

有衬炉电渣冶金



云南人民出版社

有衬炉电渣冶金

昆明工学院电渣冶金研究室常鹏北编著

云南人民出版社

封面设计：范泰宏

有衬炉电渣冶金

昆明工学院电渣冶金研究室常鹏北编著

*

云南人民出版社出版

(昆明市书林街100号)

云南新华印刷厂印刷 云南省新华书店发行

*

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：13.25 字数：310,000

1979年9月第一版 1979年9月第一次印刷

印数：1—5,700

统一书号：15116·116

定价：1.10元

代 前 言

双自耗极有衬炉“电渣冶金”是得到全国科学大会和冶金工业部奖励的我省科研成果之一。

实践说明，“有衬炉电渣冶金”具有设备简单、投资较中频炉省、操作容易、维修方便、耗电少、熔炼钢质好、可一机多用等优点。由于其主要用途在于，可将各种废钢熔炼成优质钢，并浇铸成各种砂型铸件及精密铸件。因此，推广有衬炉电渣冶金对于发展机械工业，特别是促进农业机械化有积极作用。一九七三年昆明工学院试验成功这项新技术以来，经过不断总结经验，改进提高，省内外采用这一新的冶炼方法的厂矿、社队企业日益增多。

在党的十一大路线指引下，在向四个现代化进军的新的长征中，为了实现新时期的总任务，交流科研成果，并推动“电渣冶金”的进一步发展，我们特请昆明工学院电渣冶金研究室讲师常鹏北同志编写了这本书，供各地参考。

云南省科委科学技术普及处

目 录

电渣技术的发展概况	(1)
有衬炉电渣熔炼的热过程	(20)
一、热能的产生	(20)
二、电渣过程的形成	(22)
三、电渣熔炼过程热量的分布与计算	(26)
(一) 几种熔炼形式热源的分布	(26)
(二) 有衬炉电渣熔炼的热量分布与计算	(32)
四、电渣熔炼过程金属熔滴的过渡	(34)
五、电渣熔炼过程渣池的旋转	(40)
六、有衬炉电渣熔炼的熔渣	(42)
(一) 熔渣的作用	(42)
(二) 对熔渣的要求	(42)
(三) 熔渣的主要特性和渣系成份	(44)
(四) 电渣熔炼常用的熔渣配方	(46)
有衬炉电渣熔炼的冶金反应过程	(51)
一、有衬炉电渣熔炼的冶金特点	(51)
(一) 金属熔液和液态熔渣的相互作用	(51)
(二) 金属熔液和大气之间的相互作用	(52)
(三) 金属熔液、熔渣和炉衬之间的相互作用	(52)
二、脱氧	(53)
(一) 氧在钢中的危害	(53)

(二) 氧的来源	(54)
(三) 防止氧化的途径	(54)
(四) 脱氧方法	(55)
三、去硫	(63)
(一) 硫在钢中的危害	(63)
(二) 除硫的条件	(64)
(三) 电渣炉中硫的去除	(64)
四、脱磷	(66)
(一) 磷在钢中的危害	(66)
(二) 脱磷的条件	(66)
(三) 脱磷的方法	(67)
五、非金属夹杂物的去除	(69)
六、去气	(70)
有衬炉电渣熔炼的操作工艺	(71)
一、造渣	(71)
(一) 单极熔炼的起弧造渣	(71)
(二) 单相双极熔炼的起弧造渣	(71)
(三) 两相双极熔炼的起弧造渣	(76)
(四) 三相三极熔炼的起弧造渣	(76)
二、熔炼过程	(77)
(一) 爆渣现象产生的原因及防止办法	(78)
(二) 钢水温度的控制	(79)
三、有衬炉电渣熔炼工艺参数的选择	(79)
(一) 熔渣的组成和每炉熔渣的重量	(80)
(二) 炉膛尺寸	(82)
(三) 电流	(83)

(四) 电压	(83)
(五) 电极直径的影响	(84)
(六) 电极间距	(85)
有衬炉的设计与制造	(87)
一、有衬炉的设计方法	(87)
(一) 炉膛横截面尺寸的计算	(88)
(二) 炉衬厚度的确定	(100)
(三) 炉底结构	(101)
(四) 炉子翻转机构	(102)
二、筑炉材料	(103)
三、炉子的制作	(105)
四、有衬炉的使用	(109)
小 结	(110)
有衬电渣炉的机械设备	(111)
一、双极有衬电渣炉的电极升降机构设计	(111)
(一) 对电极升降机构的要求	(111)
(二) 设计电极升降机构的几个问题	(114)
(三) 手动简易的电极升降机构	(131)
二、单极及三极有衬电渣炉的机械设备	(131)
有衬炉电渣熔炼的电源	(133)
一、电渣熔炼对电源的要求	(133)
(一) 变压器简介	(133)
(二) 电渣冶金变压器的外特性选择	(139)
二、单相电渣冶金变压器	(143)

(一) 50千伏安电渣冶金变压器	(144)
(二) 100 千伏安电渣冶金变压器	(145)
(三) 180 千伏安电渣冶金变压器	(145)
三、三相换成两相的电渣冶金变压器	(145)
(一) T型接线变压器	(146)
(二) T型接法变压器的设计特点	(155)
(三) 几种容量的T接电渣冶金变压器数据	(157)
四、三相电渣冶金变压器	(159)
五、变压器的并联	(160)
六、电渣炉常用的电器	(162)
(一) 常用电器简介	(162)
(二) 电渣冶金变压器的调节电压换挡控制	(167)
有衬电渣炉的自动化	(173)
一、可控硅直流无级调速装置在有衬电渣炉上的 应用	(173)
(一) 直流电动机	(176)
(二) 可控硅无级调速系统的主电路	(178)
(三) 可控硅的触发电路	(195)
(四) 反馈和放大电路	(208)
(五) 励磁电路	(221)
(六) 保护线路	(221)
(七) 可控硅直流无级调速装置的安装、调 试及故障排除	(224)
二、单相双自耗极串联有衬电渣炉的自动化	(227)
(一) 自动化的任务	(227)
(二) 双极电渣炉的下料机构	(228)

(三) 控制参数的选择	(229)
(四) 几种自动化方案	(231)
三、两相双自耗有衬电渣炉的自动化	(237)
四、“单相单极”及“三相三极”有衬电渣炉的 自动化	(238)
铸钢的基本知识	(239)
一、钢的成份和性能	(239)
(一) 钢的分类	(239)
(二) 钢符号的表示方法	(241)
(三) 钢的机械性能	(243)
(四) 合金元素对铸造性能的影响	(244)
(五) 化学成份对机械性能的影响	(249)
二、铸钢热处理简介	(255)
(一) 钢的基本组织	(255)
(二) 钢在加热和冷却时的组织转变	(256)
(三) 铸钢件的热处理	(263)
三、常用钢的火花鉴别	(267)
四、钢水温度的测量	(274)
(一) 光学高温计测量	(275)
(二) 热电偶测温	(276)
(三) 钢水结膜测温法	(277)
钢的有衬电渣炉熔炼	(279)
一、普碳钢及低合金钢熔炼	(279)
(一) 电极的准备	(279)
(二) 钢水成份的调整	(280)

(三) 普碳钢的电渣熔炼	(291)
二、有衬电渣炉熔炼不锈钢	(293)
(一) 不锈钢的基本性能	(293)
(二) 有衬电渣炉熔炼不锈钢的工艺	(295)
(三) 不锈钢的铸造工艺	(303)
三、高速工具钢的电渣熔炼	(305)
(一) 高速工具钢中各主要元素的作用	(305)
(二) 几种新型高速钢的有衬炉电渣熔炼	(308)
四、超高强度钢的熔炼	(315)
(一) 超高强度钢简介	(315)
(二) 超高强度钢的熔炼	(315)
(三) Ni 18—300 型的性能	(316)
 有衬电渣炉生产高强度球墨铸铁	 (317)
一、有衬电渣炉生产球铁的特点	(318)
(一) 球铁简介	(318)
(二) 有衬电渣炉生产球铁的特点	(321)
二、有衬电渣炉生产球铁的工艺	(327)
(一) 球化剂	(327)
(二) 球铁化学成份的选择	(334)
(三) 自耗电极的准备	(335)
(四) 熔渣	(340)
(五) 熔炼过程	(341)
(六) 扒渣、转包	(341)
(七) 球化处理	(341)
(八) 孕育处理	(343)
(九) 炉前控制	(345)

三、球铁的铸造工艺	(348)
(一) 球铁的铸造性能	(348)
(二) 球铁的铸造工艺特点	(349)
四、球铁的热处理	(349)
(一) 球铁的热处理特点	(350)
(二) 几种球铁的热处理工艺	(352)
五、稀土、镁球墨铸铁的特点	(355)
(一) 降低了球铁中的残余镁量	(355)
(二) 消除干扰元素的有害作用	(355)
(三) 改善了球铁的铸造性能	(355)
(四) 提高了球铁的机械性能和使用性能	(356)
(五) 简化了球化处理工艺	(356)
六、有衬电渣炉生产球铁的优缺点	(356)
七、球铁生产中的几个理论问题	(357)
(一) 球化理论	(357)
(二) 球墨铸铁的孕育问题	(363)
电渣熔炼设备的扩大应用	(365)
一、电渣炉化铜	(365)
(一) 设备及炉料	(365)
(二) 操作工艺	(366)
(三) 使用效果	(367)
二、电渣炉熔炼铅锡合金	(367)
(一) 设备	(367)
(二) 操作工艺	(369)
三、电渣焊	(370)
四、电渣堆焊	(371)

(一) 问题的提出	(372)
(二) 堆焊层的形成过程	(372)
(三) 主要设备	(375)
(四) 质量检查	(375)
五、用电渣冶金方法收冒口	(377)
铸钢工艺简介	(379)
一、钢的砂型铸造工艺特点	(379)
(一) 钢的铸造性能	(379)
(二) 钢的铸造工艺特点	(379)
二、熔模精密铸造简介	(386)
(一) 熔模精密铸造的优越性	(387)
(二) 熔模精铸的工艺流程	(388)
(三) 熔模铸件的设计原则	(389)
(四) 压型的设计与制作	(395)
(五) 熔模的制作	(399)
(六) 模壳的制作	(405)
(七) 型壳的焙烧	(412)
(八) 模料的回收	(412)
(九) 浇注	(413)
后 记	(414)

电渣技术的发展概况

电渣技术包括：电渣焊、电渣重熔、电渣熔铸及有衬炉电渣熔炼四个方面。电渣技术按其热源本质来讲，是利用电流通过熔融的特制熔渣时，所产生的电阻热作为热源来进行熔炼或焊接的一种方法。

电渣重熔起源于电渣焊，而电渣熔铸及有衬炉电渣熔炼是最近几年来在电渣重熔的基础上发展起来的一种崭新的冶金方法。

电渣冶金由于所用设备简单，操作维修方便，能获得高质量的合金，所以，它既能适应现代尖端技术——原子能工程、导弹、火箭、宇宙飞船等对金属材料的品种和质量日益扩大、日益严格的要求，又能满足工农业生产对小型炼钢设备的急需。因此，这项新技术在国内外都普遍受到重视，发展很快。

电渣焊是一九四七年底由苏联巴顿电焊研究所研究成功的。之后，这一技术很快获得极为迅速的发展，它在促进重型机器制造工业发展方面得到很高的评价，成为重型机器制造中极为重要的工序之一。一九五四年，巴顿电焊研究所又把这一技术扩大到冶金领域中去。最初是采用一根或多根直径为3~8毫米的焊丝作自耗电极，合金料以粒状由漏斗加入，经电渣熔炼，在水冷结晶器中凝固成所需的合金铸锭。这个方法工艺复杂，成本高昂，铸锭成份极不均匀，不宜用于工业生产。后来逐步改成用大断面的合金钢或合金锻材、轧材、铸棒作熔炼的电极，以代替焊丝，直接熔炼（见图1）。

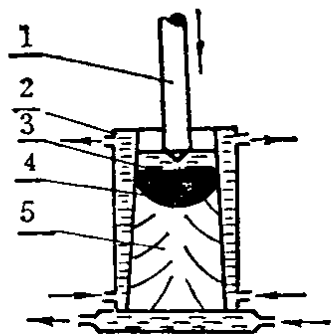


图 1 电渣重熔示意图

1. 电极 2. 水冷结晶器 3. 渣层
4. 金属熔池 5. 铸锭

电渣重熔的目的，不是为了利用这个方法熔配合金或改变铸锭的形状，而主要是提纯金属及保证事先预配好的合金钢的质量，并创造良好的冷却条件，以获得均匀致密的结晶组织。电渣重熔过程，电极边熔化，熔池由下而上慢慢地凝固，从而将有利的冶金因素和结晶条件在电渣炉中得到了很好的结合。

在苏联，电渣重熔的方法和设备到一九五八年才初步定型，随后在一些工厂建立了工业性的电渣重熔炉。目前，几乎每一个特殊钢厂和大型重机厂都建有这样的炉子。

国际上自一九六七年美国航空材料研究所和卡涅基梅大学主持召开了第一次国际电渣冶金座谈会以来，国际电渣冶金会议已开了五次。

世界电渣重熔钢一九七二年已增至九十万吨左右，产品的种类达几十种。铸锭重量由开始的几公斤到现在的一百多吨。

从总的发展趋势来看，国外电渣重熔重点向下列几方面发展：

- (1) 电渣重熔炉的大型化，以解决大型铸锭的质量。
- (2) 双极串联式电渣炉（即双自耗极电渣重熔炉）。
- (3) 扩大熔炼的品种，从黑色金属领域扩大到有色金属方面，如钛合金，铝合金，铜合金等。
- (4) 电渣熔铸，把水冷结晶器的内壁作成所需的形状，以获得高质量的异形铸件，如齿轮毛坯，空心管锭等。
- (5) 探讨提高生产率的新方法、新渣系及电渣重熔过程的程序控制。

(6) 研究电渣重熔的热源本质、熔滴过渡及纯化机理等。

近几年来,美国对重熔电极的制备有了改进,用压紧粉料和压缩海绵铁的比重增大了,这方面的发展正在和铸造电极相竞争。熔渣方面,研究不同渣的成份,产生大小不同的非金属夹杂物对金属的疲劳性能、蠕变及断裂性能的影响。用电渣重熔生产铜——锰及铜——镍——锰等有色金属的合金以及对电渣重熔金属的检验方法进行了研究。苏联对双极串联电渣重熔炉的工艺、设备方面开展了研究,建成一种自耗电极和结晶器之间无相对运动的完全新式的电渣炉。这种炉子尺寸非常紧凑,结构简单,无下料机构,重熔时自耗电极和结晶器都是固定的,不断上升的渣池(因电极熔化后,熔滴掉入结晶器内,使熔渣上浮)以给定的速度熔化着电极,在整个熔炼过程中对各参数进行程序控制。另外,对电极和结晶器作相对运动的设备也开展了研究,并在生产大锭子、空心锭、电渣熔铸及铸焊结合(见图2)等方面取得了一定进展。国外,在理论研究方面有不少是值得参考的,例如:

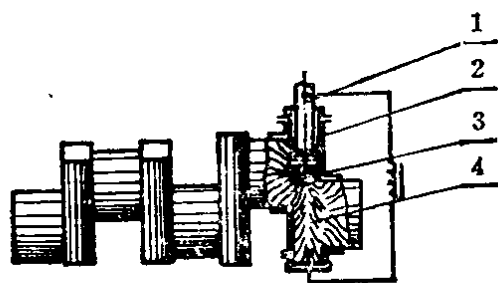


图2 曲轴的铸焊结合示意图

- 1.电极 2.水冷结晶器
3.熔池 4.熔铸产品

(1) 有人经过测量,确定出电渣重熔纯属电阻发热,控制发热最重要的条件是电极埋入渣中的深度及熔渣电阻的大小。通过对双极串联小型重熔炉的研究,用电模拟的方法测定电流通过熔渣和金属的线路,得出结论:认为电流主要是从一个电极经过渣层通向另一电极,而不是由电极通向金属熔池,再返回另一电极。电流密度在电极插入渣层部分的表面是不同的。

(2) 用硼硅酸玻璃作结晶器，自耗电极用铝或铜，渣子用氧化锂和氯化钾作模拟电渣重熔试验，证明渣池的旋转是由于电磁场的作用，而热对流对其运动影响不大。当外加一磁场时，此时熔滴以螺旋运动形式沿结晶器壁下落。有的则在电渣重熔的熔炼过程中，再加一直流电的磁场，迫使渣池强烈旋转，使金属熔滴转移的特征改变，从而使生产率提高了16~20%，电耗量下降了10~18%。

(3) 苏联用 BP 5/20 式热电偶，外套硼化物套管保护，防止氟化物侵蚀，此种装置能测温1,500~2,200°C。经过对电渣重熔过程中渣层及熔池温度的测量，得出结论：重熔过程温度和熔渣有关，温度在渣层以及电极下部和周围都有着一个温度梯度，渣层和熔池温度相差250°C。

(4) 日本有人研究了电渣重熔中各种反应产生的地点，对电极的端部和熔渣、金属熔池和熔渣及大气和熔渣的反应进行了对比，结果证明：电极端部和渣面上脱硫速度最大，是脱硫的重要区域。硫从渣中转移到大气的速度，在某些情况下，可以同硫从电极端部转移到熔渣的速度相比拟。

苏联对金属熔滴在电渣重熔过程中非金属夹杂物的去除进行了研究，认为：夹杂物的去除主要在电极的端部熔融金属膜流动时进行，这时，夹杂物在熔滴中重新分布，它或者被渣同化，或者堆积在相界面上，熔池中非金属夹杂物也可上浮去除，电极端部熔融的金属膜上含夹杂物相当少。

有人对夹杂物的去除问题进行研究时发现：电渣重熔时，渣的浮力及摩擦使电极下端圆锥侧面上聚集的液层厚度显著大于夹杂物的粒度。液层中不规则形状的夹杂物及圆锥侧面的粗糙使液层成紊流流向圆锥顶端成滴。此时，较重而不规则的铝盐夹杂比圆而较轻的硅盐夹杂而更易被渣所吸收。硅盐夹杂则

在以后各阶段上浮被排出，而铝盐夹杂不易排出。

日本关于去硫反应的研究指出：

①电极尖端的熔化部分及生成的熔滴与渣的界面上发生电化学反应及化学反应；

②在渣中下落的熔滴与渣的界面只发生化学反应；

③在金属熔池与渣的界面上发生电化学反应及化学反应；

④渣和大气间只发生化学反应；

⑤熔池和铸锭间硫的分配属化学反应。

(5) 有人作了电极进入熔池前进行预热来提高熔化速度的试验，证明预热电极可明显地提高熔化速度。例如，对低碳钢电极端部预热到 500°C 、 600°C 、 700°C ，则相应地提高熔化速度为：20%、25%及33%。

(6) 有人对电渣重熔过程中的气体进行了研究，认为氟化钙在 $1,600^{\circ}\text{C}$ 的炉渣中，氟的挥发是由于氟化钙的蒸发和生成氟化氢气体的结果，而以氟化氢的挥发占很大比重。氟化氢的形成随着气氛中水蒸汽分压的增大而增加。若渣中二氧化硅量增加，则生成的四氟化硅的蒸发比氟化钙的蒸发速度大。为防止氟化物的挥发，要使渣料充分干燥并在干燥的气氛中使用渣料。

(7) 电渣重熔的几种新熔渣：

①重熔铜——铁合金的熔渣成份为：80% CaF_2 ，10% Al_2O_3 ，10% MgF_2 。采用氟化镁是为了改善铸锭表面的质量。

②重熔不锈钢用50% CaF_2 、30% CaO 、20% Al_2O_3 的熔渣，这种熔渣能避免球形夹杂。

③电渣重熔铜的熔渣为：80% CaF_2 ，20% MgF_2 。

④脱硫熔渣为：55~65% CaO ，17~20% Al_2O_3 ，11~14% CaF_2 。