

鋼鐵生产技术丛书

电炉鋼生产工艺

陶家駒 編著

上海技术出版社

內 容 提 要

本书主要介紹电炉結構、原材料、电炉鋼生产工艺和在电炉上熔炼各种常用合金鋼的操作技术,包括:合金結構鋼、合金工具鋼、硅彈簧鋼、滾珠軸承鋼、不銹鋼和高速工具鋼等。可供鋼鉄厂炼鋼工人及技術人員参考。

鋼鉄生产技术丛书

电 炉 鋼 生 产 工 艺

陶家駒 編著

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可證出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

开本 787×1092 1/32 印張 3 284 字 数 84,000

1960 年 5 月第 1 版 1960 年 5 月第 1 次印刷

印数 1-6,000

統一書号: 15119·15

定 价 (¥) 0.95 元

前 言

在总路綫的光輝照耀下，祖国工业建設正在飞跃地向前发展。鋼鉄工业是一切工业的基础，其他工业对鋼的需要日益增长，特别是在机电、化学、汽車、拖拉机、飞机、仪表等工业生产上，还要求大量品种比較繁复、而且是具有良好的机械性能、化学性能和特殊物理性能的高級合金鋼。我国在1959年大跃进的基础上，虽然合金鋼品种已經扩大了許多，但是还不能滿足社会主义建設发展的需要，因此鋼鉄战綫上仍旧担負着进一步提高質量、扩大品种的光荣任务。根据近几年来，世界上各国鋼鉄生产情况，除了要求平炉、轉炉也担当起生产合金鋼的任务以外，碱性电炉仍旧是冶炼高級合金鋼的主要設備之一。因此要掌握合金鋼的生产技术，首先应对电炉結構、电炉生产操作工艺，有充分的了解。

本书主要介紹电炉結構、原材料、电炉鋼生产工艺和在电炉上熔炼各种常用合金鋼的操作技术，包括：合金結構鋼、合金工具鋼、硅彈簧鋼、滾珠軸承鋼、不銹鋼和高速工具鋼等。

根据作者主观愿望，想使这本书在冶金系統爭取优質、高产、多品种、低成本的生产运动中，起到一定作用。但限于作者水平，錯誤之处，在所难免，尙祈讀者不吝指正与批評。

目 錄

前 言

第一章 电炉的构造	1
一、炉壳	1
二、炉門和出鋼槽	3
三、电极冷却器	4
四、电极夹持器	6
五、电极升降設備	7
六、傾动設備	8
七、装料設備	9
八、电极	11
第二章 炉衬	12
一、碱性电炉炉衬	12
二、酸性电炉炉衬	15
第三章 电炉炼鋼的主要原材料	16
一、金属炉料	17
二、造渣材料	18
三、氧化剂	20
四、增碳剂	21
五、脫氧剂及銑合金	22
第四章 碱性电炉炼鋼生产工艺	28
一、补炉	30
二、配料	32
三、装料	33
四、熔化期	35

五、氧化期.....	37
六、精炼期(还原期).....	42
第五章 合金鋼的冶炼	51
一、各种元素在鋼中的作用.....	51
二、合金結構鋼的冶炼.....	57
三、合金工具鋼的冶炼.....	72
四、硅彈簧鋼的冶炼.....	79
五、滾珠軸承鋼的冶炼.....	85
六、不銹鋼的冶炼.....	94
七、高速工具鋼的冶炼.....	110
参考資料	118

第一章 电炉的构造

在叙述电炉生产工艺之前，首先对电炉的构造及其主要组成部分作一简略介绍。电炉主要是由炉膛、电极和倾动机械三方面组成的。图 1 所示为一座容量 3~5 吨的电弧炼钢炉，图中：炉壳 1 外部是用钢板制成的；内部有用镁砂打结成的炉墙和炉底，构成熔化室。熔化室上端为炉顶 2，炉顶系用高铝砖或硅砖沿着炉顶圈 3 砌筑而成。炉壳上有用人工开启或自动开启的工作门 4 和特制异型砖砌筑的出钢槽 5。电极 6 是炉子的重要设备之一，为电极夹持器 7 所固定，电极夹持器与电极升降臂 8 牢固地相联接，升降臂则沿着垂直支柱 9 作上下滑动，电极的升降是借助于升降机械 10 进行的。另外，在炉顶的电极孔上，还设有冷却炉顶和防止高温气体排出的水箱冷却器 11。关于电极和夹持器的电流，则依靠软电缆 13 与导电的母线（或铜管）14 来传导。12 系倾动机械，它可以把炉子向出钢槽方向倾斜 $40\sim 45^\circ$ ，保证炉内钢水流尽，还可以向炉门方向倾斜 $10\sim 15^\circ$ ，便于进行放渣或扒渣。

现在将电炉的几项主要设备分别介绍于下：

一、炉 壳

电炉炉壳包括加固圈、炉身圆筒和炉底三部分。根据电炉的容量大小确定它的厚度，通常是用 10~30 毫米厚的钢板焊接成功。同时，为了使炉子的砌砖能够迅速干燥，在炉壳上钻有直径约 20 毫米的小孔，便于排出水汽。

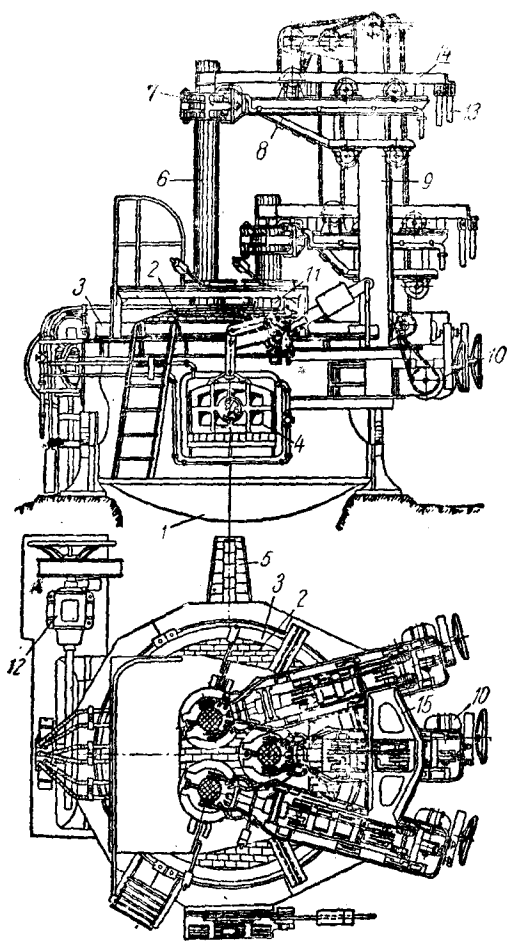


图 1 三相电弧炼钢炉

- 1—炉壳；2—可移去的炉盖；3—炉盖圈；4—装料门；5—出钢槽；6—电极；7—电极夹持器；8—电极升降臂；9—支柱；10—升降机构；11—冷却器；12—倾动机构；13—软电缆；14—导电母线或导电管子；15—支柱上部连接板

加固圈的作用在于增加炉壳上部的强度。普通是用型钢焊接或者鑄鋼制成的。要保持加固圈形状不变和有足够的强度，位于炉門上部的加固圈可以采用水冷却。不过有的小炉子并不用水冷却，而使用情况也能令人滿意。

炉底壳的形状有球型、平面型和圓錐型三种，如图 2 所示。其中球型底比較坚固，在上述三种型式中，所用耐火材料最少。但是制造起来有困难，特别是炉壳鋼板很厚的大炉子，更不容易制造，所以球型底大多为小炉子所采用。平面型炉底比起球型来制造簡單，坚固性稍差，而使用的耐

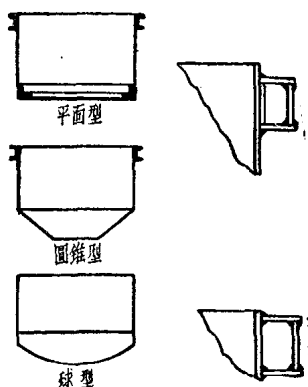


图 2 炉壳类型

火材料却比較多，平面型炉底一般用于大炉子比較适合。圓錐型炉底具有介于平面型炉底和球型底之間的特点，制造也比較容易，近来在中、小型电炉上采用得最广泛。

炉頂圈的作用，为保持炉頂砌磚的正确形状及支承炉頂重量，其形状如图 1，用槽鋼或其他型钢焊接而成，也有直接翻砂澆鑄的。有的炉頂圈可以拆卸成两段，中間利用螺栓連接，以便炉頂磚在受热发生膨脹时，可以放松螺絲調節压力。不过在生产中常見的中、小型电炉，其炉頂圈有作成一体的，使用寿命也很好。

二、炉門和出鋼槽

电炉炉門是用来加料和扒渣的（若炉子采用炉頂裝料，則炉門仅作为加入鉄合金、石灰、螢石、炭粉和扒渣等用）。由鑄

鉄的炉門框、炉門盖和炉門升降机械三个部分构成。对于炉門的要求：(1)密封性好；(2)炉門框須用水冷却；(3)炉門升降要簡便灵活。为了炉門盖落下后能密封，应将炉門做成傾斜 $5\sim 10^\circ$ ，借助炉門盖本身的重量，紧貼在炉門框上。炉門框包括：門拱、側柱及門檻，門拱和側柱須用水冷却。普通水冷設備是焊接成“II”型的水箱和炉門側柱及門拱紧密接触，这样能得到十分良好的冷却效果。但应注意，由于水箱承受很大的机械力，所以一般多采用生鉄鑄成。水箱不允許漏水，因为漏水将恶化鋼的质量和发生危險。大炉子开启炉門用气动，小炉子用手动。容量超过40吨的炉子，常开成互相垂直位置的两个炉門，这只是为了滿足操作上的需要而已。

出鋼槽是用厚鋼板焊接成的金属沟槽，内砌耐火磚。为了防止鋼水自动流出，出鋼槽做到与水平面向上成 $10\sim 20^\circ$ 的傾斜。出鋼口直徑为120~150毫米，出鋼时炉子向下傾斜达 45° ，鋼水能全部流淨。

三、电极冷却器

炉盖上电极孔的直徑，比起电极直徑来約大40~50毫米。因为电极孔要密封，所以需要装置中間通水冷却的冷却器(或称电极密封圈)，其功用有三：(1)防止炉內高温气体进入电极孔促使电极燃燒，损坏电极夹头和使电极自夹头上脫落，造成炉內鋼水发生严重的增碳作用，从而影响到鋼的质量和延长冶炼時間。(2)冷却作用不仅保护电极，还可以冷却电极孔附近炉頂中心区的砌磚，大大延长炉頂的使用寿命。(3)减少自电极孔逸出的气体，換句話說，亦即减少炉子热損失，保持炉內蓄有較高的温度。电极冷却器是电炉上的主要零件之一，它的形式主要有下面三种：

(一) 蛇形管式 系以直径为200毫米左右的无缝钢管弯曲而成。特点是构造简单;但因弯成管状,除了具有冷却电极的作用以外,并不能把电极孔密封。

(二) 环式 以钢制的套环套在电极孔上,并且插入炉盖内约80~150毫米或是全部插入,在环内通水冷却。这种环式冷却器,不仅构造简单,而且能起密封作用。目前我国许多电炉上就使用这种环式电极冷却器,其构造如图3a。

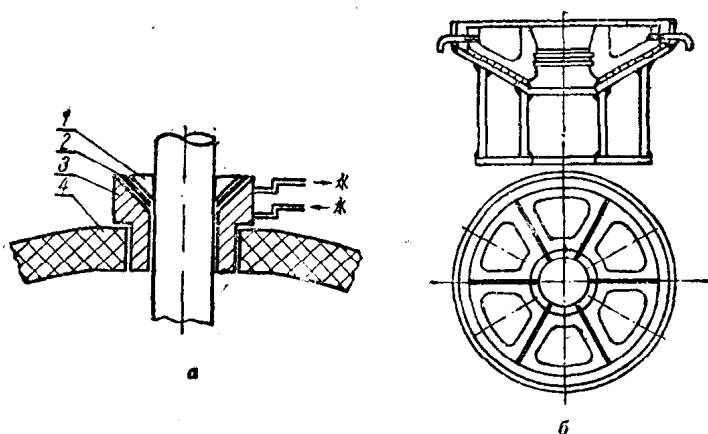


图3 电极冷却器

a—环式; b—拍拉也夫式

1—铸铁块(八块组成); 2—铜环; 3—冷却水箱; 4—炉盖

(三) 拍拉也夫式 在近代电弧炉上应用得最广泛的为拍拉也夫式电极冷却器,其构造如图3b。冷却器上部为锥形,是铸造或焊接成的水箱,圆锥上安置6~8块扇形密封块,压紧电极,达到密封电极孔的目的。为了防止由于电极表面加工不良,在电极下降时卡住扇形块,影响到电极孔的密封,所以扇形密封块上部做成宽大的圆锥形,防止电极压在扇形

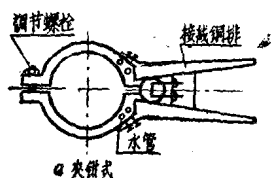
块上,并且外壳圓錐部分和水平面傾斜 $30 \sim 35^\circ$, 不使扇形块发生被卡住的現象。扇形块系用无磁性鋼制成,在壳上滑动,同时借助于小鈎的作用,不致落入炉內。

拍拉也夫式电极冷却器的构造,虽然較以上两种复杂,但是效果却最好,因此也是最流行的一种。

由于电极冷却器的重量很大,因此不能直接放在炉頂上,而是利用一个由炉頂圈引出的支架,以支架的一端吊住冷却圈,另一端放置一个平衡錘。

四、电极夹持器

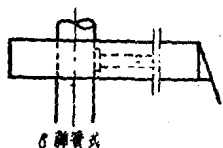
傳送电流到电极上和固定电极于一定高度的电极夹持器,在高温下工作应有下面两点要求: (1) 夹持器有足够的强度和最少的电能損失; (2) 能使电极很可靠的被固定着,而不致脫落。制造夹持器的材料有鋼和銅两种; 鋼制的夹持器有很高的强度,可惜电阻比銅大,电流通过时要損失很大的电能。銅制的夹持器,强度稍低,而电阻很小。如果用水来冷却銅制的电极夹持器,就比較理想,能够得到具有足够强度、而电能又損失很小的功效,因此現在采用銅制电极夹持器的比較多。



a 夾鉗式



b 楔式



c 彈簧式

图 4 电极夹持器示意图

利用人工調節螺栓松紧来改变夹鉗直徑。其优点在于构造簡

电极夹持器有三种型式:

(一) 夹鉗式 如图4a所示。

单，用在小炉子上还比較适宜。缺点是工人必須到炉頂上去調节螺栓，而且工作也不很可靠。显然的，容量較大的电炉上不可能采用这种夹鉗式的电极夹持器，因为調节起螺栓来十分困难。

(二) 楔式 如图 46 所示。它是利用楔子把电极卡住，不使电极滑落的。其优缺点与夹鉗式相似，甚至工作起来比夹鉗式还要麻煩一些。

(三) 彈簧式 如图 46 所示。彈簧式电极夹持器能够和电极十分紧密的接触，工作平稳可靠。彈簧式夹持器多用在 大炉子上面，并且可以利用压缩空气作为动力彈簧式，比以上两种夹持器工作条件优越。

五、电极升降設備

上面所說的电极夹持器，被固定在水平位置的电极升降臂上，由升降机构带动升降臂沿着支柱上下移动电极。小炉子的升降臂，一般都是用型钢或鋼管焊成的。

小炉子采用滑車式的升降机构比較适宜(參閱图 5a)，因

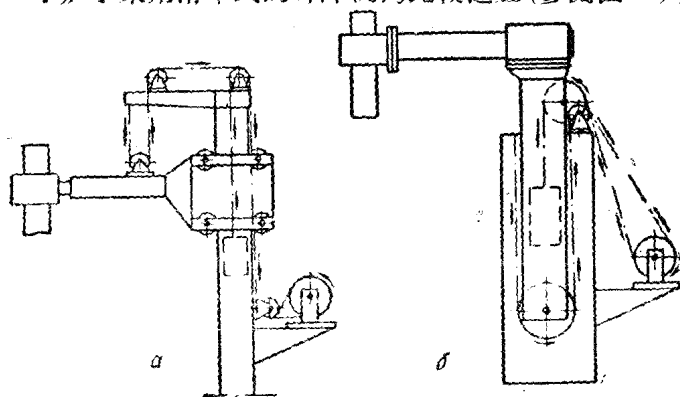


图 5 电极升降設備
a—滑車式；b—套筒式

为滑車式的升降机构，构造简单，支柱相互连接，具有較高的强度，只是电綫在支柱中通过时成一閉路，有較大的电磁損失。大电炉則多采用活动支柱連成“T”型的升降机构（套筒式；图56），因为三个支柱互不相連，电磁損失比起滑車式来要小得多。对于电极升降設備，要求灵敏、准确；而且电极升降臂应当与导电的零件之間具有良好的絕緣。

六、傾动設備

傾动設備是电炉的主要設備之一。为了保証炼鋼生产的正常进行，炉子的傾动設備必須具有下面几点性能：

(1) 傾动机构工作平穩可靠；(2) 有足够的傾动角度，出鋼时炉子向出鋼槽方向傾斜 45° ，扒渣时向炉門方向傾斜 $10\sim 15^\circ$ ；(3) 炉子傾側出鋼时，流鋼槽向前移伸应保持最短距离，使盛鋼桶位置变动得最小；(4) 炉子傾动时不会翻倒；(5) 扒渣或发生漏鋼事故时，不致于损坏傾动設備。

炉子傾动机构可以分成側傾和底傾两类：

(一) 側傾 炉子傾动时，一个直接由电动机帶动的齒輪，經過一組齒輪减速后把动力傳遞到扇形齒輪上去，扇形齒輪沿着齿条前进，炉子便向前傾側。但由于軸上受到很大扭力，容易发生弯曲，所以炉壳須特別坚固，安装亦要十分小心。其优点是构造简单、制作容易、并且不会被落下的炉渣侵蚀。一般小炉子多采用側傾式（图6）。

(二) 底傾 关于底傾机构可參看图7。炉子的全部重量支承在一組滑輥上或者四个滑輪上。这种底傾机构的优点在于炉子的坚固性好，而且出鋼槽移伸的距离比較小。

傾动設備多用电动机帶动，但在大炉子上（例如40吨以上的电炉）有用油压傾动的，显然，油压傾动比电动机帶动平

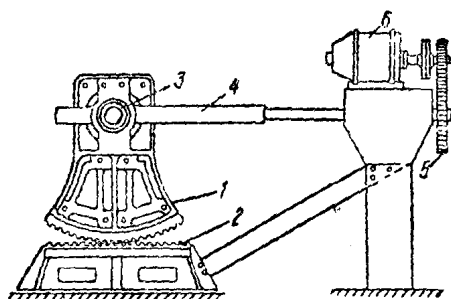


图 6 侧面倾动机构

1—扇形内轮；2—水平月牙板；3—螺帽；4—丝杠；
5—齿轮；6—电动机

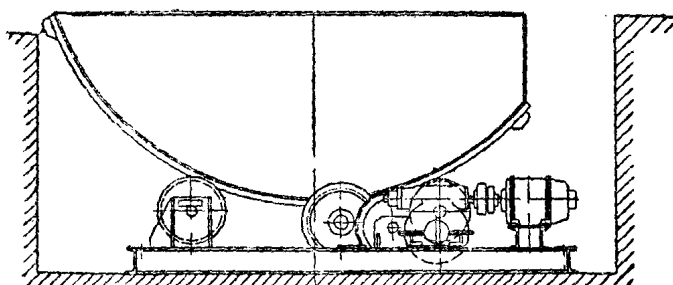


图 7 炉底倾动机构

穩可靠,但是在制造上却要求机械加工有极高的工艺水平。

当炉子向出鋼槽或炉門方向傾动到最大角度后,电流将被自动切断。

七、装料設備

向炉内装入金属炉料,有手装料和机械装料两种方法。手装料装料時間长;炉子利用率低;工人体力劳动强度大;鋼的成本高,故3吨以上电炉应当設法用机械代替人工。如果

电炉是装入鉄水或把轉炉吹炼的半成品倒入电炉冶炼的，当然就不需要其他机械設備，直接利用起重吊車自出鋼口倒入即可。手装料是工人把大块鋼鉄料放在鉄耙上，推入炉內，这种装料方法，往往是分两次或更多批数装入，時間很长，炉温下降相当多。5 吨或 5 吨以上容量的电炉，多用机械装料。机械装料也可以分成两种方式：即装料机装料和炉頂开启装料。装料机装料和平炉車間装料的情况相同，事先把料放在长方形料槽中，装料时由装料机的頂杆把料槽挑起送入炉門，然后把槽翻轉，将金属料倒入炉內。但由于一般中、小型电炉車間場地拥挤，如炉子比較少，而且吨位不大时，运用装料机不頂适合。因此目前应用得比較广泛的还是炉頂开启料缶装料。

关于炉頂装料的方式有三种：

1. 炉頂旋轉 装料前，先将电极升起，繼使炉頂提高 120~200 毫米，連帶电极一同向出鋼槽方向水平旋轉 95~110°，然后用起重吊車把預先装好炉料的料缶吊到露出的炉身上，将料一次装入。

2. 炉頂开出 炉頂升起后，支柱及升降臂向炉門或出鋼槽一端开出，装完料后再行开回，放下炉盖。

3. 炉身开出 以电动机提起炉盖，让炉身向装料門方向开出、装料，装完料后再行开回，而后放下炉盖，开始通电，进行熔化炉料操作。

上面三种炉頂装料方法：第(1)法結構比后面两种輕便，炉盖旋轉时电极不受振动；但連接电极的短网必需加长，因此增加了电能的损失。第(2)法的缺点不仅是短网加长，电能损失大，并且在炉盖开出时，电极受到振动很易折断。第(3)法比較好，不致产生前两种方法的缺点，只是炉前工作平台必須可以向外开出。国内冶金工厂采用炉頂装料的炉子，大多是

使用炉身开出式的,使用情况良好。但应着重提出,采用炉頂装料,因为炉身外露,热量損失很大,所以装料時間应力求迅速,以免炉子遭受很大的热損失和炉子耐火材料的严重損坏。

一座容量 10~15 吨的电炉,采用炉頂装料只需 2~3 分鐘,比人工装 3 吨料縮短 5~6 倍。炉頂装料可以装入比炉門尺寸大的炉料,减少廢鋼場的切割工作,炉料也装得比較严实。只是在炉頂装料时,应适当提高吊車軌道距离地面的高度。一般翻砂厂里所采用的 3 吨以下的电炉,由于厂房面积比較小,装入炉料也少,还有用人工装料的。

八、电 极

用来导电的电极,是电炉上的重要設備之一。按其性質可分为:碳質电极和石墨电极两种。石墨电极虽然在制造成本上比碳質电极高,但無論在抗弯曲、抗压和电阻系数等机械性能或物理性能方面,都比碳質电极好得多。因此石墨电极仍然被普遍采用着,特别是冶炼优質鋼时,必須采用石墨电极。根据电炉炼鋼生产上的特点,对于电极提出下面四点要求:

- (1) 耐高热,不易氧化燒損;
- (2) 抗弯曲、抗拉伸、抗压力的强度要高,使电极不致因易折断而落入炉內,增加鋼水的含碳量;
- (3) 正确的几何形状,表面加工良好,保証电极和夹持器紧密接触,减少电能損失;
- (4) 含硫、磷等有害杂质愈低愈好,以免恶化鋼水质量。

好的电极对于所冶炼的低碳高合金鋼质量有重大关系。根据炉子的容量大小、所炼鋼种含碳量和化学成分的不同,目前我国特殊鋼厂石墨电极的平均消耗量約为 4~7 公斤/吨鋼。

第二章 炉 衬

电炉炉膛,分炉底、炉頂和炉牆三部分,系采用耐火材料砌筑的,即所謂炉衬。炉衬的好坏,对鋼的产质量有很大关系,炉衬不好,容易被侵蝕,被侵蝕的炉衬进入鋼水,鋼里面就会含有許多夹杂物,既降低炉子寿命;又恶化鋼的质量。

炉衬在很高的温度(出鋼前熔池內鋼水温度高达 1600°C 左右)下工作,装料时又容易为炉料撞击,炉料熔化后还要受到沸騰鋼水的攪动冲刷和炉渣的侵蝕,而且炉衬所接受的温度变化很剧烈,出鋼前温度最高,出鋼后在炉子装料时,温度又降到最低。因此我們对砌筑电炉炉衬的耐火材料要求具备下列特性:(1)高温下不熔化;(2)高温下能承受一定的作用力而不致发軟变形;(3)有抗炉渣侵蝕的性能;(4)具有耐温度急冷急热的性能;(5)傳热性小。这些要求对电炉來說,比其他各种炼鋼炉都严格,因为电炉要用来熔炼优质合金鋼。

筑炉的耐火材料,亦可区分成碱性材料(如鎂砂、鎂磚等)和酸性材料(如石英砂、硅磚等)两种。用碱性耐火材料砌筑的即为碱性电炉;用酸性耐火材料砌筑的即为酸性电炉。

一、碱性电炉炉衬

(一) 炉底 炉底和炉牆的砌筑可参看图8。为防止炉壳受热变形和炉子的热量損失太大,在紧靠鉄壳处鋪一层石棉板。接着是一层 $15\sim 25$ 毫米厚的硅藻土粉,內砌 $1\sim 2$ 层火磚,上面是平砌或直砌的火磚层。炉底平鋪 $2\sim 3$ 层鎂磚,鎂磚上面为 $150\sim 300$ 毫米的打結鎂砂层。炉子砌磚尺寸是按照容量增大而增加的,图8为一座3吨电炉的砌衬及其尺寸,