中间包钢液施加电脉冲的冶金效果研究

顾武安[1,2]

(1. 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083;2. 攀枝花钢铁研究院,四川 攀枝花 617000)

摘 要:在攀钢 1#板坯连铸中间包上,采用电脉冲处理钢液以提高凝固后铸坯的等轴晶率,对铸坯中心偏析和铸坯内部质量等冶金效果进行了分析。试验结果表明,电脉冲处理中间包钢液后,铸坯等轴晶率为 53% ~ 91%,平均 66%,与未经过电脉冲处理铸坯相比,铸坯等轴晶率平均提高了 45%。电脉冲处理后铸坯中心偏析明显减轻,铸坯内部质量更加良好。电脉冲处理改善铸坯中心碳、磷、硫等元素偏析效果明显,并且随着电流和频率的增加,改善效果更加明显,有利于提高其热轧板力学性能。

关键词:中间包;电脉冲;晶粒细化;偏析

中图分类号:TF777　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1004 - 7638(2009)01 - 0051 - 04

Study on the Metallurgical Effects of Electric Pulse Acted on Molten Steel in Tundish

Gu Wu'an[1,2]

(1. School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;
2. Panzhihua Iron and Steel Research Institute, Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract: The metallurgical effects of electric pulse acted on molten steel in the tundish of Panzhihua Steel were studied, including the element segregation improvement for casting slabs and refining crystal structure. The results show that, the equiaxed crystal ratio could be 53% to 91%, average was 66%, which was higher 45% than that without electric pulse treatment; the center segregations of C, S & P of casting slab have been significantly reduced with increasing of the electric current and the frequency of electric pulse, mechanics property of hot rolled strip was better after the treatment of EP.

Key words: tundish; electric pulse; crystal structure; element segregation

0 引言

多年来,人们对金属的成分、结构、性能及其凝固过程进行了卓有成效的研究,取得了丰硕成果,对于认识液态金属的特征和钢铁及其他材料的生产,起到了很大的推动作用。纵观前人的研究,从平衡条件下的液态金属凝固分析,发展到物理场作用下的研究,甚至是对于电脉冲作用下非平衡凝固的工业生产的研究产生了浓厚兴趣[1]。电脉冲处理不仅可以控制液态金属的凝固组织,还能改善其机械性能。笔者在攀钢 1#板坯连铸中间包上,采用电脉冲处理技术进行了工业应用试验,在提高铸坯等轴晶率、改善铸坯中心偏析和优化热轧板力学性能等方面取得一定效果。在工业生产过程中,验证了电脉冲连铸中间包钢液衰减现象,并探讨了电脉冲工艺参数对连铸坯中心偏析的影响。

收稿日期:2008 - 06 - 16
作者简介:顾武安(1965—),男,湖南醴安人,博士,高级工程师,主要从事炼钢、连铸、精炼工艺研究。
E - mail: guwuan@sina.com

1 试验条件和方法

1.1 试验条件

电脉冲处理中间包钢液工业应用试验在攀钢1#板坯连铸机上进行，试验钢种为STB32，其主要化学成分见表1。攀钢1#板坯连铸机是一台两机两流的大型板坯连铸机，两流之间距离为5 600 mm，电脉冲处理用两根直径为100 mm，长度为1 200 mm的电极安装在靠左侧铸流的直径为450 mm烘烤孔中，电极插入中间包钢液深度为300 mm，烘烤孔与铸流之间距离为750 mm。

表1 STB32钢主要化学成分

Table 1 The main chemical composition of STB32 %

C	Si	Mn	P	S
0.05~0.07	0.02	0.25~0.28	0.013~0.016	0.011~0.016

1.2 试验方法

电脉冲处理中间包钢液工业试验的工艺参数，选择了频率0~50 Hz，电流0~1 000 A，并将其分成1,2,3,4组，其中1,2组电流相同，3,4组电流相同，且3,4组电流大于1,2组；同样，1,3组频率相同，2,4组频率相同，且2,4组频率大于1,3组。中间包内的钢液过热度分别控制在20~30 ℃，拉速控制在1.0~1.3 m/min，浇注铸坯断面为200 mm×1 050 mm。

为了确保电脉冲处理效果以及所取的铸坯试样具有代表性，每组参数的工业应用试验，电脉冲稳定处理时间都在20 min以上，然后在电脉冲处理对应的铸坯上取样分析。

2 试验结果与分析

2.1 电脉冲处理中间包钢液提高铸坯等轴晶率效果

表2为电脉冲处理中间包钢液提高铸坯等轴晶率的工业试验情况。由表2可见，四组工艺参数下的铸坯等轴晶率分别为56%~68%，57%~86%，53%~60%，60%~91%，最高铸坯等轴晶率达到91%，平均为66%。与未施加电脉冲铸坯相比，在过热度和冷却条件基本相当的情况下，铸坯等轴晶率平均提高45%，电脉冲处理中间包钢液提高铸坯等轴晶率的效果较为明显。

交变磁场作用于中间包钢液凝固体系，当在钢液中通以脉冲电流时，在钢液中将产生一个交变的磁场，在这交变磁场作用下，钢液中将产生一个感应电流，磁场与感应电流之间产生电磁作用，就产生一个脉动的电磁力[2]。电磁力沿径向将钢液压向或拉离轴心，从而凝固体系产生规则的波动。这种波动对凝固过程的影响与强化对流产生的影响没有本质区别[3-4]，因此，交变磁场具有细化晶粒和提高铸坯等轴晶率的作用。从磁场带来的波动效应来看，磁感应强度越大，电磁力越大，因而波动越激烈，晶粒细化效果越显著。但是，在磁场强度增加的同时，感应电流也成比例地增加。感应电流增加，相应地会在钢液中产生增大了的热效应，从而使过冷度减小，进而使形核率下降，引起晶粒粗化。由此可见，脉冲磁场产生的感生电流具有双重作用[5]。一方面强化对流，细化晶粒；另一方面减小过冷度，粗化晶粒，要很好的控制。

表2 电脉冲处理铸坯等轴晶率

Table 2 The equiaxed crystal ratio by electric pulse treatment

项目	工艺参数组别	铸坯等轴晶率/%		样本数
		范围	平均	
电处理	1	56~68	62	2
电处理	2	57~86	72	2
电处理	3	53~60	57	2
电处理	4	60~91	76	2
电处理	合计	53~91	66	8
未电处理			21	5

2.2 电脉冲处理中间包钢液衰减现象

作为向钢液中传导脉冲电流的媒介，电极及其附近的电流密度，磁感应强度，电磁力都是相对比较大的，脉冲电流对钢液的作用也集中在电极的周围，电极插入位置的变化势必引起钢液中电场分布的显著变化，同时也会改变磁感应强度及电磁力等的分布。图1表示距离电极位置不同，电脉冲处理中间包钢液，提高铸坯等轴晶率的效果不同。距离电极较近的位置，铸坯等轴晶率要高于离电极远处，这表明电脉冲处理钢液存在衰减现象。

2.3 电脉冲对铸坯组织的影响

经过电脉冲处理中间包钢液铸坯的酸浸低倍检验结果如表3所示，铸坯酸浸低倍评级依据的标准是YB/T 4003—1997。由表3可见，采用四组参数处理后的铸坯，其中心偏析评级都比未经过电脉冲处理铸坯低，中心疏松，角裂纹和气泡评级则基本相当。

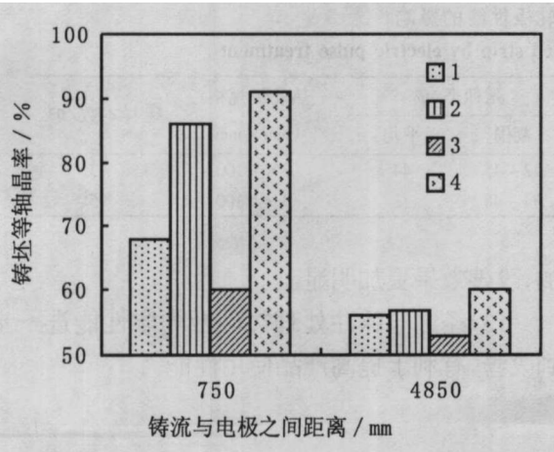

图 1　电脉冲处理中间包钢液衰减现象

Fig.1　Effects of the electric poles position in tundish on the equiaxed grain ratio

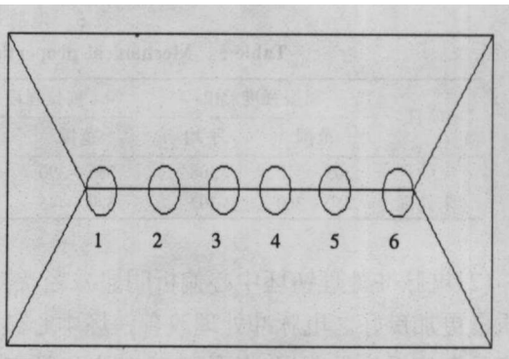

图 2　铸坯横断面成分偏析取样位置

Fig. 2　Sample position of center element segregation of the slab

表 3　电脉冲处理铸坯低倍评级

Table 3　Results of Macroscopic test of the slab by electric pulse treatment

工艺参数	中心偏析/级	中心疏松/级	角裂纹/级	气泡/级	样本数
1	0.5(C)	1.0	1.0	0.5	2
2	0.5(C)	1.0	0.5		2
3	0.5(C)	1.0	1.0	1.0	2
4	0.5(C)	1.0	1.0		2
未电处理	0.5(B)	1.0	0.5	0.5	5

2.4　电脉冲对铸坯中心偏析的影响

为了评价铸坯横断面元素的偏析程度,对不同参数电脉冲作用后的铸坯进行取样分析,比较铸坯中心六个取样点(如图 2 所示)上元素的偏析度,并以铸坯中心碳偏析 0.95 ~ 1.05 占总铸坯中心碳偏析的百分比来衡量改善碳偏析的效果,以铸坯中心磷、硫偏析 0.90 ~ 1.10 占总铸坯中心磷、硫偏析的百分比来衡量改善磷、硫偏析的效果,结果见表 4。由表 4 可见,采用电脉冲处理钢液后,铸坯中心碳偏析波动范围分别为 0.87 ~ 1.12,平均 1.01,其中第 1 和第 3 组工艺参数下,电脉冲处理改善铸坯中心碳偏析效果明显。铸坯中心磷偏析波动范围为 0.85 ~ 1.31,平均 1.00。第 3 组参数电脉冲处理对改善铸坯中心磷偏析效果明显。铸坯中心硫偏析波动范围为 0.67 ~ 1.13,平均 0.94。第 2,3 和 4 组参数电脉冲处理对改善铸坯中心硫偏析效果明显。

综合来看,第 3 组参数电脉冲处理对改善铸坯中心碳、磷、硫偏析效果明显。

2.5　电脉冲处理对热轧板性能的影响

表 4　电脉冲处理铸坯中心偏析

Table 4　The center element segregation of the slab by electric pulse treatment

项目	工艺参数	范围	平均	效果/%	样本数
碳偏析	1	0.96 ~ 1.04	0.99	100	12
	2	0.87 ~ 0.98	0.92	33	12
	3	1.00 ~ 1.04	1.03	100	12
	4	1.04 ~ 1.12	1.08	50	12
磷偏析	1	0.85 ~ 1.15	1.03	50	12
	2	0.88 ~ 0.94	0.90	33	12
	3	0.94 ~ 1.06	0.99	100	12
	4	0.94 ~ 1.31	1.06	83	12
硫偏析	1	0.67 ~ 0.78	0.73	0	12
	2	0.91 ~ 1.00	0.97	100	12
	3	1.00 ~ 1.13	1.05	83	12
	4	0.94 ~ 1.06	1.00	100	12

中间包施加电脉冲对热轧板性能的影响如表 5 所示,钢种为 STB32。中间包施加电脉冲与未施加电脉冲的炉次,均为同一浇次,其成品成分差别不明显。试验样品规格为 3 mm × 1 100 mm,经过电脉冲处理的热轧板屈服强度为 305 ~ 310 MPa,抗拉强度为 385 ~ 390 MPa,延伸率为 42% ~ 45%;未经过电脉冲处理的热轧板屈服强度为 250 ~ 360 MPa,抗拉强度为 320 ~ 445 MPa,延伸率为 34% ~ 48%,由此可见,经过电脉冲处理的热轧板屈服强度,抗拉强度和延伸率,比没有经过电脉冲处理的热轧板稳定,其力学性能明显好于未电脉冲处理的热轧板。

3　结论

(1)电脉冲处理中间包钢液,提高铸坯等轴晶率效果明显,等轴晶率平均为 66%,最高达到 91%,与未经过电脉冲处理铸坯(等轴晶率 21%)相比,铸坯等轴晶率平均提高 45%。

表5 电脉冲处理对热轧板性能的影响

Table 5 Mechanical properties of hot rolled strip by electric pulse treatment

项目	屈服强度/MPa		抗拉强度/MPa		延伸率/%		热轧板规格/(mm×mm)	样本数/炉
	范围	平均	范围	平均	范围	平均		
电处理	305~310	308	385~390	388	42~45	44	3×1 100	3
未处理	250~360	302	320~445	386	34~48	38	3×1 100	5

(2)电脉冲处理铸坯中心偏析明显减轻,铸坯内部质量更加良好。电脉冲处理改善铸坯中心碳、磷、硫等元素偏析效果明显,并且随着电流和频率的增加,改善效果更加明显。

(3)经过电脉冲处理热轧板力学性能进一步得到改善,有利于提高产品使用性能。

参考文献

[1] Xue Qingguo, Wang Jingsong, He Yuming, *et al*. Effect of electric pulse inoculation to tundish metal on structure of electric sheet steel continuous casting Billet[J]. Special Steel,2004(2):53-55.
(薛庆国,王静松,何宇明,等.中间包钢水电脉冲处理对电工钢连铸坯组织的影响[J].特殊钢,2004(2):53-55.)

[2] El-Bassyouni T A. Effect of electromagnetic forces on aluminum cast structure[J]. Soft Metal,1993,33(12):733-742.

[3] Ge Fengde. Pulse magnetism forge[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1989,25(1):1-6.
(葛丰德.脉冲磁场铸造[J].机械工程学报,1989,25(1):1-6.)

[4] Min Naiben. Crystal growth physical basic[M]. Shanghai:Shanghai Scientific and Technical Press, 1982.
(闵乃本.晶体生长的物理基础[M].上海:上海科技出版社,1982.)

[5] Liang Baixian. Lecture on electricity and magnetism[M]. Beijing: Higher Education Press, 1984.
(梁百先.电磁学教程[M].北京:高等教育出版社,1984.)

编辑 杨冬梅

2008攀枝花科技论坛在攀举行

2008年12月18日,为期一天的"2008攀枝花科技论坛—打造中国钒钛之都"在攀枝花市会展中心举行。攀枝花市市委常委、副市长赵辉,四川省科协副主席黄竟跃出席开幕式并致辞。

据了解,本次论坛由攀枝花市政府主办,市科协、攀枝花钒钛研究院承办,以"打造中国钒钛之都,延伸钒钛产业链"为主题,围绕市委、市政府确立的"打造中国钒钛之都,建设特色经济强市"和"四个倾力打造"的奋斗目标,邀请到中科院、中国工程院、成都理工大学等科研院所、大专院校的专家学者与我市科研院所、大专院校、钒钛企业和相关部门就如何更加科学有效地开发利用钒钛资源,延伸钒钛产业链,提升产品附加值,优化产业结构,从技术、体制、政策等方面进行交流探讨。内容涉及国际国内钒钛新技术发展趋势、攀枝花钒钛产业的规划布局、关键共性技术研发、循环经济、环保生态、政策环境等全市上下共同关注的问题。通过举办本次论坛,将对提高攀枝花资源综合利用水平,做大做强钒钛产业,打造高品质的钒钛战略资源基地,实现攀枝花经济社会全面协调、可持续发展起到积极作用。

在当天的论坛上,中科院过程所研究员、中国工程院院士张懿,四川省有色金属学会理事长、教授级高工李朝柱,中科院金属研究所研究员、博士生导师严川伟,成都理工大学材料技术研究所教授、博士生导师邱克辉分别作了专题报告。

大会还向优秀论文获奖者、优秀组织单位颁了奖。