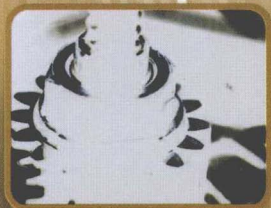




高等院校“十二五”示范性建设成果

金属材料与热处理

主 编。朱黎江



高等院校“十二五”示范性建设成果

金属材料与热处理

主 编 朱黎江

副主编 张文莉

参 编 李映辉 邹 莉 陈雪菊

杨 艳 汪国庆 吴承玲

宋群玲 王 浩

主 审 孙余一

内容提要

本书内容主要包括钢铁的冶炼简介、金属学基本知识(金属的晶体结构与结晶、二元合金相图与结晶、铁碳合金相图)、钢的热处理、黑色金属材料的分类与选用、有色金属材料及其合金、新型功能材料与复合材料、非金属材料简介。

本书内容简洁明了,实用性强,可作为高等院校的教学用书,还可作为从事金属材料及相关专业的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理 / 朱黎江主编. —北京:北京理工大学出版社,2011.7
ISBN 978-7-5640-4741-2

I. ①金… II. ①朱… III. ①金属材料②热处理 IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 124427 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天津紫阳印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 19.5

字 数 / 455 千字

版 次 / 2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1~2000 册

定 价 / 43.00 元



责任编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 吴皓云

前 言

“金属材料与热处理”是高等院校机电、冶金、机械等专业的一门重要专业基础课程。近年来，由于新型材料和热处理的不断发展，以及我国颁布了金属材料的一些新标准，为适应新形势的发展，本教材从实用角度出发，注重培养学生具备金属材料工程应用的能力，通过掌握黑色和有色金属材料的组织结构、类型、机械性能以及各种热处理的基本知识，能够合理地选择应用金属材料、制订合理的热处理工艺方法，满足零件的性能要求。本教材还增加了钢铁冶金方面、非金属材料和复合材料应用的一些基础知识，拓宽了学生工程材料的应用知识领域。

本书可作为高等院校机械类专业的“金属材料及热处理”课程教材，也可供工科其他专业选用和相关读者阅读。

本书注重学生的认知能力、应用能力及创新能力的培养，具有理论性和实践性很强的特点。全书分为绪论、金属的固态结构、金属的凝固、二元合金相图、金属材料的塑性变形与再结晶、铁-碳合金的相图、钢的热处理、非合金钢（碳钢）与铸铁、合金钢、有色金属及其合金、金属材料的选材原则和热处理工艺应用、金属功能材料和复合材料简介、非金属材料简介等共14章。

本书内容着力于满足教学要求，主要以金属材料及其热处理为主，同时兼顾其他非金属材料 and 新型复合材料，适宜的学时数约50~80学时，各校可根据具体教学情况，对书中内容进行取舍。

本书绪论由刘晓波老师编写，第1、第2章由李映辉老师编写，第3、第10章由朱黎江老师编写，第4、第8章由邹莉老师编写，第5章由陈雪菊老师编写，第6、第7章由张文莉老师编写，第9章由吴承玲老师编写，第11章由汪国庆老师编写，第12章由杨艳老师编写，第13章由宋群玲老师编写，第14章由王浩老师编写，全书由孙余一教授主审，在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

绪论	(1)
0.1 工程材料的分类	(1)
0.1.1 金属材料	(1)
0.1.2 非金属材料	(2)
0.1.3 复合材料	(2)
0.2 本课程的教学目的和要求	(2)
0.2.1 学习目的	(2)
0.2.2 要求	(3)
第1章 钢的冶炼、浇注、成型工艺及钢材的质量控制	(4)
1.1 钢的冶炼	(5)
1.1.1 炼铁	(5)
1.1.2 炼钢	(6)
1.2 钢的浇注	(6)
1.2.1 模铸法	(7)
1.2.2 连铸法	(7)
1.3 钢的成型	(7)
1.3.1 钢材的概念	(7)
1.3.2 钢材的生产	(7)
1.4 钢材的质量检验	(8)
1.4.1 化学成分分析	(9)
1.4.2 组织分析	(11)
1.4.3 零件的无损探伤	(12)
第2章 金属材料的力学性能	(15)
2.1 静载荷作用下的力学性能	(15)
2.1.1 强度与塑性	(15)
2.1.2 硬度	(17)
2.1.3 刚度	(21)
2.2 在动载荷作用下的力学性能	(21)
2.2.1 冲击韧性和断裂韧性	(21)
2.2.2 疲劳	(24)
2.3 金属材料的高温蠕变现象	(25)
2.4 金属材料的工艺性能	(26)

第3章 金属及其合金的固态结构	(28)
3.1 金属与合金	(28)
3.2 纯金属的晶体结构	(28)
3.2.1 晶胞、晶系和点阵类型	(29)
3.2.2 晶面指数和晶向指数	(30)
3.2.3 典型的金属晶体结构	(34)
3.2.4 金属的同素异晶转变	(36)
3.3 实际金属的晶体结构	(36)
3.3.1 实际金属的多晶体结构	(36)
3.3.2 实际金属的晶体缺陷	(37)
3.3.3 晶界的特性	(41)
3.4 合金的结构类型	(41)
3.4.1 固溶体	(41)
3.4.2 金属化合物(或中间相)	(44)
第4章 金属及其合金的结晶	(48)
4.1 结晶过程概述	(48)
4.1.1 金属结晶过程特征	(48)
4.1.2 形核与长大	(50)
4.2 晶粒大小及控制	(53)
4.2.1 晶粒度对金属材料性能的影响	(53)
4.2.2 细化晶粒的措施	(53)
4.3 铸锭的结晶(凝固)组织	(55)
4.3.1 铸锭的一般组织	(55)
4.3.2 影响铸锭柱状晶形成的因素	(55)
4.3.3 改善铸锭组织的方法	(56)
第5章 金属材料的塑性变形	(57)
5.1 金属的塑性变形	(57)
5.1.1 单晶体的塑性变形	(58)
5.1.2 多晶体的塑性变形	(59)
5.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	(59)
5.2.1 塑性变形对金属组织的影响	(59)
5.2.2 塑性变形对金属性能的影响	(61)
5.3 冷塑性变形金属在加热时的变化	(62)
5.3.1 回复	(63)
5.3.2 再结晶	(63)
5.3.3 晶粒长大	(63)
5.4 热塑性变形对金属组织和性能的影响	(64)

5.4.1 金属材料的冷热加工的区别	(65)
5.4.2 热塑性变形对金属组织和性能的影响	(65)
第6章 二元合金相图	(68)
6.1 相图的表示和测定方法	(68)
6.1.1 二元合金相图的表示法	(68)
6.1.2 二元合金相图的测定方法	(69)
6.2 平衡相的定量法则—杠杆定律	(70)
6.2.1 直线规则	(70)
6.2.2 杠杆定律	(70)
6.3 二元合金相图	(71)
6.3.1 二元匀晶相图	(71)
6.3.2 二元共晶相图	(73)
6.3.3 不平衡结晶	(78)
6.3.4 包晶相图	(80)
6.3.5 其他类型的二元相图	(82)
6.3.6 二元合金相图的基本类型及特征	(84)
6.3.7 二元相图的规律和分析方法	(85)
6.4 合金的性能与成分的关系	(87)
6.4.1 合金的机械性能、物理性能与成分的关系	(87)
6.4.2 合金的工艺性能与成分的关系	(88)
第7章 铁—碳合金相图	(90)
7.1 铁—碳合金中的组元和基本相	(90)
7.1.1 铁的同素异晶转变	(90)
7.1.2 铁—碳合金中的基本相	(90)
7.2 铁—碳合金相图的分析	(93)
7.2.1 铁—碳合金相图中的特性点	(93)
7.2.2 碳合金相图中的特性线	(93)
7.2.3 铁碳合金相图中的相区	(95)
7.3 铁—碳合金的平衡结晶和室温组织	(95)
7.3.1 铁—碳合金的分类	(95)
7.3.2 铁—碳合金的平衡结晶和室温组织	(95)
7.3.3 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	(103)
7.3.4 铁—碳合金相图应用	(105)
第8章 钢的热处理	(108)
8.1 概述	(108)
8.1.1 热处理基本概念及分类	(108)
8.1.2 热处理设备分类	(109)

8.2 钢在加热时的组织转变	(109)
8.2.1 相变温度	(110)
8.2.2 奥氏体(共析钢)的形成过程	(110)
8.2.3 奥氏体的晶粒大小及其影响因素	(111)
8.2.4 热处理加热的一般原则	(112)
8.3 钢在冷却时的组织转变	(114)
8.3.1 共析钢过冷奥氏体等温冷却转变曲线	(114)
8.3.2 共析钢过冷奥氏体连续冷却转变曲线	(118)
8.4 常见的热处理缺陷	(121)
8.4.1 欠热、过热与过烧	(121)
8.4.2 氧化与脱碳	(121)
8.4.3 变形与开裂	(121)
8.5 钢的热处理工艺	(122)
8.5.1 退火与正火	(122)
8.5.2 正火	(124)
8.5.3 退火、正火的热处理缺陷	(125)
8.5.4 钢的淬火	(126)
8.5.5 钢的回火	(133)
8.6 钢的表面热处理	(136)
8.6.1 表面淬火	(136)
8.6.2 化学热处理	(139)
8.7 其他热处理简介	(143)
8.7.1 真空热处理	(143)
8.7.2 形变热处理	(144)
8.7.3 高能量密度表面热处理	(144)
8.7.4 表面改性技术	(146)
8.8 热处理工艺的制订	(148)
8.8.1 热处理零件结构的工艺性	(148)
8.8.2 热处理工序位置的安排	(149)
8.8.3 应用举例	(150)
第9章 非合金钢(碳钢)与铸铁	(153)
9.1 非合金钢(碳钢)的分类及编号	(153)
9.1.1 分类	(153)
9.1.2 常用碳素钢的牌号表示方法	(154)
9.1.3 常存元素对非合金钢组织和性能的影响	(154)
9.2 碳素结构钢	(155)
9.2.1 普通碳素结构钢	(155)

9.2.2 优质碳素结构钢	(156)
9.3 低合金高强度结构钢	(159)
9.3.1 低合金高强度结构钢的成分特点	(159)
9.3.2 低合金高强度结构钢的牌号、性能及用途	(160)
9.4 碳素工具钢	(161)
9.4.1 特点	(161)
9.4.2 牌号与性能	(161)
9.5 铸钢	(162)
9.5.1 铸造碳钢	(163)
9.6 铸铁	(164)
9.6.1 铸铁的石墨化和分类	(165)
9.6.2 常用的铸铁	(168)
9.6.3 灰铸铁	(168)
9.6.4 球墨铸铁	(172)
9.6.5 蠕墨铸铁	(175)
9.6.6 可锻铸铁	(177)
9.6.7 合金铸铁	(179)
第10章 合金钢	(183)
10.1 钢的合金化原理	(183)
10.1.1 合金元素在钢中存在形式	(183)
10.1.2 合金元素在钢中的作用	(184)
10.2 合金钢的分类及产品牌号表示	(191)
10.2.1 钢产品分类	(192)
10.2.2 钢铁及合金统一数字代号体系牌号简介	(197)
10.3 合金结构钢	(200)
10.3.1 调质钢	(201)
10.3.2 非调质钢	(205)
10.3.3 易削钢	(205)
10.3.4 弹簧钢	(207)
10.3.5 渗碳钢	(211)
10.3.6 滚动轴承钢	(214)
10.4 合金工具钢	(217)
10.4.1 刃具钢	(217)
10.4.2 量具钢	(223)
10.4.3 模具钢	(224)
10.5 特殊性能钢	(231)
10.5.1 不锈钢	(231)

10.5.2	耐热钢	(237)
10.5.3	耐磨钢	(238)
第11章 金属材料的选用原则和热处理工艺应用		(242)
11.1	选材的原则	(242)
11.1.1	使用性原则	(242)
11.1.2	工艺性原则	(245)
11.1.3	经济性原则	(246)
11.1.4	零件的失效分析	(247)
11.2	热处理的应用	(247)
11.2.1	热处理方案的选择	(247)
11.2.2	热处理在工序中的位置	(248)
11.2.3	生产过程中常用的热处理工艺	(248)
11.2.4	零件热处理的技术条件标准	(249)
11.3	典型零件的选材与热处理	(251)
11.3.1	齿轮类零件选材与热处理应用	(251)
11.3.2	轴类零件选材与热处理应用	(254)
第12章 有色金属及其合金		(260)
12.1	铝与铝合金	(260)
12.1.1	工业纯铝	(260)
12.1.2	铝合金	(261)
12.1.3	变形铝合金	(264)
12.1.4	铸造铝合金	(268)
12.2	铜及其合金	(272)
12.2.1	工业纯铜	(272)
12.2.2	铜合金	(272)
12.2.3	黄铜	(273)
12.2.4	青铜	(275)
12.3	钛及钛合金	(276)
12.3.1	纯钛	(276)
12.3.2	钛合金	(276)
12.3.3	钛合金的性能	(277)
12.3.4	钛合金的热处理	(278)
12.4	镁及镁合金	(278)
12.4.1	镁合金	(278)
12.4.2	变形镁合金	(279)
12.4.3	铸造镁合金	(280)
12.4.4	镁合金的热处理	(281)

12.5 轴承合金	(282)
12.5.1 对滑动轴承合金性能的要求	(282)
12.5.2 常用滑动轴承合金	(283)
第13章 金属功能材料和复合材料简介	(286)
13.1 金属功能材料	(286)
13.1.1 磁性合金	(286)
13.1.2 热膨胀、弹性与减振合金	(287)
13.2 复合材料	(289)
13.2.1 复合材料的分类	(290)
13.2.2 金属基复合材料的工程性能和应用	(291)
第14章 非金属材料简介	(293)
14.1 高分子材料	(293)
14.1.1 塑料	(294)
14.1.2 橡胶	(296)
14.2 陶瓷	(298)
14.2.1 陶瓷的分类	(298)
14.2.2 陶瓷的性能	(298)
14.2.3 常用的陶瓷材料	(299)
参考文献	(300)

绪 论

材料是人类生活和生产的物质基础，学会使用材料也是人类进化的重要标志之一，任何工程技术都离不开材料的设计和制造，一种新材料的出现，必将支持和促进当时文明的发展和技术的进步。从人类的出现到 21 世纪的今天，材料是人类生活和生产的物质基础，是人类认识自然和改造自然的工具，可以这样说，材料的历史与人类史一样久远。

0.1 工程材料的分类

金属材料是一种历史悠久的工程材料，随着人类文明的推进，金属材料一直扮演着重要的角色，它与我们生活息息相关，时至今日，面对 21 世纪人类科技已进入太空时代及电子资讯时代，各种新兴的材料如高分子材料、半导体材料、光电材料的不断涌现，金属材料却未因此而失去其魅力，反而不断开发出新的应用领域，显示着充满无限发展的生命力。

随着工程材料的应用和发展，工程材料分为金属材料、非金属材料和复合材料三大类，如图 0-1 所示。

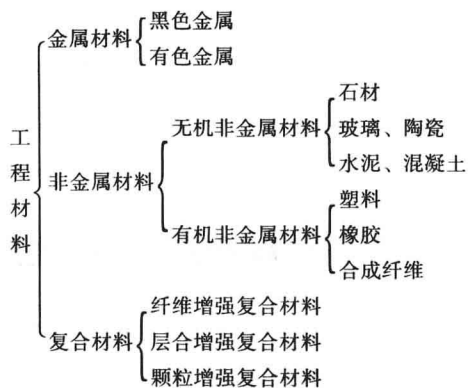


图 0-1 工程材料分类

0.1.1 金属材料

金属材料是最重要的工程材料，它包括金属和以金属为基的合金，最简单的金属材料是纯金属。

工业生产中把金属和合金分为以下两大部分。

- (1) 黑色金属——铁和以铁为基的合金（钢、铸铁和铁合金）。
- (2) 有色金属——黑色金属以外的所有金属及其合金。

黑色金属应用最为广泛，以铁为基的合金材料占整个结构材料和工具材料的 90% 以上。黑色金属的工程性能比较优越，价格比较便宜，是最重要的工程材料。

0.1.2 非金属材料

非金属材料分无机非金属材料 and 有机非金属材料。

(1) 无机非金属材料包括天然石材、陶瓷、玻璃、水泥等，由于大部分无机非金属材料含有硅和其他元素的化合物，所以又叫做硅酸盐材料。它一般包括无机玻璃、玻璃陶瓷和陶瓷三类。作为结构和工具材料，工程上应用最广泛的是陶瓷。陶瓷材料是不含碳氢氧结合的化合物，主要是金属氧化物和金属非氧化物。

(2) 有机非金属材料包含天然木材、高分子材料、胶黏剂等，高分子材料为有机合成材料，亦称聚合物。它具有较高的强度，良好的塑性，较强的耐腐蚀性能，很好的绝缘性能，以及重量轻等优良性能，是工程上发展最快的一类新型结构材料。

高分子材料种类很多，常用的高分子材料包括塑料、橡胶、合成纤维三大类。

①塑料——主要是指强度、韧性和耐磨性较好的、可制造某些机械零件或构件的工程塑料。塑料又分为两种：一种是热塑性塑料，另一种是热固性塑料。

②橡胶——通常指经硫化处理的、弹性特别优良的聚合物，有通用橡胶和特种橡胶两种。

③合成纤维——指由单体聚合而成的、强度很高的聚合物，通过机械处理所获得的纤维材料。

0.1.3 复合材料

复合材料就是由两种或两种以上不同材料组合的材料，其性能是它的组成材料所不具备的。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成，所以它的结合键非常复杂。它在强度、刚度和耐腐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越，是一种特殊的工程材料，具有广阔的发展前景。

0.2 本课程的教学目的和要求

金属材料与热处理是研究金属材料的化学成分、组织结构和性能之间的关系与变化规律的一门学科，学习和研究并掌握这些关系和规律，我们可以通过改变或控制金属材料的成分和组织结构，选择适当的热处理工艺以及加工方法，充分有效地发挥金属材料性能的潜力，改善和提高金属材料的使用性能和使用寿命。

0.2.1 教学目的

“金属材料与热处理”是机械类、冶金类和近机械类各专业的重要专业基础课程，主要包括金属学基础知识、金属材料的力学性能、金属热处理原理和热处理工艺、非金属材料等内容。学习本课程的目的，在于了解和掌握金属材料的化学成分、组织结构与使用性能之间的关系及其变化规律，才能在将来的工作过程中，初步具备正确选择和合理使用金属材料及维修的方法，懂得合金元素在金属材料中的作用、热处理原理和工艺，生产出成本低廉、使用性能好、寿命长的机械零件或产品。

0.2.2 要求

- (1) 掌握常用金属材料的基本知识和热处理基本原理及方法。
- (2) 了解常用金属材料的分类、应用范围和热处理加工工艺。
- (3) 初步具备合理选用金属材料的能力。
- (4) 初步具备制订金属材料的热处理工艺路线、加工工艺路线的能力。

第1章 钢的冶炼、浇注、成型工艺及钢材的质量控制

钢铁材料是由铁、碳及硅、锰、硫、磷等杂质元素组成的金属材料，是铁和碳的合金。按碳的质量分数 w_c 可分为工业纯铁 ($w_c < 0.0218\%$)；钢 ($w_c = 0.0218\% \sim 2.11\%$) 和生铁 ($w_c > 2.11\%$) 三类。

钢铁材料的生产过程由炼铁、炼钢和轧钢等三个主要环节组成。首先，由铁矿石等原料经高炉冶炼获得生铁，高炉生铁除了获得铸铁件外，大部分用来炼钢。钢是由生铁经高温熔炼降低其含碳量和清除杂质后而得到的。钢液除少数浇成铸钢件以外，绝大多数都浇铸成钢锭或连铸坯，经过轧制或锻压制成各种钢材（板材、型材、管材、线材等）或锻件，供加工使用。图 1-1 为钢铁材料的生产过程示意图。

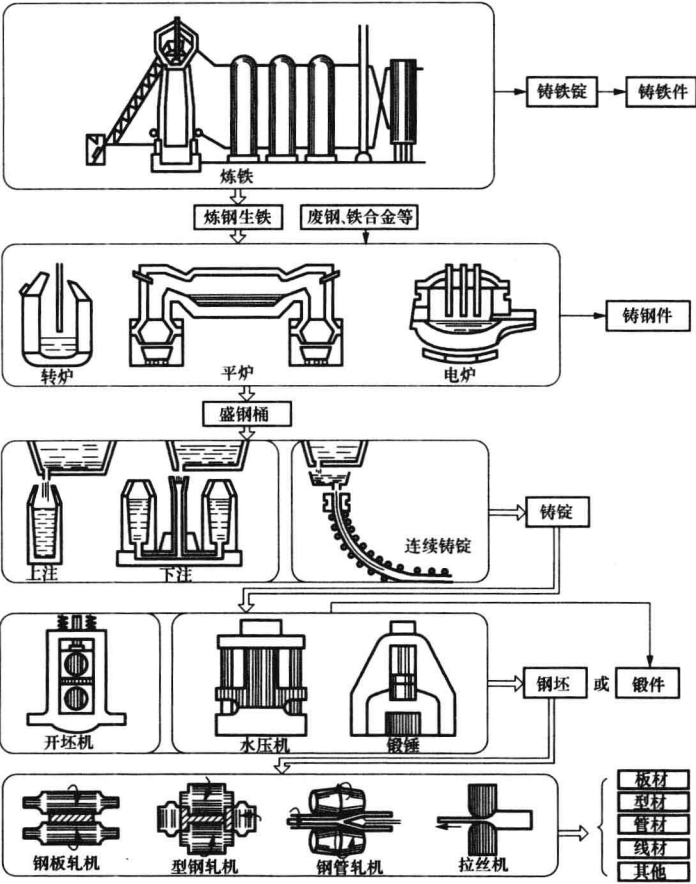


图 1-1 钢铁材料生产过程示意图

1.1 钢的冶炼

地壳中铁的储藏量比较丰富，大约占 4.2%（元素总量计），仅次于氧、硅及铝，居第四位，但是由于自然界中铁总是以化合物（氧化物、硫化物或碳酸盐等）存在，不同的岩石中含铁品位差别较大，因此凡是可以利用目前的加工技术条件，从中经济地提取出金属铁的矿石，我们就称为铁矿石，如表 1-1 所示，矿石的品位决定其价格，即冶炼的经济性，一般将矿石中铁的质量分数高于 65%，且含硫、磷等杂质少的矿石，供直接还原法和熔融还原法适用，而矿石中铁的质量分数低于 65%~50%，则供高炉使用，我国目前富矿储量已较少，绝大部分都是铁的质量分数为 30% 左右的贫矿，需要经过选矿处理才能使用。

表 1-1 不同种类铁矿石

矿石名称	矿物名称	理论含铁量/%	密度/(g·cm ⁻³)	颜色	强度及还原性
磁铁矿	磁铁矿 (Fe ₃ O ₄)	72.4	5.2	黑或灰有光泽	坚硬、致密、难还原
赤铁矿	赤铁矿 (Fe ₂ O ₃)	70.0	4.9~5.3	红或浅灰	软、易破碎、易还原
褐铁矿	水赤铁矿 (2Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O)	66.1	4.0~5.0	黄褐	疏松、易还原
	针赤铁矿 (Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O)	62.9	4.0~4.5		
	水针赤铁矿 (3Fe ₂ O ₃ ·4H ₂ O)	60.9	3.0~4.4		
	褐铁矿 (2Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O)	60.0	3.0~4.0	暗褐或绒黑	疏松、易还原
	黄针铁矿 (Fe ₂ O ₃ ·2H ₂ O)	57.2	3.0~4.0		
	黄赭石 (Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O)	55.2	2.5~4.0		
菱铁矿	菱铁矿 (FeCO ₃)	48.2	3.8	灰带有黄褐	易破碎、易还原

1.1.1 炼铁

铁的化学性质活泼，自然界中的铁绝大多数是以铁化合物形式存在。炼铁用的原料多数是铁的氧化物，含铁比较多并且具有冶炼价值的矿物，如赤铁矿、磁铁矿、菱铁矿、褐铁矿等称为铁矿石。铁矿石中除了含有铁的氧化物以外，还含有硅、锰、硫、磷等元素的氧化物杂质，这些杂质称为脉石。炼铁的实质就是从铁矿石中提取铁及其有用元素形成生铁的过程。现代钢铁工业生产铁的主要方法是高炉炼铁。高炉炼铁的炉料主要是铁矿石（Fe₃O₄）、燃料（焦炭）和熔剂（石灰石）。

焦炭作为炼铁的燃料，一方面为炼铁提供热量，另一方面焦炭在不完全燃烧时所产生的一氧化碳（CO），又作为使氧化铁和其他金属元素还原的还原剂。熔剂的作用是使铁矿石中的脉石和焦炭燃烧后的灰分转变成密度小、熔点低和流动性好的炉渣，并使之与铁水分离，常用的熔剂是石灰石（CaCO₃）。

在炼铁时，将炼铁原料分批装入高炉中，在高温和压力作用下，经过一系列化学反应，将铁矿石还原成铁。经高炉冶炼出的铁不是纯铁，其中含有碳、硅、锰、硫、磷等杂质元素，这种铁称为生铁，生铁是高炉冶炼的主要产品。根据用户的不同需要，生铁可分为

两类:

(1) 铸造生铁。这类生铁的断口呈暗灰色。硅的质量分数较高,用于机械制造厂生产成型铸件。

(2) 炼钢生铁。这类生铁的断口呈亮白色。硅的质量分数较低 ($w_{\text{Si}} < 1.5\%$),用来在炼钢炉中炼钢。

高炉炼铁产生的副产品是煤气和炉渣,高炉排除的炉气中含有大量的 CO 、 CH_4 和 H_2 等可燃气体,具有很高的经济价值,可以回收利用。高炉炉渣的主要成分是 CaO 和 SiO_2 ,可以回收利用,生产水泥、渣棉和渣砖等建筑材料。

1.1.2 炼钢

炼钢是以生铁(铁水和生铁锭)和废钢为主要原料,此外,还有熔剂(石灰石、萤石)、氧化剂(O_2 和铁矿石)和脱氧剂(铝、硅铁和锰铁)等。炼钢的主要任务是利用氧化作用将铁液中的碳及其他杂质元素减少到规定的化学成分范围内,从而得到了所需的钢,所以用生铁炼钢实质上是一个氧化过程。

(1) 炼钢方法。现代炼钢方法主要有转炉炼钢法和电炉炼钢法。

1) 转炉炼钢法,采用氧气顶吹转炉,主要原料为生铁和废钢,以化学反应的化学热为热源,主要产品为碳素钢和低合金钢,其主要特点是冶炼速度快,生产效率高,成本低,钢的品种较多,质量较好,适合于大量生产。

2) 电炉炼钢法,采用电弧炉,主要原料为废钢,以电能为热源,主要产品为合金钢,其主要特点是炉料通用性大,炉内气氛可以控制,脱氧良好,能冶炼难熔合金钢。钢的质量优良,品种多样。

(2) 钢的脱氧。钢液中的过剩氧气与铁生成氧化物,对钢的力学性能会产生不良的影响,因此,必须在浇注前对钢液进行脱氧。按钢液的脱氧程度不同,钢可分为特殊镇静钢(TZ)、镇静钢(Z)、半镇静钢(b)、和沸腾钢(F)四种。

1) 镇静钢是脱氧完全的钢,钢液冶炼后期用锰铁、硅铁和铝块进行充分脱氧,钢液在钢锭模内平静地凝固。这类钢锭化学成分均匀,内部组织致密,质量较高。但由于钢锭头部形成较深的缩孔,轧制时被切除,钢材浪费较大。

2) 沸腾钢是指脱氧不完全的钢。钢液在冶炼后期仅用锰铁进行不充分的脱氧。钢液浇入钢锭模后,钢液中的 FeO 和碳相互作用,脱氧过程仍在进行 ($\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO} \uparrow$),生成的 CO 气体引起了钢液沸腾现象。凝固时大部分气体逸出,少量气体被封闭在钢锭内部,形成许多小气泡。这类钢锭不产生缩孔,切头浪费小。但是,化学成分不均匀,组织不够致密,质量较差。

3) 半镇静钢的脱氧程度和性能状况介于镇静钢和沸腾钢之间。

4) 特殊镇静钢的脱氧质量优于镇静钢,其内部材料均匀,非金属夹杂物含量少,可满足特殊需要。

1.2 钢的浇注

钢液经脱氧后,除少数用来浇铸成铸钢件外,其余都浇铸成钢锭或连铸坯。钢的浇注方