

铁合金冶炼 技术操作

吕俊杰 编著



NEUPRESS

东北大学出版社

铁合金冶炼技术操作

吕俊杰 编著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

(辽)新登字第 8 号

图书在版编目(CIP)数据

铁合金冶炼技术操作/吕俊杰编著. —沈阳:东北大学出版社,1994. 4

ISBN 7-81006-789-3

I. 铁…

II. 吕…

III. 铁合金熔炼

IV. TF61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 03347 号

东北大学出版社出版

(沈阳·南湖 110006)

沈阳第十印刷厂印刷

东北大学出版社发行

开本: 787×1092 1/32 印张: 8 字数: 202 千字

1994 年 4 月第 1 版 1994 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1~2500 册

责任编辑: 王兆元

责任校对: 小苑

定价: 7.00 元

前 言

近几年来，我国铁合金生产获得了迅速发展，新建了许多铁合金企业。但是这些企业普遍存在着技术资料缺乏、操作和管理水平低、经济经济较差等问题。为了提高这些企业的操作技术水平，以达到提高经济效益的目的，应众多中小型铁合金企业对掌握铁合金冶炼技术的需要，我们编写了这本《铁合金冶炼技术操作》一书，以供广大的从事铁合金生产的工人、干部参考之用。

本书主要由四个部分组成：第一部分介绍了铁合金生产的基本知识；第二部分介绍了各种铁合金产品的技术标准，原材料要求，冶炼技术操作，电极的使用和维护，配料计算等；第三部分是有关铁合金冶炼的安全操作规则；第四部分是铁合金电炉参数的选择及计算。附录部分除列有一些主要的原材料性能和电炉参数外，还给出了部分铁合金方面的国家标准、铁合金产品的国际标准以及汉英铁合金常用词汇，以适应不同层次的读者尤其是从事铁合金冶炼的工程技术人员与对外贸易人员的需要。

在本书撰写过程中，参考了有关厂家的铁合金冶炼操作经验，伍永明、陈从孝、董立忠、钟键、雷亚等同志向本人提供过技术资料，在此表示衷心的感谢。鉴于编者水平有限，经验不足，加之时间仓促，本书难免存在不少缺点和错误，恳请广大从事铁合金研究和生产的同行给予批评指正。

编 者

1993年11月

目 录

前 言

1 铁合金生产的基本知识

- 1.1 铁合金的定义和用途..... (1)
- 1.2 铁合金在钢铁工业中的地位和作用..... (2)
- 1.3 铁合金的品种和分类..... (3)
- 1.4 铁合金生产的基本方法..... (5)
- 1.5 铁合金生产的技术经济指标 (10)
- 1.6 当前铁合金生产技术的特点 (14)

2 铁合金冶炼技术操作

- 2.1 75%硅铁冶炼 (18)
- 2.2 硅钙合金冶炼 (38)
- 2.3 碳素锰铁冶炼 (51)
- 2.4 硅锰合金冶炼 (67)
- 2.5 碳素铬铁冶炼 (82)
- 2.6 工业硅冶炼 (93)
- 2.7 电炉富锰渣冶炼..... (108)
- 2.8 1500kVA 电弧炉冶炼中低碳锰铁..... (115)
- 2.9 微碳铬铁冶炼..... (128)
- 2.10 钒铁冶炼 (140)
- 2.11 电硅热法冶炼中低碳铬铁 (151)

3 铁合金冶炼安全操作

- 3.1 铁合金生产安全技术规则..... (159)
- 3.2 冶炼工安全技术操作规则..... (161)
- 3.3 炉前工安全技术操作规则..... (163)

3.4	配料工安全技术操作规则	(166)
3.5	电极糊工安全技术操作规则	(166)
3.6	仪表操纵工安全技术操作规则	(167)
3.7	天车工安全技术操作规则	(168)
3.8	精整工安全操作规则	(170)
3.9	破碎工安全操作规则	(170)
3.10	筑炉工安全操作规则	(171)
3.11	清整炉膛、放炮安全操作规则	(172)
3.12	电气安全技术操作规则	(174)
3.13	水泵工安全技术操作规则	(181)
3.14	化验室安全技术操作规则	(182)
4	铁合金电炉参数的选择及计算	
4.1	安德列(Andreae F. V.)算法	(186)
4.2	威斯特里(Westly J.)算法	(189)
4.3	米库林斯基算法	(192)
4.4	电炉参数选择计算举例	(194)
4.5	铁合金转产冶炼中电炉参数的调整	(199)
附录 1	常用物理常数及单位换算	(207)
附录 2	铁合金产品牌号表示方法	(208)
附录 3	铁合金验收、包装、储运、标志和质量证书的一般规定	(210)
附录 4	冶金产品化学分析方法标准的总则及一般规定	(214)
附录 5	铁合金化学分析用试样制备法	(218)
附录 6	铁合金国际标准	(221)
附录 7	铁合金及有关材料的物理性质	(230)
附录 8	铁合金冶炼电炉参数	(234)
附录 9	汉英铁合金常用词汇	(239)
	主要参考文献	(250)

1 铁合金生产的基本知识

1.1 铁合金的定义和用途

一种或一种以上的金属或非金属元素与铁组成的合金称为铁合金。例如，硅铁是硅与铁的合金，锰铁是锰与铁组成的合金。

随着铁合金范围的扩展，目前，有些是主元素含量很高的合金，甚至是接近纯金属或非金属的合金，如金属铬、金属锰、结晶硅(工业硅)。也有含铁很少的某些中间合金，如硅钙合金、硅锰合金、硅铬合金等。

铁合金的主要用途有以下四个方面：

(1) 炼钢生产上的脱氧剂。在炼钢生产中，用氧降碳并除去有害杂质磷、硫等，将生铁炼成钢。钢液中杂质降低后，其含氧量却增加了，这样的钢液，在铸锭时内部产生气孔，使钢锭合格率下降，甚至造成废品。因此在炼钢过程中，需添加一定量的与氧亲和力较铁更强的元素，除去钢液中的氧，这个过程叫脱氧。用于脱氧的合金，叫作脱氧剂。

用作脱氧的元素或合金应具备以下有条件：脱氧后生成的氧化物比铁的氧化物更稳定；脱氧产物易于从钢液中逸出进入炉渣，或者均匀分布在钢中不起有害作用；价格低廉。一般炼钢常用的脱氧元素有：Si, Mn, Al, Ca, 其合金分别为硅铁，锰铁，硅锰合金，铝和硅钙合金。对于钢中夹杂物含量要求更

低的纯净钢需采用脱氧能力更强的复合脱氧剂,比如 Ca-Si, Si-Mn-Al等。采用复合脱氧剂,比如 Ca-Si,不但可以将钢中的氧降低至更低水平,而且脱氧后生成的低熔点的硅酸钙,容易聚合成大颗粒,从钢液中上浮进入炉渣,使钢液纯净。

(2) 炼钢生产上的合金添加剂。合金钢中合金元素的含量,是用加入铁合金的方法来调整的。用于调整钢中合金元素含量的铁合金叫作合金添加剂。不同的合金元素及其在钢中的不同含量可使钢具有不同的性能。常用的合金元素有 Si, Mn, Cr, W, V, Ti, Nb, Ni, Ca, Al 等。

如含 Si1%~4%的电工钢,具有良好的抗磁性能,因此,可根据 Si 含量的不同,分别用于制造变压器和电动机。又如含有 Cr 的不锈钢,在空气、酸、碱等腐蚀介质中,具有高的化学稳定性,能防腐不生锈。

(3) 铸造的孕育剂。铁合金广泛应用于铸造工业。例如,为改善铸铁和铸钢的性能,浇注前加入某些铁合金作为晶核,形成晶粒中心,而使生成的石墨变得细小而分散,使晶粒细化达到提高铸件的韧性,降低脆性,增加铸件强度的目的。

(4) 作还原剂。硅铁可作生产钼铁、钒铁、钨铁的还原剂,硅锰合金、硅铬合金可分别用作生产中低碳锰铁、中低碳铬铁的还原剂。

1.2 铁合金在钢铁工业中的地位和作用

铁合金是钢铁工业的重要原料之一,是发展合金钢的支柱。现代工业,现代国防不但需要大量的普通钢,而且也需要大量质量优良,并具有各种性能的合金钢。例如,机械加工工业需要大量高强度、高硬度的工具钢;电气工业需要大量磁性

良好的变压器和电动机用钢；化工、石油、医疗器械工业需要大量耐酸、耐碱的不锈钢；冶金工业需要大量的在高温下保持高强度的耐热钢；国防工业对于各种特殊性能的钢材要求更高、更广，如喷气机需要轻型耐热钢，坦克需要强度高、耐磨性好的钢种；舰艇需要抗腐蚀的钢种；国防电子工业需要各种性能的磁性钢。冶金工业为了满足国民经济各行各业各部门需要的各种性能不同的钢材，必须先生产出数量众多、品种齐全的铁合金。因为不同钢种之所以有不同的性能就在于其化学成分的不同，而钢的化学成分是靠冶炼时添加铁合金来调整的。由此可见，铁合金在钢铁工业中占有极其重要的地位。铁合金是炼钢的基本原料，它是钢中的“维生素”，可以说没有铁合金就没有钢铁工业，这是不夸张的。

铁合金随钢铁工业的发展而同步发展，铁合金的产量与钢产量同步增加。据统计，我国铁合金的用量约占钢产量的2%~3%，其中以锰、硅、铬三类铁合金用量为最大。

在“八五”乃至今后的几年中，我国的钢铁工业将持续稳定发展，届时钢产量将达到八千五百万至一亿吨，对铁合金的需求也会相应增长。据统计，1995年和2000年我国自用的铁合金约达到220和250万吨。铁合金工业面临的任务是开发新品种，优化现行的铁合金生产工艺，降低消耗，增加产量，提高质量，合理利用资源和提高经济效益。

1.3 铁合金的品种和分类

铁合金的品种和产量，反映着一个国家钢铁工业的发展水平。一般来说，铁合金产量高、品种多的国家，其钢铁工业也较发达。铁合金产量一般为钢产量的3%左右。

随着科学技术的发展与进步,宇航、原子能、机械、电子、化工、石油等工业部门要求提供更多更好的具有耐高温、耐腐蚀、耐高压、耐磨、高强度的钢材和合金。因此对铁合金也提出了更高的要求。所以各国铁合金都在品种、质量、工艺上都有较大的发展,各国都在努力扩大铁合金品种,向多元复合合金发展,以充分发挥金属元素的作用,适应其钢铁冶炼的各种不同要求。

铁合金的品种繁多,分类的方法也较多,一般按下列方法分类:

(1) 按元素种类分:有硅、锰、铬、钒、钛、钨等系列。

(2) 按碳含量来分:有高碳、中碳、低碳、微碳、超微碳等品种。

(3) 按生产方法来分,有:①高炉铁合金,如高炉碳素锰铁、低硅硅锰合金、低硅硅铁等。②电炉铁合金,又分粗炼电炉铁合金,如碳素锰铁、碳素铬铁,各种牌号硅铁、硅锰合金、硅铬合金、硅钙合金、硅铝合金、磷铁等等;精炼电炉合金,如中、低、微碳铬铁,中、低碳锰铁,精炼钒铁等。③炉外法铁合金,如金属铬、钼铁、钛铁、硼铁、铌铁、锆铁、高钒铁等。④其它固态还原法铁合金,如超微碳真空铬铁、氮化铬铁、氮化锰铁等。⑤转炉铁合金,如转炉中、低碳铬铁、转炉中低碳锰铁等。

以上的分类包括了大多数的铁合金品种。此外还有一些特殊的铁合金,如氧化物压块、发热铁合金,炼钢中用的各种合金粉剂,合金芯线等。从这里看出,电炉铁合金,尤其是粗炼部分包括的品种最多,且生产数量最大,估计约占铁合金产量的70%左右。

1.4 铁合金生产的基本方法

铁合金的冶金过程,就是将含有金属氧化物的矿石(或需要精炼的合金)、还原剂(或氧化剂)、熔剂及合金成分调节剂等物料,在冶炼温度下经过一系列物理化学反应,炼出成品(即合金)及相应的炉渣和炉气。根据原料种类的不同及所炼产品的规格,选择不同的冶炼设备、工艺流程和冶炼方法。

铁合金的冶炼方法基本上分为火法和湿法两种。目前大多数铁合金品种是用火法生产的,现仅就火法作些简要的介绍。

铁合金生产的基本方法一般按下列方式分类:

(1) 按冶炼设备的特征分:有高炉法、电炉法、转炉法;真空电阻炉法;感应炉法;炉外法;等离子炉法。其中电炉法又分为矿热炉法与电弧炉法。

(2) 按热量来源的特征分:有碳热法、电热法、电硅热法、金属热法。

(3) 按冶金工艺的特征分:有无熔剂法或熔剂法;连续式法或间歇式法。

(4) 按冶炼过程的渣量多少分为有渣法和无渣法(微渣法)。

以上几种分类方法是当前铁合金生产中的习惯分类方法,几种方法往往不能截然分开。下面就不同设备的铁合金冶炼方法作些介绍。

1.4.1 高炉法

高炉冶炼铁合金的原理类似于冶炼生铁,以焦炭燃烧作

为热量的主要来源,用碳作还原剂,将矿石中的金属氧化物还原,炼出某些含碳量较高的铁合金产品。

高炉法生产铁合金的品种有碳素锰铁、低硅硅锰合金、低硅硅铁($Si < 10\%$)、镜铁、富锰渣。高炉法生产铁合金具有产量高、电耗少、成本低的优点。

铁合金冶炼用的高炉与炼铁高炉类似,只是炉子内型略有不同,提高了炉腰,缩短了炉身高度。高炉的构造见图 1-1。近几年来,由于采用富氧鼓风等措施,已在高炉内生产原来仅在电炉中生产的低牌号硅锰合金,因此对于缺电地区可用高炉法来生产 $Si > 14\%$ 的硅锰合金产品。

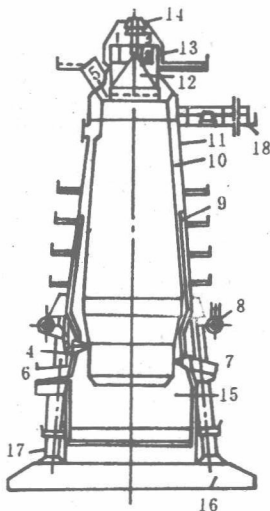


图1-1 高炉生产及构造示意图

- 1-矿石; 1-焦炭; 3-熔剂; 4-风口;
- 5-煤气 6-铁口; 7-渣口; 8-热风管;
- 9-冷却壁; 10-炉衬; 11-炉壳;
- 12-大料钟; 13-大料斗; 14-小料钟;
- 15-炉底; 16-炉基; 17-支柱; 18-平台

1.4.2 电炉法

电炉法是生产铁合金的主要方法。电炉铁合金的产量约占整个铁合金产量的 70% 以上。按炉型结构不同,电炉法分为矿热炉法与电弧炉法。图 1-2 为矿热炉示意图。

用碳作还原剂进行铁合金冶炼所用的矿石还原炉叫作矿热炉。矿热炉冶炼过程是连续的,将混匀的炉料加入炉内,电

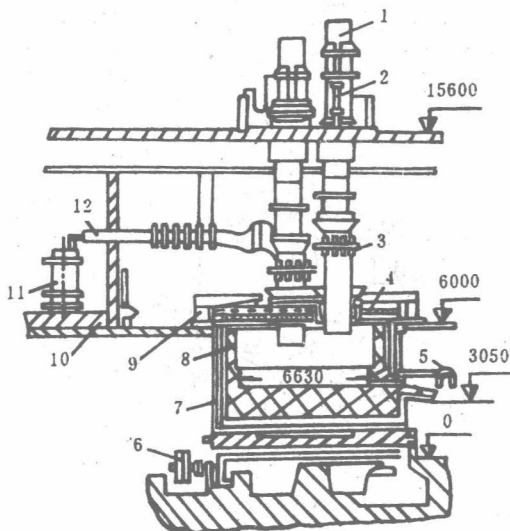


图1-2 矿热炉

- 1-液压弹簧机构;2-液压传动装置;3-导电铜瓦;4-水冷炉盖;
5-电气烧穿器;6-炉缸旋转机构;7-炉缸;8-炉衬;9-炉气捕集系统;
10-水冷系统;11-单相变压器;12-短网

极埋入炉料中,依赖电弧和电流通过炉料产生的电阻热,发生一系列化学反应,获得合金产品。从出铁口定时出铁排渣,根据冶炼过程渣的多少,有微渣法和有渣法两种。

矿热炉冶炼的铁合金品种有硅铁、工业硅、硅钙合金、碳素锰铁、硅锰合金、碳素铬铁、硅铬合金、钨铁、磷铁、硼铁及稀土硅铁等。由于用碳质还原剂,因此,除硅质合金外,只能生产高碳铁合金。

电弧炉法是用硅质合金(硅铁、硅锰、硅铬)作还原剂,在电弧炉中进行。其热量来源一部分是Si氧化所放出的化学热,而不足的大部分热量由电能供给,因此也叫电硅热法。电

弧炉法冶炼的品种有中、低、微碳铬铁,中、低碳锰铁,金属锰,钒铁等。图1-3为带盖的电弧炉结构简图。

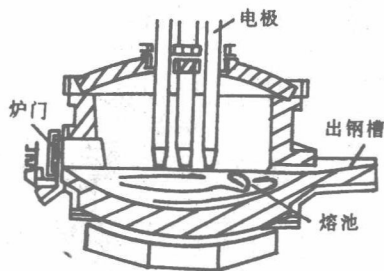


图1-3 电弧炉结构

电弧炉法所用的主要原料有矿石(包括精矿或较纯的氧化物)、硅质还原剂和熔剂,冶炼时从炉顶或炉门加入炉料,整个冶炼包括引弧、加料、熔化、精炼和出炉五个环节,依靠电弧放热和硅氧化反应热来完成冶炼过程,出铁时间视合金中的硅含量而定,整个生产是间歇进行的。

1.4.3 炉外法

炉外法又称金属热法,它是利用金属还原剂(Al, 75% Fe-Si, Al-Mg 合金)在还原反应

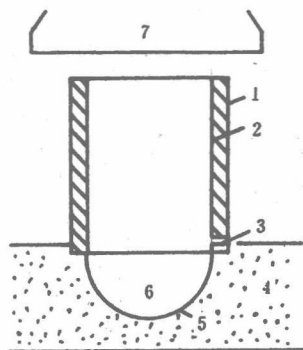


图1-4 铅铁熔炼炉(筒式炉)

- 1 炉壳; 2 粘土砖衬; 3 渣口;
- 4 砂基; 5 用新砂做的砂窝表面;
- 6 容纳金属; 7 排烟罩

中产生的化学热来加热合金和炉渣,并能使合金和炉渣加热到所需要的反应温度,自发进行化学反应的冶金方法,其特点是不需外部供热。

炉外法一般生产高熔点、难还原、含碳量极低的合金或纯金属,其生产的品种有金属铬、钛铁、铌铁、钼铁、高硼铁等。此法耗铝多,成本高。炉外法冶炼采用的筒式炉如图 1-4 所示。

1.4.4 转炉法

转炉法是近年来发展起来的生中、低碳铬铁,中、低碳锰铁的新方法,具有耗电少、生产率高、成本低的优点。

转炉按其供氧方式分为顶吹、侧吹、底吹、顶底复合吹炼等。目前国内以顶吹为主。氧气通过氧枪吹入熔池,所用的原料有液态碳素铬铁(碳素锰铁)和少量熔剂。

顶吹转炉是采用钢板制成炉壳,内砌碱性耐火材料的圆筒形炉子,如图 1-5 所示。

1.4.5 真空电阻炉法

真空电阻炉法又称真空固态脱碳法,其生产的产品有超微碳铬铁($C < 0.03\%$),氮化铬铁,氮化锰铁及其某些纯金属(镁、钙等)。

冶炼时,把压制成型的块料入炉,依靠电流通过电极的电阻产生热量进行加热,同时抽气保持炉内处于真空状态,脱碳反应在固态下进行,冶炼时间根据炉内压力而定,生产是间歇

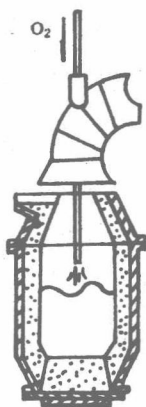


图1-5 顶吹氧气转炉

进行的。图 1-6 为真空电阻炉的横断面示意图。

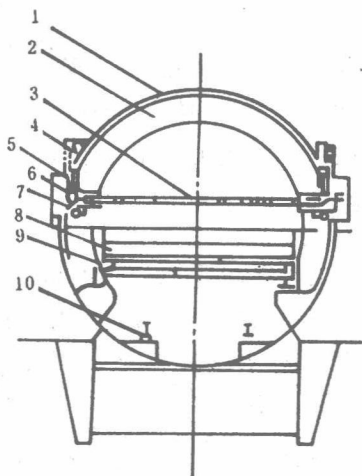


图1-6 真空电阻炉剖面图

1-炉壳;2-炉衬耐火砖;3-石墨棒电极;4-压紧弹簧;5-压紧偏心轮;
6-石墨套;7-导电管及铜瓦;8-托盘耐火砖;9-炉料托盘;10-升降车轨

1.4.6 其它方法

感应炉法用于生产多元复合合金,等离子炉法用于生产高熔点铁合金,但生产和数量均不大,在此就不作详细介绍了。

1.5 铁合金生产的技术经济指标

技术经济指标是衡量铁合金生产技术水平和经济效果的标准。分析比较各企业同类产品的各项技术经济指标,有利于企业间互相对比互相学习,找出差距,也有利于促进铁合金生

产技术水平和和管理水平的不断发展和提高。现将铁合金生产的主要经济技术指标介绍如下：

1.5.1 产品产量

产量又分为两种，一是实物量，是指该产品检验合格后的实际产量；二是基准量，是指实物量按其所含主要元素换算成规定基准成分的产品产量，其换算关系式为

$$\text{基准吨数} = \frac{\text{合格产品主要元素成分}(\%) \times \text{产品实物量}(\text{t})}{\text{产品含主要元素的基准成分}(\%)}$$

75%硅铁的基准成分为含 Si75%，45%硅铁的基准成分为含 Si45%，碳素锰铁按 Mn65%，中、低碳锰铁按含 Mn78%，硅锰合金则按含(Mn+Si)为 82%作基准成分，金属锰和富锰渣不折算，均按实物量考核。

基准量要以每炉铁为单位计算，产品化学成分小数点的保留位数，以产品标准位数为准；企业上报产品产量时，一律以“吨”为单位，不保留小数(但计算工业总产值时，则计算到千克)。

1.5.2 产品质量指标

产品质量指标有两个，一个是产品合格率，它是指在报告期内，合格产品占同类产品总产量(包括废品)的百分比，其计算公式为

$$\text{合格率} = \frac{\text{合格品产量(基准吨)}}{(\text{合格品产量} + \text{废品量})(\text{基准吨})} \times 100\%$$

合格率是衡量铁合金生产质量好坏的标准，努力提高合格品产量，减少或消除废品，是提高产品合格率的唯一途径。应当注意的是，产品合格率要分品种、分炉进行计算。正常情