

大型真空感应熔炼炉 VIDP 的发展

贾理果 曹大明 姜治军
(钢铁研究总院,北京 100081)

摘要 VIDP 炉 (Vacuum Induction Degassing and Pouring Furnace) 的熔炼室体积比同等容量常规 VIM 炉 (Vacuum Induction Melting Furnace) 小,缩短了抽真空时间和熔炼周期。小体积熔炼室便于温度压力控制、回收易挥发元素和准确控制合金成分。较长的流道也是 VIDP 炉的重要部件,具有精炼功能。VIDP 炉的模块化设计和装配,可连接各种浇注设备,包括常规锭浇注,电极浇注或连铸。

关键词 真空感应炉 VIM VIDP

Development of Large Vacuum Induction Melting Furnace - VIDP

Jia Ligu, Cao Daming and Jiang Zhijun
(Central Iron and Steel Institute, Beijing 100081)

Abstract The volume of melt chamber of vacuum induction degassing and pouring furnace (VIDP) is less than that of conventional vacuum induction melting furnace (VIM) with same capacity to reduce vacuum pumping time and melting time. Small melt chamber is available to control pressure and temperature, recover volatile elements and precisely control alloy component. The longer launder is another important component of VIDP furnace which has refining function. Modular design and versatile assembly for VIDP furnace can connect various casting equipment including normal ingot casting, electrode casting, or continuous casting.

Material Index Vacuum Induction Furnace, VIM, VIDP

真空感应熔炼是在真空条件下、利用电磁感应在金属导体内产生涡流加热炉料进行熔炼的方法^[1,2]。大型真空感应炉的容量一般为 1~30 t。1914 年,德国海拉斯公司(Heraeus GmbH)制造了第 1 台真空感应熔炼装置。20 世纪 40~50 年代,美国和英国开始使用真空感应技术和 VIM 炉生产高温合金,60 年代,美国先后制造了 15 t^[3]、30 t^[4,5] 甚至 60 t^[6] 的 VIM 炉 (Vacuum Induction Melting Furnace),随后的 70~90 年代,世界范围内制造的 VIM 炉一般都小于 20 t。

VIDP 炉 (Vacuum Induction Degassing and Pouring Furnace) 作为真空感应炉的新版本,自 1988 年出现以来,被发达国家作为大型真空感应炉的重点选择对象。我国冶金科研领域对 VIDP 炉虽有所关注^[7,8],但国内装备使用的仅有 2 台。本文结合对比常规 VIM 炉,介绍 VIDP 炉的主要特点。

1 常规 VIM 炉的基本结构

常规 VIM 炉基本结构为单室立式炉和两室卧式炉。常规 VIM 炉的共性,是感应圈坩埚和锭模装在同一熔炼室内(图 1),由于坩埚在熔炼室内翻转浇注,熔炼室容纳了机械和液压机构,感应圈的冷却水管线和电缆也占用室内空间;另外,保养、更换和

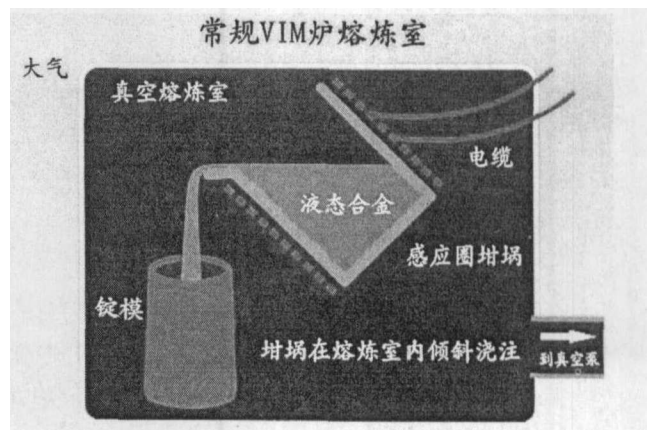


图 1 常规 VIM 炉熔炼室内的感应圈坩埚和锭模

Fig. 1 Induction coil crucible and ingot mould in melting chamber of conventional VIM furnace

维修操作都要在熔炼室内进行,因此熔炼室要有足够体积。要产生和维持大空间的真空度,势必抽真空时间长,而且需要高容量多级真空泵系统。

2 VIDP 炉的结构和工作方式

1988 年,德国 ALD 公司的前身,莱宝-海拉斯 (Leybold-Heraeus) 公司开始制造 VIDP 炉^[9],图 2 示意 VIDP 炉全套设备^[10]。

VIDP 炉的技术核心是一个与感应圈坩埚一体的、紧凑体积的真空熔炼室(也称为炉体),如图 3

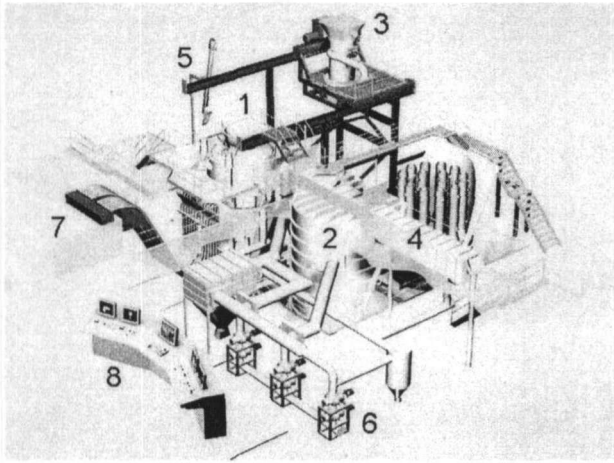


图 2 VIDP 炉整体设备:1- 熔炼室;2- 注锭室;3- 加料室;4- 流道室;5- 侧面测温装置;6- 真空系统;7- 电源;8- 操作控制台
 Fig. 2 Schematic of a VIDP furnace: 1- melting chamber; 2- mould chamber; 3- charging device; 4- launder chamber; 5- temperature measurement probe; 6- vacuum system; 7- power supply; 8- control desk

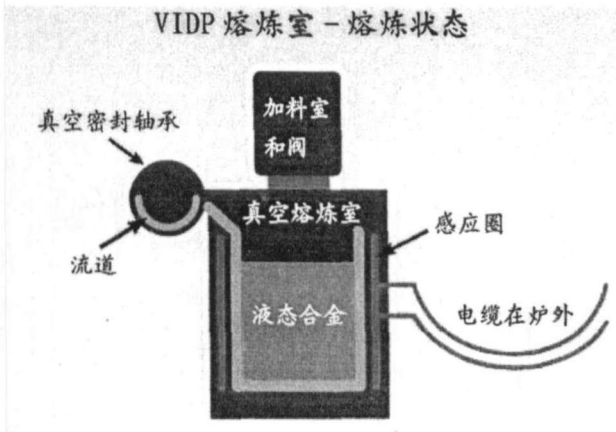


图 3 VIDP 炉熔炼室
 Fig. 3 Melting chamber of VIDP furnace

示意,它只比感应圈大一点,仅含感应圈和坩埚。电缆和水冷管线以及液压倾转机构都安装在熔炼室外。VIDP 炉可配置 3 个炉体,作业中一个熔炼,一个接受预热,另一个制备坩埚炉衬,缩短了生产周期,提高了生产率。

表 1 对比了常规 VIM 炉与 VIDP 炉熔炼室的体积,同样 20 t 的炉子,前者体积为 350 m³,后者体积则不大于 20 m³。

冶炼开始时,炉体被下方的液压机构托起,与炉子的上部结构(炉盖)接合,用专门机构锁紧。炉盖上端通过真空阀与加料室连接(图 4)。

炉盖由真空密封轴承支撑在炉架和两个液压缸柱上。浇注时,两个液压缸侧顶炉盖,炉盖带动熔炼室一体围绕真空轴承倾转。在倾斜浇注状态时,熔炼室与感应圈坩埚没有相对运动。

表 1 VIM 炉与 VIDP 炉熔炼室对比
 Table 1 Comparison of melting vessel volume between VIM furnace and VIDP furnace

项目	美国 Special Metals 公司 20 t VIM 炉	美国 Carpenter 公司 20 t VIDP 炉	德国蒂森·克虏伯公司 20~30 t VIDP 炉
制造年份	1983	1997	2003
坩埚容量/t	22	20	20~30
熔炼室体积/m ³	350	11	20

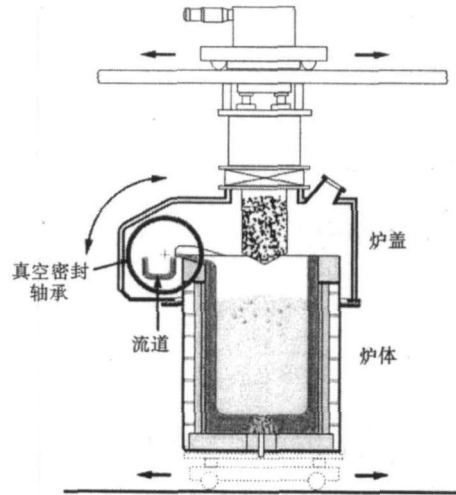


图 4 VIDP 炉熔炼室与炉盖的接合和倾动
 Fig. 4 Melting vessel of VIDP furnace connecting to furnace lid and tilts around vacuum sealed bearing

流道是 VIDP 炉的重要部件^[11]。由于 VIDP 炉的设计把熔炼室与铸锭室隔离,所以钢水要经过真空流道进入铸锭室(图 5)。

铸锭室为方斜侧面启闭形式,由两部分组成,固定部分与流道室相临,活动部分沿地面轨道水平移动,完成铸锭室的开启与闭合。在有的设备中,活动部分设计成 30° 左右向上敞开,方便天车装卸锭模

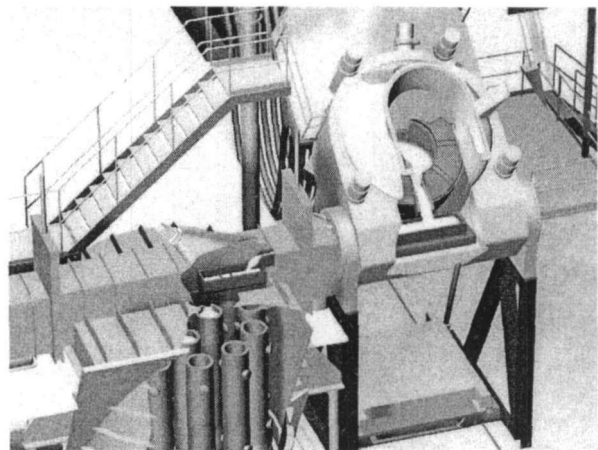


图 5 钢水通过 VIDP 炉真空流道进入锭模
 Fig. 5 tapping of VIDP furnace, molten steel via vacuum launder to ingot mould

和日常保养维修。

由于采用模块化设计装配,VIDP 炉可以配备水平或垂直连铸机。图 6 示意 1999 年安装在英国 Ross & Catherall 公司的 8 t VIDP 炉,熔炼室左侧是常规圆棒铸锭室,右侧安装水平连铸机^[12],拉制直

径 41 ~ 100 mm 的高温合金棒。

3 VIDP 炉的技术特点

VIDP 炉技术和操作优点如下:

(1) 常规 VIM 炉大体积熔炼室需要大型真空设

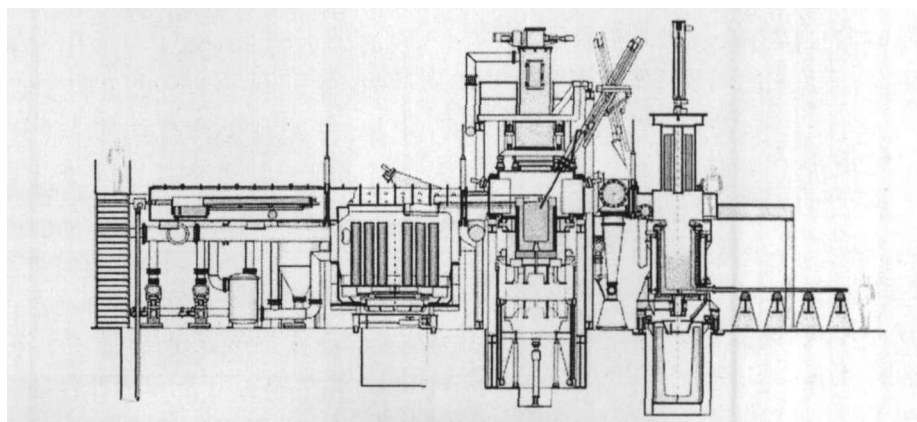


图 6 装备水平连铸机的 8 t VIDP 炉

Fig. 6 8 t VIDP furnace with horizontal continuous casting facilities

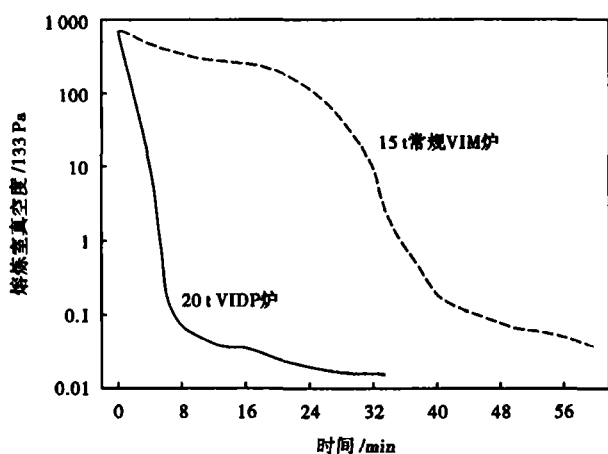


图 7 20 t VIDP 炉与 15 t VIM 炉抽真空时间比较

Fig. 7 Comparison of pump down time between 20t VIDP furnace and 15 t VIM furnace

备建立真空度,美国 Carpenter 公司的对比指出^[13], 20 t VIDP 炉达到预定真空度的时间比 15 t 常规 VIM 炉快 80% (图 7)。

(2) VIDP 炉熔炼室体积小,配备 PLC 逻辑控制系统,可达到理想的压力控制;同时 VIDP 炉利用三相电磁搅拌系统平稳搅动熔池,加入的元素在熔池内从上到下均匀溶解,保持熔池温度接近恒定。通过准确控制每炉压力和温度,降低离散性,从而保证元素的稳定收集,使易挥发元素含量控制在很窄的范围内。

(3) 流道是 VIDP 炉的关键结构之一。浇注前,

外置燃气加热站对流道加热,然后放入流道室,流道室内可选用电热辐射保温,降低初始浇注堵塞浇注口和流道热开裂。流道还有净化钢水的作用,为克服小容积流道会遭受钢水冲击流速影响,VIDP 炉使用大容积流道,缓解来自坩埚钢水的冲击。对于高纯金属,还可在浇钢盘内配备挡渣板和陶瓷过滤器,进一步提高钢水纯净度^[14]。

(4) VIDP 炉装备独立的炉体真空预热站,真空度可达 500 Pa,加热速度可控,确保潮气降低而避免炉衬干裂。预热站的真空环境促进砖缝膨胀,处于压应力状态,密度提高。VIDP 炉干燥坩埚可迅速装填炉料并大功率熔化新合金,不需要洗炉,缩短了冶炼周期。

(5) VIDP 炉电缆、水冷和液压管线置于熔炼室外,带来两个优点:①电缆和水冷管线不受钢水飞溅和温度压力周期变化而损伤,故障率低;②方便更换坩埚。浇注完毕虽然坩埚处于高温,但电缆拆卸方便,只需把整个炉体吊出,换上另一个炉体,更换过程一般 2 h,是常规 VIM 炉的几分之一^[15]。

(6) 测温对任何冶炼设备都是关键,VIDP 炉多用小型侧向测温装置,便于电偶更换。整个测温操作只需要 3 ~ 5 min。大型 VIM 炉利用加料室垂直测温,耗时要长很多。

(7) VIDP 炉熔炼室方便了每炉之间清炉,缩短清炉时间,提高生产安全性。

(8)在真空检漏方面,VIDP 炉缩短诊断时间,真空修复容易。由于熔炼室小型化,容易达到炉内保护气氛最佳控制,并降低了惰性气体的消耗。

(9)VIDP 炉可以配备三相低频电磁搅拌装置,稳定搅动熔池,加快添加元素均匀溶解,保持熔池温度恒定,降低各炉之间合金成分的离散性;还可以采用炉衬监控系统,随时监控液态金属渗入炉衬的深度,发挥炉衬合理寿命,为预知坍塌故障提供了重要信息。

VIDP 炉的不足之处有:

(1)由于 VIDP 炉主要依靠快速抽真空和快速换坩埚提高生产率,并可配备小型真空机组降低设备投资,所以 VIDP 炉适用于大中型炉,小型真空感应炉不宜采用 VIDP 炉形式。

(2)由于感应圈坩埚紧凑安装于 VIDP 炉体中,炉体整体 105° 翻转,VIDP 炉对漏钢的保护性较差,对坩埚材料打结和烧制也有更高要求,一旦漏钢,后果严重,清理和修复比常规 VIM 炉要困难,要求 VIDP 炉冶炼操作具有较高水平。

(3)VIDP 炉几十吨的熔炼室围绕真空轴承转动,需要轴承承受大载荷,同时保持高真空密封,目前国内轴承技术尚未达到要求,一旦损坏就需要进口更换,造成长时间停工。

(4)VIDP 炉结构新,设备制造比较复杂,价格

比同等容量的常规 VIM 炉略高。

4 VIDP 炉在我国和世界各国的应用现状

尽管 VIDP 具有上述优点,但它并没有取代常规 VIM 炉。其原因首先是现场操作人员多年习惯 VIM 炉操作,不愿轻易改变;其次是有些用户已经装备多台 VIM 炉,对新增设备有现场配套操作的要求;最后是 VIDP 炉的操作比 VIM 炉复杂。

1988 年以来,世界各地安装了约 30 台 1~30 t VIDP 炉,占 ALD 公司真空感应炉订单的 70%,我国、日本和亚洲其他国家 VIDP 炉多数为 1.5~6 t,欧美国家多数为 6~20 t,美德两国拥有 3 台 20~30 t VIDP 炉^[16]。我国宝钢集团烟台鲁宝公司 1999 年安装 1 台 3 t VIDP 炉用于冶炼铜及合金,钢铁研究院安泰科技公司 2005 年成功引进 1 台 3 t 最新 VIDP 炉,冶炼高温合金和特种合金,由于两家技术能力强,对设备理解透彻,都取得很好效果。

5 结语

VIDP 炉在冶金质量、工艺操作、设备维护等方面体现出优势。VIDP 炉抽气快、冶炼周期短、浇注方式灵活、炉内气氛易控,合金质量和生产率明显提高。VIDP 炉概念推动了真空熔炼向产品高质量和生产经济化发展,炉子吨位越大,优势越明显,对大中型真空感应熔炼设备,VIDP 炉值得重点选择。

参考文献

- 1 李正邦. 钢铁冶金前沿技术. 北京:冶金工业出版社,1997
- 2 戴永年,赵 忠. 真空冶金. 北京:冶金工业出版社,1988
- 3 John S, Huntington. Design Considerations for Large Vacuum Induction Melting Furnaces. Transactions International Vacuum Metallurgy Conference, 1967:413
- 4 Schlatter R, Simkovich A. Metallurgical and Operational Considerations of Melting in the Therm-I-Vac Furnace. Transactions International Vacuum Metallurgy Conference, 1966:338
- 5 Mueller C P, Coate D W. Operation of a 60 000 Pound Vacuum Induction Melting Furnace. Transactions International Vacuum Metallurgy Conference, 1969:629
- 6 Fanslow B. Electric Arc-Vacuum Induction Duplex Melting at Cameron Iron Works. Proceedings of 5th International Symposium on ESR and Other Special Melting Technologies, Pittsburgh, Oct. 1974:641
- 7 李正邦. 特种冶金新技术. 特殊钢, 2002, 23(6):1
- 8 贾宪民. 真空感应浇铸炉(VIDP)的性能优势分析. 冶金设备, 1999, 113(1):38
- 9 Schlebusch D, Kemmer H, Betz U. Vacuum Melting Process Developments-Part 1-New Developments in Equipment Design and Process Control. Transactions of 9th International Conference on Vacuum Metallurgy, San Diego, CA, 1988:158
- 10 Hans Johann Kemmer, Rainer Schumann. The New Vacuum Melting Facility at Thyssen Krupp VDM and its Special Innovative Features. Thyssen Krupp VDM Symposium, High Performance Materials for Gas Turbines and Other High Temperature Applications, Dortmund, Germany, Sept. 2003
- 11 Hans Johann Kemmer, Juergen Loh. Neuer Vakuum-Induktions-Schmelz-Ofen Fur Hochtemperaturbeständige Legierungen Fur Spezialanwendungen. Stahl und Eisen, 2004, 124:31
- 12 Hendley D, Gravill N, Thomas C R, et al. Commissioning of a VIDP Furnace Linked to a Horizontal Continuous Casting Machine for Manufacture of Superalloy Barstock. 10th World Conference on Investment Castings, Monte Carlo, France, May 2000
- 13 Johnson W E, Wegman D D. Technical and Operational Features of Carpenter's 20 Metric Ton VIDP Furnace for Melting Premium Wrought Superalloys. Proceedings of International Symposium on Liquid Metal Processing and Casting, Santa Fe, NM, Feb. 1999
- 14 Alok Choudhury, Georg Jarczyk, Hans Kemmer. Melting and Refining of Ni-base alloys in a VIDP-furnace-Recent Metallurgical Results. 11th International Conference on Vacuum Metallurgy, France, May 1992:167
- 15 Keith Patrick D. Specialty Alloy Manufacturing Facility Increases Capacity with Innovative Vacuum Melting Furnace Design. Industry Heating, August 1998:37
- 16 Andreas Eich. Big Vacuum Induction Melting Furnaces-Newest Installation and Orders. 4th ALD Symposium for Vacuum Metallurgy, Haihan, China, November, 2005

贾理果(1955-),男,高级工程师,1982年北京科技大学毕业,金属材料、真空冶金设备及工艺研究。

收稿日期:2007-06-25