

· 工艺材料进展 ·

大型板坯电渣炉的工艺特点和发展

耿鑫 姜周华 刘福斌

(东北大学材料与冶金学院, 沈阳110004)

摘要 通常大型板坯电渣炉钢锭断面尺寸(mm)为:(400~950)×(800~3200), 锭重5~70 t。文中分析了大型板坯电渣重熔炉炉型和钢中氢含量、铸锭偏析、表面质量控制等工艺特点。目前大型板坯电渣重熔炉供电方式以单相双极串联为主, 其主要特点为操作简单可靠, 感抗损失小, 用电效率高, 钢水过热度小, 结晶质量好。

关键词 大型板坯 电渣重熔炉 工艺特点

Development and Characteristics of Process of ESR Furnace for Remelting Heavy Slabs

Geng Xin, Jiang Zhouhua and Liu Fubin

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract In general the section sizes of ESR furnace ingot for heavy slabs are (mm): (400~950)×(800~3200) with weight 5~70 t. The furnace type of ESR furnace for heavy slabs and the process characteristics such as control of hydrogen content in steel, ingot segregation and surface quality are analyzed in this paper. At present the main power supply method for ESR furnace of heavy slabs is single-phase bi-electrode connecting in series, of which the main characteristics are operating simply and reliably less inductive resistance loss, higher power efficiency, small overheat of liquid steel and nice crystal quality.

Material Index Heavy Slab, ESR Furnace, Process Characteristics

1 国内外发展概况

乌克兰在用电渣重熔生产大板坯方面仍处于领先地位。目前, 世界上最大的板坯电渣炉是俄罗斯双极串联70 t板坯电渣炉^[1]。国内外大型板坯电渣重熔炉具体发展情况见表1。目前连轧机要求采

用50~70 t的板坯, 而在不久的将来, 要求采用更大的锭子一直到90~100 t。由于宽厚板轧机的建设, 就提出了用电渣重熔法生产120~140 t的板坯^[11]。

2 大型板坯电渣重熔炉的类型及特点

2.1 按供电方式分类

2.1.1 单相交流单电极

该电渣炉主要适用于生产小断面电渣锭。其优点是电极制造和布置容易, 设备简单、控制容易, 但其感抗损失大, 用电效率低、三相不平衡(尤其是大炉子)。对于大型板坯电渣炉存在熔池深度大, 凝固组织质量差, 中心偏析较明显等问题。

目前世界上采用这种炉型的主要有美国的CONSARC公司为美国卢肯斯钢铁公司设计的30 t固定结晶器板坯电渣炉, 这座炉具有单相、单电极电渣炉的全部缺点, 因而重熔金属的质量不高; 国内目前宝钢特殊钢分公司可生产6~8 t的电渣板坯锭, 太钢采用4.3 t扁结晶器生产D2模具钢电渣扁锭。从生产实践看, 重熔过程需采用高电压、低电流工艺, 才能保证电渣钢锭成分合格和表面良好。

2.1.2 低频单电极

与单相交流单电极板坯电渣炉相比, 这种炉型解决了感抗损失大, 用电效率低和三相不平衡等问

表1 国内外大型板坯电渣重熔炉主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of ESR furnace for heavy slabs at home and abroad

国别	公司名称	钢锭截面/ mm	重量/ t	变压器容量/ (kV·A)
英国	英国钢铁公司 ^[2]	(480×1500)~ (640×3200)	50	9000
德国	蒂森公司 ^[3]	650×1320	30	4680
日本	新日铁八幡 厂 ^[4-6]	300×1900, 510×1900, 510×2400	40	5630×2
美国	卢肯斯钢铁公 司 ^[7]	760×2000	30	6000
中国	钢铁研究院与武 汉设计院 ^[8]		15	5000
	太原钢铁公司 ^[9]	390×848, 455×895	4.3	
	长城特钢 ^[10]	762×830, 650×726	5	
	舞阳钢铁公司	620×1940, 740×1960, 950×2000	40	4600

题,但仍存在熔池深度大,凝固质量差,中心偏析较明显等问题。目前世界上采用这种炉型的主要有德国 ALD 公司为德国蒂森公司建立的 50 t 单电极,抬结晶器式电渣炉,三相交流经变频后变成低频(0 ~ 10 Hz)供电,可生产断面为 650 mm × 1 320 mm(最大锭重为 30 t)的板坯,采用交换电极方式进行生产,实践证明采用交换电极对锭的表面质量及可锻

性均无明显影响。

2.1.3 单相双电极串联

此种炉型适合生产大型板坯,也是实际生产中常用的炉型(图 1a)。其优点是操作可靠和简单,感抗损失小,用电效率高,钢水过热度小、熔池浅平,结晶质量好。但其设备结构较复杂,电极制造和布置难度大,控制电极熔化同步难度大,三相不平衡。

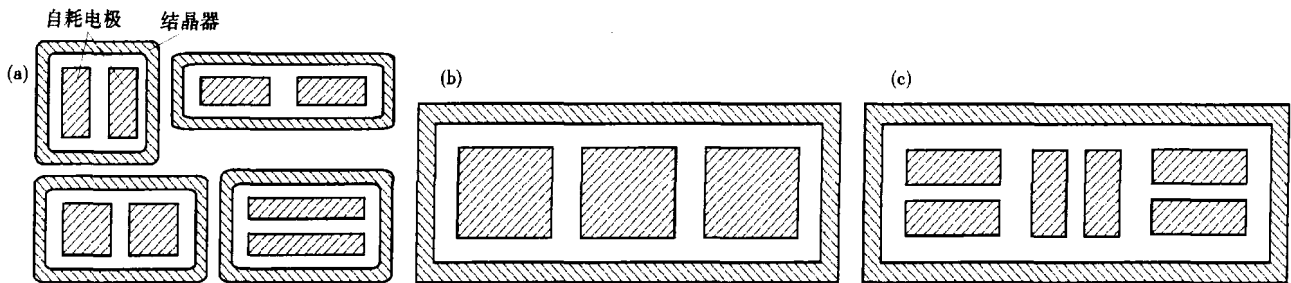


图 1 双极串联(a)、三相三电极(b)和三相六电极(c)的电极布置方式示意图

Fig. 1 Schematic diagram of electrode arrangement of single-phase bi-electrode connecting in series (a), 3-phase 3-electrode (b) and 3-phase 6-electrode

目前,日本和独联体国家的大型板坯电渣炉多以此种炉型为主,通常使用两对电极,并且结晶器在窄面上一般是 T 型的。世界上采用这种炉型的主要有乌克兰 Paton 电焊研究所,可生产 (mm) 600 × 1 500 × 2 000(锭重 14 t)板坯锭;乌克兰 Paton 焊接研究所为日本新日铁八幡厂设计的 40 t 双极串联,抬结晶器式板坯电渣炉,其生产的板坯凝固组织及氢含量均得到较好的控制。

国内目前有钢铁研究院与太原钢铁公司采用双极串联电渣炉重熔出超低碳 00NiCr7Mo13Ti 耐蚀合金板,不经开坯直接上板轧机;攀钢集团四川长城特殊钢有限公司 5 t 双极串联电渣炉生产 H13 大型锭,效果良好,节电效果极为显著。

实践证明,采用单相双极串联生产板坯功率因数高($\cos\Phi=0.9$),热源集中,同样功率下生产率可提高 1 倍,电耗降低 1/3,金属熔池浅平,有利于轴向结晶。

2.1.4 三相交流供电

图 1(b)为三相三电极交流供电板坯电渣炉的电极布置示意图。由于三电极功率不平衡、传热不平衡,熔化速度差异很大。此类电渣炉美国和前苏联均进行过尝试,但不成功。而英国钢铁公司采用此种炉型生产 540 mm × 2 500 mm 重达 34 t 的板坯锭时并没有发现相不平衡的严重问题。

三相六电极的电极布置方式适合于板坯重熔(图 1c),可以用作 3 台小电渣炉生产。因要求电极尺寸小,导致电极长,需要进行交换电极;且设备结

构复杂、投资大;三相功率平衡差。

2.2 按结晶器是否移动分类

2.2.1 结晶器固定、不抽锭式

这种电渣炉,熔炼时结晶器固定不动,也不抽锭,靠自耗电极逐渐下降使钢锭在结晶器内逐渐形成,如图 2(a)所示。这种炉子设备比较简单,但因其受到电极直径和结晶器断面的相互之间关系限制,以及对厂房高度要求高,因而不能或不利于生产大型板坯电渣重熔锭。目前还采用此种方式进行生产的主要有美国卢肯斯钢铁公司的 30 t 固定结晶器板坯电渣炉;Paton 电焊研究所的 14 t 板坯电渣炉;攀钢集团四川长城特殊钢有限公司 5 t 双极串联电

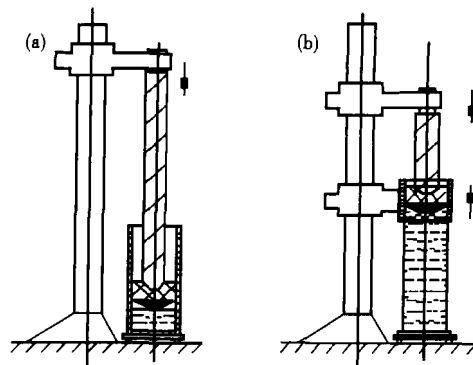


图 2 结晶器和钢锭子固定(a)和钢锭固定结晶器上移(b)电渣重熔炉示意图

Fig. 2 Schematic diagram of ESR furnace with fixed mould and ingot (a) and with fixed ingot and mould moving up (b)

渣炉以及太原钢铁公司的4.3 t扁结晶器。

2.2.2 结晶器升降式

这种炉子的结晶器可随着重熔时锭子的增高而向上移动,而电极同时不断向下移动,锭子固定不动(图2b)。这种电渣炉结晶器比锭子短,炉子高度可以降低,便于观察到熔炼情况。同时也有利于生产长锭子和熔铸件。

因为移动结晶器在机械设备方面比较简单,而且移动结晶器比抽锭所需电机功率小,故大型板坯电渣炉采用移动结晶器是比较适合的。目前世界上采用此种方式进行生产的主要有德国蒂森公司的50 t单电极抬结晶器式电渣炉;日本新日铁八幡厂40 t双极串联,抬结晶器式板坯电渣炉以及英国钢铁公司34 t三相交流板坯电渣炉。

2.3 国内大型板坯电渣重熔炉的最新进展

在总结了前人工作的基础上,东北大学钢铁冶金研究所设计了40 t双极串联,抬结晶器式板坯电渣炉,三相交流经变频后变成低频(2~10 Hz)供电,可生产断面为620 mm×1940 mm、740 mm×1960 mm和950 mm×2000 mm(最大锭重为40 t)的板坯。与单相交流双极串联板坯电渣炉相比,这种炉型解决了控制电极熔化同步难度大、三相不平衡等问题。这台电渣炉集中了低频供电、双极串联、

抬结晶器等先进工艺技术,实践证明该炉型具备了所有板坯电渣炉的优越性。

3 电渣重熔生产大型板坯的主要质量控制

大型板坯电渣炉生产的电渣锭组织致密,内部无明显的缩孔和疏松;成分均匀,各种杂质元素大幅度减少;夹杂物得到很好的变性,夹杂物含量也大幅度减少^[4,5,12-14]。但在生产中应注意以下几点:

(1)氢含量。可采取真空脱气降低电极中氢含量,预熔渣和渣液启动模式重熔和气体保护重熔等措施降低钢中氢含量;(2)偏析。低熔化率^[15]、深渣池操作、二次喷雾冷却^[4-6]等方法可减轻和去除偏析;(3)表面质量。为避免抬结晶器式大型板坯电渣炉生产钢锭表面可能出现的凸起或飞翅^[16],在弯月面底部不能有液体金属压头^[17,18]。

4 结论

(1)目前国内外大型板坯电渣炉主要以抬结晶器双极串联式为主。其优点是操作可靠和简单,感抗损失小,用电效率高,钢水过热度小、熔池浅平,结晶质量好,适于大型铸锭的生产。

(2)在大型板坯电渣锭的生产中应注意对氢含量、偏析等内部质量以及渣沟、波纹等表面质量的控制。

参考文献

- 李正邦.电渣冶金的回顾与展望.特殊钢,1999,20(5):1
- Pocklington D N, Cartwright J V, Lane D O. The Production of Large High Quality Slabs by 3-phase Electroslag Refining. Proceedings of Sixth International Conference on Special Melting. San Diego; American Vacuum Society, 1979:727
- Rohde L, Lohr D. Operational Results of the 50 ton ESR Plant of Thyssen Henrichshütte AG. Proceedings of the Fifth International Conference on Vacuum Metallurgy and Electroslag Remelting Processes. Munich; Chairman of the Organising and Executive Committee, 1976:177
- Nishiwaki M, Yamaguchi T, Koba M, et al. Operation of Large Bifilar ESR Furnace for Slab Production and Quality of Slabs and Heavy Plates Produced. Proceedings of the Fifth International Conference on Vacuum Metallurgy and Electroslag Remelting Processes. Munich; Chairman of the Organising and Executive Committee, 1976:197
- 広瀬豊,大河平和男,清水高治.ケスラブ型40 t ESRにおける精錬効果と品質について.鉄と鋼,1977,13:2208
- Medovar B I, Demchenko V F, Tarasevich N I, et al. Temperature Fields of Large Slab Ingots. Proceedings of the Fifth International Conference on Vacuum Metallurgy and Electroslag Remelting Processes. Munich; Chairman of the Organising and Executive Committee, 1976:153
- Gulya J A, Swift R A. Improved $2\frac{1}{4}$ Cr-1 Mo Pressure Vessel Steel Through ESR. Trans, ASME J, 1976(11):298
- 李正邦,傅杰.电渣重熔技术在中国的应用及发展.特殊钢,1999,20(2):7
- 刘承志,赵鸿燕.电渣模具扁钢D2的试制.天津冶金,2004(2):6
- 肖克建.5 t电渣炉重熔工艺研究.特钢技术,2005(3):8
- 巴顿,密多瓦尔.电渣炉.李正邦,黄桂煌译.北京:国防工业出版社,1983
- Gabuev Yu G, Korol' L N. Increase in Cost-efficiency of ESR Process during Sheet Ingot Production. Stal', 1992(9):35
- Galushka A A, Luk'yanova N A, Ol'shanskaya T V, et al. Low-waste Process of Large-size Plate Ingot ESR Production. Stal', 1993(7):33
- Little J H, Queen T J, Mackenzie I M. Metallurgical Study of Electroslag-refined Plates. Electroslag Refin. Conf. Proc. Sheffield; ISI, 1973:43
- Hagiwara I, Takahashi T. On the Formation of String Ghost in Killed Steel Ingot. Tetsu to Hagane, 1964, 53(11):27
- Hoyle G. Surface Phenomena in ESR. Proc. 6th ICVM. San Diego, California; 1979:624
- Schumann R, Ellebrecht C. Metallurgical and Process Problems Related to Electroslag Remelting of Forging Ingots Larger than 40" Diameter. Proc. 5th International Symposium on ESR. Pittsburgh; Bhat. G K. Carnegie Mellon Institute of Research, 1974:180
- Wooding P J. Static Crucible Vs. Moving Mold. Third International Iron and Steel Congress. Chicago; 1978:727

耿鑫(1979-),男,博士,东北大学毕业,电渣冶金工艺研究。

姜周华(1963-),男,教授,博士生导师,冶金设备和工艺。

收稿日期:2008-11-03