

高职高专规划教材

TIEHEJIN SHENGCHAN
GONGYI YU SHEBEI

铁合金生产工艺与设备

刘 卫 王宏启 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高职高专规划教材

铁合金生产工艺与设备

刘 卫 王宏启 主编

北 京
冶金工业出版社
2009

内 容 提 要

本书以硅、锰、铬系合金生产工艺为主,系统介绍了铁合金冶炼的基本原理及生产设备,矿热炉的电热原理与基本参数,车间布置及电极、炉衬,钼铁、钛铁、钒铁、钨铁、稀土铁合金的冶炼工艺及铁合金生产的环境保护与综合利用。

本书可供高等职业技术学院教学之用,亦可作为职业技术培训教材,还可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铁合金生产工艺与设备/刘卫等主编. —北京:冶金工业出版社, 2009. 4

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5024-4799-1

I. 铁… II. 刘… III. ①铁合金—生产工艺—高等学校: 技术学校—教材 ②铁合金—熔炼设备—高等学校: 技术学校—教材 IV. TF6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 030444 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 王 优 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 刘 倩 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4799-1

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 4 月第 1 版, 2009 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 20.25 印张; 538 千字; 309 页; 1-5000 册

39.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本书是按照教育部高职高专人才培养目标和教学规格应具有的知识与能力结构和素质要求,依据冶金行业“十一五”高职教材出版规划,在总结近几年高职铁合金课程的教学经验,并征求相关企业技术人员意见的基础上编写而成的。

在编写过程中,根据高职高专办学理念及人才培养目标,力求体现职业技术教育特色,注重教材的针对性,以职业(岗位)需求为依据,理论教学内容以“必需、够用”为标准;为突出高职教育特点,加强了实践性教学内容,注重学生职业技能和动手能力的培养,着重生产实际、生产实例的介绍,力求理论联系实际,并注意吸收国内外有关先进的技术成果和生产经验,充实了必要的基础知识和基本操作技能方面的内容。本书可作为高等职业技术教育冶金技术专业教学用书,也可用于钢铁冶金企业职工培训或供相关领域的工程技术人员参考。

铁合金品种繁多,本书以硅、锰、铬系合金生产为主,系统阐述了矿热炉、电极、炉衬及各主要品种的生产工艺和常见事故的处理,还叙述了钼铁、钛铁、钒铁、钨铁及稀土铁合金的冶炼、车间概况、主要技术指标、环境保护与综合利用等。在编写过程中,选用了国内同行编写的有关文献中的部分内容,在此向文献作者表示感谢。

本书由贵州师范大学材料与建筑工程学院刘卫、吉林电子信息职业技术学院王宏启任主编。参加本书编写工作的有:贵州师范大学材料与建筑工程学院丁彤(第1、7、9章)、刘卫(绪论、第2、5、6、10章),内蒙古机电职业技术学院石富(第3、4、12章),吉林电子信息职业技术学院王宏启(第8、11、13章)。

限于编者水平,书中不足之处,诚请读者指正。

编 者
2008年12月

目 录

绪论	1
1 铁合金冶炼的基本原理	6
1.1 铁合金冶炼的本质	6
1.2 选择性还原理论在铁合金中的广泛应用	7
1.2.1 选择性还原与铁合金生产的关系	7
1.2.2 选择还原计算举例	9
1.3 用氧化物生成自由能与温度关系图作指导选择还原剂	13
1.3.1 碳质还原剂及其特点	13
1.3.2 金属还原剂	15
1.3.3 氧化精炼是铁合金冶炼中的新概念	15
复习思考题	16
2 电极和炉衬	17
2.1 电极	17
2.1.1 电极的分类、性能及其用途	17
2.1.2 自焙电极的制作	18
2.1.3 自焙电极的烧结	21
2.1.4 自焙电极的接长和下放	23
2.1.5 自焙电极常见事故及其处理	26
2.1.6 电极的消耗	28
2.2 电炉炉衬	29
2.2.1 耐火材料的种类、要求及其选择	29
2.2.2 炉衬的砌筑	31
2.2.3 铁合金电炉烘炉、开炉、停炉和洗炉	35
复习思考题	38
3 铁合金车间及主要设备	39
3.1 铁合金车间概述	39
3.1.1 铁合金厂的布置和运输	39
3.1.2 生产规模的确定	40
3.1.3 车间组成与布置	40
3.1.4 精炼电炉车间的布置	47
3.1.5 铁合金生产的技术经济指标	49

3.2 矿热炉机械设备	50
3.2.1 矿热炉概述	50
3.2.2 炉体	51
3.2.3 电极系统	52
3.2.4 液压系统	55
3.2.5 排烟罩及通风装置	58
3.3 矿热炉供电系统	59
3.3.1 供电系统组成	59
3.3.2 矿热炉变压器	61
3.3.3 短网	65
3.4 铁合金电炉的电气控制	67
3.4.1 供电自动控制	67
3.4.2 工厂电能需要量控制	68
3.4.3 电极压放自动控制	69
3.4.4 电炉功率调节	69
3.4.5 电极深度的控制	69
3.4.6 上料控制及称量控制	70
3.4.7 过程计算机控制	71
复习思考题	72
4 矿热炉的电热原理与基本参数	73
4.1 矿热炉中的电弧现象	73
4.1.1 电弧生成机理	73
4.1.2 电弧特性	73
4.1.3 电弧传热过程	75
4.2 矿热炉电路分析	76
4.2.1 炉内电流回路	76
4.2.2 电炉操作电阻	77
4.2.3 电炉电抗和谐波	78
4.2.4 电炉电流的交互作用	78
4.3 矿热炉的电气特性	79
4.3.1 电流圆图	79
4.3.2 特定电压级下电炉的特性曲线	80
4.3.3 特性曲线组和恒电阻曲线	80
4.3.4 三相电炉各相功率不平衡现象	81
4.3.5 功率不平衡的监测和预防	84
4.3.6 电炉的经济运行	84
4.4 铁合金电炉参数计算及选择	85
4.4.1 电炉参数的简易计算法	85

4.4.2 大型电炉计算程序	89
4.4.3 计算程序例解	92
4.4.4 电炉全电路分析例解	93
4.4.5 电炉特性曲线的绘制	96
复习思考题	99
5 硅系合金的冶炼	100
5.1 硅铁的牌号及用途	100
5.2 硅及其化合物的物理化学性质	101
5.3 冶炼硅铁的原料	103
5.3.1 硅石	103
5.3.2 还原剂	104
5.3.3 含铁原料	105
5.4 硅铁冶炼原理	105
5.4.1 硅铁冶炼的基本反应	105
5.4.2 炉内温度区和反应状况	106
5.5 硅铁冶炼工艺及异常炉况的处理	108
5.6 冶炼硅 75 的物料平衡及热平衡	121
5.6.1 炉料计算	121
5.6.2 物料平衡	125
5.6.3 热平衡计算	125
5.6.4 简易配料计算	128
5.7 硅铁精炼	129
5.7.1 合成渣氧化精炼	129
5.7.2 氯化精炼法	131
5.8 硅钙合金	131
5.8.1 硅钙合金的牌号及用途	131
5.8.2 钙及其化合物的物理化学性质	131
5.8.3 生产方法及原料	132
5.8.4 冶炼过程中的物化反应	133
5.8.5 冶炼工艺	134
5.9 工业硅	137
5.9.1 工业硅的牌号及用途	137
5.9.2 生产工业硅的原料	137
5.9.3 冶炼原理	138
5.9.4 冶炼工艺	139
5.9.5 工业硅生产的配料计算	144
复习思考题	145

6 锰系合金的冶炼	146
6.1 锰铁的牌号及用途	146
6.2 锰及其化合物的物理化学性质	147
6.2.1 锰的主要物理化学性质	147
6.2.2 锰化合物的性质	147
6.3 锰矿	149
6.4 高碳锰铁的冶炼	150
6.4.1 冶炼方法	150
6.4.2 原料	151
6.4.3 冶炼原理	152
6.4.4 冶炼工艺	153
6.4.5 配料计算	155
6.5 锰硅合金的冶炼	157
6.5.1 原料	157
6.5.2 冶炼原理	159
6.5.3 冶炼工艺	159
6.5.4 配料计算	162
6.6 中低碳锰铁的冶炼	163
6.6.1 电硅热法冶炼中低碳锰铁	164
6.6.2 电硅热法生产中碳锰铁配料计算	167
6.6.3 摇包法、吹氧法冶炼中低碳锰铁	169
6.7 金属锰	170
6.7.1 冶炼原理	171
6.7.2 生产方法	172
6.7.3 金属锰的冶炼	176
复习思考题	178
7 铬系合金的冶炼	179
7.1 概述	179
7.2 高碳铬铁	179
7.2.1 高碳铬铁的牌号及用途	179
7.2.2 铬及其化合物的物理化学性质	180
7.2.3 高碳铬铁的冶炼工艺与原理	180
7.3 硅铬合金	185
7.3.1 硅铬合金的牌号及用途	185
7.3.2 硅铬合金的性质	185
7.3.3 硅铬合金冶炼工艺及原理	185
7.4 中低碳铬铁	190

7.4.1 中低碳铬铁的牌号及用途	190
7.4.2 冶炼方法	190
7.4.3 氧气吹炼中低碳铬铁	191
7.4.4 电硅热法冶炼中低碳铬铁	193
7.5 微碳铬铁	196
7.5.1 微碳铬铁的牌号及用途	196
7.5.2 电硅热法冶炼微碳铬铁	197
7.5.3 热兑法冶炼微碳铬铁	201
7.6 真空法微碳铬铁	209
7.6.1 真空法微碳铬铁的牌号及用途	209
7.6.2 真空法微碳铬铁冶炼原理	209
7.6.3 真空法微碳铬铁冶炼的原料	210
7.6.4 真空法微碳铬铁冶炼设备	210
7.6.5 真空法微碳铬铁冶炼操作	210
7.7 金属铬	211
7.7.1 金属铬牌号及用途	211
7.7.2 铝热法生产金属铬	212
复习思考题	218
8 钼铁的冶炼	219
8.1 钼铁的牌号及用途	219
8.2 钼及其化合物的物理化学性质	220
8.3 钼矿及其处理	221
8.3.1 钼矿	221
8.3.2 钼精矿氧化焙烧	222
8.4 钼铁的冶炼	226
8.4.1 钼铁的冶炼方法	226
8.4.2 钼铁的冶炼原理	227
8.4.3 硅热法冶炼钼铁	228
8.5 硅热法冶炼钼铁的配料计算	231
8.5.1 计算的原始条件	231
8.5.2 料批组成计算	231
8.5.3 热量计算	232
复习思考题	233
9 钛铁的冶炼	234
9.1 钛铁的牌号及用途	234
9.1.1 钛铁牌号及化学成分	234
9.1.2 钛及其化合物的物理化学性质	234

9.2 冶炼钛铁的原材料	236
9.2.1 含钛矿物	236
9.2.2 铁矿	236
9.2.3 硅铁	237
9.2.4 铝粒	237
9.2.5 石灰	237
9.3 钛铁冶炼原理	237
9.3.1 用碳还原	237
9.3.2 用硅还原	237
9.3.3 用铝还原	237
9.4 铝热法冶炼钛铁	238
9.4.1 冶炼钛铁的配料计算	238
9.4.2 冶炼操作过程	242
9.4.3 影响钛铁冶炼指标的因素	244
9.4.4 应用铝热法冶炼钛铁的实例	245
9.5 低铝钛铁、中钛铁及高钛铁的生产	246
9.5.1 低铝钛铁生产	246
9.5.2 中钛铁冶炼(40%钛铁的生产)	247
9.5.3 高钛铁的生产	247
9.6 电炉炼钛铁及铝粒的雾化制取	248
9.6.1 电炉炼钛铁	248
9.6.2 雾化法制取铝粒	249
复习思考题	249
10 钒铁的冶炼	250
10.1 钒铁的牌号及用途	250
10.2 钒及其化合物的物理化学性质	250
10.3 含钒矿物和钒矿	251
10.4 五氧化二钒的制取	251
10.4.1 钒渣的制备	253
10.4.2 钒渣的焙烧	254
10.4.3 钒的浸出	256
10.4.4 五氧化二钒浸出液沉淀及熔化铸片	257
10.5 钒铁冶炼原理	259
10.6 电硅热法生产钒铁	260
10.6.1 冶炼设备及原料	260
10.6.2 配料计算和各期炉料分配	260
10.6.3 冶炼操作	261
10.7 铝热法生产钒铁	263

10.7.1 原料要求	263
10.7.2 配料计算	263
10.7.3 冶炼操作	264
复习思考题	265
11 钨铁的冶炼	266
11.1 钨铁的牌号及用途	266
11.2 钨及其化合物的物理化学性质	266
11.2.1 钨的物理化学性质	266
11.2.2 钨化合物的物理化学性质	266
11.3 钨矿	267
11.4 钨铁的冶炼	268
11.4.1 钨铁的冶炼方法	268
11.4.2 钨铁冶炼原理	269
11.4.3 取铁法生产钨铁	270
11.4.4 炉料计算	274
复习思考题	275
12 稀土铁合金的冶炼	276
12.1 概述	276
12.1.1 稀土铁合金的应用	276
12.1.2 稀土铁合金的分类	276
12.1.3 稀土铁合金的组成和性质	278
12.1.4 稀土铁合金的生产方法	279
12.2 硅热还原法生产稀土硅铁合金	280
12.2.1 硅热还原法冶炼稀土硅铁合金的反应热力学	280
12.2.2 硅热还原法冶炼稀土硅铁合金的原理	284
12.2.3 电弧炉设备	285
12.2.4 硅热法冶炼稀土硅铁合金工艺	288
12.3 电弧炉冶炼其他稀土铁合金	292
12.3.1 硅热还原法冶炼其他稀土铁合金	292
12.3.2 铝热还原法冶炼稀土中间合金	294
12.3.3 碳化钙、硅还原法冶炼稀土合金	296
12.4 碳热还原法冶炼稀土铁合金	297
12.4.1 碳热还原法冶炼稀土硅铁合金的原理	297
12.4.2 矿热炉冶炼稀土硅铁合金工艺	298
12.4.3 矿热炉冶炼其他稀土铁合金	299
12.5 熔配法生产稀土中间合金	300
12.5.1 坩埚式中频感应电炉	300

12.5.2 配料计算	301
12.5.3 中频感应炉熔炼稀土中间合金工艺	301
复习思考题	302
13 环境保护与综合利用	304
13.1 废渣的处理及利用	304
13.1.1 直接回收利用	304
13.1.2 用水淬渣作水泥原料	305
13.1.3 用炉渣作铸石	305
13.1.4 利用废渣作建筑和筑路材料以及农田肥料	305
13.2 废气的处理及利用	306
13.2.1 敞口电炉烟气净化	306
13.2.2 半封闭电炉回收烟气余热	306
13.2.3 封闭式电炉烟气净化和能源回收	306
13.2.4 烟尘的综合利用	306
13.3 废水的处理及利用	307
复习思考题	308
参考文献	309

绪 论

铁合金是由一种或一种以上的金属或非金属元素与铁组成的合金，如硅铁是硅与铁的合金，锰铁是锰与铁的合金。铁合金还包括由其他非铁质元素组成的合金，如硅钙合金是硅与钙组成的合金。另外，铁合金也包括含铁极低的锰、铬、钒及工业硅等合金金属。

铁合金冶金学（Ferroalloy Metallurgy）是提取冶金学科的一个重要分支。其基本研究任务是采用经济、有效的技术手段把有用合金元素从传统矿产资源或二次冶金资源中提取出来，或者对铁合金初级产品进行精炼，获得较纯或高纯的最终产品，满足钢铁生产或其他工业产品制造的需要。

A 铁合金的分类及用途

a 铁合金的分类

随着现代科学技术的发展，太空、原子能、机械、电子、石油、化工等工业对冶金工业不断提出新的要求，使铁合金工业在品种、质量、生产工艺和装备水平上都有较大发展，各个行业对钢材的品种、性能的要求越来越高，从而对铁合金也提出了更高的要求，铁合金的品种在不断扩大。铁合金品种繁多，生产原料和制造方法差异甚大，涉及的反应器及操作有其特殊性，分类方法也多，一般按下列方法分类：

(1) 按铁合金中主要元素分类，有硅、锰、铬、钼、钨、钛、钒等系列铁合金，其中有的品种又按有用元素的含量分为几种，如硅铁有硅 45、硅 65、硅 75、硅 90 等。

(2) 按铁合金中含碳量分类，有高碳、中碳、低碳、微碳、超微碳等品种。

(3) 按生产方法分类，有高炉铁合金、电炉铁合金、炉外法（金属热法）铁合金、真空固态还原法铁合金、转炉铁合金、电解法铁合金等。

(4) 含有两种或两种以上合金元素的多元铁合金，主要品种有硅钙合金、锰硅合金、硅铬合金、硅钙铝合金、锰硅铝合金、硅钙钡合金、硅钡钨合金等。

以上分类包括了绝大多数的一般铁合金品种，此外还有一些特殊铁合金，如氧化物压块、发热铁合金等。用热还原法生产的稀土中间合金也属铁合金范畴，主要有稀土硅铁合金、稀土镁硅铁合金等。

b 铁合金的用途

铁合金是钢铁工业和机械铸造行业必不可少的重要原料之一，主要用作炼钢的脱氧剂和合金剂、铸造晶核孕育剂等。

(1) 用作脱氧剂。炼钢过程中，钢液中的各种杂质主要是通过氧化的方式（加入氧化剂或吹氧）去除，所以钢液中溶有大量的氧。氧在钢液中一般以 FeO 的形式存在，如果不将残留在钢中多余的氧去除，就不能浇注成合格的钢坯和得到力学性能良好的钢材。为此，需添加一些与氧亲和力比铁强、且其氧化物易于从钢液中排除进入炉渣的元素，使钢液中的氧含量降低，这个过程叫做脱氧。用于脱氧的元素或合金叫做脱氧剂。

钢水中各元素与氧的结合强度，即脱氧能力，从弱到强的顺序如下：铬、锰、碳、硅、钒、钛、铝、钙。炼钢生产常用的脱氧剂有硅铁、锰铁、硅锰合金、硅钙合金、铝等。

(2) 用作合金剂。合金元素及含量不同的钢种具有不同的性能。钢中合金元素的含量是

通过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合金剂。常用的合金剂有硅铁、锰铁、铬铁、钨铁、钼铁、钛铁、铌铁、硼铁、镍等。

(3) 用于铸造工业,改善铸造工艺和铸件性能。改变铸铁和铸钢性能的措施之一是改变铸件的凝固条件,在浇注前加入某些铁合金作为晶核孕育剂,形成晶粒中心,使形成的石墨变得细小分散,晶粒细化,从而提高铸件的性能。

(4) 用作还原剂。硅铁可作为生产钼铁、钒铁等其他铁合金的还原剂;硅铬合金、锰硅合金可分别作为生产中低碳铬铁、中低碳锰铁的还原剂。

(5) 用于其他工业。在有色金属和化学工业中,铁合金的使用越来越广泛,如作为有色金属的添加剂,中低碳锰铁用于电焊条的生产,铬铁用于生产铬化物和镀铬阳极材料等。

B 铁合金的生产方法

铁合金的生产方法很多,主要有以下几种。

a 按生产设备分类

(1) 高炉法。高炉法生产铁合金与高炉炼铁相同,目前主要是生产碳素锰铁。高炉碳素锰铁生产主要原料有锰矿、焦炭和熔剂以及助燃的空气或富氧,焦炭不但是还原剂,也是燃料。原料从炉顶装入炉内,高温空气或富氧经风口鼓入炉内,焦炭在风口处燃烧,获得高温及还原性气体,与矿石进行还原反应,生成的炉渣、金属积聚在炉底,通过渣口、铁口定时排除,随着炉料的熔化下降,不断加入新料,生产是连续进行的。

高炉法生产铁合金,生产率高,成本低。但由于高炉炉内温度低,高炉冶炼条件下金属被碳充分饱和,因此高炉法一般只用于生产易还原元素铁合金和低品位铁合金,如碳素锰铁、低硅铁、低锰铁、富锰渣等。

(2) 电炉法。电炉法是生产铁合金的主要方法。电炉主要分为还原电炉(矿热炉)和精炼炉(电弧炉)两种,还原电炉法是铁合金生产的主要方法,铁合金产量中约72%是用此方法生产的。

1) 还原电炉(矿热炉)法。还原电炉法是用碳作为还原剂还原矿石生产铁合金。将混合好的炉料加入炉内,并将电极埋在炉料中,依靠电弧和电流通过炉料而产生的电阻热加热,熔化的金属和炉渣集聚在炉底,通过出铁口定时出铁出渣,生产过程是连续进行的。

2) 精炼炉(电弧炉)法。精炼炉法是用硅(硅质合金)作为还原剂,生产含碳量低的铁合金。依靠电弧热和硅氧化反应热进行冶炼,炉料从炉顶或炉门加入炉内,整个冶炼过程分为引弧、加热、熔化、精炼、出铁等,生产过程是间歇进行的。

(3) 炉外法(金属热法)。炉外法一般生产高熔点、难还原、含碳极低的合金或纯金属,用硅、铝或铝镁合金作还原剂,依靠还原反应产生的化学热来进行冶炼,在筒式炉中进行,生产是间歇式的。使用的原料有精矿、还原剂、熔剂、发热剂以及钢屑、铁矿石等,冶炼前将炉料破碎干燥,按一定顺序配料混匀后装入筒式炉内,用引火剂引火,依靠反应热完成冶炼。

(4) 氧气转炉法。氧气转炉法使用的主体设备是转炉,其供氧方式有顶吹、底吹、顶底复合吹炼等。目前主要生产低碳铬铁和中碳锰铁,使用的原料为液态高碳铁合金、冷却剂及造渣剂等。该方法是将液态高碳铁合金兑入转炉,高压氧气经氧枪通入转炉内进行吹炼,依靠氧化反应放出的热量脱碳,生产是间歇进行的。

(5) 真空电阻炉法。生产含氮合金、含碳量极低的微碳铬铁等产品时采用真空电阻炉法,其主体设备为真空电阻炉。冶炼时将压制成形的块料装入炉内,依靠电流通过电极时的电阻热加热,同时抽气,脱碳反应在真空固态条件下进行,生产是间歇进行的。

b 按热量来源分类

根据热量来源不同分为碳热法、电热法、电硅热法和金属热法。

(1) 碳热法。碳热法其冶炼过程的热量来源主要是焦炭的燃烧热,用焦炭作还原剂还原矿石中的氧化物,生产在高炉中进行。

(2) 电热法。电热法其冶炼过程的热量来源主要是电能,使用碳质还原剂还原矿石中的氧化物,采用连续式的操作工艺,在还原电炉中进行。

(3) 电硅热法。电硅热法其冶炼过程的热量来源主要是电能,其余为硅氧化放出的热量,使用硅(如硅铁或中间产品硅锰合金、硅铬合金)作还原剂还原矿石中的氧化物,生产时在精炼电炉中进行间歇式作业。

(4) 金属热法。金属热法其热量来源主要是由硅、铝等金属还原剂还原精矿中氧化物时放出的热量,生产采用间歇式,在筒式熔炼炉中进行。

c 按操作方法和工艺分类

根据生产工艺特点不同分为熔剂法和无熔剂法、连续式和间歇式、无渣法和有渣法等冶炼方法。

(1) 熔剂法。熔剂法生产铁合金是采用碳质材料、硅或其他金属作还原剂,生产时加造渣材料调节炉渣成分和性质(炉渣的酸、碱性)。

(2) 无熔剂法。无熔剂法生产铁合金一般多用碳质材料作还原剂,生产时不加造渣材料调节炉渣成分和性质。

(3) 连续式冶炼法。连续式冶炼法一方面根据炉口料面下降情况,不断地向炉内加料,另一方面将炉内熔池积聚的合金和炉渣定期排除。采用埋弧还原冶炼,操作功率几乎是均衡稳定的。

(4) 间歇式冶炼法。间歇式冶炼法是将炉料集中或分批加入炉内,冶炼过程一般分为熔化和精炼两个时期,熔化期电极埋在炉料中,精炼完毕,排除合金和炉渣,再装入新料,进行下一炉冶炼。由于冶炼各个时期的工艺特点不同,操作功率也不同。

(5) 无渣法。无渣法冶炼铁合金采用碳质还原剂、硅石或再制合金为原料,在还原电炉中连续冶炼。

(6) 有渣法。有渣法冶炼铁合金是在还原电炉或精炼电炉中,选用合理的造渣制度生产铁合金,其渣铁比受冶炼品种和采用的原料条件等因素影响。

C 铁合金生产技术的发展趋势

随着钢铁工业的发展和科学技术的进步,铁合金生产在品种、冶炼工艺、技术装备、节能降耗、环境保护、能量回收、资源综合利用等技术方面都有一定的发展和突破。

(1) 矿热炉大型化和冶炼过程控制自动化。据报道,目前世界上最大的硅铁和高碳铬铁电炉为 $105000\text{kV}\cdot\text{A}$;最大的高碳锰铁电炉为 $102000\text{kV}\cdot\text{A}$;最大的锰硅合金电炉为 $88000\text{kV}\cdot\text{A}$;最大的硅钙合金电炉为 $48000\text{kV}\cdot\text{A}$;最大的工业硅电炉为 $55000\text{kV}\cdot\text{A}$;最大的镍铁电炉为 $84000\text{kV}\cdot\text{A}$ 。在炉型上,新建的锰铁和铬铁电炉多采用全封闭式及湿法煤气除尘,并向干式除尘技术迈进;硅铁电炉多采用矮烟罩半封闭式及干法袋式烟气除尘,挪威研制成功了全封闭干法除尘的硅铁电炉。此外,近年设计建造的大型铁合金电炉一般都采用计算机控制技术,配料、上料与加料、电极压放、功率调节、水冷却系统和烟气(煤气)净化系统等控制功能的自动化水平相当高。

(2) 精料技术在铁合金冶炼中的普遍应用。近10年来,铁合金电炉生产采用精料的水平

有明显提高, 各国铁合金工业界都充分认识到精料是电炉铁合金增产节能的重要环节, 并相应采取了许多行之有效的技术措施, 主要有:

1) 采用优质组合碳质还原剂。以冶金焦为主, 搭配气煤焦、蓝炭或烟煤作还原剂, 或专门生产硅焦、铁焦等专利铁合金还原剂, 可使硅铁生产节能 $700 \sim 1000 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

2) 改善入炉矿石的制备技术。铁合金电炉正常操作, 尤其是大、中型还原电炉, 要求炉料具有合适的粒度以确保良好的透气性。当前优质块状锰矿和铬矿的供应日趋减少, 为适应这一情况, 国内外已应用了多种造块技术, 以有效地利用粉矿和精矿, 并获得较好的冶炼指标。包括锰矿的烧结成块和烧结球团技术, 铬矿冷压块料和金属化热球团技术以及硅铁生产中使用铁精矿球团、铁鳞球团替代碳素钢屑等。

(3) 采用连续法冶炼硅钙合金的新技术。目前, 世界上生产硅钙合金的先进工艺是连续冶炼技术, 法国波兹尔 (BOZEL) 电冶金公司和意大利 OET 公司的硅钙合金生产均属于此法。这种工艺是选用石灰石、焦炭及烟煤为炉料, 在较大型还原电炉内进行连续冶炼, 其冶炼周期 (炉役寿命) 达 5 年以上, 产品含 $w(\text{Ca}) \geq 30\%$ 。产品电耗 $11000 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$, 比我国现行的硅钙合金生产工艺节能 $2000 \sim 3000 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 。

(4) 采用一步法冶炼硅铬合金和热兑法 (波伦法) 生产中低碳锰铁和微碳铬铁。国外已普遍采用以优质锰矿和液态锰硅合金在摇炉中热兑生产中低碳锰铁, 以铬矿-石灰熔体与液态或固态硅铬合金进行热装、热兑生产微碳铬铁。该工艺技术主要优点是产品质量好、合金元素回收率高、电耗低。

一步法生产硅铬合金, 即采用铬矿、硅石及还原剂为炉料在还原电炉内直接生产硅铬合金。此工艺技术的突出优点在于简化了工艺流程 (原电硅热工艺为二步法), 不需炉外降碳处理, 提高了铬回收率。

(5) 铁合金直流还原电炉技术 (含中空电极技术) 和低频供电设备的应用。直流还原电炉冶炼铁合金是近几年来发展起来的一项新技术。它采用单电极、双电极、三电极及以上顶电极和无底电极的直流电炉技术。它与交流还原炉相比具有可直接利用粉矿 $15\% \sim 20\%$, 生产每吨产品节电 $5\% \sim 8\%$, 电炉系统功率因数 ($\cos\varphi$) 高, 线路上的电损耗较低, 运行噪声较小等优点。

低频供电技术是在传统的铁合金电炉变压器二次侧与短网之间加装低频供电装置, 将工频 (50Hz) 变为低频 ($0.05 \sim 12.5\text{Hz}$) 输电。该设备技术有效地提高电炉系统功率因数 ($\cos\varphi > 0.9$), 并降低有功损耗, 起到节电增产的显著效果。

(6) 铁合金熔融还原新技术和等离子炉冶炼新技术。熔融还原是用碳或以碳为主的还原剂进行还原金属氧化物熔体的工艺, 它可以使铁合金生产从消耗巨额电能的传统工艺转变成以煤为主要能源的一项新技术。目前, 国外应用此项技术冶炼高碳锰铁及高碳铬铁, 其主要特点是工艺流程短、可直接使用粉矿和粉煤作炉料, 并可提高产品主元素回收率。等离子炉冶炼是一项铁合金生产的新技术, 其主要技术特点是采用粉矿、粉焦、粉煤以及熔剂为炉料进行还原冶炼。国外已应用此技术生产铬铁、硅铁及工业硅等产品。

(7) 铁合金产品发生结构性变化, 品种面向多元化。炼钢中连铸比例越来越大, 导致锰硅复合合金的消耗量不断地增多; 氩氧炼钢设备增多, 使得低碳铬铁在铬铁消耗中的比例逐年下降, 高碳铬铁比例上升; 由于钙有优异的脱氧和脱硫作用, 而且它能改变钢中夹杂物的形态, 故硅钙合金的用量不断增加, 含钙和含钡的多元硅系合金的应用也日益广泛; 不锈钢与低合金高强度钢的需求量不断增长, 使得对铬、镍、钒、铌、钼、钛和稀土等类合金需求量的增长速度逐步超过普通钢所用铁合金的增长速度; 除传统产品外, 人们又研制出不少新的铁合金

品种,如含有钡、镁、锶、稀土的硅系复合脱氧剂、孕育剂与铸铁球化剂,以及作为合金元素添加用的氧化物、碳化物、氮化物等;为满足钢包合金化和喷射冶金的需要,近年来已生产出各种粒状、粉状铁合金,包芯线产品以及含多种成分的压块铁合金与发热铁合金等。

(8) 环境保护和“三废”综合利用。铁合金企业的环境保护主要是对“三废”及噪声的治理,消除对环境的污染。近年来,工业发达国家中铁合金生产对环境的污染问题已基本解决。其主要措施:

- 1) 半封闭式电炉废气的利用和除尘工艺的实现,尤其是硅铁和工业硅生产进行了消烟除尘,回收的硅粉在建材、化工等行业应用;
- 2) 锰铁和铬铁电炉分别有 90% 和 60% 为全封闭式电炉,煤气被净化后用于化工生产和用于干燥、烧结及造球;
- 3) 铬铁、钒铁的化学处理污水,废渣,烟尘的处理;
- 4) 废水的净化与软水闭路循环系统;
- 5) 铁合金工业废物(主要是废尘与废渣)的有效利用等。