

中等专业学校试用教材

金属工艺学

(工科机械制造类专业用)

上 册

许德珠 司乃钧 主编

高等教育出版社

中等专业学校试用教材

金 属 工 艺 学

(工科机械制造类专业用)

上 册

许德珠 司乃钧 主编

高等教育出版社

B112704

内 容 简 介

本书是根据一九八二年一月教育部审定的中等专业学校机械类专业通用的《金属工艺学教学大纲(试行草案)》中有关机械制造专业部分而编写的试用教材。全书分上、下两册出版。

上册内容包括:钢铁冶炼,金属材料,钢的热处理,非金属材料,金属的腐蚀及防护方法,典型零件的选材及热处理等;下册内容:铸造生产,金属压力加工,金属的焊接。

本书主要作为中等专业学校机械制造类专业的试用教材,也可供其它有关人员参考。

中等专业学校试用教材

金 属 工 艺 学

(工科机械制造类专业用)

上 册

许德珠 司乃钧 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海中华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 13.5 字数 310,000

1983年12月第1版 1984年3月第1次印刷

印数 00,001—20,500

书号 15010·0522 定价 1.20 元

前 言

机械制造类专业用和热加工类专业用《金属工艺学》两书系根据一九八二年一月教育部审定的中等专业学校工科机械类专业通用的《金属工艺学教学大纲(试行草案)》编写的试用教材。与两书配套使用的各有相应的《金属工艺学实验指导书》。

两书均分上、下册出版。教材内容以课堂教学为主,同时考虑到各校实习条件的不同,适当概括实习内容,两种内容统一编写,便于灵活掌握,具有较大的适用性。书内打“*”号的部分为选学内容,各校可根据专业和学制的特点,进行适当调整和增删。为了便于学生复习,各章后均附有一些复习题,其中有概念题、思考题和作业题。其目的是使学生巩固和掌握所学到的基本知识,培养学生独立思考、分析和解决问题的能力。

编入本教材的有关国家标准和部颁标准资料、数据都是1982年底以前业经批准、颁布,目前使用的。

本书采用国际单位制(SI),并对某些采用米制标准中的单位进行了近似换算(如应力单位以 $1\text{ kgf/cm}^2=9.807\text{ MPa}\approx 10\text{ MPa}$ 换算,冲击韧性单位以 $1\text{ kgf}\cdot\text{m/cm}^2=9.807\text{ J/cm}^2\approx 10\text{ J/cm}^2$ 换算)。但是对于有单位的硬度(如HB, HV, HM),由于它们是一种工程量或技术量而不是物理量,不能用国际单位制换算,故本书仍使用有关标准中的米制单位。

两书均由哈尔滨电机制造学校司乃钧、许德珠主编,参加编写的有:哈尔滨电机制造学校肖重民、北京机械学校潘楚琛、湘潭电机制造学校张盛华、咸阳机器制造学校李义增。

本书由吉林省机械工业学校赵长珍同志主审,参加审稿的还有:关乃文、王旭东、陈定乾、董振峰、王亚然、杨殿元、周栋隆、罗尚廉、夏德芳、邵艳华、郁兆昌等同志。在编写过程中,还得到了哈尔滨工业大学金工教研室张学仁副教授、陈洪勋讲师以及有关院校、科研单位、工厂的指导与帮助,并提供有关资料,在此一并表示衷心感谢!

由于编者水平有限,编写时间短促,因此书中难免有缺点和错误,恳切希望广大读者提出宝贵意见。

编 者

常用符号表

A ——奥氏体	HS——肖氏硬度
A' ——残余奥氏体	HV——维氏硬度
$\text{\AA}$ ——埃, 10^{-8}cm	L ——长度, 液体相
a, b, c ——晶胞棱边长	l ——长度
Ac_1 ——加热下临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	Le ——莱氏体
Ac_3 ——亚共析钢加热上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	Le' ——低温莱氏体
Ac_{cm} ——过共析钢加热上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	M ——马氏体
Ar_1 ——冷却下临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	Me——合金元素, 金属
Ar_3 ——亚共析钢冷却上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	M_s ——马氏体转变开始温度, $^{\circ}\text{C}$
Ar_{cm} ——过共析钢冷却上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	M_f ——马氏体转变终了温度, $^{\circ}\text{C}$
A_K ——冲击功, J	N ——形核率, 应力循环次数
a_K ——冲击韧性(梅氏试样), J/cm^2	P ——珠光体
A_1 ——平衡状态下临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	P_s ——珠光体转变开始温度, $^{\circ}\text{C}$
A_3 ——平衡状态亚共析钢上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	P_f ——珠光体转变终了温度, $^{\circ}\text{C}$
A_4 —— $\gamma\text{-Fe}$ 、 $\delta\text{-Fe}$ 同素异构转变点(温度), $^{\circ}\text{C}$	S ——索氏体
A_{cm} ——平衡状态过共析钢上临界点(温度), $^{\circ}\text{C}$	s ——秒
B ——贝氏体	T ——屈氏体
C ——渗碳体	t ——温度, $^{\circ}\text{C}$
D, d ——直径	v ——冷却速度
d ——天数	v_K ——临界冷却速度
e ——电子	Xt——稀土族元素
F ——铁素体	δ ——延伸率, %
G ——晶体生长率, 自由状态石墨	δ_5 ——由短试样($l_0 = 5d_0$)测出的延伸率, %
H, h ——高度	δ_{10} ——由长试样($l_0 = 10d_0$)测出的延伸率, %
h ——小时	σ_b ——抗拉强度, MPa
HB——布氏硬度	σ_{bb} ——抗弯强度, MPa
HM——显微硬度	σ_e ——弹性极限, MPa
HRA——洛氏A标硬度	σ_s ——屈服点(物理屈服极限), MPa
HRB——洛氏B标硬度	σ_{-1} ——对称交变动循环时的疲劳强度, MPa
HRC——洛氏C标硬度	$\sigma_{0.2}$ ——条件屈服极限, MPa
	ψ ——断面收缩率, %

目 录

绪论	1
第一章 钢铁冶炼	3
§ 1-1 炼铁	3
§ 1-2 炼钢	6
§ 1-3 钢的浇注	10
复习题	11
第二章 金属的机械性能及其试验方法	12
§ 2-1 强度和塑性	12
§ 2-2 硬度	14
§ 2-3 冲击韧性	19
* § 2-4 金属疲劳的概念	21
复习题	22
第三章 金属的晶体结构与结晶	23
§ 3-1 金属的晶体结构	23
§ 3-2 金属的实际晶体结构	25
§ 3-3 纯金属的结晶	27
§ 3-4 铸锭的组织与缺陷	30
复习题	31
第四章 合金的结构与二元合金状态图	33
§ 4-1 合金的结构	33
§ 4-2 二元合金状态图	35
复习题	41
第五章 铁碳合金	42
§ 5-1 铁碳合金中的基本组织	42
§ 5-2 铁碳合金状态图	44
§ 5-3 碳钢	53
复习题	62
第六章 钢的热处理	63
§ 6-1 钢在加热时的组织转变	63
§ 6-2 钢在冷却时的组织转变	69
§ 6-3 钢的退火与正火	76
§ 6-4 钢的淬火与回火	78
§ 6-5 钢的表面热处理	90

*§ 6-6 热处理新技术简介	100
复习题	102
第七章 合金钢	104
§ 7-1 合金元素在钢中的作用	104
§ 7-2 合金元素对钢的热处理的影响	107
§ 7-3 合金结构钢	110
§ 7-4 合金工具钢	121
§ 7-5 特殊性能钢	130
复习题	134
第八章 粉末冶金与硬质合金简介	136
§ 8-1 粉末冶金简介	136
§ 8-2 硬质合金简介	137
复习题	139
第九章 铸铁	141
§ 9-1 铸铁的石墨化及影响因素	142
§ 9-2 灰口铸铁	146
§ 9-3 可锻铸铁	149
§ 9-4 球墨铸铁	151
§ 9-5 合金铸铁简介	155
复习题	157
第十章 有色金属及其合金	158
§ 10-1 铝及其合金	158
*§ 10-2 镁及其合金	164
*§ 10-3 钛及其合金	165
§ 10-4 铜及其合金	166
§ 10-5 滑动轴承合金	170
复习题	173
第十一章 典型零件的选材及热处理	175
§ 11-1 机械零件材料的选用及毛坯选择	175
§ 11-2 热处理技术条件的标注及工序位置	178
§ 11-3 零件的材料与结构形状对热处理变形与开裂的影响	180
§ 11-4 热处理与切削加工性的关系	184
§ 11-5 典型零件材料选用及工艺分析	186
复习题	189
*第十二章 非金属材料	190
§ 12-1 塑料	190
§ 12-2 复合材料	192
§ 12-3 其它非金属材料	193

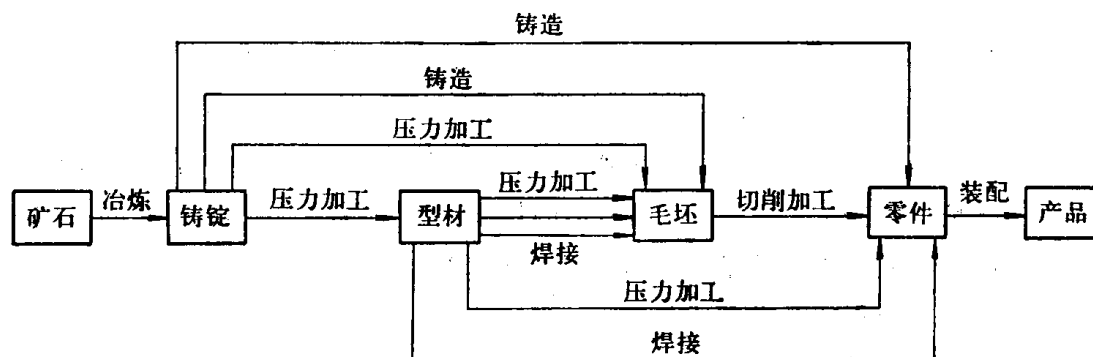
复习题	196
*第十三章 金属的腐蚀及其防护方法	197
§ 13-1 金属的腐蚀	197
§ 13-2 防止腐蚀的方法	200
复习题	205
附表一 常用结构钢退火及正火工艺规范	206
附表二 常用工具钢退火及正火工艺规范	206
附表三 常用钢材回火温度与硬度对照表	207

绪 论

在我国的各个工农业生产部门、科研单位和国防工业中,金属材料及其加工都是不可缺少的重要组成部分。因此,研究金属材料及其加工工艺是非常重要的任务,尤其是对于机械制造业具有更加重要的意义。

“金属工艺学”是一门综合性的技术学科,它系统地介绍了机械制造中所用原材料的性能,冷、热加工的各种工艺方法以及它们之间相互联系的基础知识。其主要内容包括:钢铁冶炼、金属材料、热处理、铸造生产、金属压力加工、金属焊接、切削加工等部分。

在生产中,用冶炼方法得到的金属材料经过加工成为机械零件,再通过装配成为机械产品的过程,可以概括地用下面的图表来表示:



在机械制造过程中,一般是先用铸造、压力加工或焊接等方法将金属材料制成毛坯,再经过切削加工,便可得到所需要的零件。为了改善材料或零件的某些性能,常常需要进行热处理。最后将各种零件装配在一起,即可成为机械产品。

“金属工艺学”是在生产实践中发展起来的一门学科。我国的金属加工工艺发展史,可远溯至史前。

我国是世界上应用铜、铁最早的国家,早在四千年以前就已经开始使用铜。例如 1939 年在河南安阳武官村出土的商殷祭器司母戊大方鼎,其体积庞大,鼎重 875 千克,而且花纹精巧,造型精美。这充分说明了远在商代(公元前 1562~1066 年)我国就有了高度发达的冶铸青铜的技术。

在春秋时期,发明了生铁冶炼技术,开始用铸铁作农具,这比欧洲国家早一千八百多年。

在战国时代,已经有了很高明的制剑技术,说明那时我国已掌握了炼钢、锻造、热处理等技术。

公元七世纪唐朝时期,已经应用锡焊和银焊,这比欧洲早一千多年。

在湖南衡阳出土的相当精致的东汉人字齿轮,说明在汉朝就有了金属的机件。到了明朝,已经出现了很多简单的切削加工设备。1668 年曾使用直径近二丈的嵌片铣刀,由牲畜作动力

带动旋转,用来铣削天文仪上的铜环。为了提高精确度,可将铣刀换下装上磨石,对大铜环进行磨削加工。

明朝宋应星所著《天工开物》一书,内有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属的加工方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

通过上述事实,说明我国古代在金属加工工艺方面的科学技术都曾远远超过同时代的欧洲,在世界上占有过遥遥领先的地位,对世界文明和人类进步作出过巨大的贡献。但是由于封建制度的长期统治,特别是近百年来外国的侵略,国内反动统治阶级的残酷剥削和压迫,严重地阻碍了我国生产力的发展,才使我国科学技术发展停滞落后了。解放前我国的工农业生产和科学研究都处于极端落后的状态。

新中国成立以后,我国工农业生产才得到了迅速地发展,建立了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、宇宙航行等许多现代化工业,为国民经济的进一步高速发展奠定了牢固的基础。与此同时,原子弹、氢弹、导弹的试验成功,人造地球卫星的发射和准确回收,又集中标志着我国科学技术达到了新的水平。

目前,我国正在自力更生的基础上,汲取世界各国最先进的科学技术,全党、全军、全国各族人民团结一致,向着四个现代化方向奋勇前进。

“金属工艺学”是培养工程技术人材所必需的一门以工艺为主的综合性的技术基础课。其教学目的和任务是:使学生掌握常用金属材料的性能以及了解冷、热加工工艺的基础知识,为学习其它有关课程和从事生产技术工作打好必要的基础。

学习金属工艺学课程的基本要求是:

1. 基本掌握常用金属材料的牌号、性能、应用范围和一般选用原则;
2. 了解各种主要加工方法的实质、工艺特点和应用范围;
3. 了解各种主要加工方法所用设备(工具)的工作原理和使用范围;
4. 初步掌握零件的结构工艺性;
5. 具有选择毛坯和零件加工方法的基本知识。

由于“金属工艺学”课程的实践性和应用性都很强,为了保证课程顺利进行,本教材的内容应该在教学实习以后进行讲授。学生通过教学实习,应熟悉金属材料的主要加工方法及其所用设备和工具,对主要工种应具有一定的基本操作技能。在此实践基础上进行课堂教学,才能达到本课程预期的目的和要求。

实验是培养学生独立工作能力和获得一定实验技能的重要教学环节。为此,学生必须认真阅读实验指导书,了解实验的目的、要求、方法和步骤,在教师和实验员的指导下自己动手做好实验,并应写出实验报告。实验要作为学生成绩考核中的重要内容。

根据教学内容,还应布置一定数量的课堂练习和课外作业,用以巩固所学的知识,以及培养独立分析问题和解决问题的能力。

第一章 钢铁冶炼

钢铁材料是国民经济各个部门应用最广泛的金属材料，是现代工业特别是机械制造业的支柱。随着钢铁工业的不断发展，钢铁材料的品种、规格愈来愈多，它的用途也愈来愈广泛。

了解钢铁冶炼基本知识，能使我们更全面地认识钢铁材料，更合理选用钢铁材料。

§ 1-1 炼 铁

生铁是在高炉中由铁矿石熔炼得到的。炼铁的过程就是从铁矿石(铁的氧化物)中还原铁的化学变化过程。

一、炼铁原料

(一)铁矿石

用来炼铁的矿石主要有四种：赤铁矿(Fe_2O_3)、磁铁矿(Fe_3O_4)、菱铁矿(FeCO_3)和褐铁矿($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。

矿石中铁的氧化物部分称为含铁矿物，非铁氧化物部分(SiO_2 、 Al_2O_3 等)称为脉石。矿石中的脉石愈少，其含铁量就愈高，炼铁时焦炭及熔剂的消耗就愈低，高炉的产量也就愈高。实际含铁量较高的铁矿石称为富矿，富矿石只要加以破碎和筛分，便可直接投入高炉内熔炼；实际含铁量较低的铁矿石称为贫矿，贫矿石必须经过富集后才能用来熔炼。

(二)燃料

在高炉冶炼过程中，必须有把铁矿石中的铁还原出来的化学反应，也必须有去除脉石的造渣化学反应。由于这些化学反应都要在高温下才能进行，所以还必须有燃料燃烧的化学反应。焦炭是高炉冶炼的主要燃料，它在燃烧过程中能放出大量热量，保证高炉冶炼对温度的要求。同时，焦炭在不完全燃烧时生成的CO气体又是很好的还原剂。

(三)熔剂

高炉冶炼时加入的熔剂可与脉石和焦炭中的灰分形成低熔点熔渣，熔渣的比重较铁水小，熔点较铁低，流动性也较好，容易与铁水分离而排出炉外。

铁矿石中的脉石和焦炭中的灰分主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 等酸性氧化物，所以常加入碱性熔剂。最常用的熔剂是石灰石(CaCO_3)和生石灰(CaO)。

二、炼铁的基本过程

(一)高炉构造

现代高炉是由高炉炉体、装料设备、热风炉及送风设备、出铁、出渣、排气、除尘等设备组成的庞大机构。我们只简单介绍炼铁的主要设备——高炉炉体。

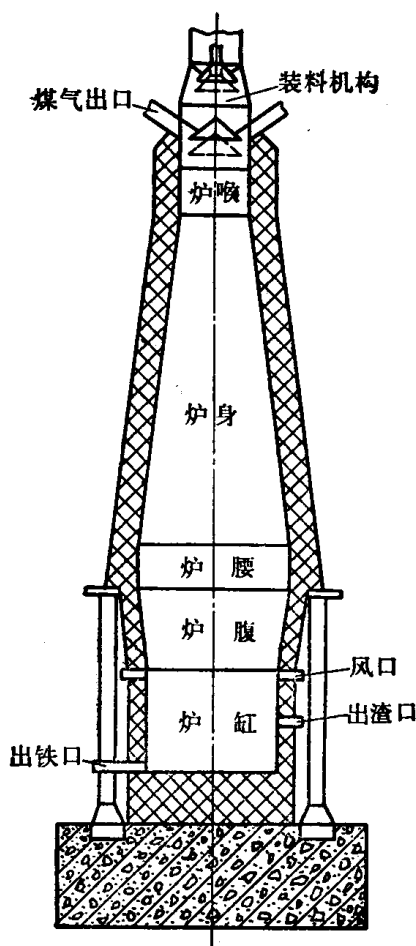


图 1-1 高炉炉体结构简图

高炉炉体是一个外包钢板内砌耐火材料的圆截面竖炉，如图 1-1。从炉喉上部至炉缸底部的全部容积称为高炉有效容积。我国的中小型高炉的有效容积由数十立方米到数百立方米，大型高炉自 1000 立方米至 4000 立方米。

(二)高炉熔炼过程

高炉冶炼时所产生的系列物理和化学变化，是在炉料下降和炉气上升的相对运动过程中进行的，又是在各种炉料具有一定重量比例和适当温度的条件下进行的。这些变化有：燃料燃烧、铁的还原和增碳、其它元素的还原、去硫和造渣。

1. 燃料燃烧 当红热的焦炭降到风口附近时，与热风中的氧化合，生成 CO_2 ，并放出大量热量，使炉缸中心的温度可达 $1800\sim 1900^\circ\text{C}$ 。实践证明，当温度在 1000°C 以上并有过剩碳存在的条件下， CO_2 是不能稳定存在的。所以已经生成的 CO_2 上升时，与炽热的焦炭层接触，被碳还原成 CO ，直至 CO_2 完全消失。炽热的 CO 炉气逆着下降的炉料上升，除了加热炉料外，还能使铁和其它元素的氧化物还原。

2. 氧化铁的还原和铁的增碳 氧化铁的还原是高炉冶炼的主要过程。在一定温度下，按照氧化铁的稳定性程度，依 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ 的顺序，被 CO 还原。整个还原过程在高炉的上部和中部进行。在温度更高的高炉下部，氧化铁可由碳直接还原。

最初还原出来的铁呈海绵状，叫做海绵铁。海绵铁在下降过程中会不断吸收碳而形成 Fe_3C 。铁吸收碳后熔点降低，逐渐熔化成液体，在向下流动通过焦炭时，仍会继续吸碳，最后在炉缸中形成含碳的铁水。

3. 其它元素的还原 锰氧化物的还原与铁氧化物的还原相似，即由含氧高的氧化锰逐渐被 CO 还原成含氧低的氧化锰。 MnO 是稳定的氧化物，要在 $1000\sim 1100^\circ\text{C}$ 以上的高温下才能被固体碳直接还原。还原出来的锰熔入铁中。

脉石和焦炭灰分中的 SiO_2 是更稳定的化合物，也要在 1050°C 以上才能被固体碳直接还原。还原出来的硅也熔入铁中。

矿石中的磷酸钙 $(\text{CaO})_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 在 1000°C 以上的高温下被固体碳直接还原。还原出来的磷也熔入铁中。磷是钢铁中的有害元素，会降低冲击韧性。要冶炼低磷生铁，只有选用低磷矿石。

4. 去硫 高炉炉料中常含有一定量的硫，其中以焦炭中含硫最多。硫溶入生铁或钢中也会显著降低其机械性能。因此，在冶炼钢铁时都要求尽量降低硫的含量。

在炉料中加入石灰石，可使 FeS 与 CaO 在高温下发生反应生成 CaS 。 CaS 不溶于铁而进

入熔渣, 可以去除。硫多时, 炉料中必须多加石灰石和焦炭, 并且要提高热风温度, 这样做就会使生铁的成本提高, 所以含硫高的矿石是不能用来炼铁的。

5. 造渣 矿石中的脉石和焦炭中的灰分主要是 SiO_2 和 Al_2O_3 , 它们的共熔温度很高, 在高炉内很难自行熔化成液体。当加入熔剂石灰石时, 由 CaO 、 SiO_2 和 Al_2O_3 可组成共熔温度较低的炉渣。可见造渣就是熔剂与脉石、灰分熔合在一起的过程。

熔渣滴入炉缸后, 由于其比重较铁水小, 所以浮在铁水之上, 可从出渣口排除。

由上述可知, 高炉冶炼出来的生铁是一种含有碳、锰、硅、磷、硫等元素的复杂合金。

*三、高炉冶炼的技术经济指标

高炉利用系数和焦比是高炉冶炼的主要技术经济指标。

高炉利用系数为每昼夜生铁产量(吨)与高炉有效容积(立方米)之比。高炉利用系数值愈大, 说明高炉的生产率愈高, 也标志炼铁技术水平愈高。我国解放初期的高炉利用系数只有 0.62, 到第一个五年计划结束时(1957 年), 系数提高到 1.32。目前我国先进钢铁企业的高炉利用系数已达 2.0 以上。

焦比是指冶炼一吨生铁所需要的焦炭消耗量。焦比愈小, 生产成本愈低。目前我国的焦比大致是 500~600 千克, 最好的只有 400 多千克。工业先进国家的焦比平均为 400~500 千克, 最好的仅有 360 千克。

四、高炉产品

(一)铸造生铁

铸造生铁用来在熔铁炉(冲天炉)中重新熔化后浇注成铸铁件。这种生铁中含硅量较高, 碳大部分以石墨形态存在, 断口呈灰色, 硬度较低, 便于切削加工, 有很好的铸造性能, 是应用广泛的金属材料。

铸造生铁的牌号和化学成分见表 1-1。牌号中的“Z”是“铸”字的第一个大写拼音字母, Z 后的两位数字表示生铁中平均含硅量的千分数。

(二)炼钢生铁

炼钢生铁是专门用于炼钢的。这种生铁中的碳是以化合物 Fe_3C 形态存在的, 断口呈白

表 1-1 铸造生铁牌号及化学成分(GB 718—82)

牌 号	碳, %	硅, %	锰, %	磷, %	硫, %
Z 34	>3.3	>3.20~3.60	$\leq 0.50 \sim 1.30$	$\leq 0.06 \sim 0.90$	$\leq 0.03 \sim 0.05$
Z 30		>2.80~3.20			
Z 26		>2.40~2.80			
Z 22		>2.00~2.40			
Z 18		>1.60~2.00			
Z 14		1.25~1.60			$\leq 0.04 \sim 0.06$

色, 硬度高, 脆性大, 很难切削加工, 在机械制造中很少直接使用。

炼钢生铁的牌号及化学成分见表 1-2。牌号中的“L”是“炼”字的第一个大写拼音字母, L 后的两位数字表示生铁中平均含硅量的千分数。

表 1-2 炼钢生铁牌号及化学成分(GB 717—82)

牌 号	硅, %	锰, %	磷, %	硫, %
L 04	≤ 0.45	$\leq 0.30 \sim 0.50$	$\leq 0.15 \sim 0.40$	$\leq 0.02 \sim 0.07$
L 08	$> 0.45 \sim 0.85$			
L 10	$> 0.85 \sim 1.25$			

(三)铁合金

在高炉内可以冶炼各种铁合金, 如硅铁、锰铁、铬铁等。国产高炉锰铁的含锰量在 52~76%。铁合金是炼钢的原料之一, 它可以用作脱氧剂和合金元素添加剂。

由于硅、铬等元素的氧化物需要在高温下才能被还原, 所以目前高硅硅铁、铬铁等铁合金都在电炉内熔炼了。

(四)高炉煤气和炉渣

高炉煤气是炼铁时的重要副产品。煤气经过除尘后, 可作为各种加热设备和日常生活用的燃料。

炉渣也是炼铁时的一项数量很大的副产品。近年来由于推广炉渣的综合利用, 碱性炉渣已应用于制造水泥, 酸性炉渣则用来制造渣砖、渣棉等建筑材料。

§ 1-2 炼 钢

一、炼钢的实质

钢比生铁的杂质元素少, 机械性能高。要把生铁炼成钢, 必须减少生铁中碳、硅、锰、磷、硫的含量。减少杂质元素的方法就是在熔化的生铁中, 利用氧气或氧化剂(如铁矿石)使这些杂质元素氧化成气体或炉渣而得到去除。因此炼钢与炼铁不同, 炼铁是一个还原过程, 而炼钢则是一个氧化过程。

二、炼钢的方法

现代炼钢方法主要有三种: 转炉炼钢法、平炉炼钢法和电炉炼钢法。每种炼钢法又分酸性炼钢法(用酸性耐火材料作炉衬)和碱性炼钢法(用碱性耐火材料作炉衬)。

(一)转炉炼钢法

1856 年, 贝塞麦首创了空气底吹酸性炼钢法。转炉呈圆形(图 1-2a), 空气从炉底风口吹入炉内。转炉炉衬用硅砖和石英砂等酸性耐火材料砌筑。在冶炼过程中, 利用空气中的氧气氧化铁水中的铁、锰、硅、碳等元素, 并依靠氧化反应所产生的热量将液体金属加热到所需的高

温。由于硅氧化时放出的热量最多，所以酸性转炉炼钢生铁中的含硅量要求多些。酸性转炉钢的脱氧较充分，钢的质量容易保证。但是由于转炉炉衬是酸性的，不能在炉内造碱性渣，所以无法去除金属液中的有害杂质元素硫和磷。可见酸性转炉炼钢法只能用低硫、低磷生铁作原料，这就限制了酸性转炉炼钢法的应用和发展。

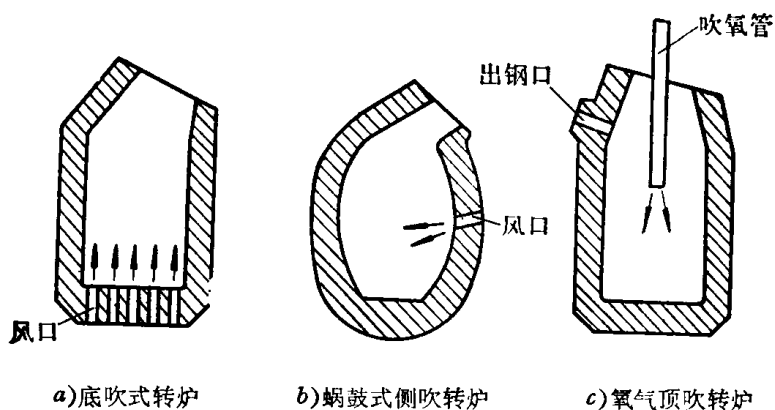


图 1-2 各种转炉炉体示意图

1879 年，托马斯首先应用了空气底吹碱性转炉炼钢法。转炉的炉衬用的是碱性耐火材料镁砖和白云石等。钢的冶炼操作过程与酸性转炉炼钢相似，所不同的是在吹炼过程中向炉内加入熔剂石灰，造成有脱硫脱磷能力的碱性熔渣。磷的氧化放出大量热量，使金属液的温度升高，故此法要求用高磷炼钢生铁作原料。由于硅的氧化物是酸性的，对炉衬有强烈的腐蚀作用，故应限制炼钢生铁中的含硅量。

由于酸性转炉炼钢法和碱性转炉炼钢法都对炼钢生铁有特殊要求，而我国大部分炼钢生铁中含硫量较高，含磷量又不很高。用酸性转炉炼钢法不能去除硫，用碱性转炉炼钢法时，磷的含量又不高，达不到提高炉温的要求。1952 年，我国冶金工作者首创了侧吹碱性转炉炼钢法，解决了中、低磷生铁在碱性转炉内炼钢的难题。由于改进了炉腔形状和吹风方式(图 1-2 b)，使炉子的热效率提高，金属液能很快地升温，因此可用含磷量较低的炼钢生铁。

到了本世纪五十年代，由于制氧技术的日益成熟，为实行氧气炼钢创造了条件。1952 年奥地利首先使用了氧气顶吹转炉炼钢法。经过二、三十年的改进和发展，这种炼钢方法已成为目前世界上一种主要的炼钢方法。图 1-2 c 是氧气顶吹转炉炉体的示意图，它与前述吹入空气的转炉比较，主要特点是利用一根或几根吹氧管(或称氧枪)从钢液上方吹入纯氧气，而炉子的底部和侧面不再开风口。这种转炉大多是碱性炉衬，故有去除硫、磷的能力。

氧气顶吹转炉的冶炼过程可分为三个阶段：

第一阶段是装料。将炉子倾转至装铁水位置，再把混铁炉中的铁水倒入炉内，并按比例向炉内加入一定量的废钢和造渣材料。

第二阶段是吹炼。装料后摇正炉子，降下氧枪，吹入 8~12 个大气压的氧气。在冶炼前期，由于钢液温度较低，硅、锰、铁首先氧化成 SiO_2 、 MnO 、 FeO ，造渣材料石灰也逐渐熔化，铁水中的磷也氧化成 P_2O_5 进入熔渣。吹炼几分钟后，由于炉温逐渐升高，碳的氧化加剧，部分碳与 FeO 反应，使熔渣中的 FeO 含量减少，磷也部分被还原到钢液中。再过几分钟，由于碳的氧化逐渐减弱，铁的氧化又加剧。当钢液中磷、硫、锰、硅、碳的含量均已先后达到技术要求的数量时，即应提枪停氧，进行炉前快速检查，准备出钢。

第三阶段是出钢。钢液的脱氧和合金化是在出钢时同时进行的。在钢水放入盛钢桶的过程中，根据钢种要求加入适量的锰铁、硅铁、铝块和合金料。依靠钢液的高温和冲搅作用，使脱

氧和合金化过程得以顺利进行。

氧气顶吹转炉炼钢法是一种先进的炼钢方法。在日本、西德、法国等国家中，氧气顶吹转炉钢占钢总产量的 76% 以上，转炉的最大容量已达 400 吨左右。我国自六十年代以来，这种炼钢方法也有显著的发展。鞍钢、本钢、攀钢、太钢和宝钢等厂，已经有 300 吨、150 吨、120 吨、50 吨的大中型氧气顶吹转炉投入生产。

氧气顶吹转炉炼钢法具有生产率高、质量好、原料适应性强、成本低和投资少、建厂快等优点。但是转炉炼钢必须用液体生铁作原料，不能大量利用废钢，吹炼时金属的喷溅损失也比较大。

(二)平炉炼钢法

平炉是靠外加燃料在炉膛内燃烧来进行熔炼的炼钢炉。在本世纪五十年代，平炉钢约占世界钢产量的 80~90%。近二十年来，由于氧气顶吹转炉炼钢法的出现和迅速发展，平炉钢的产量在钢的总产量中的比例则逐年下降。

平炉的熔炼室是长方形的，通常用碱性耐火材料砌成，炉膛呈浅盆状(图 1-3)，并向出钢口倾斜。由于平炉是靠外来热源加热炉料的，为了使钢水温度能达到 1600℃ 以上的高温，要求进入熔炼室的空气和煤气都要经过蓄热室进行预热。蓄热室的加热则是利用平炉废气进行的。

平炉的大小用每次熔炼钢的吨数来表示，一般为 50~220 吨，最大的可达 900 吨。

碱性平炉的冶炼过程可分五个阶段：

第一阶段是补炉。用碱性耐火材料修补上炉钢冶炼过程中损坏的部分。

第二阶段是装料。我国平炉炼钢的原料多用废钢和生铁，用铁矿石作氧化剂，用石灰作熔剂。装料是用专门的悬臂式装料机从装料口装入炉内的。

第三阶段是熔化。炉料在高温火焰的加热下温度不断升高，并逐渐熔化成液体。由于火焰中有过剩的空气，所以铁和其它杂质被氧化，生成的 FeO、SiO₂、MnO 等氧化物逐渐形成一层薄渣，覆盖在炉料熔池的表面。这时炉料和火焰不再直接接触，但是炉气中的氧可以通过薄渣中 FeO 的扩散传递作用，使炉料中的杂质进行间接氧化。在图 1-3 中，炉气中的氧先把熔渣中的 FeO 氧化成含氧高的 Fe₂O₃，Fe₂O₃ 通过熔渣扩散至金属液中，又被大量的铁还原成 FeO。一部分 FeO 上升到熔渣表面，又重新被氧化成 Fe₂O₃；另一部分 FeO 则在金属液中使杂质元素氧化，形成各种氧化物和磷酸铁。酸性氧化物与石灰反应又造成了新渣。上述化学反应的进行，使金属液中硅、磷、碳、锰等杂质元素逐渐减少。

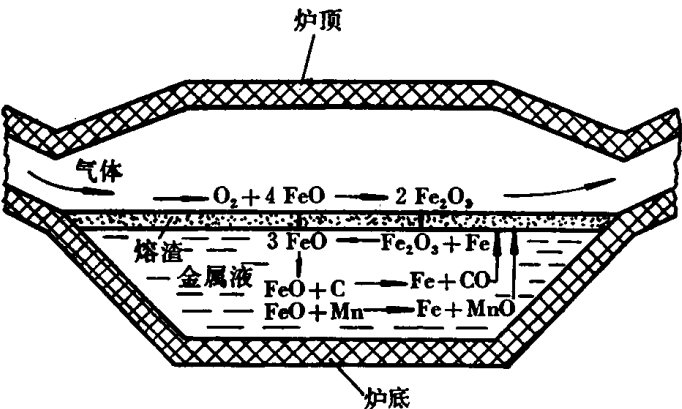


图 1-3 平炉冶炼示意图

FeO。一部分 FeO 上升到熔渣表面，又重新被氧化成 Fe₂O₃；另一部分 FeO 则在金属液中使杂质元素氧化，形成各种氧化物和磷酸铁。酸性氧化物与石灰反应又造成了新渣。上述化学反应的进行，使金属液中硅、磷、碳、锰等杂质元素逐渐减少。

第四阶段是精炼。杂质的氧化加速金属液温度不断升高，使碳的

氧化加剧。CO 气的上升引起金属液的沸腾。在金属液的搅拌作用下，FeO 被带到金属液各处，从而加快了杂质的氧化。当金属液温度足够高并有大量石灰存在时，硫可形成 CaS 而进入炉渣。为了加快氧化过程，在精炼阶段要向炉中加入一定量的铁矿石以增加 FeO 的浓度和渣子的流动性。

第五个阶段是脱氧和出钢。当钢液的化学成分和温度都达到技术要求时，即可加入锰铁、硅铁等脱氧剂进行脱氧，然后出钢。在炼合金钢时，脱氧后还要加入适量的铁合金。

平炉炼钢时，由于金属液有熔渣保护，精炼时主要靠加铁矿石进行氧化，又是用外来燃料加热，所以钢的化学成分和温度容易控制。又因熔炼时间长，有较充裕的时间用化学分析法进行质量检查和控制，所以钢的质量比较稳定。此外，平炉钢中含氧化铁和气体较少，这也是优于一般转炉钢的地方。

平炉炼钢的缺点是：平炉构造复杂，建厂投资大；燃料的热利用率很低，仅有 25% 左右；由于氧化过程比较缓慢，所以熔炼时间长。与氧气顶吹转炉炼钢相比，平炉炼钢的发展就受到了一定的限制。

(三)电炉炼钢法

平炉和转炉通常熔炼碳素钢和低合金钢，主要供一般工农业生产的需要。对于要求更高或在特殊条件下工作的高、中合金钢，则多用电炉炼钢法。这是因为电炉具有炉温高、无氧化性气氛等优点。

炼钢用的电炉主要有电弧炉和感应电炉两种，其中电弧炉的应用最广泛。电弧炉是利用石墨制成的电极与金属料之间产生的电弧作为热源来进行加热熔炼的。

由于对高质量合金钢的需要量日益增长，电炉炼钢也在不断发展。电炉钢在世界主要产钢国的总产量中所占的比例大约是 20~30%。

电弧炉的构造如图 1-4。熔炼高质量合金钢多用碱性炉衬。电弧炉的容量一般为 1~20 吨，最大的可达 360 吨。

碱性电弧炉的冶炼方法主要有氧化法和不氧化法两种。所谓不氧化法，就是用含硫、磷很低和杂质很少的钢直接在电炉内精炼。生产中一般多采用氧化法。氧化法炼钢的过程可分为六个阶段：

第一阶段是补炉。补炉的目的和要求与平炉一样。

第二阶段是装料。小于 3 吨的电炉一般用人工从炉门处装料；大于 3 吨的电炉，一般移开炉盖用吊车装料。

第三阶段是熔化。熔化期大约占全部熔炼时间的一半，占全部耗电量的 60~70%。当炉料全部熔化后即取样分析，作为氧化阶段操作的依据。

第四阶段是氧化。向炉内吹氧或加

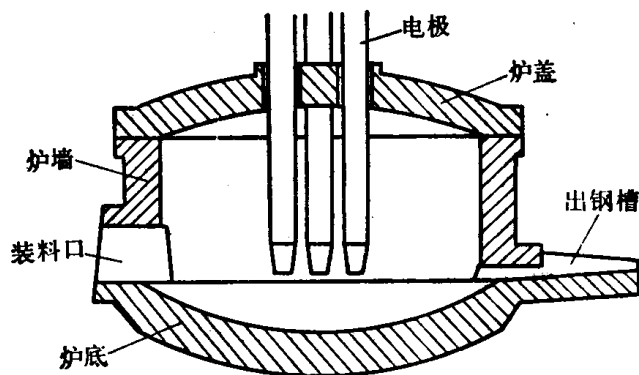


图 1-4 电弧炉构造简图