

第二代大型锭电渣冶金技术的发展

傅 杰

(北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083)

摘要: 论述了第二代大型锭电渣重熔与液态金属电渣浇注技术的特征。提出了发展第二代大型锭电渣冶金技术的几个研究重点。指出:当前发展第二代大型锭的电渣冶金技术对推动中国大型锭锻件的自主化和核电产业的发展具有重要意义。在进一步发展大型锭电渣重熔技术的同时,要特别重视第二代液态金属电渣浇注大型电渣浇注技术的开发。

关键词: 大型铸锻件; 核电装备; 第二代大型锭电渣冶金技术; 大型锭电渣重熔技术; 大型锭液态金属电渣浇注技术

中图分类号: TF 14 文献标志码: A 文章编号: 1006-9356(2010)05-0001-04

Development of Second Generation Electroslag Metallurgy Technology of Large Scale Ingot

FU Jie

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Characteristics of second generation electroslag remelting and liquid metal electroslag casting technology has been introduced in this paper. Several research focuses of developing second generation electroslag metallurgy technology of large scale ingot have been put forward. Pointed out: to develop second generation electroslag metallurgy technology of large scale ingot for promoting automation of large scale forgings and development of nuclear power industry significantly. Not only pay attention to further develop electroslag remelting technology, but also pay attention to second liquid metal electroslag casting technology for large scale ingots.

Key words: large scale forgings; nuclear power equipment; second generation electroslag metallurgy technology of large scale ingots; electroslag remelting technology of large scale ingots; liquid metal electroslag casting technology of large scale ingots

B. I. 梅多瓦尔院士是国际公认的电渣冶金科学技术领域的主要奠基人。他最先提出第二代电渣冶金技术的理念,特别是考虑到目前对中国发展第二代大型锭电渣冶金技术的现实意义,写了这篇文章,也希望对中国电渣冶金的进一步发展有所裨益。

1 第二代电渣冶金理念的提出

第二代电渣冶金的理念是梅多瓦尔院士于 1982 年首次提出的。1982 年在东京举行了第七届国际真空冶金会议。这次会议成立了有日本、前苏联、美国、德国、加拿大、法国、奥地利、中国等国代表参加的国际顾问委员会。

大会以前,中国电渣冶金领域在国际上的影响可能主要来自两点:一是在电渣重熔过程中氧化物

夹杂的变化研究方面,梅多瓦尔院士和拉塔什院士在其 1970 年出版的《电渣重熔》一书里^[1],在“非金属夹杂物去除机理”一节中,删掉了他们在 1963 年出版的《电渣重熔》一书中关于浮升去夹杂物的内容^[2],改用了 1964 年笔者在《金属学报》上发表的一篇文章“电渣重熔过程中氧化物夹杂的变化”的数据与观点^[3];二是 1980 年在美国举行的第四届国际高温合金会议上,冶金部军工办主任高良同志受大会主席田家凯的邀请,作了题为“Recent Advances in Understanding Electroslag Remelting Metallurgy of Superalloys”的邀请报告^[4],介绍了中国高温合金中铝、钛控制(渣系、气氛氧化性、渣池温度分布及绝缘情况对铝钛烧损的影响),电渣重熔过程中氧化物夹杂的变化,电极中氢、氮含量及工艺路线对高温

合金中温低塑性的影响,表面质量控制原理等。因此第七届国际真空冶金会议国际顾问委员会希望中国派代表参加。

中国朱觉、傅杰、李正邦、韩耀文等 6 人参加了第七届国际真空冶金会议,会上朱觉教授除发表了关于水平电渣浇铸的文章^[5]以外,最后放映了几张关于“200t 电渣炉”的幻灯片(图 1),引起了大会的轰动,使外国同行,特别是使美国卡耐基-梅隆大学梅隆研究院院长、美国真空学会真空冶金分会主席 G. K. 巴特博士和梅多瓦尔院士感到无比的震惊。



图 1 在第七届国际真空冶金会议上朱觉教授放映的 200t 电渣炉生产的 180t 电渣重熔锭

Fig. 1 The 180t ESR ingots produced by 200t ESR furnace showed by professor Zhu Jue at the 7th ICVM

会议期间巴特博士宴请了中国代表团一行 6 人,梅多瓦尔院士签名送给本人两本专著,一本是《电渣金属》,一本是《电渣熔铸》。对于《电渣金属》,梅多瓦尔希望能组织中国学者翻译成中文在中国出版(可惜这个遗愿尚未完成),他指着《电渣金属》封面上那张四通道的电渣重熔炉说,“这是第二代的电渣炉”,(当时朱觉教授、李正邦同志在场)首次提出了第二代电渣冶金的概念。

1986 年,第 10 届国际真空会议在美国召开,应大会主席的邀请,笔者在真空冶金分会上作了一个题为“中国高温合金技术进展”的特邀报告^[6],记得 B. I. 梅多瓦尔院士也被邀请在真空冶金分会上,作题为“新一代电渣冶金技术:电渣离心浇注和电渣固定模浇注”的特邀报告^[7]。这是他第一次用书面形式正式提出了新一代电渣冶金的概念。也使笔者开始思考第二代电渣冶金有哪些特征,包括哪些内容,经过多年的思考,2010 年发表了关于第二代电渣冶金的文章^[8]。

2 第二代电渣冶金技术的特征

新一代电渣冶金技术,也就是第二代电渣冶金技术,它与第一代电渣冶金技术有何不同,第二代电渣冶金技术有哪些特征,包括哪些内容,根据梅多瓦尔院士 1982 年送给笔者的《电渣金属》和《电渣熔铸》这两本书及他 1986 年发表文章的内容,理解第二代电渣冶金的第一个特征是象高炉转炉流程和现代电炉流程一样,生产钢的产品,不再主要是钢锭,而是钢坯,省掉了初轧开坯工艺。作为近终型的电渣熔铸和浇注应属于第二代电渣冶金技术,但由于电渣熔铸和浇注产品是单件生产,质量的稳定性难以保证,故严格地说,带计算机自动控制的电渣熔铸和浇注,才是真正的第二代电渣冶金技术。

第二代电渣冶金技术的另一个特点是,电渣过程是在隔绝大气的条件下进行的,在第七届国际真空冶金会议上,已经有加压氩气保护电渣重熔的报道,作者早年也研究过氩气保护(真空/加压)电渣重熔^[8],特别是考虑到在大气下电渣重熔合金钢(例如轴承钢),钢中氧受渣相和金属相之间氧平衡的控制^[9],在氩气保护条件下,没有大气中的氧通过氧化电极表面向渣中传递的过程,从而可降低钢中的平衡氧,故认为第二代电渣冶金第二个重要特征是冶金过程是在隔绝大气的条件下进行的,这一特征对进一步提高电渣金属的质量具有重要的意义。

2001 年,在基辅举行了梅多瓦尔逝世 1 周年纪念会,参加纪念会的,有巴顿研究所和来自世界各地的梅多瓦尔生前的好友、学生和同志,前苏联、美国、德国、法国、奥地利、加拿大、中国的许多电渣冶金专家都来了,并在会上作了技术报告。介绍了电渣冶金在各国的发展,指出了电渣冶金进一步发展的方向。这也使本人比较明确了什么是第二代电渣冶金技术,在 2010 年发表了“第一代和第二代电渣冶金技术的发展”一文^[8]。

20 世纪 80 年代,中国建成了当时世界上最大的电渣重熔炉,并成功地应用于核电等大锻件生产。近年来为满足百万千瓦级核电站所需大锻件要求,中国又建成了当前世界上最大的 400t 级的超大型电渣炉,可以认为,超大型是第二代电渣重熔技术的又一个特征,因为 400t 级与 200t 相比,锭子凝固组织的控制难度加大;渣钢接触界面增加,在大气下进行电渣重熔的时间长,冶金质量控制的难度更大;重熔电流加大,短网设计,供电制度会更复杂等。没有文献资料查询,没有现成的经验借鉴,实验室研究结

果只有参考价值,小型工业性试验结果也不能直接利用,必须进行大量的实际熔炼研究和生产现场摸索。而要使 400t 级电渣炉的生产技术指标和质量达到 200t 电渣炉的水平,是一个跨越,质的飞跃。

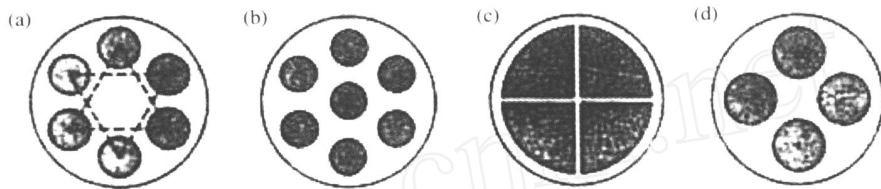
3 开发液态金属电渣浇注大型锭的技术

大型铸锻件的自主化,对中国核电产业的发展具有重要的意义,也必将拉动中国大型电渣冶金技术的发展^[8]。

大型电渣锭主要有 3 种生产技术路线:一种是

自耗电极的电渣重熔;第二种是多个小电渣锭铸件的电渣焊;第三种是液态金属的电渣浇注。第一、第二种方案本质上是一样的。

初期,国外对于直径为 2000~3000 mm 的大型电渣重熔炉有着几种电极布置方案,如图 2 所示^[9]。一种是 Nheinstahl 的 2 个三相 6 自耗级电渣重熔炉;二是巴顿电焊研究所带中线的双极串联 7 级电渣炉;三是美国 CANSAC 的由 4 个 1/4 圆断面电极组成的单极单相电渣炉,四是 Leybod+ Heraeus 的 4 级电渣炉。



(a) 2 个三相联结,6 级电渣炉; (b) 带中线的双极串联 7 极电渣炉;
(c) 4 个 1/4 圆断面单极单相电渣炉; (d) 0~10 Hz 频率 4 级电渣炉。

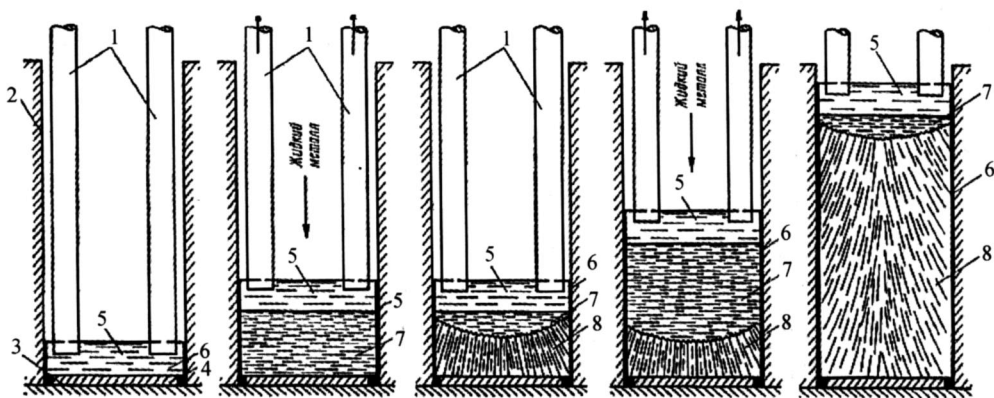
图 2 锭径为 2000~3000 mm 的大型电渣炉电极布置方案

Fig. 2 Layout of consumable electrodes of large scale ingots ESR furnace with diameter 2000~3000 mm

中国上海重型机器厂采用的是不带中线的 3 个双极串联的 6 自耗电极电渣重熔炉,实践证明,中国和德国的大型电渣重熔技术取得了成功^[8]。

关于液态金属的电渣浇注,前苏联开发了分批

电渣浇注技术,其原理图示于图 3^[10]。在这一基础上 B. I. 梅多瓦尔的儿子 L. B. 梅多瓦尔, W. Holzgruber 的儿子 H. Holzgruber 等开发出了第二代的液态金属电渣浇注技术,原理示于图 4^[11]。



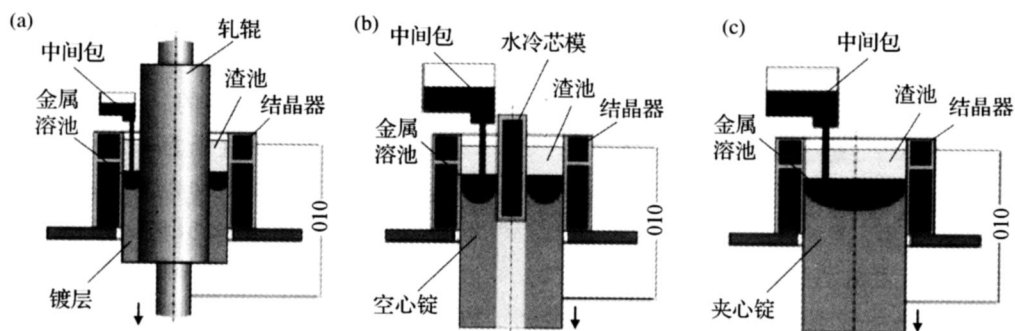
1- 非自耗电极; 2- 模子; 3- 底板; 4- 引锭器; 5- 渣池; 6- 渣皮; 7- 金属熔池; 8- 锭子。

图 3 分批电渣浇注示意图

Fig. 3 Scheme of partial electroslag casting

由图 4(c) 可见,电渣浇注过程中,经中间包感应控温的低过热度钢水,注入一个侧面导电的上结晶器中,在下结晶器中凝固成锭。据悉,液态金属电渣浇注大型锭技术,已经引进到国内。笔者认为:

这一技术具有节能的显著优点,金属收得率肯定比普通锭高,组织致密度和力学性能相信会比普通锭好,属于第二代电渣冶金技术,值得肯定与发展;液态金属电渣浇注大型锭,是电渣冶金的先驱者们



(a) 浇注复合轧辊; (b) 浇注空心锭; (c) 浇注实心锭。

图 4 第二代液态金属电渣浇注技术示意图

Fig. 4 Scheme of second generation liquid metal electroslag casting technology

多年的理想^[5,7-8],但目前尚无电渣浇注大型锭的成功经验,应该十分重视有关理论和技术的研究,除对大型电渣锭重熔的共性技术研究以外,要特别重视电器参数的设计与控制,凝固机理和技术的研究;自主创新,开发带氩气保护的液态金属电渣浇注系统;加强国际合作,充分利用国外经验,发展中国的电渣冶金;关于液态金属的电渣浇注和初炼炉的配合问题。液态金属电渣浇注和自耗电极电渣重熔大型锭的优点之一,是可以采用较小容量的初炼炉生产大尺寸锭子。例如上海重型机器厂曾用容量为 40t 的电弧炉,浇注自耗电极,重熔时采用电极交换工艺生产 240t 的电渣锭。但为了保证大型锭子成分的均匀性,宜采用较大容量的初炼炉。液态金属电渣浇注的初炼炉可以是电弧炉,也可以是转炉,笔者认为采用电炉较合适,或者说液态金属电渣浇注系统建立在电炉车间或特种熔炼车间比较合适,因为电渣浇注的速度绝对跟不上转炉生产的速度。如果建在转炉车间里,该车间的主要产品仍只能是转炉钢,特别是容量 30t 以下的小转炉,从资源、能耗、环保等可持续发展条件考虑,小转炉必将很快淘汰,最后会给液态金属电渣浇注带来困难。

中国年轻一代的电渣冶金工作者,在第二代电渣冶金技术方面,近年来也取得了很大的成果,自主开发了很多创新技术^[8],在纪念 B. I. 梅多瓦尔逝世 10 周年的日子里,真心希望国内外新一代的电渣冶金工作者,能够将 B. I. 梅多瓦尔等开创的电渣冶金事业,继往开来,发扬光大,进一步发展第二代电渣

冶金技术。相信中国的电冶金事业,一定能够继续屹立于世界民族之林。

参考文献:

- [1] , 1960(9):17.
- [2] , 1963.
- [3] 傅杰,朱觉.电渣重熔过程中氧化物夹杂的变化[J].金属学报,1964,7(3):250.
- [4] Gao L, Fu J, Chen C X. Recent Advances in Understanding Electroslag Remelting Metallurgy of Superalloy[C] 4th International Conference on Superalloy, 1980:99.
- [5] Chu Chiao, Liu He Hong, Xiang Da Lin, et al. A Study of Horizontal Electro-Slag Refining Casting Method[C] Proceedings of the 7th ICVM Special Meltings, 1982, Toyko: 1468.
- [6] Fu Jie, Gao Liang. Adances in Superalloy Technology of China[J]. J Vac Sci Technol A, 1987, 5(4):2687.
- [7] Medovar B I. Centrifugal Electroslag Casting and Electroslag Permanent Mold Casting: A New Generation in Electroslag Technology[J]. J Vac Sci Technol A, 1987, 5(4):2678.
- [8] 傅杰.第一代和第二代电渣冶金技术的发展[J].特殊钢.2010,31(1):18.
- [9] 周德光,徐卫国,王平,等.轴承钢电渣重熔过程中氧的控制及作用研究[J].钢铁,1998,33(3):13.
- [10] Wahlster M, Schumann R. A Contribution to the Electroslag Remelting of Large Forging Ingots[C] Proceedings of the 4th International Symposium on Electroslag Remelting Processes, Tokyo Japan, 1973:337.
- [11] , 1981:490.