



满一新 主编

轮机工程材料

大连海事大学出版社

轮机工程材料

满一新 主编

大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

轮机工程材料/满一新主编.-大连:大连海事大学出版社,1996

ISBN 7-5632-0971-9

I. 轮…

Ⅱ. 满…

Ⅲ. 船舶-柴油机-机械制造材料

Ⅳ. O664.131

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 10249 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026)

鞍山市第三印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14

字数:349 千 印数:0001~5000

定价:19.80 元

内容提要

本书是在《轮机金属材料》(大连海事大学出版社,1990年版)一书的基础上增加非金属材料等内容,并根据轮机管理专业及船上工作实际需要编写和修订的。

全书共十三章,包括四部分内容:金属学原理、热处理、金属材料和非金属材料、船机零件的材料和热处理。

本书可作为高等和中等海运院校轮机管理专业和船舶机械制造与修理专业的教材,也可供船舶轮机人员、航运机务人员和修船厂工程技术人员学习参考。

前 言

《轮机工程材料》一书是根据大连海事大学轮机管理专业工程材料课程教学大纲编写的。

《轮机工程材料》是为船舶轮机管理专业和船舶工程(船机修造)专业的学生及船上轮机人员、船舶机务管理人员和船厂工程技术人员编写的专业技术基础书籍。本书可以使读者学习掌握有关金属材料内部组织与性能之间关系的基本理论、热处理基本理论和工艺、各类金属材料和非金属材料的性能和应用及船舶动力装置主要机件选材等知识,为轮机员和船舶工程技术人员进行船机零件失效分析、配换零件选材和热处理及船舶监修监造中的验收工作等打下基础。

本书是在《轮机金属材料》(1990年版)的基础上进行修订的。由于非金属材料在船舶上的应用日益增多,学生了解和掌握这方面的知识是很必要的。为此增加第一章绪言——物质的状态、固态物质的结合键等;第十二章非金属材料——高分子材料、陶瓷和复合材料。使学生对材料的了解更加全面,以适应船上日益增多的非金属材料零件的使用和管理需要。为了精减内容、避免重复,对相关章节作了归并,例如把热处理原理和工艺合为一章,把碳钢与合金钢并为一章。同时将原书名《轮机金属材料》改为《轮机工程材料》,使之更符合实际内容。

《轮机金属材料》一书的1983年第一版、1990年第二版均被一些兄弟院校选作教材。本书是在广泛征求读者意见的基础上,总结《轮机金属材料》第二版投入使用五年来的教学经验,吸收先进理论和工艺,以提高本科教学质量及充分体现专业特点为原则进行编写的。

本书第二章~第七章由李兴无编写;第一章,第八章~第十三章由满一新编写;全书插图由吴大东绘制;金相组织照片由刘之敏拍摄。全书由满一新教授主编,严立教授和黑祖昆教授主审。

由于水平和时间所限,书中难免有缺点和错误,诚盼读者批评指正。

编 者

1995年8月

目 录

第一章 绪言	1
第一节 物质的状态	1
第二节 固态物质的结合键	2
第三节 工程材料的分类	5
第二章 钢铁材料生产	6
第一节 钢铁生产简介	6
第二节 钢材生产	10
第三节 毛坯生产	12
第三章 金属材料的性能	19
第一节 金属的机械性能	19
第二节 金属的工艺性能和物理、化学性能	25
第四章 金属的晶体结构和结晶	27
第一节 金属的特性	27
第二节 金属的晶体构造	28
第三节 金属的结晶过程	33
第四节 铸锭与焊缝的组织	37
第五章 金属的塑性变形和再结晶	39
第一节 单晶体金属的塑性变形	39
第二节 多晶体金属的塑性变形	42
第三节 塑性变形对金属组织和性能的影响	43
第四节 变形金属在加热过程中的变化	45
第五节 金属的热变形	47
第六章 合金的构造与合金相图	49
第一节 合金的构造	49
第二节 合金相图	51
第三节 合金的性能与相图的关系	59
第七章 铁碳合金相图	61
第一节 Fe-Fe ₃ C 相图	61
第二节 典型铁碳合金的结晶过程	67
第三节 铁碳合金的成分与其组织和性能的关系	70
第四节 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	71
第八章 钢的热处理	74
第一节 钢在加热时的组织转变	74

第二节	钢在冷却时的组织转变	77
第三节	钢的退火与正火	86
第四节	钢的淬火	88
第五节	淬火钢的回火	92
第六节	钢的表面改性热处理	95
第九章	工业用钢	99
第一节	钢中的杂质与合金元素	99
第二节	碳素钢的分类、牌号和用途	104
第三节	合金钢的分类、牌号与性能特点	111
第四节	船舶动力装置用合金结构钢	113
第五节	合金工具钢	118
第六节	特殊性能合金钢	121
第十章	铸铁	127
第一节	灰口铸铁生产	127
第二节	灰口铸铁	130
第三节	可锻铸铁	133
第四节	球墨铸铁	134
第五节	蠕墨铸铁	136
第六节	特殊性能铸铁	137
第十一章	有色金属及其合金	140
第一节	铜及铜合金	140
第二节	铝及铝合金	146
第三节	钛及钛合金	148
第四节	轴承合金	149
第十二章	常用非金属材料	155
第一节	高分子材料	155
第二节	工程塑料	166
第三节	合成材料	172
第四节	陶瓷材料	176
第五节	复合材料	181
第十三章	船机主要零件的材料和热处理	185
第一节	曲轴	185
第二节	连杆	187
第三节	气缸套	189
第四节	活塞	191
第五节	活塞销	192
第六节	活塞环	194
第七节	气阀	196
第八节	精密偶件	197

第九节 滑动轴承.....	199
第十节 重要螺栓.....	202
第十一节 涡轮叶片.....	202
第十二节 螺旋桨.....	203
第十三节 船舶管路.....	206
附录 国内外常用钢号对照表.....	211
参考文献.....	213

第一章 绪 言

第一节 物质的状态

自然界中的一切物质均是由元素组成,但由单一纯元素构成的物质较少,大多数是由多种元素构成。物质以气体、液体和固体三种形态存在。

作为物质体系的基本组成单元——离子、原子或分子等粒子,在组成物质时彼此之间产生相互作用的力和相互作用的势能;粒子自身也处于不停的热运动中,因而具有动能。粒子之间相互吸引而结合在一起。粒子间的吸引力大小与粒子间的距离有关,距离越近吸引力越大,粒子结合得越紧;粒子间的吸引力随其温度升高而减小,温度越高粒子热运动越剧烈,粒子的分离趋势增大。

物质的状态决定于粒子之间的相互作用及其热运动。随温度、压力等外界条件不同,物质有不同的状态。

一、气体状态

气体状态是一种最简单的粒子体系。气体粒子具有一定的动能,其值远远超过粒子之间的势能,所以是彼此独立的。粒子之间相距很远,各自作无规则的运动,粒子间的作用力很小。

二、液体状态

当温度降低时,处于气体状态的粒子的无规则运动减弱,彼此的间距减小,相互作用显著增强。在较低的温度或较大的压力下,物质由气体状态变为凝聚状态。此时粒子的动能小于粒子间的势能,粒子间的结合力增强,如果一个粒子被激发将波及邻近粒子。

凝聚状态下的粒子之间的引力使其能够承受热的冲击而不分开,但不能使粒子在较长距离内呈有序排列,此时物质处于液体状态。

三、固体状态

当粒子之间的距离很近,相互作用的势能比粒子的动能大得多时,物质处于固体状态。按粒子排列的特点,固体分为无定形体和晶体两大类。

1. 无定形体

无定形体又称为非晶体,实为过冷的液体,例如玻璃、塑料等。此类固体的特点是:粒子的排列呈短程有序,此类物质没有固定的熔点,只有一个软化的温度区间,各向同性。从能量观点来分析,非晶体具有较高的能量,结构不稳定,在一定条件下可以转变为晶体。非晶态还称为玻璃态。

2. 晶体

大多数固体是晶体。构成晶体的离子、原子或分子在三维空间有规则周期性重复排列,其长度可达整个固体,即具有远程有序的特点。此外晶体还具有固定的熔点及各向异性的特点。工程上广泛应用的材料是晶体材料,如金属材料。在特殊情况下还有一种介于晶体和液体之间

的物质,即液态晶体,简称液晶。它在一定温度范围内既保持液体的流动性和连续性,同时又保持晶体的有序排列结构。这是一类有重要工程价值的新型材料。

晶体中的原子能够有规则地排列是由于原子之间的相互作用力平衡的结果。当两个原子接近并发生相互作用时,原子核不发生变化,只是外层电子重新分布。这种相互作用本质上为静电作用,包括吸引和排斥作用。异性电荷之间产生吸引力,是一种长程力,从比原子间距大得多的距离处开始作用(吸引力为负值),如图 1-1a) 中 $f_{\text{吸}}$ 曲线所示;同性电荷之间的斥力和原子相互接近时轨道电子的电子云相互重叠所引起的斥力均属于短程力,即只有原子之间的距离接近原子间距时才有显著作用。随着原子之间距离进一步减小,斥力迅速增大,增大的速度大于引力的增加(排斥力为正值),如图 1-1a) 中 $f_{\text{斥}}$ 曲线所示。原子间总的相互作用力 $f_{\text{总}}$,即吸引力 $f_{\text{吸}}$ 与排斥力 $f_{\text{斥}}$ 的合力,随原子之间的距离而变化,如图 1-1a) 中 $f_{\text{总}}$ 曲线所示。

$f_{\text{总}}$ 曲线与横坐标交于 A 点, A 点的合力为零,即原子之间距离为 a_0 时,吸引力与排斥力平衡,原子间相互作用的势能最小,如图 1-1b)。当原子之间距离小于 a_0 时,斥力大于引力,总的作用力为斥力;当原子之间距离大于 a_0 时,引力大于斥力,总的作用力为引力。所以,欲将相距为 a_0 的原子拉近或拉远,都要相应地对斥力或引力作功,引起能量的增加。

此种分析也适用于凝固体。只有当凝固体中原子相距为平衡距离,作规则排列形成晶体,对应于最低能量分布时,才处于稳定状态。图 1-1b) 中平衡位置 A 点对应的最低势能 E_0 为晶体原子的结合能,相当于把原子完全拆散所需做的功,是影响物质状态,决定晶体结构和性能的最本质的因素。

在各种元素的结合能中,以惰性气体的结合能最小,碱金属中等,过渡族金属极大。共价键结合的碳原子间也具有极强的结合能。此外,离子晶体的结合能也非常强。

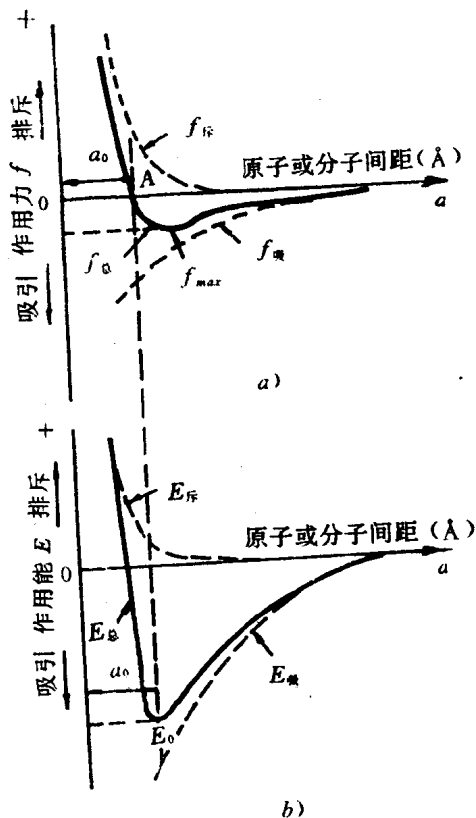


图 1-1 原子间的相互作用
a) 相互作用力; b) 相互作用势能

第二节 固态物质的结合键

使原子稳定地结合在一起的力叫结合键。物质在固体状态下,当原子(离子或分子)聚集为晶体时,是靠彼此的结合力或结合键连结在一起的。由于核外电子相互作用的方式不同,有不同的结合键。由电子运动使原子聚集的结合力为化学键,为固体中的主要结合键。化学键包括离子键、共价键和金属键。分子在聚集过程中不发生电子运动的结合力为分子键,属于物理

键。结合键的强弱用键能或结合能表示。依结合键不同,固体分为离子晶体、共价晶体、金属晶体和分子晶体。

一、离子键和离子晶体

当正电性元素与负电性元素接触时,正电性元素的原子失去最外层电子成为正离子,负电性元素的原子获得电子成为负离子。正、负离子由静电引力作用而结合,它们之间形成稳定的离子键。例如金属原子和非金属原子之间的结合即为离子键。

由离子键结合的固体为离子晶体。离子键结合要求正负离子相间排列,且使异性离子间的引力最大、同性离子间的斥力最小。氯化钠是典型的离子晶体,如图 1-2 所示,带正电荷的 Na^+ 和带负电荷的 Cl^- 依静电引力相互吸引。当它们十分接近时发生排斥,产生斥力,直至引力与斥力相等而平衡形成稳定的离子化合物 NaCl 。

一个 Na^+ (或 Cl^-) 可以和几个 Cl^- (或 Na^+) 结合,不受电价数限制,只受空间因素的影响。所以离子键没有饱和性。由于离子的电荷分布呈球形对称,从任意方向都可吸引异性离子,所以离子键也没有方向性。

离子键的结合力很大,使离子晶体的硬度高、强度大、热膨胀系数小,但脆性大。离子键中无自由电子,所以离子晶体是良好的绝缘体。又因其不吸收可见光,而使典型的离子晶体为无色透明体。

二、共价键和共价晶体

两个相同原子或性质相近的两种元素的原子结合时,不发生电子转移,以同时属于它们的

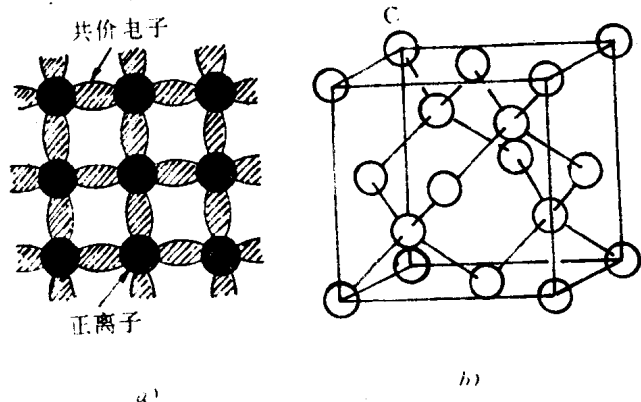


图 1-3 共价键和金刚石共价晶体

共用的价电子形成的负电荷与带正电荷的原子核之间的静电作用而结合。这种由共用价电子对产生的结合键称共价键。由共价键结合成的固体称共价晶体。许多陶瓷材料具有共价键,金刚石是典型的共价晶体,如图 1-3 所示。由于共价晶体中的粒子为中性原子,故又称为原子晶体。

金刚石由碳原子组成,每个碳原子提供 4 个价电子与周围 4 个碳原子共用,形成 4 个共价键,构成一个

正四面体:1 个碳原子在中心,与其共价的 4 个碳原子在 4 个顶角上。硅、锗、锡等元素和 SiC 、

Si_3N_4 、BN 等化合物均可构成共价晶体。

共价键的结合力很大,共价晶体的强度和硬度高,脆性大,熔点和沸点高而挥发性低,结构较为稳定。因共用电子不能自由运动,所以共价晶体导电性差。

三、金属键和金属晶体

固态金属原子的最外层轨道上的电子数少且容易丢失。金属原子失去电子而成带正电荷的正离子,它按照一定的规则排列并在其位置上作高频振动。被丢失的价电子自由运动于正离子之间,形成电子气,这些公有化的电子称自由电子。正离子沉浸在电子气中,它们之间产生强烈的静电作用而与金属离子结合起来,这种结合力称为金属键。以金属键结合的固体金属称为金属晶体,如图 1-4 所示。绝大多数的金属元素是以金属键结合。固态金属晶体内部原子呈周期性有规则的排列,具有固定的熔点和各向异性。

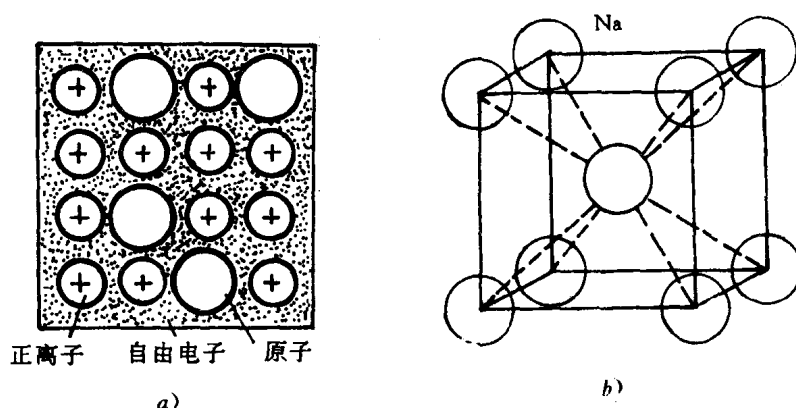


图 1-4 金属键和金属晶体

四、分子键和分子晶体

某些物质的原子、分子在结合过程中没有电子的得失、共用或公有化,是依靠各自内部电子的不均匀分布产生较弱的静电引力结合。这种分子间的相互作用称为分子键或物理键。这种相互作用是由范德瓦尔斯(Van de Wals)首先提出的,所以把原子或分子间微弱的结合力称为范德瓦尔斯力。

范德瓦尔斯力实际上是分子偶极之间的作用力。通常,非极性分子是没有偶极的,因为在平均情况下非极性分子内部正负电荷中心重合。但实际上在每一瞬间正负电荷中心并不重合,而使分子一端带正电,另一端带负电,形成瞬时偶极。偶极之间能够相互作用,所以当非极性分子彼此靠近时,产生瞬时偶极之间的吸引力。这种分子力称为色散力,由此力构成范德瓦尔斯力。当极性分子和非极性分子接近时,除产生色散力外,由于非极性分子受极性分子的感应形成诱导偶极,诱导偶极与极性分子的永久偶极之间产生吸引力,称为诱导力。所以范德瓦尔斯力是由色散力和诱导力组成。当极性分子彼此靠近时产生的范德瓦尔斯力是由色散力、诱导力和取向力(永久偶极在空间分布时产生的力)组成。

以分子键结合的固体称为分子晶体。大部分有机化合物的晶体和 CO_2 、 SO_2 、 HCl 、 H_2 、 N_2 、 O_2 等在低温下形成的晶体都是分子晶体。一般,在分子晶体中主要是色散力起作用。由于范德瓦尔斯力很弱,所以分子晶体的结合力很小,熔点很低,硬度也很低。

五、氢键和氢键晶体

在含氢的物质中,特别是含氢的聚合物中有一种结合力即氢键。一般,一个中性氢原子只和一个另外的原子形成一个共价键。但是,在一定条件下,一个氢原子可以同时和电子亲和能

大、原子半径较小的两个原子,如F、O、N等相结合。这种结合力即为氢键。

氢键主要产生于氢原子与某一原子形成共价键时,它们的共用电子强烈地偏向该原子,使氢原子几乎变成一个半径很小的带正电荷的核,致使氢原子还可以与别的原子相吸引,形成附加键。氢键是一种较强的、有方向性的范德瓦尔斯键。属于特殊的物理键,比一般的范德瓦斯键强得多,但比离子键、共价键等弱得多。在许多情况下氢键有重要的作用。

以氢键为结合力的固体称为氢键晶体。冰就是氢键结合成的氢键晶体。

综上所述,固态物质原子间分别由上述四种结合键结合。但大多数晶体并非单纯由某一种键来结合,而往往是几种键综合作用。所以固体中的结合键不是单一的,我们对于原子间的结合情况不能有简单化和绝对化的认识。

第三节 工程材料的分类

根据材料性质和结合键的性质可把工程材料分为四大类。

一、金属材料

金属材料是重要的工程材料,包括金属和以金属为基的合金。铁和以铁为基的合金,即钢、铸铁和铁合金,为黑色金属;除黑色金属以外的所有金属及其合金则为有色金属。

纯金属中包括简单金属(内电子层填满或完全空着的元素)和过渡族金属(内电子层未完全填满的元素)。简单金属的结合键均为金属键;过渡族金属的结合键以金属键为主,其次是共价键和离子键。

二、陶瓷材料

陶瓷是一种或多种金属元素与一种非金属元素(通常是氧)的化合物。氧原子与金属原子主要以离子键结合,同时有一定成分的共价键。

陶瓷材料主要是金属氧化物和金属非氧化物的无机非金属材料。由于大部分无机非金属材料含有硅与其它元素的化合物,故又称硅酸盐材料。一般包括无机玻璃(硅酸盐玻璃)、玻璃陶瓷(微晶玻璃)和陶瓷等三类。

按照成分和用途,工业陶瓷分为普通陶瓷、特种陶瓷和金属陶瓷。

所有的陶瓷材料均具有很高的熔点和很高的硬度,且脆性较大。

三、高分子材料

高分子材料是有机合成材料,又称聚合物。高分子材料是由大量的分子量特别大的大分子化合物组成,大分子内的原子之间是共价键结合,大分子之间是分子键结合。

高分子材料种类很多,工程上分为塑料、橡胶与合成纤维三大类。

高分子材料具有较高的强度、良好的塑性、较强的耐腐蚀性能及很好的绝缘性等,是工程上发展最快的新型结构材料。

四、复合材料

复合材料是由两种或两种以上的不同材料组成的。它能充分发挥组成材料的优点,改善或克服其弱点;可以进行材料设计,创造出单一材料所不具备的性能。它在强度、刚度等性能上都比单纯金属、陶瓷、聚合物优越。复合材料是一类特殊的工程材料,具有很广阔的发展前景。

第二章 钢铁材料生产

金属材料是最重要的工程材料,包括金属和以金属为基的合金。由于金属与合金的性能满足机器零件的使用要求,因而各种机件大多以金属及其合金制造。随着科学技术的不断发展,金属及其合金的品种、数量、质量也在日益提高,它已成为衡量一个国家科学技术、国民经济水平和国防力量的重要标志之一。

工业上把金属及其合金分为两大部分,即黑色金属和有色金属。前者是指铁和铁基合金(钢、铸铁等);后者是指黑色金属以外的金属及其合金(如铝、铜、锌、镁、锡等及其合金)。其中应用最广泛的是黑色金属。

本章将对黑色金属中碳钢和铸铁的生产、金属及其合金被加工成半成品状态的钢材和铸锻件的生产作一简单介绍,以增加对钢铁生产、钢材和铸锻件生产的工艺知识。

第一节 钢铁生产简介

一、生铁的冶炼

炼钢必须先炼铁。炼铁的主要设备是炼铁炉,现代化炼铁炉高达 30m ~ 40m 以上,故又称为高炉。

炼铁的原料主要有铁矿石、燃料和熔剂等。

铁矿石主要含有铁的化合物,如 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 FeCO_3 等,并含有废石,如 SiO_2 、 MnO 等。

高炉用的燃料是焦炭。焦炭具有发热量高,有足够的强度,灰分和硫、磷含量少等特性。

熔剂是造渣材料,它能和矿石中的废石以及焦炭中的灰分组成低熔点的炉渣,以便与生铁分离。一般废石多为酸性,所以常用碱性熔剂如石灰石(CaCO_3)。

炼铁的原料从炉顶装入高炉中,层层相间。热风则从炉子下部的风口鼓入,使焦炭燃烧,产生大量高温炉气,并不断地上升。炉料接触高温炉气后,便发生一系列复杂的物理、化学反应。

1. 高炉炼铁的物理、化学过程

1) 焦炭的燃烧 焦炭被 $1000^\circ\text{C} \sim 1150^\circ\text{C}$ 的热风吹燃后,产生 1800°C 左右的高温($\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Q}$),由于底部焦炭层很厚, CO_2 气体上升过程中又被还原($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{CO}$),因此在炉内形成了良好的还原性气氛(式中 Q—热量)。

2) 铁的还原 铁矿石在高温还原气氛中,逐渐地由含氧较多的氧化物转变为含氧较少的氧化物,最后变成海绵状夹渣的纯铁。

3) 铁的增碳 海绵铁在 $900^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ 的高温下从 CO 和焦炭中吸收碳,形成铁碳合金,含碳量达到 3% 以上,这便是生铁。生铁在 1200°C 即可熔化成铁水,滴入炉缸。

4) 造渣 矿石中的废石和焦炭中的灰分,其主要成分是 SiO_2 和 Al_2O_3 ,熔点都很高。石灰石的主要成分是 CaO ,在 $1100^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ 时它们可发生反应,生成低熔点的硅酸盐炉渣浮在铁水表面,以便从出渣口定时排出。

5) 去硫 焦炭和矿石中都含有硫,并以 FeS 形式存在。炼铁时必须控制硫的含量,否则将会严重降低生铁的质量,进而在作为炼钢材料时使钢的质量降低。通常是用加入石灰石(CaCO_3),通过热分解生成 CaO 后除去硫($\text{FeS} + \text{CaO} \rightarrow \text{CaS} + \text{FeO}$),所生成的 CaS 将进入炉渣而被除去。

6) 其它元素的还原 铁矿石中还含有 SiO_2 、 MnO 和磷酸盐($\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_3$) 等杂质,在冶炼过程中也被还原成 Si 、 Mn 、 P 等元素,并部分进入铁水之中。

因此,从高炉中冶炼出来的并不是纯铁,而是以 Fe 和 C 为主并含有 Si 、 Mn 、 S 、 P 等杂质元素的多元合金,称为生铁。

2. 高炉产品

1) 生铁 根据生铁中含硅量多少将其分为两类:一类是含 $\text{Si} > 1.5\%$ 的铸造生铁,它是生产铸铁件的主要原料,其中碳主要以石墨形式存在。铸造生铁性软,断面呈灰色;另一类是含 $\text{Si} < 1.5\%$ 的炼钢生铁,它是炼钢的主要原料,其中碳是以 Fe_3C 形式存在。炼钢生铁性硬而脆,断面呈银白色。

2) 铁合金 高炉还可冶炼部分铁合金,如含 Si 或含 Mn 较高的硅铁和锰铁等。常用硅铁和锰铁作为炼钢时的脱氧剂或合金元素添加剂。

二、钢的冶炼

高炉冶炼的生铁含有较多的碳($> 3\%$) 和较多的硅、锰、硫、磷等杂质,因此生铁的强度和韧性很低,因而限制了生铁的应用。要改善生铁的性能,必须使含碳量降至某一范围,使硅、锰、硫、磷等杂质的含量降低到一定限度,这个过程叫炼钢。通过把生铁中的杂质氧化成气体或炉渣,然后去除,便可获得碳钢。所以炼钢过程实质上是生铁的氧化过程。

炼钢设备有多种,最普遍的是转炉、平炉和电炉,如图 2-1 所示。

炼钢的原料主要有生铁(液态或固态)、废钢和熔剂等。

1. 现代化炼钢的基本过程

炼钢的基本过程是氧化。炼钢时主要是向铁水中送入氧,使它发生各种氧化过程。

1) 氧化 铁元素被氧化后产生 FeO ,放出大量的热, FeO 熔于铁水中;硅和锰被氧化后,分别相互作用生成炉渣 $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 和 $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ 自钢液中上浮;碳被氧化后产生 CO 气体,直接从钢液中逸出。当含碳量降低到一定程度并符合钢所要求的成分时,氧化即告完成,铁水变成了钢水。

2) 脱氧 刚经过氧化冶炼成的钢水中含有大量 FeO ,为减少铁的氧化损失和改善钢的机械性能,还必须将 FeO 还原,这一除氧得铁的过程称为脱氧。常用的脱氧方法是向钢中加入适量的锰铁、硅铁和铝。

3) 降低硫、磷含量 生铁中硫、磷含量一般较高,为保证钢水质量,在炼钢后期还必须进行脱硫和脱磷的操作。

如果原炼钢生铁含硫、磷较少,则可采用酸性炼钢法炼钢,即使用以 SiO_2 为主的耐火炉衬,炼钢过程中产生酸性炉渣。酸性炉渣虽不能去除硫和磷,但生铁原料本身质量高,所以仍能炼出较高质量的钢。通常,由于含硫、磷的生铁原料多,所以当使用这种生铁炼钢时,必须采用碱性炼钢法,即使用以 MgO 为主的耐火炉衬,炉料中要多加入碱性熔剂,以造成 CaO 过剩的强碱性炉渣,使钢中的硫和磷转移到炉渣中。

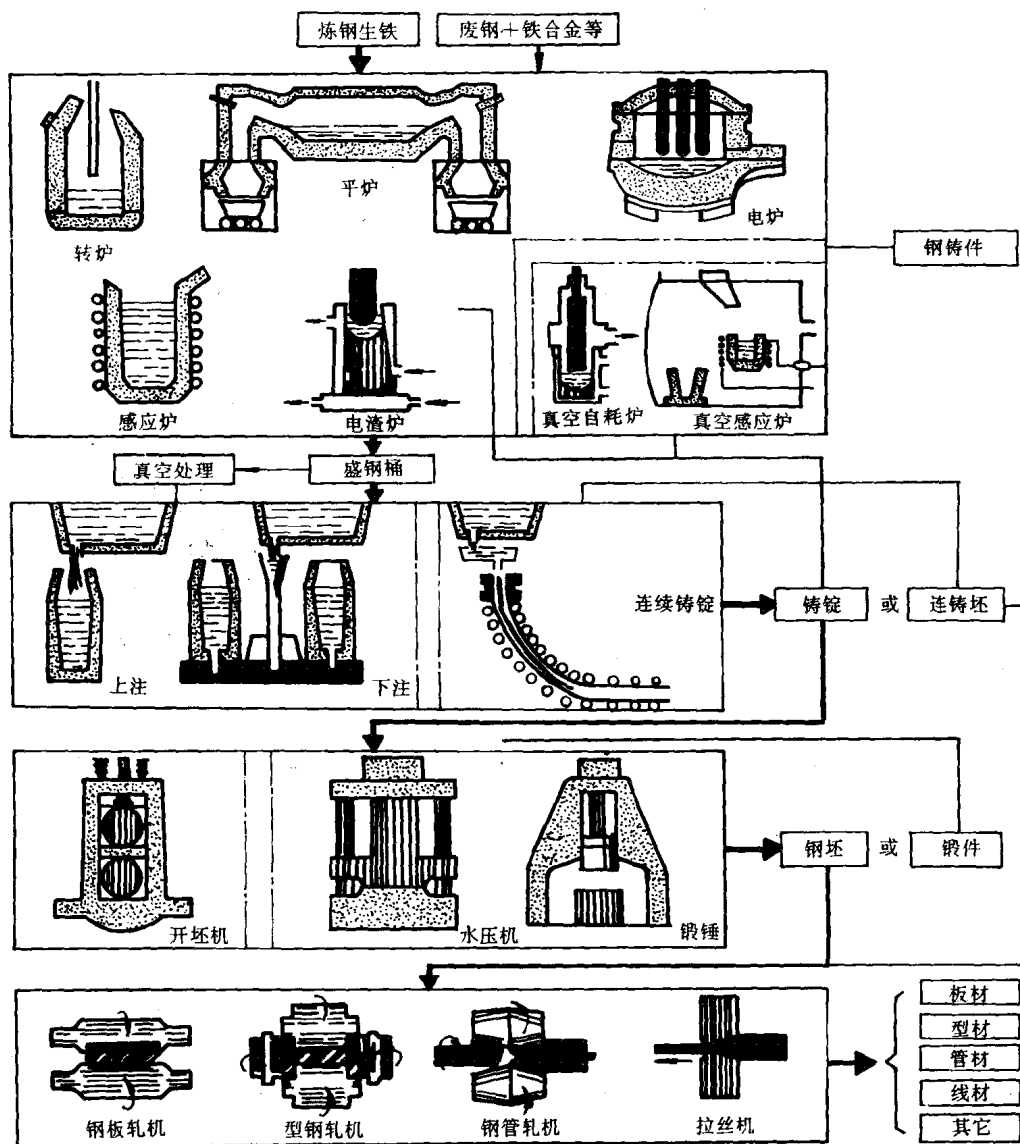


图 2-1 钢的冶炼和钢材的生产过程示意图

2. 钢的浇铸

冶炼成的合格钢水，绝大多数要浇铸成钢锭，然后钢锭经压力加工成为钢材。从图 2-1 可以了解钢材的生产过程。目前有两种浇注钢水的方法。

1) 模铸法 用钢锭模浇铸钢锭，分上注法与下注法两种。

上注法是钢水直接从钢锭模上口浇入，每次只能浇注一个钢锭，浇注时钢水飞溅严重，影响钢锭表面质量。

下注法是钢水经过一组浇注系统后，从钢锭模的下部流入，钢锭模中钢液平稳上升，钢水不会飞溅，钢锭表面质量好，并可同时铸出数个钢锭。

2) 连续铸锭法 它是 50 年代发展起来的钢水直接浇铸钢坯的方法：将钢水浇入一个无底的水冷铜套（别名结晶器）中。开始时，用所谓的“引锭头”将铜套底部封住，钢水在结晶器内

受到激冷形成坯壳,而内部仍为液态。形成坯壳的钢坯从结晶器内被拉出来,喷水促使钢坯内部凝固,然后按一定尺寸切断。

连续铸锭法与模铸法相比较,工艺简单、效率高、成材率高,且工人的劳动条件好,有利于炼钢生产自动化,因而近年来在国内外获得广泛应用。

三、冶炼方法对碳钢质量的影响

冶炼方法不同,碳钢的质量不同。现代炼钢方法主要有转炉炼钢法、平炉炼钢法和电炉炼钢法等。下面简要介绍各种炼钢方法的特点。

1. 转炉炼钢法

转炉因炉体中部装有水平转轴可以转动而得名。转炉炼钢所用的原料主要是铁水,冶炼时不用燃料加热。

现代转炉炼钢是用高压氧气从炉口顶部吹入来氧化铁水,称为纯氧顶吹转炉炼钢法。由于氧化激烈,大约 15min ~ 20min 即可吹炼完毕,先放渣后出钢,整个操作只须 30min ~ 40min。

转炉炼钢的最大优点是生产率特别高,而设备投资及生产费用较少。缺点是化学成分难以严格控制,所以一般只能生产普通质量的碳钢。

2. 平炉炼钢法

平炉炼钢主要以液态或固态生铁、废铁、废钢、铁矿石及熔剂等为原料。氧化方法也是以吹入纯氧为主,以铁矿石为辅。由于氧化程度可以调节,因此应用的原料不受限制。平炉炼钢用火焰加热,一般燃用煤气,也可以燃用重油。平炉容量大,用于大批量生产。平炉冶炼过程较易控制,可冶炼普通质量或优质的碳素钢和低合金钢。平炉的设备费用高,冶炼时间较长,冶炼一炉钢要用 4h ~ 10h。

3. 电炉炼钢法

一般炼钢电炉采用电弧炉,它是依靠电极与原料之间产生的高温电弧进行加热熔炼的。为了节省电力,炼钢原料主要选用废钢。电弧炉炼钢操作方便,温度及成分容易控制,但耗电量很大,成本高。电炉炼钢法能有效地去除 S、P 等杂质,冶炼优质或高级优质碳素钢。由于电炉温度可达 3 500℃ 的高温,因此还可熔炼含有大量难熔合金元素(如钨等)的特种合金钢,以及低碳不锈钢等。

转炉、平炉和电炉的炉衬材料均有酸性和碱性两种。采用碱性炉衬,冶炼时可以产生高碱度炉渣,即炉渣中的主要成分 CaO 和 SiO₂ 之比大于 2。碱性渣可以除去炉料中的大部分硫和磷。由于含硫、磷较高的生铁原料来源广阔,因此工业用钢大部分是采用碱性法冶炼。采用酸性炉衬,炉渣中 CaO 与 SiO₂ 之比小于 1,酸性渣不能去除硫和磷,所以必须对炉料提出严格要求。如选用优质生铁为原料,采用酸性法,可简化冶炼过程,提高生产率,且钢的质量也较高。

四、脱氧程度对碳钢质量的影响

钢液的最终脱氧程度对钢的质量影响很大。依脱氧程度的不同分为沸腾钢、镇静钢和半镇静钢。

1. 沸腾钢

钢液浇注前只用一定量的弱脱氧剂,如锰铁进行轻微脱氧。由于脱氧不完全,钢液中的含氧量仍较高,且以 FeO 形式残留在钢液中。钢液在凝固过程中,残存的碳和氧发生反应,产生大量气体($[C] + FeO \rightarrow CO \uparrow + Fe$),造成钢液沸腾,故此得名沸腾钢。所产生的气体,大部分逸入大气,一小部分留在钢锭内形成气孔。沸腾钢的外层是在钢液受到沸腾引起搅动的条件下凝