

铁合金生产技术

中国金属学会

冶金继续工程教育丛书

科学出版社

周进华 主编

冶金继续工程教育丛书书目

矿山类

现代露天开采理论与实践
矿床地下开采理论与实践
矿物颗粒分选工程
矿物原料加工与利用
选矿厂废水及尾矿处理
微机在选矿中的应用

钢铁冶金类

现代冶金原理
冶金工程统计
冶金过程数学模型
冶金单元设计
冶金系统工程
现代钢铁冶金
炼铁原料技术
高炉炼铁技术
非高炉炼铁
铁水预处理
转炉炼钢技术
电炉炼钢技术
炉外精炼
连续铸钢
铸锭技术
铁合金生产技术
冶金资源综合利用
碳复合耐火材料

轧钢类

现代轧制理论
轧制计算机控制系统
轧制计算机辅助工程
塑性加工摩擦学
冷轧板带生产
轧钢技术国内外情况
连铸连轧

热工类

系统节能基础
炉子热过程数学模型
现代工业炉燃烧技术
工业炉节能技术
风机节能与降噪
能量转换与新能源
能源经济

机械类

设备故障诊断技术
现代机械设计理论与方法
有限单元法及其在冶金机械中的应用
轧钢机械设计方法
冶炼机械设计方法

公共类

钢铁企业现代化管理
钢铁工业环境保护
冶金技术经济

中国金属学会继续教育及书刊编辑部

北京东四西大街 46 号 邮政编码 100711

ISBN 7-03-002589-X/TF·7

定价: 10.50 元

科技新书目: 249-087

冶金继续工程教育丛书

铁合金生产技术

周进华 主编

科学出版社

1991

内 容 简 介

本书为“冶金继续工程教育丛书”之一。全书共十一章，分别阐述了铁合金生产的基本原理、生产方法、生产工艺及技术经济指标，介绍了国内外铁合金生产的先进技术及其发展趋势。

本书可作为冶金专业的工程技术人员继续教育用书，也可供高等学校相应专业的师生参考。

冶金继续工程教育丛书

铁合金生产技术

周进华 主编

责任编辑 何舒民 童安齐

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1991年10月第一版

开本：787×1092 1/32

1991年10月第一次印刷

印张：18 5/8

印数：0001—6000

字数：427 000

ISBN 7-03-002589-X/TF·7

定价：10.50 元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长

徐大铨

一九八八年十二月

7AC54/04

前 言

铁合金是炼钢的主要原材料之一，是钢中合金成分的添加剂和炼钢过程的脱氧剂。当前钢铁工业发展的特点之一是合金钢比和连铸比的不断增加，其结果导致铁合金产量与钢产量之比不断增大。现代科技的飞速发展要求钢铁工业生产出品种更多、质量更高的钢材，这又要求首先生产出品种更多、质量更高的铁合金。因此，搞好铁合金生产对我国钢铁工业的发展将起到促进作用。

铁合金生产能耗高，且铁合金中含有多种贵金属，因此降低能耗，提高金属的回收率和增加经济效益，是从事铁合金科研与生产人员的重要任务之一。

为适应我国铁合金生产发展的需要，进一步提高广大技术人员的水平，中国金属学会铁合金专业委员会组织编写了本书。本书系统地阐述了铁合金生产的基本原理和工艺，介绍了国内外铁合金生产的先进技术。

本书由周进华主编。参加编写的有赵玉祥（第1章和第12章），傅维贤、郭鸿发、张棠科（第3章），胡凌标、田长阴、刘子祥（第4章），张明泉（第5章），赵国祥（第6章），张百川（第7章），金成恭（第8章），祖国文（第9章），周进华（其余各章）。铁合金专业委员会理事长曾宪斌审阅了全书，张百胜、秦民生同志参加了审阅工作，并提出了许多宝贵意见，在此致以谢意。

编著者

1991年1月

目 录

序.....	i
前言.....	iii
1 铁合金生产原理	1
1.1 铁合金熔体	1
1.2 铁合金熔渣	68
1.3 铁合金冶炼过程热力学	91
1.4 铁合金冶炼过程动力学	122
参考文献	142
2 硅铁及硅合金	143
2.1 硅铁的牌号和用途	143
2.2 硅及其化合物的物理-化学性质	148
2.3 硅质还原剂	154
2.4 硅铁和工业硅	164
2.5 硅钙合金	191
2.6 铝铁和硅铝合金	
参考文献	214
3 锰铁	217
3.1 锰铁的牌号和用途	217
3.2 锰及其化合物的物理-化学性质	222
3.3 锰矿及其冶炼前的准备	229

3.4	高碳锰铁	247
3.5	硅锰合金	258
3.6	精炼锰铁	269
3.7	金属锰	280
3.8	氮化锰铁	284
3.9	高炉锰铁冶炼	286
	参考文献	317
4	铬铁	319
4.1	铬铁的牌号和用途	319
4.2	铬及其化合物的物理-化学性质	327
4.3	铬矿及其预处理	336
4.4	高碳铬铁	342
4.5	硅铬合金	356
4.6	中碳铬铁、低碳铬铁和微碳铬铁	367
4.7	金属铬	399
	参考文献	408
5	钨铁	410
5.1	钨铁的牌号和用途	410
5.2	钨的主要物理-化学性质	411
5.3	钨矿	414
5.4	钨铁生产方法	417
5.5	钨铁冶炼原理	418
5.6	取铁法生产钨铁	420
6	钼铁	437
6.1	钼铁的牌号和用途	437
6.2	钼及其化合物的物理-化学性质	438
6.3	钼矿和钼精矿的氧化焙烧	443

6.4	钼铁冶炼原理	456
6.5	炉外法炼钼铁	458
	参考文献	472
7	钒铁	473
7.1	钒铁的牌号和用途	473
7.2	钒及其主要物理-化学性质	475
7.3	钒矿	479
7.4	五氧化二钒的制取	480
7.5	钒铁冶炼原理	490
7.6	电硅热法生产钒铁	492
7.7	铝热法冶炼钒铁	500
7.8	电热法生产含钒合金	503
	参考文献	505
8	钛铁	506
8.1	钛铁的成分和用途	506
8.2	钛及其化合物的物理-化学性质	507
8.3	钛铁冶炼	513
8.4	电-铝热法炼钛铁	534
	参考文献	537
9	硼铁	538
9.1	硼铁的牌号和用途	538
9.2	硼及其化合物的物理-化学性质	540
9.3	硼矿	543
9.4	铝热法冶炼硼铁	547
9.5	电热法冶炼硼铁	552
9.6	其它硼合金的生产	555
	参考文献	556

10 铝合金	557
10.1 铝合金的牌号和用途	557
10.2 铝的物理-化学性质.....	559
10.3 冶炼原理.....	561
10.4 铝合金生产工艺.....	564
参考文献.....	570
11 铌铁	571
11.1 铌铁的牌号和用途.....	571
11.2 铌的物理-化学性质	574
11.3 含铌原料.....	576
11.4 铌铁冶炼原理.....	577
11.5 铌铁生产工艺.....	578
12 铁合金与钢铁工业的关系	581

铁合金生产原理

铁合金生产的基本任务是把有益元素从矿石或氧化物中提取出来,或者对铁合金初级产品进行精炼,以得到较纯或高纯的产品。为了使铁合金生产中有关的化学反应按预期的方式进行,就必须深入了解铁合金生产原理,以便进行铁合金生产的热力学和动力学分析。

1.1 铁合金熔体

铁合金是铁与其它元素的合金,是冶炼钢铁的主要脱氧剂和合金剂。它包括硅系、锰系和铬系三个主要系列,每个系列又分为几个品种,如硅系铁合金中有含硅 75% 的硅铁、硅钙合金等;锰系铁合金中有高碳锰铁、硅锰合金等。硅系、锰系和铬系三个系列铁合金的产量之和占铁合金总产量的95%以上。

1.1.1 铁及其合金元素的化合物

在硅系铁合金中,硅铁占 75%,它是由硅化物 (FeSi_2) 和游离硅组成的。硅钙合金含有 30% 的 Ca, 60% 的 Si 和 10% 的 Fe。硅与钙生成硅化物 CaSi_2 (约占硅钙合金的 72%), 与铁生成硅化物 FeSi_2 (约占硅钙合金的 20%), 这两种硅化

物之和大于 90%，因此，硅钙合金主要是由硅化物组成。此外，硅锰合金、硅铬合金也主要由硅化物组成。在硅系铁合金中，碳化物的含量一般小于 5%。

高碳锰铁大约含 C 7%，Mn 70% 和 Fe 20%。锰与碳生成碳化物 (Mn_3C_2)，铁与碳也生成碳化物，这两种碳化物之和(或复合碳化物)大于 70%，因此高碳锰铁(高碳铬铁)基本上是由碳化物组成，而硅化物的含量小于 5%。

由此可知，硅系铁合金是由硅化物组成，高碳铁合金是由碳化物组成，这两类合金产量之和占铁合金总产量的 80% 以上。因此，分析硅化物和碳化物的性质，对搞好铁合金生产是有帮助的。

1. 常见碳化物的性质

常见碳化物的性质见表 1-1，从中可见，各种碳化物的熔点和沸点都很高。由于碳化物生成过程中熵变不大，所以碳化物的生成吉布斯自由能 ΔG_{298K}° 与 ΔH_{298K}° 相近。

2. 常见硅化物的性质

常见硅化物的性能见表 1-2。

比较表 1-1 和表 1-2 可知，Fe, Mn, Cr, Mo, W, Ca 等元素的硅化物都比相应元素的碳化物稳定，因此合金中的硅能破坏合金中原有的碳化物结构而生成硅化物。

3. 其它化合物的性质

常见氮化物、硫化物、氯化物的性质见表 1-3, 1-4, 1-5。

1.1.2 熔铁和熔融铁合金结构

在铁合金冶炼过程中，金属熔炼的温度一般稍高于熔点，

表 1-1 常见碳化物的性质^[1]

碳化物 性质		CaC_2	C 石墨	Cr_{23}C_6	Cr_7C_3	Cr_3C_2	Fe_3C
分子量		64.1	12.01	1268.3	400.1	180.05	179.56
分子含碳量, %		37.4	100	5.68	9	13.3	6.67
密度, g/cm^3		(2.22) 2.04	2.26	6.97	6.92	6.68	(7.4) (7.67)
熔点, $^{\circ}\text{C}$		2300		1550	1665	1890	1650
沸点, $^{\circ}\text{C}$			3540 挥发			3800	
颜色		淡灰	银灰 黑		银灰	灰	灰
空气中激烈氧化的 温度, $^{\circ}\text{C}$							
结晶类型		AB_2 离子型		面心立方	三方	斜方	斜方
热 力 学 数 据	$\Delta H_{298\text{K}}^{\circ}$, kJ/mol			-411.7	-177.8	-87.9	20.9
	$\Delta G_{298\text{K}}^{\circ}$, kJ/mol			-419.3	-183.3	-88.7	14.6
	$\Delta S_{298\text{K}}^{\circ}$, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$			25.1	18.4	2.9	20.9

续表 1-1

Mn_3C	Mo_2C	MoC	NbC	$SiC_{(p)}$	Al_4C_3	B_4C	Fe_3C
176.88	204.81	107.96	104.92	40.1			
6.8	5.85	11.12	11.45	~30			
6.89	8.9	8.5	7.82	3.21			
1520	2687	2692	3500	>2700	2200	2400	
			4300				
	灰	灰	青紫	淡绿黑			
	500— 800		1100— 1400				
斜方	六方	六方	面心立方	面心立方 ZnS 型			
-96.2	-17.7	-8.37	-125.5		-289.0	-299.5	+94.6
-96.7	-20.6	-8.4	-123.8				
1.7	10.0	0	-5.9				

续表 1-1

碳化物 性质		TiC	W ₂ C _(β)	WC	VC	V ₄ C ₃	ZrC
分子量		59.91	379.73	195.87	62.93	239.768	103.23
分子含碳量, %		~20	3.16	6.14	19.1	15.05	11.6
密度, g/cm ³		4.25	17.2	(15.7) 15.5	5.36		(6.9) 6.7
熔点, °C		3140	2857	2867	2830		3530
沸点, °C		4300	6000	6000	3900		5100
颜色		灰	灰绿	灰	银灰		
空气中激烈氧化的 温度, °C		1100— 1400		500— 800	800— 1100		1100— 1400
结晶类型		面心立方	六方	六方	面心立方	面心立方	面心立方
热 力 学 数 据	ΔH_{298K}° , kJ/mol	-183.3	-54.4	-35.2	-117.2		-188.3
	ΔG_{298K}° , kJ/mol	-179.9	-60.7	-37.1	-115.1		-148.5
	ΔS_{298K}° , J/(mol·K)	-10.9	20.9	6.3	-6.7		-133.5

表 1-2 常见硅化物的性质

硅化物 性质	Mg ₂ Si	CaSi	CaSi ₂	LaSi ₂	CeSi ₂	Mn ₃ Si	MnSi	MnSi ₂	Ti ₃ Si ₂
分子量	76.69	68.16	96.24	195.11	128.66	192.89	83.02	111.1	319.69
硅化物中 Si 含量, %	36.61	41.2	58.35	28.8	21.82	14.55	33.81	25.27	26.3
结构型式	正方	—	三方或六方	体心四方	体心四方	六方	正方	三方	六方
密度, g/cm ³				5.05	5.31		5.88		4.32
熔化温度, °C									2120
生成热, kJ/mol (硅化物)			(-315.3)			(-434.9)			-941.4 (±251.0)

硅化物 性质	TiSi ₂	V ₃ Si	VSi ₂	NbSi ₂	Ta ₃ Si	Ta ₂ Si	TaSi ₂	Cr ₃ Si	Cr ₂ Si
分子量	103.25	180.9	107.1	149.06	389.97	446.13	237.1	184.07	132.07
硅化物中 Si 含量, %	54.2	15.5	52.5	37.7	7.2	19.4	11.84	15.26	21.26
结构型式	正菱形	正方	六方	六方	四方	六方	六方	正方	四方?
密度, g/cm ³	4.13	5.67	4.71	5.29	12.4		8.83	6.52	
熔化温度, °C	1540	1730	1670	1950—2150	2460		2200	1710±50	
生成热, kJ/mol (硅化物)	-234.3 (±41.8)			-644.3 (±251.0)			-209.2 (±66.9)		