

材料工程基础

谢希文 过梅丽 主编

北京航空航天大学出版社

材料工程基础

谢希文 过梅丽 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是《材料科学基础》的姐妹篇。后者侧重于阐述材料结构、组织与性能之间的关系,而本书则侧重于材料(金属、高聚物、陶瓷和复合材料)的合成、制备、加工与失效分析的基本原理和基本方法,同时注意把传统材料、传统技术与新材料、新技术相结合,以使读者能够全面掌握材料工程的发展概况。

本书可作为高等院校材料学和相关专业的教科书和主要参考书,也可供有关专业的工程技术人员自学与参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料工程基础/谢希文等编著. - 北京:北京航空航天大学出版社,1999.6

ISBN 7-81012-874-4

I. 材… II. 谢… III. 材料科学-高等学校-教材 IV. T
B3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 13244 号

材料工程基础

主编:谢希文 过梅丽

责任编辑:刘宝俊

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市学院路 37 号,邮编 100083 发行部电话(010)82317024

<http://www.buaapress.cn.net>

E-mail:pressell@publica.bj.cninfo.net

铁道部第十八工程局印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:212 千字

1999 年 7 月第 1 版 1999 年 7 月第 1 次印刷 印数:2000 册

ISBN 7-81012-874-4/TB·066 定价:15.50 元

前 言

为了拓宽学生的知识面,从1988年开始,北京航空航天大学材料科学与工程系的学生,都要学习本系的第一门公共必修课——“材料科学与工程导论”。这是本系的第一门专业基础课,其中心内容是阐明材料的性能和行为与其成分、结构、加工工艺之间的关系。在原编讲义和教学实践基础上,1991年12月由北京航空航天大学出版社正式出版了《材料科学与工程导论》教材。

1997年,为适应新版教学计划并便于安排教学,我们在总结了《材料科学与工程导论》1991年版本使用效果的基础上,对全书进行了修订,并将它分为《材料科学基础》和《材料工程基础》两个分册,前者侧重于材料结构、组织与性能之间的关系,后者侧重于材料的合成、制备、行为特征和失效分析。本书就是《材料工程基础》分册。

本书的绪论和第十二、十三章由过梅丽编写,第一、二、三、四、五、六章由王 贵编写,第七、八、九、十章由徐永利编写,第十一章由王善琦编写,第十四章由张 铮编写,第十五章由田蔚编写,全书由谢希文和过梅丽主编,并由沈达钧教授审阅。

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,欢迎使用本书的读者批评指正。

编 者

1998年12月于北航

目 录

绪论	1
 第一篇 金属材料及其制备和加工工艺	
第一章 金属材料的制备——冶金	5
§ 1.1 冶金工艺	5
§ 1.2 钢铁冶炼	8
§ 1.3 有色金属冶炼	12
习 题	15
参考文献	15
第二章 铸 造	16
§ 2.1 铸件成形基本原理及金属的铸造性能	16
§ 2.2 砂型铸造	19
§ 2.3 特种铸造	21
习 题	28
参考文献	29
第三章 金属压力加工	30
§ 3.1 锻 造	30
§ 3.2 板料冲压	36
§ 3.3 轧制和挤压	41
习 题	45
参考文献	46
第四章 金属材料热处理	47
§ 4.1 热处理的理论基础	47
§ 4.2 钢的热处理	48
§ 4.3 固溶与时效处理	62
习 题	66
参考文献	66
第五章 金属的焊接	67
§ 5.1 焊接的分类及金属的可焊性	67

§ 5.2 熔化焊·····	68
§ 5.3 压力焊·····	75
§ 5.4 钎 焊·····	77
§ 5.5 焊接缺陷及其检验·····	79
习 题·····	83
参考文献·····	84
第六章 工程合金 ·····	85
§ 6.1 黑色金属·····	85
§ 6.2 有色合金·····	89
§ 6.3 精密合金·····	93
§ 6.4 特种金属材料·····	98
习 题·····	102
参考文献·····	102
第二篇 陶瓷材料及其制备和加工工艺	
第七章 陶瓷原料的制备 ·····	103
§ 7.1 概 述·····	103
§ 7.2 陶瓷原料(粉体)物理性能的特征与陶瓷粉体的制备方法·····	105
习 题·····	110
参考文献·····	111
第八章 陶瓷的成形原理及工艺 ·····	112
§ 8.1 配料及混料·····	112
§ 8.2 陶瓷的成形方法·····	113
习 题·····	116
参考文献·····	117
第九章 陶瓷的烧结原理及工艺 ·····	118
§ 9.1 陶瓷的烧结理论·····	118
§ 9.2 陶瓷的烧结方法·····	121
§ 9.3 陶瓷烧结后的处理·····	122
习 题·····	123
参考文献·····	124
第十章 典型的陶瓷材料 ·····	125
§ 10.1 结构陶瓷·····	125
§ 10.2 功能陶瓷·····	129

§ 10.3 陶瓷耐火材料·····	134
§ 10.4 玻 璃·····	134
习 题·····	137
参考文献·····	138

第三篇 高分子材料与复合材料的制备和加工工艺

第十一章 聚合物的制备·····	139
§ 11.1 概 述·····	139
§ 11.2 加聚型聚合物的制备·····	140
§ 11.3 缩聚型聚合物的制备·····	143
习 题·····	145
参考文献·····	145
第十二章 高分子材料·····	146
§ 12.1 塑 料·····	146
§ 12.2 橡 胶·····	155
§ 12.3 合成纤维·····	159
§ 12.4 胶粘剂·····	159
习 题·····	160
参考文献·····	161
第十三章 复合材料·····	162
§ 13.1 复合材料的概念·····	162
§ 13.2 弥散增强复合材料·····	162
§ 13.3 颗粒增强复合材料·····	163
§ 13.4 纤维增强复合材料·····	164
§ 13.5 纤维增强复合材料的成形工艺·····	170
§ 13.6 夹层结构·····	172
§ 13.7 复合材料特点概述·····	173
习 题·····	173
参考文献·····	174

第四篇 材料的失效与防护工程

第十四章 机械失效与防护·····	175
§ 14.1 机械失效与失效分析·····	175
§ 14.2 失效分析的思路与程序·····	177
§ 14.3 金属材料的机械失效模式及失效机理·····	177

§ 14.4 陶瓷材料与高分子材料的失效模式及失效机理·····	183
§ 14.5 材料失效的预防·····	183
§ 14.6 材料的质量控制及检验·····	187
§ 14.7 材料的无损检测技术·····	187
习 题·····	191
参考文献·····	192

第五篇 材料工程新技术

第十五章 材料工程新技术·····	193
§ 15.1 低维材料·····	193
§ 15.2 纳米材料·····	195
§ 15.3 化学气相沉积·····	197
§ 15.4 物理气相沉积·····	198
§ 15.5 激光沉积与激光釉化·····	200
习 题·····	202
参考文献·····	202

绪 论

材料科学与工程的重要性是不言而喻的。历史上,石器时代、青铜器时代、铁器时代,都以材料为标志划分;当今,在以电子工程、空间技术、海洋工程、能源工程、生物工程等为代表的新技术革命浪潮中,任何一项工程都离不开新材料;超大规模集成电路离不开超纯半导体材料;先进的航天飞行器离不开耐高温、耐低温、耐辐照、耐腐蚀、耐烧蚀的轻质高强结构材料;新能源的开发离不开实现能量转换的功能材料……而各种材料的制备、加工和应用,则又无一例外地依赖于适当的工程手段来实现。所以,在人类经历了农业时代、工业时代而步入信息时代的进程中,有眼光的政治家和科技工作者,不仅看到了电脑、电话和电视,而且还认识到,支撑这个信息社会的重要柱石之一,正是材料科学与工程。

不过,把材料科学与工程作为一个领域并对其内涵产生较为深刻的理解,仅仅是近 30 年来的事。目前,业已取得共识:材料科学与工程包括四个要素——组成与结构、性能、使用效能、合成与加工,四者之间密切关联。这里所说的使用效能是指材料在使用条件下的表现,如使用环境、受力状态对材料性能与寿命的影响等。使用效能是决定材料能否得到发展或大量使用的关键。有些材料的实验室测定值相当吸引人,而在实际使用中却表现很差,以致难以推广。只有采取有效措施改进材料,才能使之具有真正的使用价值。事实上,每当创造、发展一种新材料,人们首先关注的必然是材料表现出来的性能及其使用效能。研究表明,材料的性能与使用效能取决于它的组成与各个层次上的结构(包括宏观层次、显微层次、原子分子层次和电子层次),后者又取决于合成与加工。因此,材料科学家和工程师们的任务就是研究这四个要素以及它们之间的相互关系,并在此基础上创造新材料,满足社会要求,推动社会发展。

材料科学与工程的任务决定了它具有物理学、化学、冶金学、陶瓷学、计算数学等多学科交叉与结合的特点。实验室的研究成果必须通过工程研究与开发以确定合理的工艺流程,通过中间试验后才能生产出符合要求的材料。各种材料在信息、交通运输、能源及制造业的使用中,可能会暴露出问题,需反馈于研究与开发,进行改善后再回到各应用领域。如此通过应用与改进多次反复,才能成为成熟的材料。即使是成熟的材料,随着科学技术的发展与需求的推动,还要不断加以改进。

在材料科学与工程这个整体中,相对而言,科学侧重于发现和揭示四要素之间的关系,提出新概念、新理论;而工程则侧重于寻求新手段实现新材料的设计思想并使之投入应用,两者相辅相成。这里仅举两个简单例子。

尼龙纤维是大家熟知的一种合成纤维,目前已广泛应用于工业和日常生活之中。不过,当初(1928年)杜邦公司开展对尼龙的研究,原本是基础性的,并无明确的产品目标。当时人们对天然纤维的成纤机理还认识不足,虽然业已发现它们都由相对分子质量很高的聚合物组成,也已观察到蚕丝是蚕从唾腺中分泌出的一种液体遇到冷空气后凝固而成的,但当时的人造丝所用的原料实际上也还是天然纤维素。后来,在著名高分子科学家 Carother 的率领下,基础研

究成果卓著:有机化学家们成功地合成了一系列高相对分子质量的聚合物,如聚酯、聚酰胺(尼龙)、聚酐等;物理化学家们在性能研究中发现,用玻璃棒能把聚酯熔体拉成线,这种线在冷拉中能伸长好几倍,得到的细纤维远远比未拉伸时强得多。与此同时,物理学家在 X 射线衍射研究中又发现,拉伸聚酯纤维中的晶粒取向与蚕丝中的相同,纤维的高强度源自分子链的高度取向排列。科学家们因此看到了制备和应用合成纤维的可能性。只是由于当时的聚酯熔点较低,又比较容易溶于溶剂,一时忽视了它作为织物纤维的前景。30 年代,Carother 等人集中研究了尼龙,提出了熔融纺纤的新概念,并在一批制备人造丝方面富有经验的工程师们的努力下,发明了尼龙熔融纺纤技术。然而,紧接着就面临新的挑战:小分子物质的流体力学不适用于高分子物质纺纤设备的设计,铜质料筒中的熔体因铜的腐蚀而颜色变深,而当时的不锈钢还属发展初期。但在化学家、物理学家、金属学家和工程师们的共同努力下,终于在 1938 年推出了首批合成尼龙纤维产品,此后大量生产,成为半个世纪以来最重要的合成纤维之一。

另一个例子是光缆的发明与应用。1966 年,材料科学家从理论上提出可用光波进行通讯。然而,为实现这一目标,需首先解决大量工程技术问题。以贝尔实验室为例,从研究一开始,就由专业背景为电气工程和物理学的通讯系统工程师们论证光学波导纤维的性能指标,研究该种纤维所需的构型,发明各种可能的仪器设备,进行基本的测量。接着,又进一步组织玻璃技术专家、无机化学家与物理学家攻克了一系列技术关键,如稳定玻璃组成,降低吸收损耗,发明预成形坯制备方法,设计将预定的构型制成折射率满足要求的工艺方法以减少散射损耗,设计将预成形坯拉伸成纤并避免污染的方法,设计确保皮芯尺寸精度与同心度的措施,发明在成纤阶段在线施涂聚合物防护涂层的方法(包括聚合物材料本身),发明纤维加捻成束、成带和连接的技术,设计保证光缆能承受地下铺设和检修中可能受到的拉力和恶劣环境作用的措施,并设法在成本效益上超过传统的铜线和同轴电缆等等。10 年后,国际上出现了第一条试验性光纤通讯线路。1988 年建成第一条横贯两洋的海底光缆,其造价只有 1956 年所建同轴电缆的百分之一。

诸如此类的例子不胜枚举。纵观新材料的发展史,可以看到,对晶体位错的理解和对位错的控制,带来了一批高强度结构材料;对半导体电子结构,特别是对杂质影响的理解,导致以及超纯单晶硅的问世、掺杂工艺和光刻技术的发明,导致了晶体管和集成电路的诞生,并进而引发了一场微电子工业革命;对原子与分子的量子能级以及电子与光和其它射线耦合作用的理解,导致发明了激光和固态激光器,广泛应用于通讯和信息存储中。

1985 年至 1987 年,材料科学基础研究连续 3 年获得诺贝尔奖,奖励的成果分别为量子 Hall 效应的发现、隧道扫描电镜的发明和高临界温度超导体的合成。这些成果也同样与材料工程密切相关。量子 Hall 效应的发现在很大程度上依赖于材料科学与工程本身的进步。因为引起该项研究的动力正是对半导体近表面电子潜在的技术意义产生了浓厚的兴趣,而实验上的成功又应归功于当时已有可能极好地控制半导体的表面性能。隧道扫描电镜的发明,使人们能以令人难以置信的精度确定材料表面一个个原子位置,原子间距离哪怕只偏离正常相互作用距离的 1%,也能被探测出来。这一发明,大大推动了表面物理、电子化学和生物学的发展。汞在 4.3 K 以下电阻为零的超导现象早在 1911 年就被发现了,超导体在技术革命中的巨大潜力也早已被预见,但由于缺乏对超导机理的深刻认识,在随后的 60 年间,试图提高超导材料临界温度的努力收效甚微,直到 70 年代才获得了临界温度达 23 K 的金属化合物。之后又无进展,直到 1986 年才从一类全新的材料中有所突破,把临界温度提高到 39 K。在新思路

的指导下,超导材料的临界温度在两年内就被迅速提高到 125 K。而超导材料的广泛应用正有赖于材料脆性和临界电流低等问题的解决。

当人们被层出不穷的新材料、新技术所振奋时,常常会忽略传统材料与老技术的地位与作用。实际上,新材料的出现固然会降低传统材料的相对比例,但未必意味着传统材料绝对量的减少。正如工业革命的结果不但不会削弱农业,恰恰相反,机械化生产毫无疑问地在减少农业劳动力的同时大大提高了农作物的产量与质量。同样,信息时代的到来必然会激励各行各业的发展。而且,新材料与新技术也常常是在老材料与老技术的基础上发展起来的。例如,目前在结构材料中最受人们青睐的复合材料,可追本溯源到泥土与碎稻草制成的土坯或破布加浆糊制成的硬衬。

对于发展中国家来说,在可预见的若干年内,传统材料往往比新材料更为重要。因为它们正是国民经济的基础,与人民基本生活的关系极为密切;而且,传统材料量大面广,些微的改进,即能带来可观的效益。因此,对传统材料应给予足够的重视。统计数字表明,在钢、铝、钛、水泥、陶瓷、碳纤维、木材和聚丙烯这几种结构材料中,就性能价格比而言,除水泥与木材外,钢是最便宜的,所以钢铁是一种短时期内难以取代的材料,何况钢铁本身也在不断发展与改进。水泥的历史很长,但近年来国际上对水泥及其增强体的研究十分活跃,特别在结合本地资源综合利用中,大有可为。

值得指出的是,发展传统材料产业也包含大量的材料科学与工程问题,如改进产品质量,做好资源综合利用;改进工艺流程,提高产率,降低能耗,提高经济效益;采用新技术,使传统材料更新换代;研究环境保护措施等等。

基于上述认识,本书编著中有四项原则:一、作为《材料科学基础》的姐妹篇,本书侧重于材料工程基础;二、作为材料科学与工程本科专业基础教材,本书内容以当今四大材料(金属、高聚物、陶瓷和复合材料)的合成、制备、加工与失效分析的基本原理、基本方法为主线;三、对每一类材料而言,把传统材料、传统技术与新材料、新技术相结合;四、与材料工程多学科交叉与结合的特点相适应,全书由不同材料领域的教师集体编写。

鉴于材料工程具有很强的实践性,建议结合生产实践与实验学习本课程。



第一篇 金属材料及其制备和加工工艺

第一章 金属材料的制备——冶金

冶金是基于矿产资源的开发利用和金属材料生产加工过程的工程技术。迄今,地球上已发现 86 种金属元素,除金、银、铂等金属元素能以自然状态存在外,其他绝大多数金属元素都以氧化物(例如 Fe_2O_3)、硫化物(例如 CuS)、砷化物(例如 NiAs)、碳酸盐(例如 FeCO_3)、硅酸盐(例如 $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、硫酸盐(例如 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)等形态存在于各类矿物中,并与脉石、杂质共生形成不同的金属矿床。因此,要获得各种金属及其合金材料,必须首先通过各种方法将金属元素从矿物中提取出来,接着对粗炼金属产品进行精炼提纯和合金化处理,然后浇注成锭,轧制成材,才能得到所需成分、组织和规格的金属材料。

在现代工业社会,冶金工业作为国家经济建设的基础产业,在源源不断地为社会发展和国民经济的高速发展提供大量必需的金属材料。世界上众多国家与地区,都把冶金工业的发展作为直接衡量国民经济发展水平和综合实力的一个重要指标。

本章重点介绍一些常见的冶金工艺,并以钢铁、铜和铝等金属材料的冶金为例,说明金属冶金的一般过程。

§ 1.1 冶金工艺

金属的冶金工艺可以分为火法冶金、湿法冶金和电冶金三大类。

一、火法冶金

利用高温从矿石中提取金属或其化合物的方法称为火法冶金。火法冶金是生产金属材料的重要方法,钢铁及大多数有色金属(铝、铜、镍、铅、锌等)材料主要靠火法冶金方法生产。火法冶金存在的主要问题是污染环境。但综合来看,用火法冶金方法提取金属的成本较低,所以,火法冶金是生产金属材料的主要方法。

1. 火法冶金的基本过程

利用火法冶金提取金属或其化合物时通常包括矿石准备、冶炼和精炼三个过程。

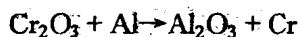
(1) 矿石准备

采掘的矿石含有大量无用的脉石,需要经过选矿以获得含有较多金属元素的精矿。经过选矿后,还需要对矿石进行焙烧、球化或烧结等。

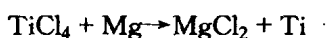
(2) 冶 炼

1107907

将处理好的矿石,用气体或固体还原剂还原为金属的过程称为冶炼。金属冶炼所采用的还原剂包括焦炭、氢和活泼金属等。以金属热还原法为例,用 Ca, Mg, Al, Na 等化学性质活泼的金属,可以还原出一些其他金属的化合物。例如,利用 Al 可以从 Cr_2O_3 还原出金属 Cr:



同样,利用 Mg 可以从 TiCl_4 还原出金属 Ti:



(3) 精 炼

冶炼所得到的金属含有少量的杂质,需要进一步处理以去除杂质,这种对冶炼的金属进行去除杂质提高纯度的处理过程称为精炼。

2. 火法冶金的主要方法

火法冶金包括的主要方法有提炼冶金、氯化冶金、喷射冶金和真空冶金等。

(1) 提炼冶金

提炼冶金是指由焙烧、烧结、还原熔炼、氧化熔炼、造渣、造锍、精炼等单元过程按照需要所构成的冶金方法。提取冶金是火法冶金中应用最广泛的方法。

(2) 氯化冶金

通过氯化物提取金属的方法称为氯化冶金。氯化冶金主要依靠不同金属氯化物的物理化学性质,来有效实现金属的分离、提取和精炼。轻金属和稀有金属的提取多采用火法氯化冶金。

(3) 喷射冶金

利用气泡、液滴、颗粒等高度弥散系统来提高冶金反应效率的冶金过程称为喷射冶金。喷射冶金是 70 年代由钢包中喷粉精炼发展起来的新工艺。

(4) 真空冶金

在真空条件下完成金属和合金的熔炼、精炼、重熔、铸造等冶金单元操作,以及研究金属液在真空中脱氧、脱气、挥发、二次沾污等反应的工艺原理和方法称为真空冶金。真空冶金是提高金属材料质量,保证高技术所必需的特殊材料生产的重要方法。

二、湿法冶金

湿法冶金是指利用一些溶剂的化学作用,在水溶液或非水溶液中进行包括氧化、还原、中和、水解和络合等反应,对原料、中间产物或二次再生资源中的金属进行提取和分离的冶金过程。湿法冶金包括浸取、固-液分离、溶液的富集和从溶液中提取金属或化合物等四个过程。

1. 浸 取

浸取是选择性溶解的过程。通过选择合适的溶剂使被处理过的矿石中包含的一种或几种有价值的金属选择性地溶解进入溶液,从而与其他不溶物质分离。根据所用的浸取液的不同,可分为酸浸、碱浸、氨浸、氰化物浸取、有机溶剂浸取等。在选择浸取液时,不仅要考虑它应具有高的浸取率和选择性好,而且要考虑它应易于过滤和回收。

2. 固-液分离

固-液分离包括过滤、洗涤或离心分离等操作。在固-液分离的过程中,一方面要将浸取的溶液与残渣分离,另一方面还要将留存在残渣中的溶剂和金属离子洗涤回收。

3. 溶液的富集

富集是对浸取溶液的净化和富集过程。富集的方法有化学沉淀、离子沉淀、溶剂萃取、膜分离或其他化学方法等。

4. 提取金属或化合物

在金属材料的生产中,常采用电解、化学置换和加压氢还原等方法来提取金属或化合物。例如用电解法从净化液中提取 Au, Ag, Cu, Zn, Ni, Co 等纯金属;而 Al, W, Mo, V 等多数以含氧酸的形式存在于净化液中,一般先析出其氧化物,然后用氢还原或熔盐电解制取金属。

目前,许多金属或化合物都可以用湿法冶金方法生产。这种冶金方法在有色金属、稀有金属及贵金属等生产中占有重要地位。目前,世界上全部的氧化铝、氧化铀、约 74% 的锌、12% 的铜及多数稀有金属都是用湿法冶金方法生产的。湿法冶金的最大优点是对环境的污染较小,能处理低品位的矿石。

三、电冶金

利用电能从矿石或其他原料中提取、回收、精炼金属的冶金过程称为电冶金。电冶金主要包括电热熔炼、水溶液电解和熔盐电解三方面内容。

1. 电热熔炼

用电加热生产金属的冶金方法称为电热熔炼。铁合金冶炼及用废钢炼钢主要采用电热熔炼。电热熔炼包括电弧熔炼、等离子冶金和电磁冶金等。

(1) 等离子冶金

等离子是清洁能源,是电能转换为热能的最有效途径。等离子弧有非常高的能量密度,为超高温冶金提供了有力条件。等离子弧可以方便地控制气氛。无论是在大规模熔炼铁合金或有色金属、快速加热钢液或高炉风口方面,还是在惰性气氛下重熔或熔铸金属方面,都有广阔的发展前景。

(2) 电磁冶金

利用电磁感应金属熔体内产生可控流动的冶金过程称为电磁冶金。早期利用电磁力对钢包和连铸坯的钢液进行搅拌以改善钢的质量;近来又发展了悬浮熔炼、冷坩埚熔炼、电磁铸造等。电磁冶金对于防止耐火材料污染金属、熔炼难熔及活泼金属具有重要作用。

2. 水溶液电解

在电冶金中,应用水溶液电解精炼金属称为电解精炼或可溶阳极电解;

而应用水溶液电解从浸取液中提取金属称为电解提取或不溶阳极电解,如图 1.1 所示。

(1) 电解精炼

以铜的电解精炼为例,将火法精炼制得的铜板作为阳极,以电解产出的薄铜片为阴极,置

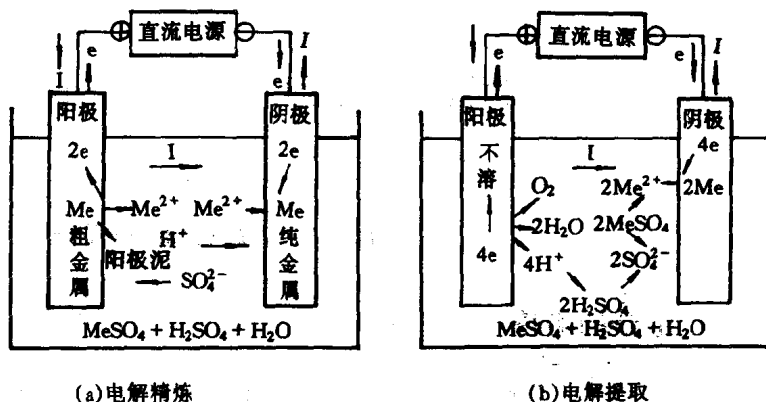
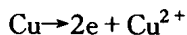
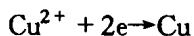


图 1.1 电解精炼和电解提取示意图

两极于充满电解液的电解槽中。在两极间通以低电压大电流的直流电。这时,阳极将发生电化学溶解:



阳极反应使得电解液中 Cu^{2+} 浓度增大,由于其电极电位大于零,故纯铜在阴极上沉积:



阳极被精炼的铜中包括的比铜电极电位高的稀贵金属和杂质将以粒子形式落入电解槽底部或附于阳极形成阳极泥,比铜电极电位低的杂质元素以离子形态留于电解液中。

生产中,金、银、铜、钴和镍等金属大都采用这种电解方法进行精炼。

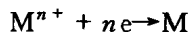
(2) 电解提取

电解提取是从富集后的浸取液中提取金属或化合物的过程。这种方法采用不溶性电极,溶剂可以经过再生后作为浸取液重复使用。

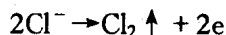
3. 熔盐电解

铝、镁、钠等活泼金属无法在水溶液中电解,必须选用具有高导电率、低熔点的熔盐(通常为几种卤化物的混合物)作为电解质在熔盐中进行电解。

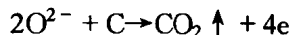
熔盐电解时,阴极反应是金属离子的还原:



通常用碳作为阳极。例如电解 MgCl_2 时,阳极的反应如下:



Al_2O_3 在冰晶石中电解时,阳极将生成 CO_2 :



§ 1.2 钢铁冶炼

钢铁冶炼包括从开采铁矿石到使之变成供制造零件所使用的钢材和铸造生铁为止的全过程。其基本过程如图 1.2 所示。

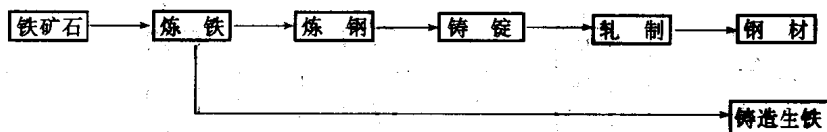


图 1.2 钢铁生产的基本流程

一、生铁的冶炼

生铁是用铁矿石在高炉中经过一系列的物理化学过程冶炼出来的。高炉炼铁的基本过程如图 1.3 所示。

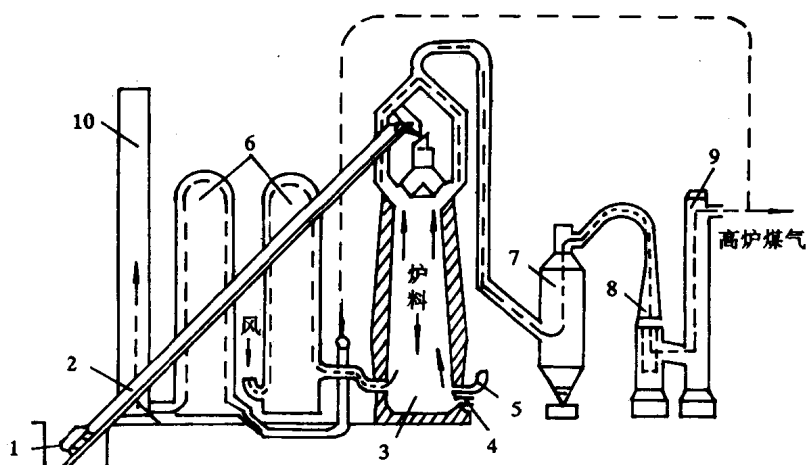


图 1.3 高炉炼铁过程示意图

1——料车；2——上料斜桥；3——高炉；4——铁渣口；5——风口；
6——热风炉；7——重力除尘器；8——文氏管；9——洗涤塔；10——烟囱

1. 炼铁的原料

炼铁的原料主要包括铁矿石、熔剂、耐火材料及燃料。

(1) 铁矿石

常见的铁矿石包括赤铁矿(Fe_2O_3)、褐铁矿($2\text{FeO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、磁铁矿(Fe_3O_4)、菱铁矿(FeCO_3)等。铁矿石中除含有铁的化合物之外,还含有一些其他元素的氧化物,例如 SiO_2 , CaO , HgO , Al_2O_3 等,这些氧化物称为脉石。

(2) 熔剂

炼铁时加入熔剂的主要目的是除去矿石中的脉石。熔炼时,熔剂和脉石反应生成熔点低、相对密度小的熔渣,浮于铁水上面,便于除去。

(3) 耐火材料

耐火材料是用于砌筑高炉、炼钢炉等炉衬的材料。

(4) 燃料

炼铁使用的燃料主要是焦炭。

2. 冶炼生铁的主要装置——高炉

冶炼生铁所使用的主要装置是高炉,其结构如图 1.4 所示。在炼铁时,炉料(矿石、燃料和熔剂)从炉顶进入炉内,在自身重力作用下,自上而下运动;同时,热风从炉子下部进入,使燃料燃烧,产生的热炉气不断向上运动。这样,在炉气和炉料之间不断进行热交换的条件下,它们之间进行了一系列的物理化学作用,矿石逐步被还原,并熔化成铁水,从炉子下部的出铁口流出。

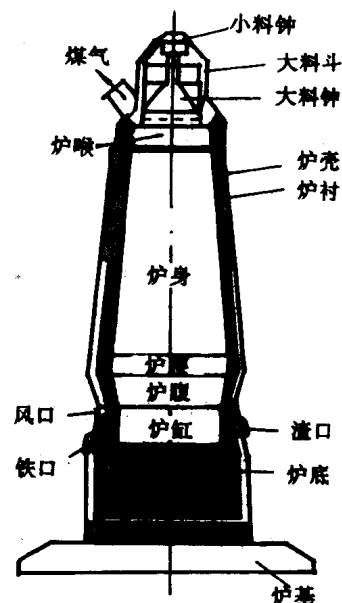


图 1.4 高炉内型示意图

3. 炼铁时高炉中的物理化学过程

高炉冶炼的目的是把铁矿石炼成生铁。因此,冶炼过程就是对矿石进行铁的还原过程和除去脉石的造渣过程。其主要反应过程如下: