

电渣炉

〔苏〕巴 顿 密多瓦尔 等著

李正邦 黄桂煌 等译



国防工业出版社

电 渣 炉

〔苏〕巴 顿、密多瓦尔 等著

李正邦、黄桂煌 等译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是由苏联巴顿电焊研究所编写的一部专著。书中概括介绍了电渣重熔的起源、原理、工艺程序；概述了电渣炉专用部件的设计；对电渣炉电工特征及电渣炉自动控制方案作了较详细的论述，并对苏联不同类型电渣炉——单相单极、双极串联炉、三相电渣炉、多槽孔电渣炉作了全面的介绍和评述；对电渣熔铸异型铸件及空心锭的专用设备也作了适当地介绍，最后还简述了各国典型电渣炉及其工艺特征。

本书可供从事电渣炉设计和制造的技术人员，以及从事电渣熔铸生产的科技人员阅读，亦可供高等院校有关专业师生参考。

ЭЛЕКТРОЦЛАКОВЫЕ ПЕЧИ

Б. Е. Патона, Б. И. Медовара

КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1976

*

电 渣 炉

〔苏〕巴 顿、密多瓦尔 等著

李正邦、黄桂煌 等译

责任编辑 唐朝瑛

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张21¹/₂ 498千字

1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷 印数：0,001—1,400册

统一书号：15034·2503 定价：2.20元

译者说明

随着现代技术的发展，电渣重熔和电渣熔铸材料在工业部门获得广泛运用，世界各国都致力于建立工业电渣炉。

目前国外关于电渣熔炼设备——电渣炉的专著尚很缺乏，本书是一部由苏联巴顿电焊研究所巴顿、密多瓦尔等编写的关于电渣炉的专著，书中概括介绍了电渣重熔的起源、原理、工艺原则；对电渣炉专用部件的设计作了必要的概述；对电渣炉电工特征及电渣炉自动控制方案作了较详细的论述，并对苏联不同类型电渣炉——单相单极、双极串联炉、三相电渣炉、多槽孔电渣炉作了全面的介绍和评述；对电渣熔铸异型铸件及空心锭的专用设备也作了适当地介绍，最后还简述了世界各国的典型电渣炉及其工艺特征。

本书可供从事电渣炉设计和制造的工程技术人员，以及从事电渣重熔及电渣熔铸生产的科技人员阅读，亦可供高等院校有关专业师生参考。

由于我们水平有限，译文有不妥之处，请批评指正。

参加本书译校工作的有：李正邦、黄桂煌、李企明、郑学锋、薛翰华、张家雯、周文辉、张荣生、陶令辉同志。全书总校由李正邦同志承担。

前 言

由苏联科学院巴顿电焊研究所制定的自耗电极重熔法已广泛地用于黑色和有色冶金工厂、机器制造业、机床和其他工业部门。

自从世界上首批电渣炉在《德聂伯特殊钢厂》的查波罗什电冶厂和顿巴斯的新克拉马托尔斯克机器制造厂投产以来，已经有十五年以上的历史了。在这比较短的时期内，苏联建成了成百台不同用途和不同结构的电渣炉。随着电渣重熔技术和工艺的发展，除了现有的万能设备以外，又出现了一些专门化的设备。电渣炉的产品品种不仅包括加工和锻造锭，而且包括异形铸件。电渣重熔锭的重量从几公斤发展到数十吨。电渣炉的功率为几千和几万千伏安。

众所周知，在1958年由苏联首先发表了关于电渣重熔的文献。到1963年由苏联科学院巴顿电焊研究院研究人员撰写了电渣重熔方面的书籍。随后又陆续发表了一些其它著作，但这些书籍中基本都没有涉及到所使用的设备问题，而主要对电渣过程的理论、电渣重熔冶金及金属的制取工艺、电渣重熔钢和合金的金属学及力学性能等问题进行了探讨。然而，总结一下在建造各种类型电渣重熔设备中所积累的大量实践经验是很有必要的。今天向读者所推荐的这本《电渣炉》一书就是这种总结的第一次尝试。

书中除叙述性的内容以外，还包括了设计电渣重熔炉专用部件——结晶器、底水箱及导电元件等所必需的计算。同时作者既按工艺和结构特征、又按电工特征对电渣重熔炉进行了分类。

本书的主要篇幅用来叙述了巴顿电焊研究所的各种电渣炉的结构，因为多年来正是这个所建造的并且至今还再建造的各种新型的电渣重熔和异形铸件工艺设备。另外，还介绍了在该研究所参与下由各部企业和机构（全苏电热设备科学研究院、新西伯利亚和达格斯坦电热设备工厂、新克拉马托尔斯克机器制造厂、日丹诺夫重型机器厂、伊若尔斯克工厂、勃良斯克机器制造厂、维纽柯夫斯克钢筋厂、卡迪耶夫斯克机器制造厂等），以及各冶金工厂（德聂伯特殊钢厂、电炉钢厂、兹拉托乌斯特冶金工厂、车里雅宾斯克冶金工厂、镰刀与锤子冶金工厂、红十月冶金工厂、红维博尔热茨冶金工厂等）所研制的设备。

苏联积累了大量有关电渣重熔专门车间大规模生产金属的经验。对建造这些车间作出贡献的有国立冶金工厂设计院及其分院（乌克兰冶金工厂设计院、乌拉尔冶金工厂设计院、车里雅宾斯克冶金工厂设计院等）。书中部分利用了这些单位的资料，其中包括电渣重熔的非标准和辅助设备。

此外，随苏联之后其它国家对电渣重熔也产生了兴趣。许多国家（法国、瑞典、波兰、南斯拉夫、保加利亚、日本、英国、美国等）根据苏联的专利都建成了或正在建造电渣炉。近几年来苏联向社会主义和资本主义国家出口的电渣炉显著增多。其它国家的一些制造炉子的公司也从事电渣重熔炉的生产。因此本书也包含了其它国家电渣重熔炉的资料。

本书是集体创作。第一、二、三、十二章由Л. М. 斯图巴卡撰写；第四章由Б. И. 梅多瓦尔撰写；第五章和第十章由Л. М. 斯图巴卡和 Ю. Ф. 阿尔费罗维撰写；第六章由Б. М. 米罗诺维和Ю. Д. 贡恰罗维撰写；第七章和第八章由О. П. 帮达连柯撰写；第九章由Л. В. 切柯季洛和Ю. Д. 贡恰罗维撰写；第十一章由Ю. Г. 叶苗尔雅年科撰写；第十三章和第十五章由Л. В. 切柯季洛撰写；第十四章由Г. А. 包依柯撰写；第十六章由Б. И. 梅多瓦尔、Л. М. 斯图巴卡和О. П. 帮达连柯撰写。

目 录

第一章 电渣重熔的产生和发展	1
1 钢生产的现代方法	1
2 电渣重熔法的特点	2
第二章 电极熔化和钢锭的结晶过程	7
1 金属电极的熔化	7
2 金属的结晶和钢锭的形成	19
第三章 电渣锭生产的工艺程序	28
第四章 电渣炉的分类	37
1 分类特征	39
2 不同型号和用途的电渣炉特征的比较	51
第五章 电渣炉的主要结构件	63
1 结晶器	63
2 底水箱	78
3 电极把持器	82
4 传动装置	94
第六章 电渣炉的电气和工作特性	106
1 电路元件的特性	106
2 电气特性	113
3 工作特性	115
第七章 电渣炉的自动调节系统	118
1 电渣重熔过程调节的某些特点	118
2 电渣炉的电流调节器	123
3 电渣重熔过程程序控制系统	127
4 自动控制系统应用的展望	136
第八章 电渣重熔炉的新供电回路	138
1 双线多电极回路	138
2 描述双线炉的桥式电路	139
3 大吨位多电极电渣炉的供电方案	146
第九章 电极-底盘型单相电渣炉	154
第十章 双线串联型单相电渣炉	174
1 双线串联型炉	174
2 万能炉	183
第十一章 三相电渣炉	202
1 三电极炉	202
2 六或七电极炉	206
第十二章 多槽孔电渣炉	214

第十三章 生产空心锭的电渣炉	220
第十四章 电渣熔铸设备	240
1 电渣熔铸本质	240
2 设备的特性	241
3 生产船舶柴油机曲轴零件毛坯用的设备	253
4 生产动力阀体毛坯的设备	255
5 国外电渣熔铸设备	257
第十五章 电渣重熔和电渣熔铸的辅助设备	260
1 焙烧和贮藏熔剂的设备	260
2 结晶器中化渣的设备和装置	261
3 化渣炉	264
4 坩埚包	273
5 翻包机	276
6 向结晶器注渣的设备	279
7 配料器	280
8 排渣装置	283
9 准备自耗电极的装置	284
10 假电极	284
11 自耗电极固接于假电极的设备和接长电极的设备	287
12 钢锭提取机械	291
13 加热和冷却电渣钢锭的设备	291
14 运送自耗电极和铸锭的装置	294
第十六章 其它国家的电渣炉	295
1 单柱式单电极电渣炉	300
2 多柱式单电极电渣炉	302
3 门架式单电极电渣炉	305
4 可更换电极的单相电渣炉	307
5 三相电渣炉	310
6 大吨位电渣炉	313
7 室式电渣炉	316
8 生产板坯和扁锭的电渣炉	317
9 生产空心锭和异型铸件的电渣炉	319
10 粉料电渣重熔炉	322
11 重熔废料的电渣炉	323
12 电渣炉的控制	325
13 国外电渣炉的某些共同的特点	332
14 其它国家的苏联电渣炉	332

第 一 章

电渣重熔的产生和发展

1. 钢生产的现代方法

机器制造、燃气轮机制造、宇航技术、核子动力工程的发展要求大量增加能在不同条件下工作的特殊钢和合金的产量，而且必须创制具有特殊性能的新的金属材料。此外，还有一个特别尖锐的问题摆在冶金工作者面前，就是要保证所炼的钢和合金具有非常高的质量，以便提高它们的制品的可靠性和寿命。

金属制品的质量、可靠性和使用寿命，首先取决于制造这些制品的钢锭的质量，即物理和化学均质程度、钢锭中有害夹杂物的含量。

按一般炼钢方法钢锭是分两步制取的。第一步是在炼钢炉（电弧炉、平炉、感应炉、转炉）中炼出化学成分合乎要求的钢水；第二步是把钢水浇到钢锭模中结成锭。

冶炼过程中的钢水与炉子耐火炉衬相接触，并与耐火炉衬发生化学作用，或者由于炉衬受到机械破坏使钢水受到非金属夹杂物沾污。又由于与熔炼室大气起反应，钢水可能吸收一些气体，其中一部分气体与钢水起反应又造成非金属夹杂物含量增加。此外，原材料也会在钢水中带来有害杂质（硫、磷、气体、非金属夹杂物等）。

炼钢成品的质量在很大程度上取决于第二个步骤——铸钢。钢水从炉子到钢水包然后浇到钢锭模里时，由于钢水流和钢锭模中的钢水液面与空气接触，而使钢水发生二次氧化并吸收氮气。因此钢锭便被氧化物和氮化物夹杂的粗大团块沾污。此外，由于钢水与出钢槽、钢水包和浇道内衬冲刷，还会被外来夹杂物沾污。

最后，当浇入钢锭模中的钢水凝结时，由于产生偏析和收缩而造成了使钢锭的化学和物理均匀性显著下降的缺陷。与此同时在钢锭中还会出现中心疏松、轴向裂纹、区域偏析、缩孔、皮下气泡、斑点偏析等缺陷。

多年来，冶金部门做了许多提高金属质量的工作。在提高钢水总纯洁度方面已经取得了显著的成就。由于改进了熔炼工艺，尤其是出钢时钢水的脱氧工艺，使钢中非金属夹杂物含量，气体和有害杂质含量达到比较低的程度。用感应炉熔炼时，钢水采用了真空处理，因而进一步去除了钢中气体，排除了钢中的有色金属杂质。采用各种炉外真空处理方法（在钢包中处理或在注入钢锭模时处理、用电磁搅拌或吹入惰性气体处理、钢水由一个包移注到另一包的真空处理等）可以达到使钢中的气体明显去除的效果。用渣子进行炉外处理也能使钢水明显地得到精炼。它同炉外渣洗及吹入惰性气体或惰性气体和氧的混合气体一样，可以明显地提高钢水质量。

但所有上述方法都不能从根本上改善钢锭的组织，因为都没有使钢锭模中金属结晶发生变化。

为了改善钢锭组织，多年来人们一直在进行着完善浇铸工艺，以及改进钢锭模设计的研究工作。工业上已得到应用的有各种预热钢锭头部的方法—电弧预热、电渣辅助 馈电。有用水冷却底盘、也有将钢锭模壁隔热保温。在浇注工艺方面效果明显的是保护渣浇注方法。但是所有这些改进措施，或者只能提高钢锭头部的致密性，或者只能改善钢锭表面的质量，而且主要都是为了提高合格金属收得率。而根本改善钢锭的整个组织，即将所得钢锭的化学和物理不均匀性控制在最低限度内的问题，即使是连续浇注或半连续浇注也没有使问题得到解决。

因此，即使是钢和合金的一般生产方法已经有了重大改进，也不能充分保证符合新兴技术部门所要求的金属质量。只有在冶金工艺上出现了钢锭熔炼的崭新方法，这个问题才有可能解决。这些方法组成为特殊冶金部门。它们的一个总的特点是把普通冶炼设备所炼得的金属连续不断地加以重熔，而且金属在熔炼的每瞬间都是以比所炼钢锭量少得多的微量液体金属结晶的方式，在水冷金属结晶器中熔化，同时进行强制结晶（图 1）。

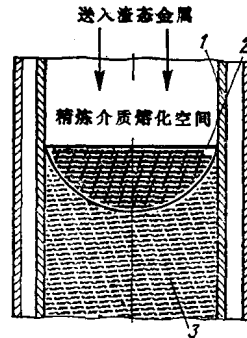


图 1 特殊电冶金重熔过程中金属的结晶示意图
1—水冷结晶器；2—金属熔池；
3—结晶后的金属（钢锭）。

由于金属熔池向下和向结晶器壁强烈地放热，因此熔融金属便由下向上结晶，而从上面不断地送入的新批量重熔金属又使得金属熔池随着下面结晶程度的增大而逐渐向上升高，同时形成重熔金属锭。

这样的特殊结晶条件可以保证得到致密而无偏析缺陷的钢锭。熔炼室没有内衬排除了重熔时金属被沾污的可能性，同时促进了结晶金属强烈地放热。钢锭熔化线速度不高，这样有利于熔池中的非金属夹杂物凝聚和上浮，以及使金属得到熔炼室精炼介质的有效处理。

特殊电冶金中应用最广泛的方法是真空电弧、电子束、等离子电弧和电渣重熔。真空电弧方法中，熔化金属所需的热能源是在 $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$ 毫米汞柱真空度下，于自耗或非自耗电极和金属熔池之间产生的直流电弧；电子束重熔是在 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ 毫米汞柱真空度下形成的电子束；等离子电弧方法是低温等离子；电渣重熔是通电流后受到加热的导电渣层。真空电弧和电子束重熔时金属的精炼介质是真空；等离子电弧重熔时是真空或惰性气体，例如氩气；电渣重熔时是过热的液态渣。每一种方法都有自己的特点和优点。

2. 电渣重熔法的特点

鉴于电渣重熔法经济和效率高，因此它是上述特殊电冶金方法中获得最广泛应用的方法。其工作原理如下（图 2）：用普通方法生产的并与电源接通的金属自耗电极，一端插入导电的，起精炼作用的熔融渣层。电流由电极通到渣池。在电流通过渣池时放出的热量使电极熔化。电极金属液滴降落到渣池底部，形成金属熔池，而金属熔池在水冷金属结晶器

● 原文是活性气体，应为惰性气体。——译者

中则不断由下向上凝结，从而形成钢锭。自耗电极根据熔化的程度送入渣池，并不断补充正在凝固的金属熔池的容积。

此法的最大优点是操作简便，而且操作过程中使用的是交流电，这样电渣炉便可使用易于制造的炉用变压器。

电渣重熔过程中渣池起着精炼介质的作用。在金属与高活性渣接触的所有阶段—在自耗电极熔融末端的金属薄膜中，电极金属滴通过渣池时及在渣池和金属熔池界面，被重熔金属都得到有效的精炼。

改变所使用渣的成分，就可以对重熔金属中的不同杂质实行有选择性的精炼。这是电渣重熔较之其它重熔方法的一个极其重要的优点。

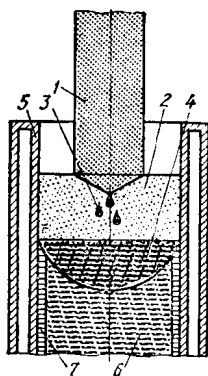


图2 电渣重熔示意图

1—自耗电极；2—渣池；3—电极金属液滴；4—金属熔池；
5—水冷结晶器；6—重熔金属锭；7—渣壳。

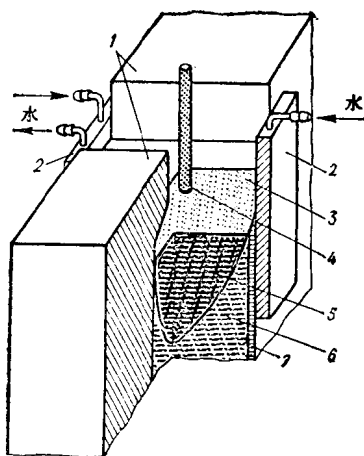


图3 电渣焊示意图

1—焊接边缘；2—水冷成型装置；3—渣池；4—焊条；
5—金属熔池；6—焊缝；7—渣壳。

渣池也起着象一种保温帽一样的作用，它促使钢锭形成没有缩孔的致密定向组织。电渣锭侧表面形成的薄渣壳，也促进了这一效果的取得，它减少了径向导热。此外，渣壳还有利于使钢锭得到用其它重熔方法所得不到的那种光洁表面。

改变自耗电极的截面、渣料的成分（物理特性）及其数量，以及过程电参数，电渣重熔就能在相当广泛的范围内调整熔炼速度。换句话说，电渣重熔是相当灵活的方法。

电渣重熔的一个极其重大的优点是能炼制不同形状截面的钢锭（圆形、正方形、长方形、宽窄面长度比很大的截面形状）。采用电渣重熔方法还可以熔铸各种不同形状的铸件（空心坯、轧辊毛坯、高压容器、大型高压阀门、曲拐轴和船用发动机连杆毛坯及其它制件的毛坯）。

根据电渣焊方法的原理创造的电渣重熔法始于五十年代。众所周知，焊接技术的最大成就是利用熔融渣池作为热源。电渣焊^[1]是利用电流通过熔融渣池时放出热量的原理进行焊接的方法，它是由苏联科学院巴顿电焊研究所发明的。

电渣焊示意图如图3所示。由焊接边缘和水冷成型装置组成电渣焊接槽，槽中有渣池。渣池中送入自耗焊条。由于电流通过渣池时放出热量，在其作用下，焊条和焊件的焊接边缘便开始熔化。焊条和母金属液滴通过渣池形成金属熔池。金属熔池凝结后便形成与焊件

边缘牢固地连在一起的焊缝。

焊缝试验表明, 电渣焊缝金属不仅不亚于埋弧焊焊缝金属^[2,7,8], 而且一系列指标还超过了它。这是由于电渣焊时相互作用时间要长得多, 及焊接熔池金属与渣接触的单位表面积大大增大和有可能利用高活性熔剂的缘故。

利用相应成分的渣料使金属有可能得到有效的精炼, 以及使金属的晶体由下向上沿轴向长大, 从而保证在宏观和微观组织致密的情况下不断结晶。这是电渣焊缝金属在机械性能、非金属夹杂度、气体含量等质量指标优于母金属和焊条金属的原因。这一情况使人们提出了在冶金生产中利用电渣焊方法来改善金属质量的想法。按此想法苏联巴顿电焊研究院在1952~1956年间作了研究并实现了^[5,4]。

不难看出, 如果把整个渣池和金属熔池都放到水冷成型装置中, 即另安装两块水冷底板代替焊接边缘, 那么得到的就不是焊缝, 而是钢锭(图4)。

根据钢锭成型室截面的不同, 亦即根据结晶器形状的不同, 可以得到圆形、正方形、长方形或其它截面形状的钢锭。钢锭的获得可以用相对于钢锭固定的结晶器凝结的方法, 这种结晶器的高度相当于所炼钢锭的高度; 也可以用相对于结晶器移动钢锭的方法。

在后一种情况下, 或者是将所炼钢锭从比较短的结晶器中抽出, 或者是根据钢锭熔炼程度使短的结晶器随钢锭向上移动(图5)。而第二个熔炼方案, 熔炼过程是周期性的, 第一方案才能连续熔炼。

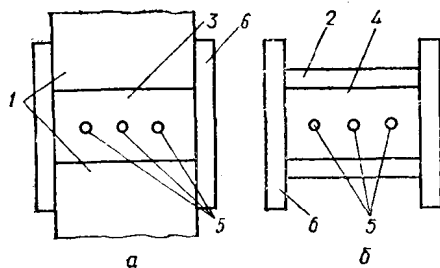


图4 电渣焊(a)过渡到电渣重熔(b)示意图

1—焊接边缘; 2—水冷底板; 3—焊缝;
4—钢锭; 5—焊条; 6—水冷成型装置。

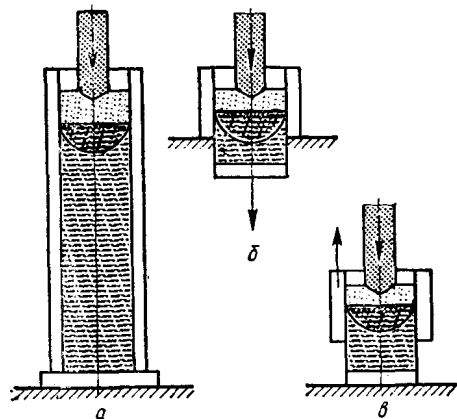


图5 电渣重熔时钢锭的熔炼方案

a—钢锭和结晶器均固定; b, a—钢锭和结晶器相互移动。

在电渣重熔法研究的最初年代, 考虑到电渣焊的经验, 苏联科学院巴顿电焊研究院用细截面(直径在6毫米以内)丝试验了在熔炼过程中进行金属合金化的电渣锭熔铸方法。用于这种方法的第一台装置的示意图如图6所示。

从1955~1956年苏联巴顿电焊研究所在电渣焊方面又取得了新的成就。Г. 3. 沃洛什凯维恰、Д. А. 杜德柯、И. К. 波霍德尼、Ю. А. 斯捷连博根娜等找出了利用更大截面焊条和在焊条中通入低密度电流进行电渣焊的可能性。这就使人们可以采用板状电极来进行电渣焊^[6], 而且制定出接触电渣焊的方法^[3]。

在利用焊接技术成果的同时, 实现了由电渣熔炼丝向熔炼更大截面电极的过渡。此外, 开始使用具有最终化学成分的金属制造的自耗电电极进行熔炼。这种方法的典型形式如图2所示。

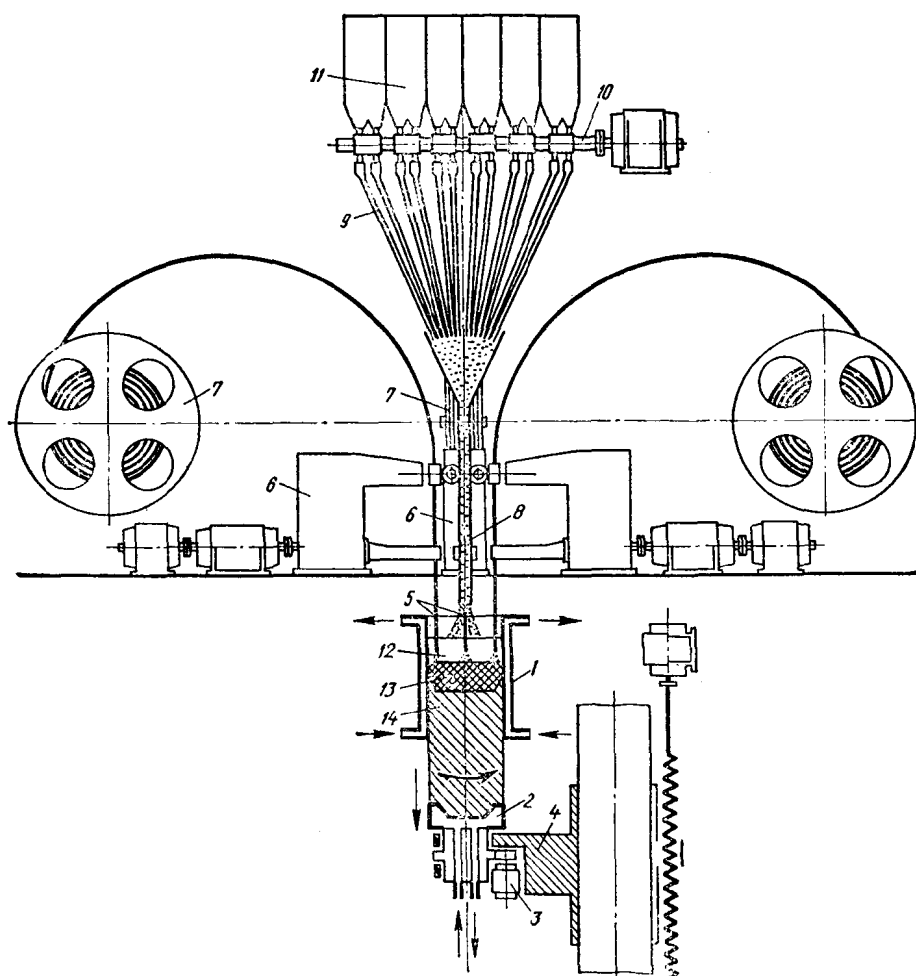


图6 用苏联巴顿电焊研究所的方法熔铸电渣锭的过程示意图

- 1—水冷结晶器；2—底水箱；3—底水箱旋转机构；4—底水箱下放机构；5—电极丝；
6—电极丝给送机头；7—电极丝卷筒；8—导料管；9—松料管；10—炉料定量器；
11—料槽；12—熔融渣池；13—熔融金属池；14—钢锭。

用电渣重熔方法进行钢和合金的工业生产创始于德聂伯特殊钢厂。这个厂在1958年5月投产了第一台电渣炉（图7）。1959年这个厂又制造和投产了由两个各有三个结晶器的机组构成的三相炉。

目前用电渣重熔法生产着异型铸件、锻造件、板坯、扁锭、各种形状的空心和实心毛坯。用这一方法生产着所有重要品种的钢和合金、有色金属及其合金。电渣钢中比重最大的是滚珠轴承钢、不锈钢、耐热钢、高强度结构钢和高速切削钢以及热强钢。

电渣重熔在工业生产中得到如此迅速的推广及迅猛向前发展，是由于它具有高度的经济效率。电渣重熔设备简单、可靠和便宜、使用交流电和简单的电源，因而重熔费用不高（一般不超过60~80卢布/吨）。

电渣重熔经济效率的主要项目是：金属质量显著提高及由此而使金属加工企业的废品率下降；合格率增加、热加工劳动强度减轻，因为一方面是由于提高了金属的热塑性，另

一方面是由于电渣重熔金属的变形可以减少；用电渣重熔金属制成的零件可靠性增大，寿命延长。

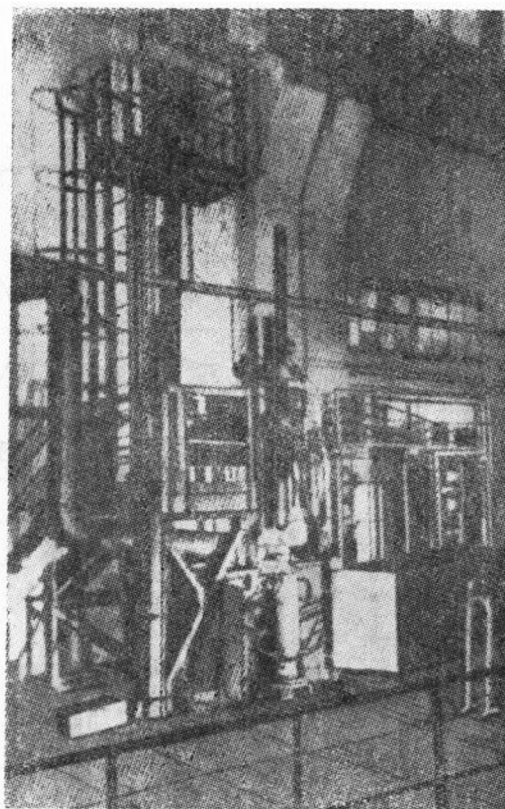


图7 德聂伯特殊钢厂投产的第一台工业电渣炉外形

参 考 文 献

1. Волошкевич Г. З. Электрошлаковая сварка.— Автоматическая сварка, 1953, 6
2. Гуревич С. М., Дидковский В. П. Некоторые вопросы электрошлаковой сварки титана.— Автоматическая сварка, 1957, 3.
3. Дудко Д. А., Походная И. К. Контактнo-шлаковая сварка. — Автоматическая сварка, 1956, 4.
4. Патон Б. Е. и др. Новый способ электрической отливки слитков.— В кн.: Экспериментальная техника и методы исследований при высоких температурах. Труды совещания Института металлургии АН СССР (1956 г.). Изд-во АН СССР, М., 1959.
5. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Патон В. Е. Новый способ электрической отливки слитков.— Бюл. технической информации. НТО Машпром, Киев, 1956, 1.
6. Стеренбоген Ю. А., Зайцев Ю. Н. Электрошлаковая сварка пластинчатым электродом.— Автоматическая сварка, 1956, 4.
7. Стеренбоген Ю. А. и др. Обессеривание сварочной ванны при электродуговой и электрошлаковой сварке.— Автоматическая сварка, 1957, 4.
8. Электрошлаковая сварка (под ред. акад. АН УССР Б. Е. Патона). Машгиз, Киев, 1959.

第二章

电极熔化和钢锭的结晶过程

1. 金属电极的熔化

电流通过渣池时，在渣池中析出为熔化自耗电极为并使金属熔池和渣池保持熔融及过热状态所必须的热量。

单位时间内渣池中析出的热量 Q 取决于已知的公式

$$Q = 0.24 I^2 R$$

式中 I ——通过熔池的电流；

R ——渣池电阻。

同时，电流的大小与加在渣池上的电压 U 存在着直线关系。

因此，渣池中析出的热量取决于过程中三个相互有密切关系的参数。例如，增加电流导致渣池电压的下降，渣池的有效电阻也减少。渣池电压的变化又导致渣池电阻的变化，这是由于在渣池中自耗电电极的位置和温度场分布发生了变化的结果。

通电时，渣池中析出的热量被用来熔化金属电极及保持金属熔池和渣池的过热状态。热量的一部分被结晶器和底盘的冷却水带走，一部分被渣池辐射损失掉，一部分被炉气带走，一部分被钢锭的金属蓄积起来。如果熔炼的钢锭对结晶器而言是移动的话，则还有一部分热量被钢锭辐射散发而损失掉。

关于电渣重熔热量的一般分配示于图 8。

由此可清楚地看出，渣池中电流析出的热量，其基本的消耗项目如下：

1) 加热和熔化电极金属以及金属熔滴穿过渣池时使之过热所消耗的热量①。从能量观点来看这部分的热量是有用的消耗。除了从热电极表面向大气辐射的热损失外，热量由电极金属熔滴带入金属熔池。

2) 从渣池向结晶器壁输出的热量②。这部分热量由冷却结晶器的水带走。这项消耗的热量是相当大的。

3) 由于热传导从渣池向金属熔池传递的热量，和金属熔滴从渣池带入金属熔池的热量。这部分热量随后传递给结晶器壁③。它通过金属熔池的液态金属经渣层与结晶器壁接触的地方，传递给结晶器壁和钢锭与渣壳和结晶器壁之间形成缝隙的地方，是以辐射

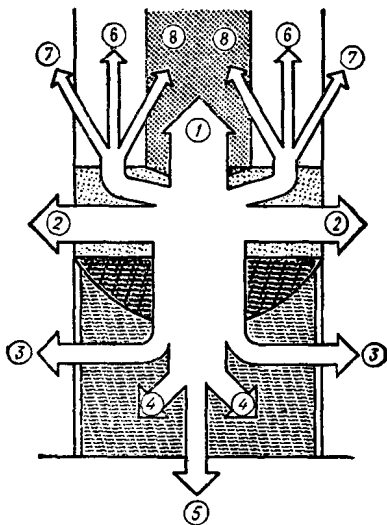


图 8 电渣重熔时渣中热量的分配

热的形式传递给结晶器壁的。如果重熔过程是采取抽锭方案的话，则钢锭从结晶器壁里抽出，当它低于结晶器的位置时，这部分热量的一部分就以辐射方式向钢锭的周围传递。由渣池传递给钢锭的某些热量⑤，通过钢锭进入底盘并由冷却水带走。如果钢锭从结晶器里取出后，为了下一步热加工而直接装入加热炉的话，则储存于钢锭中的部分热量④，可在某种程度上得到利用。

4) 从渣池反射到大气⑥、结晶器壁⑦和电极⑧的辐射热量。这些只有预热电极的热量才是有用的。

在所讨论的消耗热量的项目中，由结晶器带走的热量是最多的。

表 1 冶炼热量平衡表

参 数	炉 号		参 数	炉 号	
	№1	№2		№1	№2
结晶器直径, 毫米	200	250	底 盘	38	—
电力制度: 熔池电压, 伏	51	40	带走的热能, 焦耳:		
冶炼电流, 安	3600	6000	结晶器	61.6×10^7	96×10^7
规定的熔炼时间, 小时	1.0	1.2	底 盘	3×10^7	—
水耗, 米 ³ /小时:			总 计	64.6×10^7	—
结晶器	8.6	20	电流产生的热能, 焦耳	66.1×10^7	103.7×10^7
底 盘	1.9	—	水带走的热量百分数, %:		
进水温度, °C	34	7.5	结晶器	93.3	92.3
出水温度, °C:			底 盘	4.7	—
结晶器	52	17.5	总 计	98.0	—

表 1 引证的资料是结晶器中熔炼至一定高度的钢锭。这些资料证明渣池中电流析出的绝大部分热量 (2、3、7 项) 被结晶器的冷却水带走。

热量分配的特点与工艺、电工和其它因素有关 (炉渣的成分和数量、电极和结晶器截面积比、冶炼电制度、重熔金属的性能、电极表面状态、渣面上气氛、重熔方式等)。这就说明了重熔 1 吨钢锭实际消耗的电能 在 750 到 2000 千瓦小时的很宽范围内波动的原因。这个数值大大地超过了理论上熔炼 1 吨炭素钢所需的能量 (约 400 千瓦小时)。

因此，电渣重熔象其它在结晶器中重熔金属的方法一样，在能量方面决不能认为是高效率的。

电渣重熔时直接消耗在熔化金属电极上有效电功率仅为 20~50%。但是已证实采用电渣重熔和其它在结晶器中重熔金属的方法时，由于重熔的结果使金属的质量发生了变化。

前已指出，渣池的作用之一是热源的作用。在这个热源的作用下，埋入渣中的自耗电电极逐渐地熔化。

电渣重熔时电极熔化的一般规律首先在文献〔21〕中研究过。在每次试验中电极以一个固定的速度向渣池中送进，测定了电渣过程在稳定的制度范围内，自耗电电极的三种熔化形状的特点。低速送进时，电极在渣池表面上熔化，冶炼电制度不稳定，并且在电极端面 and 渣面之间伴随着发生电弧放电现象，被熔化的电极是带一个或几个熔滴凸起的平端面 (图 9a)。

随着电极送进速度的增加，电极末端具有圆锥体的形状，冶炼电流增加并稳定。从电

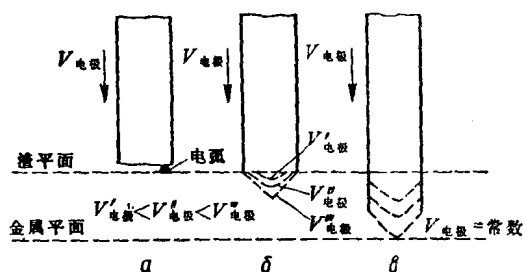


图9 电极熔化特点

a —电极下降速度过小； b —与稳定的电渣过程相适应的电极下降速度； c —电极下降速度过大； $V_{\text{电极}}$ 、 $V_{\text{电极}}^I$ 、 $V_{\text{电极}}^{II}$ —渣中三种电极位置时的电极下降速度。

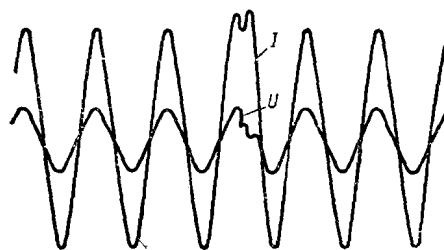


图10 电极端和金属熔池之间产生电弧放电瞬间的电压和电流正弦波的畸变

渣过程稳定的角度来看，电极熔化部分的最好形状是正圆锥体（图9c）。

随着电极速度的继续增加，电极的熔化部分具有凸起的形状。然后在这个确定的送进速度下，电极有一部分圆柱体埋入渣池。由于电极金属熔滴开始连接缩短了的电极间距，电制度变得不稳定。这种规范下的特点是在渣池中析出的热能不能满足于熔化电极金属需要。

在电极和金属熔池之间发生弧光放电的最极端的情况下，电极有可能插入金属熔池（图9e）。第一种和第三种情况下的弧光放电现象可以从电压和电流示波照相图上正弦波的畸变得以证实（图10）。在其它条件相同的情况下，电流的大小和电极的送进速度存在着直线关系（图11）。

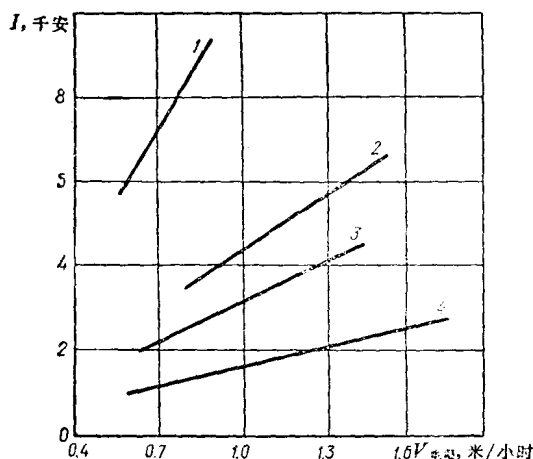


图11 电流和电极送进速度的关系

1— $d_{\text{电极}} = 180$ 毫米； $U_{\text{x.x}} = 80$ 伏；2— $d_{\text{电极}} = 180$ 毫米； $U_{\text{x.x}} = 51$ 伏；
3— $d_{\text{电极}} = 100$ 毫米； $U_{\text{x.x}} = 51$ 伏；4— $d_{\text{电极}} = 80$ 毫米； $U_{\text{x.x}} = 51$ 伏。

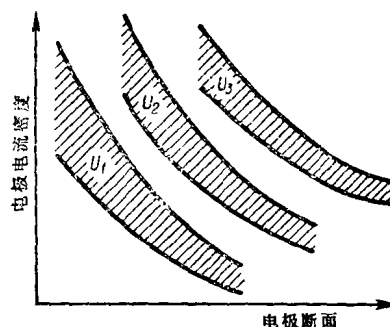


图12 在电渣过程稳定的范围内电压和电极截面对电极中电流密度的影响

随着电极截面积的增加，稳定的电渣过程是在大电流范围内进行。但是，与稳定过程对应的电流值的增加比电极截面的增加来的缓慢。因此，随着电极截面的增加，稳定的电渣过程的范围向着电极中电流密度减小的方向移动。随着电压的提高，稳定的电渣过程的范围向着电流密度增加的方向移动（图12）。

在讨论其它冶炼参数对电极熔化特点的影响之前，应该先研究一下电渣重熔时电流在渣池中的分配。