

金属力学性能 检验人员 培训教材

林际熙 主编



5.5

冶金工业出版社

金属力学性能检验人员 培 训 教 材

林际熙 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1999

内 容 简 介

本书共设5章,主要有金属一般知识,金属的力学性质,常见力学、工艺性能试验,钢锭(坯)、钢材的外观检验,力学实验室建设等内容,包括了冶金行业金属力学性能专业检验人员基本知识、基础理论、基本技能的授课内容。本书可作为该专业初、中级检验人员培训教材,也可供从事力学、材料科学试验的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属力学性能检验人员培训教材/林际熙主编. —北京:
冶金工业出版社,1999.10
ISBN 7-5024-2418-0

I. 金… II. 林… III. 金属-力学性能试验-技术培训-
教材 IV. TG115.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 36632 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 李培禄 刘小峰 美术编辑 李 心 责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1999年10月第1版,1999年10月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;13.75印张;332千字;210页;1-2500册

30.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64013877

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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

编写人员名单

主 编 林际熙

编写人员 王美生 吴兴泉 林际熙

 王鼎培 刘剑武 王崇胜

 游明美 蔡书明 杨美玉

前 言

企业检验人员素质对企业生产经营活动的影响日益显现。它不仅影响到产品质量的稳定提高,而且影响到企业的形象与信誉。据此,福建省金属学会组织一批专家与专业技术人员组成编写小组负责编写《金属力学性能检验人员培训教材》,供冶金行业力学检验人员培训考核之用。

该书 1991 年曾以“试用本”的形式使用至今,为力学检验人员提供了较为规范、统一的教材,培训了一大批冶金行业力学检验人员。广大教师、学员对“试用本”反映较好。考虑到近年特别是 90 年代以来,新的冶金产品不断涌现,检测手段不断更新,许多国家标准重新修订颁布,对“试用本”进行修订并正式出版已经是冶金行业广大检验人员的一致呼声。修订工作仍由该书原编撰人员负责。

本教材共 5 章,包括金属一般知识,金属的力学性质,常见力学、工艺性能试验,钢锭(坯)、钢材的外观检验,力学实验室建设等内容,涵盖了冶金行业检验人员基本知识、基础理论、基本技能的授课内容。考虑到初、中级的要求及照顾到检验人员专业、文化程度上的差异,在内容、程度上以“基本、基础”为主,并力求深入浅出通俗易懂。初级部分目录中以“※”号表示,每章末均附有思考题,以便复习并提示重点。

参加本教材编写的有福建省冶金工业研究所和福建省三明钢铁厂的部分专业技术人员。第一章由王美生(黑色金属部分)、吴兴泉(有色金属部分)编写,第二章由林际熙编写,第三章由王鼎培(力学性能部分)、刘剑武(工艺性能部分)编写,第四章由王崇胜、游明美编写,第五章由蔡书明(第一、二节)、杨美玉(第三节)编写,全书由林际熙同志统稿并任主编。

本书编写提纲经福建省冶金理化检验人员技术资格鉴定委员会专业组审查通过,书稿第一、二章由福州大学何则荣教授审定,第三、四、五章由三明钢铁厂郑怀瑜高级工程师审定。

本书的出版得到闽西紫金矿业集团、三明钢铁厂劳服公司的大力支持,在此我们谨表深切的谢意。

由于编者水平所限,时间较短,书中可能存在很多不足之处,望读者批评指正,以利该书不断完善提高。

编 者

1999 年 5 月

目 录

第一章 金属一般知识	1
第一节 钢铁的冶炼	1
一、生铁的冶炼	1
二、钢的冶炼	5
第二节 钢的塑性加工	11
一、金属塑性加工的特点和方法	11
二、轧钢	13
第三节 钢的组织 and 性能	22
一、铁-碳平衡相图一般知识	22
二、钢的组织 and 性能	25
※第四节 钢铁产品的牌号表示方法	33
一、总则	33
二、钢铁产品牌号表示方法	33
第五节 有色金属及其生产	37
一、铝及其合金	37
二、铜及其合金	39
三、铝材和铜材的压力加工	41
※四、有色金属及其合金产品牌号表示方法	47
思考题	54
第二章 金属的力学性质	55
※第一节 金属的静拉伸过程	55
一、拉伸图	55
二、应力-应变图	57
三、真应力-应变图	57
第二节 金属的变形	58
一、金属的弹性变形	58
二、金属的塑性变形	61
三、金属的形变强化	66
※第三节 金属的断裂及断口分析	67
一、断裂的分类及特点	67
二、断裂过程及宏观断口分析	69
第四节 金属在冲击载荷下的变形及断裂特点	71
一、冲击载荷下金属的变形及断裂特点	71
二、冲击断口分析	72

三、冲击功的意义及讨论	72
※第五节 金属的硬度	73
一、金属硬度的特点和概念	73
二、硬度和强度的关系	73
※第六节 金属在其他静载下的力学性能	74
一、扭转性能	74
二、弯曲性能	76
三、压缩试验	77
第七节 金属的疲劳及高温力学性能	78
一、金属的疲劳	78
二、金属的高温力学性能	81
思考题	85
第三章 常见力学、工艺性能试验	86
※第一节 金属常温拉伸试验	86
一、拉伸试样	86
二、拉伸试验前的准备工作	91
三、性能测定	93
四、弹性模量和泊松比的测定	100
五、引伸计	101
六、拉伸试样断口评定	103
七、影响拉伸试验结果的主要因素	104
※第二节 金属冲击试验	105
一、简支梁冲击试验的基本原理	105
二、冲击试样的类型和要求	105
三、冲击试验及结果处理	107
四、冲击试样的断口分析	107
五、冲击试验的影响因素	108
※第三节 金属硬度试验	108
一、布氏硬度试验	108
二、洛氏硬度试验	114
三、维氏硬度试验	117
四、肖氏硬度试验	119
五、4种硬度试验应用归纳	120
第四节 金属疲劳试验	121
一、旋转弯曲疲劳试验基本原理	121
二、试样	121
三、试验程序	122
四、影响试验结果的主要因素	124
第五节 金属高温强度试验	124

一、高温蠕变试验	124
二、高温持久强度试验	126
三、应力松弛试验	128
※第六节 金属工艺性能试验方法	130
一、金属弯曲试验方法	130
二、金属反复弯曲试验方法	133
三、金属线材扭转试验方法	135
四、金属杯突试验方法	137
五、金属线材缠绕试验方法	138
六、金属顶锻试验方法	140
七、金属管工艺性能试验方法	141
思考题	145
第四章 钢锭(坯)、钢材的外观检验	146
※第一节 钢锭(坯)的表面缺陷和检验	146
一、钢锭的表面缺陷和检验	146
二、连铸坯的表面缺陷和检验	152
※第二节 钢材的表面缺陷和检验	156
一、一般钢材的表面缺陷和检验	156
二、几种特殊类型钢材的检验	165
※第三节 量具知识介绍	178
一、游标卡尺	178
二、外径千分尺	179
三、数显卡尺	179
四、带表卡尺	179
思考题	180
第五章 力学实验室建设	181
第一节 力学实验室的基本条件	181
一、实验室的组织系统	181
二、检测设备的配备	181
三、人员配备	182
四、实验室的环境条件	182
※第二节 力学实验室的主要检测设备	183
一、LJ 系列机械式拉力试验机	183
二、液压式万能材料试验机	186
三、冲击试验机	191
四、硬度试验机	193
五、疲劳试验机	199
六、工艺性能材料试验机	200
七、材料试验机的用油	201

八、材料试验机的发展	202
第三节 力学实验室的管理	203
一、管理程序	203
二、人员素质和设备管理	206
三、原始记录和检测报告	207
四、原始记录、检测报告、技术资料的保管	208
思考题	208
参考文献	210

第一章 金属一般知识

金属一般分为两类：黑色金属和有色金属。黑色金属是工业上铁、锰和铬的统称，包括钢和其他以铁为主的合金。有色金属是工业上黑色金属（铁、锰、铬）以外的所有金属的统称，如铝和铜及其合金等。

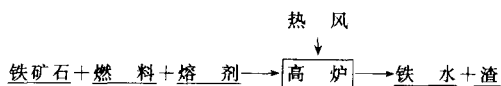
本章着重介绍生铁、钢、铝和铜的冶炼基本工艺流程，以及这些金属压力加工生产流程；同时还介绍钢的组织 and 性能关系，以及钢铁产品和有色金属产品牌号表示方法等方面的一般知识。

第一节 钢铁的冶炼

一、生铁的冶炼

（一）高炉生产的工艺流程

生铁是铁元素与碳元素的合金，其中碳的质量分数一般为 $2.0\% \sim 6.69\%$ 。此外，还有少量硅、锰、硫和磷等杂质。炼钢和铸造用的生铁主要由高炉冶炼。高炉生产的工艺流程如下：



1. 铁矿石

高炉冶炼要求铁矿石的成分稳定、铁含量高、脉石少、有害杂质少、矿石粒度均匀和还原性好。一般工业要求铁的质量分数在 30% 以上的铁矿石就有开采价值。铁的质量分数在 45% 以下的矿石采出后需经选矿和烧结。铁的质量分数大于 50% 的矿石一般可直接用于高炉冶炼。对于粒度过细的粉矿必须经烧结后才能投入高炉冶炼。铁矿石依其外表特征和化学成分的不同主要分为：

- (1) 磁铁矿 (Fe_3O_4)，具有磁性，炭黑色，或者略带浅蓝的黑色。
- (2) 赤铁矿 (Fe_2O_3)，暗红色，一般含磷和硫较少，可作为冶炼低磷铁的原料。
- (3) 褐铁矿 ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)，由于含结晶水不同其颜色由黄褐色至深褐色。

2. 燃料

高炉用的燃料要求强度高、灰分少、碳含量高、杂质少及性能稳定。能满足上述要求的燃料主要是焦炭。焦炭强度指标是转鼓指数。一般大高炉使用焦炭转鼓指数在 $310 \sim 340\text{kg}$ ，灰分一般为 $10\% \sim 20\%$ ，固定碳为 $80\% \sim 90\%$ ，硫为 1% 以下。焦炭在炼铁过程中不仅作为燃料，而且还作为还原剂和渗碳剂。

3. 熔剂

熔剂对炼铁来说是非常重要的，因为高炉所用的原料中含有很多脉石 (SiO_2 、 Al_2O_3 以及 CaO 、 MgO 等)，主要是 SiO_2 和杂质。必须加入一定量的熔剂，造成一定成分的炉渣，将这些脉石和杂质除掉，才能得到质量合格的生铁。

炼铁用的熔剂主要有石灰石和白云石两种，其中最常用的是石灰石。对石灰石要求其

碱性物质 (CaO) 含量要高, 二氧化硅及氧化铝、硫、磷量要少, 有一定的强度和粒度。白云石 (MgO 含量较多) 在冶炼含酸性氧化物多的矿石时也常用。

4. 热风

高炉所需热风, 先由送风机产生一定风量和一定压力的风, 经热风炉升温后经送风管道供高炉使用。热风要求定量均匀, 风量可以在较大范围内变更, 以便调整。风温必须达到 900~1200 C, 风压为 $(1.2\sim1.4)\times10^5\text{Pa}$ 。蓄热式热风炉工作是周期性的。它可分为燃烧和送风两个时期。燃烧, 送风, 再燃烧, 再送风循环工作, 所以一般高炉用三个热风炉。新式高炉也有用两个热风炉轮流送风的。

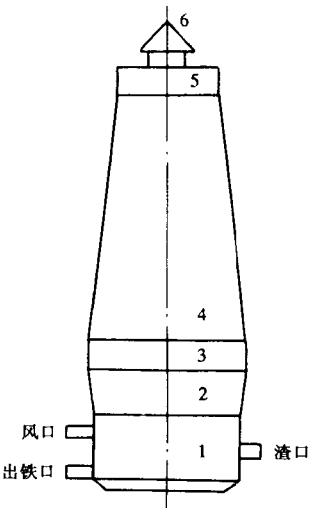


图 1-1 高炉内形示意图

1—炉缸; 2—炉腹; 3—炉腰;
4—炉胸; 5—炉喉; 6—炉顶

5. 高炉

高炉是炼铁工艺中最主要的设备, 其外形像一个竖圆筒形炉子, 一般由以下 6 个部分组成, 如图 1-1 所示:

- (1) 炉缸, 圆柱形, 它又分为风口带和铁水带, 有风口、渣口和出铁口;
- (2) 炉腹, 炉缸上面扩大截面为圆锥形部分;
- (3) 炉腰, 直径最大的圆柱形部分;
- (4) 炉胸, 炉腰上面扩大截面为圆锥部分;
- (5) 炉喉, 最上面圆柱形部分;
- (6) 炉顶, 高炉顶部, 料车式炉顶包括装料装置、大小料钟的升降装置、旋转布料器和煤气管道等设备。

除高炉炉体外, 还有上料系统 (包括称量装置)、除尘系统和渣铁处理系统等辅助设备。

高炉的大小是按它的有效容积来区分的。高炉有效容积是指大钟下降后大钟下缘到出铁口中心线之间垂直距离内的空间容积。我国定型设计的中小型高炉有效容积为 8、13、28、55、100、255 和 620m³ 等。大型高炉有效容积为 1033、1386、1513m³ 等。比这些更大的如 4197m³ 高炉, 年产生铁可达 400 万 t (日本)。

6. 铁水

经高炉冶炼, 质量合格的铁水由高炉底部出铁口排出。一般情况下将铁水注入铁水罐车, 直接送至炼钢车间, 供炼钢用。有时铁水被送到铸铁机铸成铁块, 供铸造用。

7. 炉渣

由矿石中的脉石、焦炭中的灰分及石灰石中的 CaO 组成的低熔点化合物就叫炉渣。它在出铁水前由渣口排出炉外。高炉炉渣大都做成水渣, 就是将高温的熔渣直接放入水中, 使之冷却后成为粒状。水渣是制造水泥的重要原料。

总之, 铁矿石 (包括烧结矿)、焦炭和石灰石 (白云石) 从高炉顶部加入, 同时从高炉底部吹入热风, 经高炉冶炼后得到铁水和炉渣由高炉底部排出炉外。这就是高炉生产的简单工艺流程。

(二) 高炉冶炼的基本过程

高炉炼铁的任务是把铁矿石炼成生铁。铁矿石是铁的氧化物与杂石的混合物或化合物。

要把铁从这些混合物或化合物中分离出来，铁矿石在高炉中进行冶炼时要完成一系列物理化学反应。

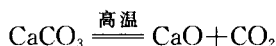
1. 炉料的分解

热风是从高炉底部与炉料运动方向相反向上吹入高炉的。热风与焦炭接触，使焦炭燃烧并生成煤气。炉缸内燃烧焦点温度最高（一般高达 $1900\sim 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），而炉缸中心温度常为 $1200\sim 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在这样高的温度下，铁矿石和熔剂不断熔化成液体状态，并向高炉底部流动。此时高炉内形成一个空的空间，这个空间被上部炉料所填充。由于热煤气上升，煤气与炉料进行热交换。在热交换过程中煤气的温度随高炉高度升高而逐渐下降。而高炉的温度也和煤气一样随高炉高度升高而下降。一般炉喉温度为 $200\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。下面从低温到高温对炉料分解情况分别加以说明：

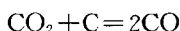
(1) 游离水的分解。游离水一般在 $100\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时蒸发完毕。而高炉炉喉温度为 $200\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，足以把炉料中的游离水完全分解。

(2) 结晶水的分解。矿石中的结晶水大约在 $300\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始分解，到 $400\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 分解完毕。

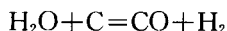
(3) 碳酸盐的分解。碳酸盐主要成分是 CaCO_3 ，它是主要熔剂，在 $900\sim 920\text{ }^{\circ}\text{C}$ 分解完毕。其分解反应如下：



CO_2 与赤热焦炭（ $920\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）作用生成 CO ：



从炉料内分解出来的水汽也与赤热的焦炭发生作用生成 CO 和 H_2 ：

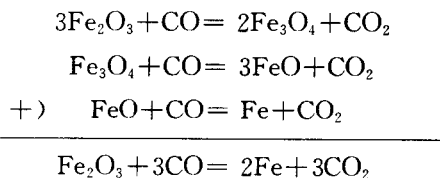


CO 、 H_2 和赤热焦炭均作为还原剂还原铁的氧化物。

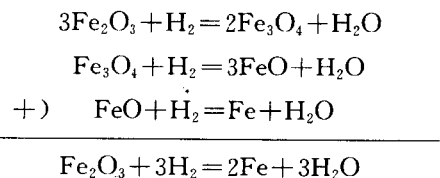
2. 铁矿石在高炉内冶炼过程的三个基本作用

第一个作用是排除氧化铁中的氧——还原作用。其中包括：

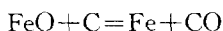
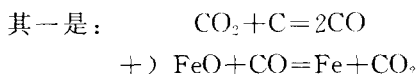
(1) CO 还原铁的氧化物。首先三氧化二铁（ Fe_2O_3 ）与 CO 作用，生成四氧化三铁（ Fe_3O_4 ）。第二步 Fe_3O_4 还原成氧化铁（ FeO ）。第三步由 FeO 还原成金属铁（ Fe ）。反应方程式如下：



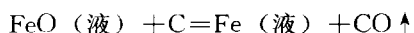
(2) H_2 的还原作用。氢气来自热风中水汽的分解，以及燃料中挥发物和结晶水的分解。氢和铁的氧化物起还原反应，有以下几个反应过程：



(3) 焦炭的还原作用。高炉内 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 还原成 FeO , FeO 与焦炭的还原反应一般分两种情况:



其二是: 当 FeO (液态) 包围着整个赤热焦炭面时, 也可使反应顺利进行:

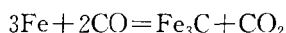
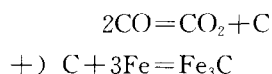


第二个作用是把铁与杂质分开——造渣作用。

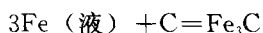
矿石中的杂质主要是脉石, 它的主要成分是二氧化硅, 是酸性物质。为了去除这些杂质就要加入一些促进它熔化的材料, 即熔剂。熔剂与脉石化合成中性化合物就是炉渣。酸性脉石 (SiO_2) 一般加入碱性熔剂 (石灰石), 就造出中性渣。由于炉渣比铁水轻又互相不溶解, 流动性又好, 又有强的活力, 这样就容易把铁和渣分开。同时, 也就把铁水中的有害杂质去除了。

第三个作用是铁吸收碳素——渗碳作用。

经过除氧和去掉脉石的铁 (称为海绵铁), 吸收焦炭中的碳就形成低熔点而含碳高的生铁。这个过程叫做铁的渗碳作用。它的反应式如下:



由于铁的渗碳作用, 铁的熔点逐渐下降, 当铁变成液体后, 它与焦炭直接接触又发生渗碳作用。其反应式为:



生铁中碳含量多少主要取决于碳在铁中的溶解度。而碳在铁中溶解度的大小又取决于高炉温度的高低。一般, 炉温高铁水中碳含量就高些。碳在生铁中的存在状态有两种: 一种是化合碳 (Fe_3C), 另一种是石墨碳。如果生铁中含化合碳较多, 生铁的断口呈白色, 叫做白口铁。白口铁质硬而脆, 耐磨不能加工。如果生铁中含石墨碳较多, 生铁断口呈灰色, 叫做灰口铁。灰口铁质软, 可以加工, 车削性能好。

综上所述, 固体的铁矿石、烧结矿、焦炭和石灰石按一定比例组成一批一批料由上料系统提升到炉顶, 倒入高炉内。由布料器布料, 使炉料在高炉内形成料柱。与此同时, 被热风炉预热的、有一定压力的热风从高炉下部风口处吹入炉内。在热风的作用下, 炉内下部的焦炭与热风接触不断燃烧。燃烧发出的热量使高炉下部矿石和熔剂不断熔化。炉料熔化后变成液体, 体积缩小, 促使炉料下降。这时不断装入炉料, 保持高炉内料柱有一定高度。热的煤气在上升过程中把热量不断传递给炉料, 同时与炉料发生物理化学反应。而煤气本身则逐渐冷却后从炉顶排出。炉料被加热过程中先后发生炉料分解、还原反应、造渣作用和渗碳作用。经过这些作用后铁中还溶解少量硅、锰、硫和磷等杂质, 这就是生铁。其余杂质形成炉渣。铁和渣同时积蓄在高炉底部炉缸内, 到一定数量后先出渣后出铁。

目前, 较广泛采用的炼铁新技术和新工艺有: 高压、高温操作; 喷吹煤粉; 加精料和

小球烧结；100%用熟料，不用生料；高炉煤气回收利用；在检测铁水化学成分过程中应用X-荧光仪等先进测试仪器。以上这些措施可促使焦比降低、冶炼时间缩短、高炉利用系数提高和铁水产量增加。与此同时铁水质量也相应提高，可为炼钢提供更好的原料。

二、钢的冶炼

钢的种类很多，性能也千差万别，但是它们都是用生铁（或生铁加废钢）加造渣材料和脱氧剂在炼钢炉中冶炼而成的。生铁制品硬而耐磨，但很脆并且不易焊接。而钢有良好的韧性、塑性和焊接性，可以锻造和机加工。因此钢的用途比生铁广泛得多。生铁和钢虽然都是铁碳合金，性能为什么有这样大的区别呢？最根本的起决定作用的原因是它们碳含量不同，数量上的变化引起质的变化。一般生铁碳的质量分数为2.0%~6.69%，而钢碳的质量分数为0.02%~2.0%。显然钢比生铁碳含量低得多。当然，钢的有害杂质也比生铁少得多。所以炼钢的主要任务就是根据所炼钢种的要求，把生铁中的碳含量减少到规定范围，同时使其他元素的含量减少或增加到规定范围。有害杂质含量也必须减少到允许范围内。

（一）炼钢的基本过程

炼钢的基本过程可分为以下4个步骤：



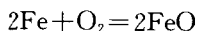
炼钢的炉料主要是铁水和废钢，还有石灰、萤石和白云石等造渣材料，以及锰铁、硅铁、硅锰、铝和硅铝钡等脱氧剂。

炉料按一定比例和顺序装入炼钢炉体中进行吹炼，使固体炉料如废钢、硅铁和锰铁等熔化。而整个炼钢过程都在1700℃高温下进行。

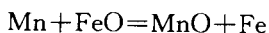
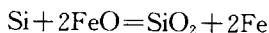
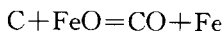
钢的精炼包括以下几个过程：

（1）炼钢的氧化过程。炼钢方法尽管各不相同，但基本上都是氧化过程，以便降低碳含量，提高钢温。氧来源于空气中的氧气、纯氧和铁矿石（ Fe_3O_4 ）中的氧。用氧来氧化碳、锰和硅等元素，其氧化过程分两步进行：

1）部分铁氧化成氧化亚铁（ FeO ），即：



2）在铁水中形成的氧化亚铁与碳（C）、锰（Mn）、硅（Si）等元素反应生成一氧化碳（CO）、二氧化硅（ SiO_2 ）和氧化锰（ MnO ）等，即：



反应生成的一氧化碳气体很容易从钢水中排出。而生成的二氧化硅、氧化锰和氧化亚铁等相互作用成为炉渣浮在钢水面上，扒渣时被扒掉。

（2）造渣和脱氧。生铁中还含有硫、磷两种元素。这两种元素对钢性能有不良影响，一般认为是有害杂质，在炼钢过程中必须尽可能去除。去除方法是在炼钢过程中加入石灰、萤石和白云石等造渣材料，使磷和硫分别变成磷酸钙和硫化钙等炉渣被排出。

在冶炼后期，碳等元素的含量降低到规定范围之后，钢水中仍含有大量的氧。氧在钢中也是有害的杂质，如含量太多，会使钢塑性变差，轧制时易产生裂纹。因此，炼钢的最后阶段必须加入脱氧剂进行脱氧（除沸腾钢外），以去除钢液中氧。常用脱氧剂除锰铁、硅

铁、硅锰和铝外，还有目前正推广使用的硅铝钡混合脱氧剂。这种混合脱氧剂在脱氧效果、节约铝材等方面都取得了较好的成绩。

钢液在调整好成分、温度达到规定范围并经脱氧后即可浇钢。钢水经模铸或连铸成钢锭或钢坯。

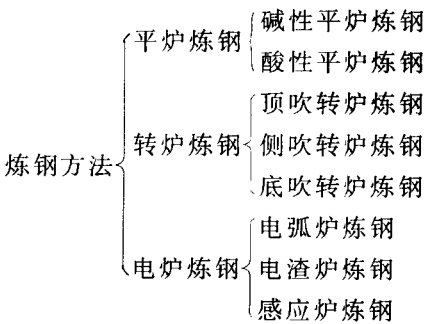
对于碳素结构钢，在钢的冶炼后期也可不加脱氧剂进行脱氧，直接浇注成锭。因钢液中有气体存在，浇注时钢水在钢锭模内产生沸腾现象，这种钢称为沸腾钢。不完全脱氧的钢称半镇静钢。经完全脱氧的钢称为镇静钢。优质钢和合金钢都是镇静钢。

目前采用上小下大的开口钢锭模，在其上口内壁挂绝热板并加保护渣和发热剂，简称“三位一体”铸锭新工艺，代替传统的上大下小带帽铸锭工艺浇注镇静钢。这种“三位一体”的铸锭新工艺在减少缩孔、降低钢锭切头率、改善钢锭表面质量等方面效果十分显著。

总之，炼钢的基本过程是先将炉料装入炼钢炉，炉料在高温下熔化，经精炼（造渣、脱氧），最后浇注成钢锭。

（二）炼钢方法

目前炼钢方法主要有：



由于平炉炼钢周期长、投资大、材料损耗大、污染严重、经济效益差等原因，这种炼钢法已逐渐被淘汰。我国最后一座大平炉现也已拆除。

下面主要介绍 3 种炼钢方法：氧气顶吹转炉炼钢、电弧炉（电炉）炼钢和感应炉炼钢。

1. 氧气顶吹转炉炼钢

氧气顶吹转炉炼钢是目前各国最为盛行的炼钢方法。它的产量占世界钢的总产量一半以上，有的国家如日本占 80% 以上。氧气顶吹转炉的炉型结构如图 1-2 所示。

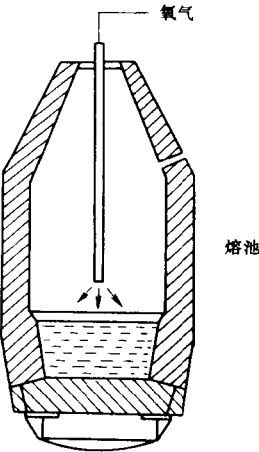


图 1-2 氧气顶吹转炉示意图

转炉炉衬由焦油白云石砖或镁质砖等碱性耐火材料砌成，原料为铁水和废钢。为了造碱性渣去除铁水中的硫、磷，在吹炼过程中需加入石灰、萤石等熔剂造渣。高纯度的氧气（氧的体积分数大于 99.5%）通过吹氧管以 $(6 \sim 15) \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力从转炉顶部喷入熔池上方。在熔池中心产生高温反应区。氧气把铁水中的碳、锰、硅和磷、硫等杂质迅速氧化。在杂质氧化过程中能较快形成高碱度渣，所以能较好地去除硫、磷等杂质。在此同时将产生大量的热量使废钢熔化，把钢水温度提高到所需的温度。所以，此方

法不仅不需要其他燃料，而且经常还需加入废钢或矿石作为冷却剂来调节钢温。在吹氧一定时间，碳、锰、硅、硫和磷等元素含量降至一定范围后，炉口停止冒出火焰，就可停止吹氧。这时抽出氧枪，转动炉体后进行取样分析和测温。当钢液成分和温度都合乎要求时即可出钢。而脱氧剂一般在出钢时加入盛钢桶中。

氧气顶吹转炉的优点有：

(1) 生产周期短，一座 15t 氧气顶吹转炉，吹炼时间不过十几分钟一炉。而电炉需要 2~3h。

(2) 品种多，质量较好，既可炼碳素结构钢，也可炼一些低合金钢和合金钢。

(3) 基建投资和生产费用低。

2. 电弧炉炼钢

电弧炉结构如图 1-3 所示。炉底：炉墙用镁砂加焦油捣筑或用镁砖砌筑。炉顶用高铝砖砌成。炉盖上面有 3 个电极孔，用 3 根石墨电极插入炉内，通电后电极与炉料直接起弧。电弧炉就是靠石墨电极和金属材料之间所产生的强烈电弧供热的。由于电弧处能产生 3000~4000℃ 的高温，所以它能成功地冶炼含一些难熔金属（如钨）的合金钢。除冶金企业外，机

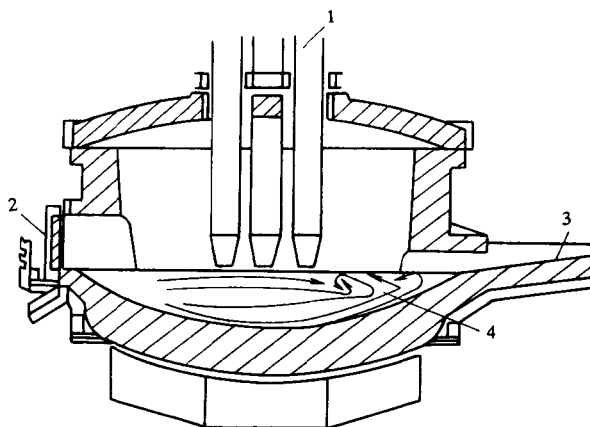


图 1-3 电弧炉结构图

1—电极；2—炉门；3—出钢槽；4—熔池

械厂的铸钢车间也广泛利用电弧炉炼钢。由于电弧炉炉膛能创造一种还原性气氛，可使脱氧比较完善，脱硫比较容易，所以提高了钢材质量。这种方法基建投资少，但耗电较大，因此电弧炉炼钢法主要用来冶炼优质钢、合金钢和特殊性能钢。

电弧炉炉料主要是废钢、废铁和辅助材料如石灰、萤石、矿石和铁皮等。在炼合金钢时还要加入合金元素材料如铬铁、镍铁等。必须注意，加入这些合金材料时应避免把它们直接加在电弧作用高温区，以防大量金属挥发损失。电弧炉由于使用废钢、废铁作为原料，所以熔化期较长，大约占全部冶炼时间一半左右。熔化期电耗占全部电耗 60%~70%。为了加速炉料的熔化和钢液的加热，缩短冶炼时间，采用向炉内吹氧技术。此技术在缩短冶炼周期和节电方面效果显著。

为了冶炼更加纯净的高合金钢和特殊性能钢，还可采取抽真空炼钢方法，如真空电弧

炉就是为此目的而产生的。

3. 感应电炉炼钢

感应电炉炼钢就是将电能由供电线路输入一次线圈（即感应器），当交流电通过一次线圈时，在线圈的周围相应地产生交流磁通，而交流磁通又使二次线圈即坩埚内的金属材料（每一块炉料本身实际上是一个闭合线圈）产生感应电动势。在感应电动势的作用下金属炉料内部就产生感生电流（即涡流）。涡流产生热效应，加热并熔化金属进行炼钢。感应电炉结构如图 1-4 所示。

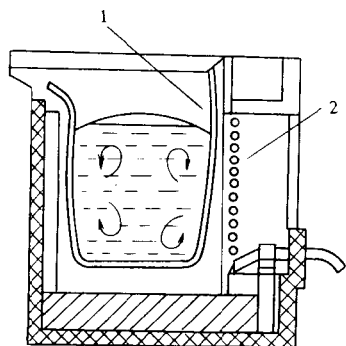


图 1-4 感应电炉结构图

1—线圈；2—坩埚

感应电炉炼钢有以下优点：

- (1) 感应电炉炼出的钢钢质清洁且可炼碳含量很低的钢种。
- (2) 在电磁感应的作用下发生钢液的搅拌，能加速钢渣反应，有助于非金属夹杂上浮，因此钢的化学成分均匀。
- (3) 合金元素烧损低，电效率高。
- (4) 温度可精确控制。
- (5) 可在真空或有利气氛中熔炼（如真空感应炉）。

感应电炉的缺点是电气设备费用高，原材料要求严格，炼钢的成本较高。

（三）钢的浇注

钢炼好以后，除极少部分直接铸成铸件之外，绝大部分都要铸成钢锭和钢坯。钢的浇注是钢生产的最后一个环节。

钢的浇注方法可分模铸和连铸两种。

1. 模铸

模铸是用钢锭模铸锭。此法又分为上注法和下注法。上注法是将盛钢桶中的钢水直接从钢锭模上口注入，每次只注一个钢锭。下注法是钢水注入中注管，通过底盘的流钢砖从模底流入钢锭模中，一次可注几个到几十个钢锭。模铸的设备有：盛钢桶、钢锭模、保温帽、下注底盘和中注管等（如图 1-5 所示）。

2. 连铸

连续铸钢（简称连铸）是 20 世纪 60 年代在炼钢工艺中的一项重大新技术。采用连续铸钢法生产钢坯，可以省掉模铸钢锭的许多工序，可以取代复杂的初轧机设备，是解决开坯问题的一个重要途径。在这种意义上说，连续铸钢是浇注工艺的重大革命。其次在缩短生产周期、提高金属收得率

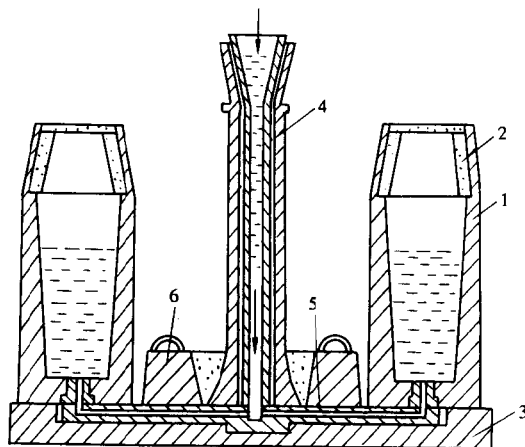


图 1-5 下注钢锭示意图

1—钢锭模；2—保温帽；3—底盘；4—中注管；
5—流钢砖；6—压圈