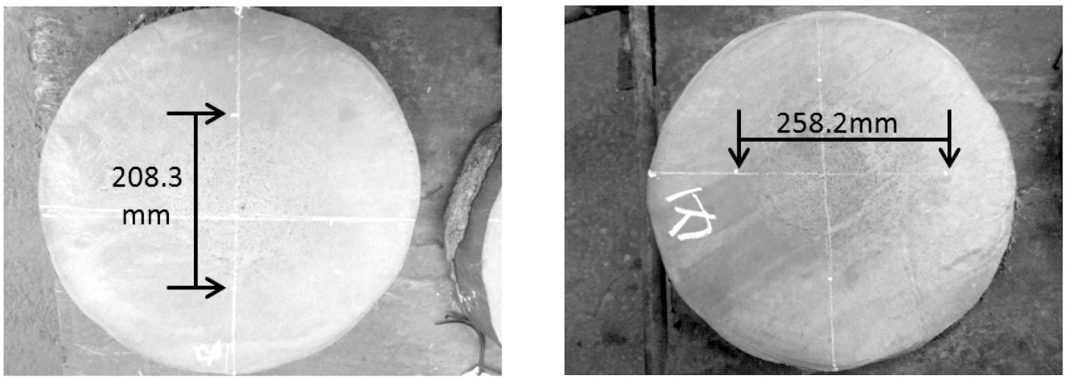


图1 碳偏析点取样位置示意图

3 试验结果分析

3.1 等轴晶比率对比

每种方案下的铸坯横截面取样进行热酸低倍检验，通过肉眼观察实验铸坯的低倍照片，测量不同结晶器电磁搅拌工艺下中心等轴晶区的直径，并且计算得出等轴晶面积及等轴晶比率的数值（等轴晶比率=等轴晶区面积/铸坯面积×100%），低倍试样照片及等轴晶比率结果见图2及表4。



（a）原有工艺 （b）试验工艺

图2 铸坯低倍试样等轴晶区测量实物图

中国知网 https://www.cnki.net

表 4　中心等轴晶比率计算结果对比

项目	原有参数	试验参数
设计参数	单一方向	正转 10 s，停 3 s，反转 10 s
中心等轴晶区直径/mm	208.3	258.2
中心等轴晶比率/%	23.47	36.06

对比不同结晶器电磁搅拌工艺下的低倍试样，表面细小等轴晶区长度均为 6 ~ 7 mm，无明显差别；但试验工艺所生产铸坯的中心等轴晶区面积明显较大。按照内外弧方向测量原工艺和实验工艺铸坯中心等轴晶区直径，长度分别为 208.3 mm 和 258.2 mm，计算中心等轴晶比率分别为 23.47% 和 36.06%。试验结果表明，结晶器电磁搅拌电流及频率保持不变，将原有的“电流单一方向转动模式”调整为“正反转交替转动模式”，铸坯中心等轴晶比率提高了 12.59 个百分点，起到了优化铸坯内部组织结构、改善铸坯内部质量的作用。

3.2　碳偏析对比

取样分析不同结晶器电磁搅拌工艺对铸坯横断面碳偏析度的影响。中心点为 0 点，沿着内弧方向每间隔 10 mm 取一个点取到铸坯外表面；沿外弧方向每间隔 10 mm 取一个点，只取 5 个点，检测每个点的碳含量，取样实物图见图 3。

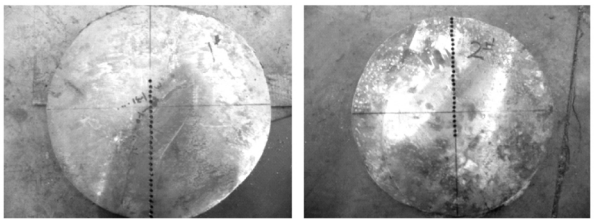


图 3　碳偏析取样实物图

对试验铸坯碳偏析的分析方法采用偏析度来计算，通过计算每块铸坯从内弧侧到外弧侧各个取样点的碳元素偏析度，判断铸坯成分偏析的分布规律。

碳的偏析度计算公式：

$K = w(\mathrm{C}) / w(\mathrm{Co})$

式中：$w(\mathrm{C})$ —— 某一点的碳含量；

$w(\mathrm{Co})$ —— 铸坯中碳的平均含量。

当 $K > 1$ 时，为正偏析；当 $K < 1$ 时，为负偏析。

不同工艺下各点的碳含量检测结果及碳偏析度计算结果如表 5。原工艺铸坯中碳的平均含量为 0.173%，试验工艺铸坯中碳的平均含量为 0.165%。

表 5　取样点碳含量及碳偏析度计算结果

位置	距离铸坯中心点的距离/mm	原工艺		试验工艺	
		$w(\mathrm{C})$/%	K	$w(\mathrm{C})$/%	K
外弧	-50	0.165	0.95	0.151	0.92
	-40	0.153	0.88	0.158	0.96
	-30	0.176	1.02	0.160	0.97
	-20	0.166	0.96	0.164	0.99
	-10	0.180	1.04	0.174	1.05
中心点	0	0.176	1.02	0.178	1.08
内弧	10	0.181	1.05	0.150	0.91
	20	0.159	0.92	0.160	0.97
	30	0.177	1.02	0.165	1.00
	40	0.162	0.94	0.167	1.01
	50	0.171	0.99	0.178	1.08
	60	0.174	1.01	0.161	0.98
	70	0.194	1.12	0.166	1.01
	80	0.176	1.02	0.168	1.02
	90	0.194	1.12	0.182	1.10
	100	0.202	1.17	0.170	1.03
	110	0.198	1.14	0.168	1.02
	120	0.189	1.09	0.174	1.05
	130	0.198	1.14	0.175	1.06
	140	0.183	1.06	0.174	1.05
	150	0.176	1.02	0.171	1.04
	160	0.165	0.95	0.165	1.00
	170	0.156	0.90	0.165	1.00
	180	0.146	0.84	0.147	0.89
	190	0.142	0.82	0.143	0.87
	200	0.153	0.88	0.158	0.96
	210	0.172	0.99	0.173	1.05

不同电磁搅拌工艺下 Φ430 mm 断面铸坯横断面碳偏析度变化趋势见图 4。

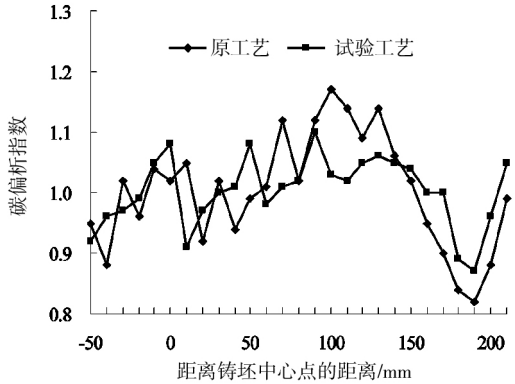


图 4　碳偏析指数变化趋势对比图

（下转第 47 页）

中国知网　https://www.cnki.net

之后脱离轧辊后内层又向其传热，温度逐渐升高。

3　结论

(1) Accu 轧机轧制 TC4 无缝管时截面先逐渐靠近方形，然后逐渐归圆; Assel 轧机轧制 TC4 无缝管时，截面形状先靠近三角形，然后逐渐归圆。相比于 Accu 和 Assel 轧机，PQF 轧机轧制 TC4 无缝管时，由于孔型限制，截面形状均比较近似于圆形。

(2) 轧制时温度变化与接触传热、摩擦生热、塑性功生热、轧制参数等因素有关，内壁温度较高的原因与摩擦生热有关，壁厚中心处温度升高的原因主要与塑性变形有关。由于 Accu 轧机与 Assel 轧机轧制过程时间短，所以温度下降较 PQF 轧机小。

(3) Accu 轧机和 Assel 轧机的应力分布较为复杂，轧制过程中多处位置均存在应力较大值。其应力分布较 PQF 轧机复杂。采用 3 种方式轧制时，内侧金属的应变较外侧金属的应变大。

(4) PQF 轧机相比于 Accu 和 Assel 轧机轧制无缝管时尺寸精度高，截面形状变形程度小，出口速度快。

参　考　文　献

[1] GUPTA K, LAUBSCHER R F. Sustainable machining of titanium alloys: A critical review [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2017, 231(14): 2543 - 2560.

[2] 余志远，于振涛，刘汉源，等. 钛合金无缝管材的研制与应用现状 [J]. 热加工工艺，2018，(09): 6 - 9.

[3] 李永林，袁红军，朱宝辉，等. TA18 钛合金斜轧管坯组织与性能研究 [J]. 钛工业进展，2014，(05): 23 - 27.

[4] 赵彬，曾卫东，赵永庆. 加工方法对高强钛合金管坯组织性能的影响 [J]. 热加工工艺，2008，(04): 23 - 25.

[5] 成海涛，李赤波，李晓. 轧管工艺技术(I)——《热轧无缝钢管实用技术》[J]. 钢管，2019，(01): 78 - 83.

[6] 张良夫. 浅谈 Assel 轧管机与 Accu Roll 轧管机的性能对比 [J]. 钢管，2008，(01): 57 - 59.

(上接第 41 页)

由图 4 和表 5 可知，沿内弧方向距离中心点 100 mm 处为最大正偏析点，偏析指数达到 1.17; 沿内弧方向距离中心点 190 mm 处为最大负偏析点，偏析指数为 0.82; 而试验工艺最大正偏析点偏析指数为 1.10，最大负偏析点偏析指数为 0.87。

距离中心点 -50 ~ +50 mm 范围内，两种工艺碳偏析度变化幅度较小，无明显差别。距离中点 50 ~ 160 mm范围内正偏析度对比: 原工艺有 4 个点位偏析度达到 1.12 以上，最高达到 1.17; 而实验工艺除 +90 mm 点位偏析度为 1.1 外，其他点位正偏析度接近 1，几乎不存在正偏析。距离中点 160 ~ 210 mm范围内负偏析度对比: 原工艺相同点位负偏析度均小于试验工艺，变化较明显。

试验结果表明，结晶器电磁搅工艺采用“正反转交替模式”其相对于原有工艺碳偏析指数变化幅度明显减小，碳偏析指数变化趋势曲线趋于平缓，碳偏析情况得到明显改善。

4　结论

(1) 包钢 1# 铸机 Φ430 mm 断面通过改变结晶器电磁搅拌转动模式的工艺改进，铸坯中心等轴晶比率提高了 12.59 个百分点，达到优化铸坯内部组织结构、改善铸坯内部质量的效果。

(2) 试验结果表明，通过工艺优化，Φ430 mm 铸坯横断面碳偏析现象明显改善，铸坯不同位置成分的均匀性得到提高。

参　考　文　献

[1] 吴存有，周月明，候晓光. 电磁搅拌技术的发展 [J]. 世界钢铁，2010，(2): 36 - 41.

[2] 李春龙，姜茂发，王宝峰. 组合电磁搅拌对连铸大方坯内部质量的影响 [J]. 东北大学学报，2003，24(7): 34 - 37.

[3] 韩春鹏，张怀军，钱静秋. Φ210 mm 断面末端电磁搅拌的应用研究 [J]. 包钢科技，2015，(3): 28 - 29.

中国知网　https://www.cnki.net