

中等专业学校教材

金属工艺学

(适用于机械热加工专业)

南昌航空工业学校编



国防工业出版社

中 等 专 业 学 校 教 材

金 属 工 艺 学

(适用于机械热加工专业)

南昌航空工业学校編

国防工业出版社

1964

內 容 簡 介

本书系国防工业中等专业学校机械类热加工各专业“金属工艺学”课程的通用教材。全书共分六篇：第一篇为黑色和有色金属冶炼，还介绍了粉末冶金方法；第二篇为金属材料基本知识，介绍金属材料性质与成分、組織、热处理的初步知识和金属表面防护方法；第三篇为鑄造生产，除砂型鑄造外，充实了特种鑄造的内容，并提及鑄件結構工艺性的概念；第四篇为金属压力加工各种方法，其中突出地讲述了自由鍛造和模型鍛造；第五篇为焊接与切割，除一般焊接方法外，还介绍了特种焊接方法；第六篇为金属切削加工，它包括公差配合与技术测量，机械加工基本知识、各种机床加工方法，加工工艺过程的制定和装配工艺等内容。

本书除供机械类热加工各专业学生学习外，也可供其他专业的师生及有关工程技术人员参考。

金 属 工 艺 学

(适用于机械热加工专业)

南昌航空工业学校編

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印張19¹/₂ 445千字

1964年8月第一版 1964年8月第一次印刷 印数：0,001—2,000册

統一书号：NK15034·799 定价：(科四) 2.00元

目 录

前言	5
緒論	7

第一篇 金属冶炼

概述	9
第一章 生鉄冶炼	10
§ 1 冶炼生鉄的原料	10
§ 2 高炉及其附属设备	11
§ 3 高炉冶炼过程	13
§ 4 高炉产品及其技术经济指标	15
第二章 炼鋼	16
§ 1 轉炉炼鋼	16
§ 2 平炉炼鋼	19
§ 3 电炉炼鋼	21
§ 4 先进炼鋼方法	23
§ 5 鋼錠的澆注与鋼錠的缺陷	24
第三章 銅、鋁、鎂的冶炼	26
§ 1 炼銅	27
§ 2 炼鋁	30
§ 3 炼鎂	31
第四章 粉末冶金	34
§ 1 粉末冶金基本概念	34
§ 2 粉末冶金产品	34

第二篇 金属材料基本知识

概述	36
第一章 金属及合金的性能	36
§ 1 金属及合金的物理和化学性能	36
§ 2 金属及合金的机械性能	37
§ 3 金属及合金的工艺性能	39
第二章 金属学基础	40
§ 1 金属的结构及結晶过程	40
§ 2 合金的构造	43
§ 3 鉄碳合金及鉄碳平衡图	44
第三章 鋼的热处理	49
§ 1 鋼在加热和冷却时組織的轉变	50
§ 2 鋼的热处理基本方法	51
§ 3 鋼的化学热处理	52
第四章 常用的金属材料	53
§ 1 碳鋼	53
§ 2 合金鋼	55
§ 3 鑄鉄	57
§ 4 有色金属及其合金	58
第五章 金属表面的防护方法	61
§ 1 腐蝕的原因	61
§ 2 金属的防护方法	62

第三篇 鑄造生产

概述	65
第一章 砂型制造工艺	66
§ 1 模型及芯盒	67
§ 2 造型材料	68
§ 3 造型	70
§ 4 造芯	73
§ 5 澆注系統	74
§ 6 砂型和砂芯的烘干及合箱	76
§ 7 泥型鑄造	76
第二章 鑄件生产	77
§ 1 金属的鑄造性	77
§ 2 鑄鉄件的生产	79
§ 3 鑄鋼件的生产	81
§ 4 銅合金鑄件的生产	82
§ 5 鋁合金鑄件的生产	83
§ 6 鎂合金鑄件的生产	85
第三章 特种鑄造	86
§ 1 金属型鑄造	86
§ 2 压力鑄造	88
§ 3 离心鑄造	91
§ 4 熔模精密鑄造	91
§ 5 壳型鑄造	93
§ 6 各种鑄造生产方法的比較	94
第四章 鑄件的清理和檢驗	96
§ 1 鑄件的清理和檢驗	96
§ 2 鑄件的缺陷分析和修补	96
第五章 鑄件结构的工艺性	97
§ 1 从金属鑄造性方面考虑	97
§ 2 从簡化鑄造工艺过程考虑	99

第四篇 金属压力加工

概述	102
第一章 压力加工的基本理論	103
§ 1 金属的塑性变形	103
§ 2 金属的冷变形与热变形	104
§ 3 热变形对金属組織与性能的影响	105
§ 4 影响金属塑性与变形抗力的因素	106
第二章 金属的加热	108
§ 1 加热设备	108
§ 2 加热规范	109
§ 3 压力加工后金属的冷却	111
第三章 軋制、挤压和拉拔	111
§ 1 軋制	111
§ 2 挤压	115
§ 3 拉拔	116

第四章 自由鍛造	117
§1 自由鍛造的一般概念	117
§2 自由鍛造的設備與工具	117
§3 自由鍛造的基本工序	120
§4 自由鍛造工藝規程的制定	123
§5 合金鋼、有色金屬及其合金鍛造 的特點	127
第五章 模型鍛造	128
§1 模型鍛造的一般概念	128
§2 錘上模鍛	130
§3 壓力机上模鍛	134
§4 模鍛件的鍛後處理	139
第六章 冷沖壓	142
§1 冷沖壓的一般概念	142
§2 冷沖壓的設備與模具	142
§3 冷沖壓的基本工序與工藝過程	143
第五篇 金屬的焊接與切割	
概述	148
第一章 氣焊	150
§1 氣焊的火焰	150
§2 氣焊設備	151
§3 氣焊工藝	154
第二章 手工電弧焊	157
§1 焊接電弧	157
§2 電弧焊設備	158
§3 電焊條	159
§4 手工電弧焊工藝	160
第三章 特种電弧焊與電渣焊	163
§1 焊劑層下的自動電弧焊	163
§2 氣體保護電弧焊	164
§3 電渣焊	166
第四章 接觸焊	167
§1 對焊	167
§2 點焊	169
§3 滾焊	170
第五章 釺焊與幾種焊接新方法	172
§1 釺焊	172
§2 摩擦焊	173
§3 真空電子束焊	174
§4 等離子焰焊	174
第六章 常用金屬的焊接	175
§1 焊接過程的熱作用	175
§2 常用金屬的焊接特點	177
§3 焊接質量檢驗	180
第七章 金屬的切割	182
§1 氧氣切割	182
§2 電弧切割	183
§3 水下切割	184

第六篇 金屬切削加工

概述	185
第一章 公差配合與技術測量	186
§1 公差與配合的基本概念	186
§2 加工精度	190
§3 圓柱形孔、軸公差配合標準	196
§4 尺寸鏈概念	202
§5 技術測量和量具	204
第二章 金屬切削加工的基本知識	217
§1 金屬切削原理	217
§2 金屬切削機床	225
§3 機床夾具概念	229
第三章 車床及車削加工	230
§1 普通車床及其附件	231
§2 車削加工及其常用刀具	237
§3 其他車床及其加工	243
第四章 鉗床及鉗、鏜削加工	246
§1 鉗頭與鉗削過程	246
§2 鉗床	249
§3 在鉗床上的加工	250
§4 鏜床及鏜削加工	252
第五章 刨床及刨削加工	253
§1 刨刀與刨削過程	254
§2 刨床	255
§3 在牛頭刨床上的加工	257
§4 插床及插削加工	257
第六章 拉削加工	258
§1 拉削概述與拉刀	258
§2 內拉床上的加工	259
第七章 銑床及銑削加工	261
§1 銑刀與銑削過程	261
§2 銑床	264
§3 銑床附件	267
§4 銑削加工	270
第八章 磨削加工	274
§1 砂輪	274
§2 磨削過程	277
§3 磨床上的加工	278
§4 光整加工	281
第九章 金屬特种加工	283
§1 金屬電加工	283
§2 超聲波加工	284
第十章 各種表面加工及零件機械加工 工藝過程	285
§1 各種表面的加工	285
§2 零件機械加工工藝過程	289
第十一章 裝配工藝	293
§1 裝配工藝的基本知識	293
§2 裝配方法與裝配舉例	295

前 言

金屬工艺学这门课程，在机械类热加工各专业教学中，一直没有一本合适的教材。历年来课程内容变化又比较大，教学中也存在着一些问题。在本教材编写过程中，作了比较周全的考虑。如“金属材料基本知识”一篇，过去热加工各专业均不讲授，因为热加工各专业都要另开“金属学及热处理”课。但根据教学计划，它安排在本课程之后，金属工艺学在讲述各种加工方法时又需用到这方面的知识，因此增添了这篇内容。又如“公差配合与技术测量”的内容，过去都讲得较少，为了满足热加工各专业的一般需要，在“金属切削加工”一篇中充实了这方面的内容。再如“装配工艺”一章，过去对此均未引起重视，但热加工专业的学生需要这方面的知识，因为它作为机械制造的最后一个工艺过程，对产品质量有着很大的影响，为此增添了这部分内容。

在取材方面，贯彻了“少而精”的原则，以加强基础为主，重点介绍生产中最基本、最常用的工艺方法。为了讲透工艺方法，也适当地加强了对原理、典型设备和工具的介绍。其内容不仅保证了课程本身的科学系统性，而且密切联系国防工业生产实际，反映了建国十四年以来，特别是贯彻“自力更生”方针的成就。在教材的深广度方面，考虑到本课程是在二年级开设，学生通过学习基础课以及有关工种的生产劳动或实习，已具有一定的感性知识和基础知识，因此在最基本的内容方面，较以往的教材内容有所加深，以便使学生能理解得更深透和掌握得更牢固。

本教材由南昌航空工业学校金属工艺学教研组编写，参加编写工作的有何家法、高翔、熊正毅、甘登和等同志。参加编审的有许正名、彭心平、张连拴、董玉祥等同志。

由于编写时间仓促，以及编写者水平和实际经验有限，难免有不到和错误之处，请读者给予批评和指正，以便再版时修订。

緒 論

金屬工艺学是研究金屬冶炼、金屬性能及其加工方法的綜合性科学，是一門以工艺为主的基础技术課，它由下列各部分组成。

一、**冶炼** 研究由矿石中提炼出金屬或合金以及进一步提純的过程。如从鉄矿石中提炼生鉄，将生鉄炼成鋼，以及炼銅、炼鋁等。

二、**金屬材料基本知識** 簡要的說明常用金屬材料的性能、金屬成分与組織对性能的影响，以及改变金屬組織与性能的热处理方法，为进一步学习各种加工方法打下基础。

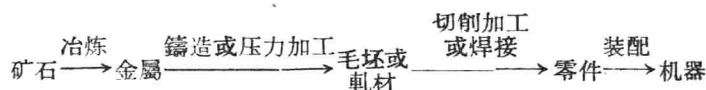
三、**鑄造** 研究利用熔化后的金屬注入鑄型，經冷却、凝固来获得鑄件的方法。这种加工方法可以生产形状复杂的毛坯或零件。

四、**压力加工** 研究金屬在外力作用下产生塑性变形，来制造毛坯或零件的方法。压力加工能改善金屬的組織，常用这种加工方法来生产要求机械性能高的零件。

五、**焊接** 研究在加热或加压、或者在同时加热与加压的情况下，將金屬連接成为一个整体的加工方法。与其它各种連接方法相比較，焊接成本低、质量高，因而应用日益广泛。

六、**金屬切削加工** 这是一种研究利用刀具从毛坯上切去多余金屬而得到零件的加工方法。凡是精度与表面光洁度要求較高的工件，一般都需要經過切削加工。

上述的金屬工艺学各組成部分，各有其相对的独立性，但在机械制造业中，又是互相紧密联系的。其主要关系如下：



机械类热加工各专业的学生，同任何机械制造技术人員一样，必須具有全面的机械制造工艺知識，以便在将来的工作中，能全面研究与选择毛坯的制造方法，預計到以后的加工对毛坯的要求，而不局限在本专业的工作范围内考虑問題。学生在学习了本課程以后，将更为明确所学习的专业在机械制造中的作用与地位，本专业与其它专业的关系，并能深入学习与領会专业知識的内容。金屬工艺学除了为学习专业知識打下必要的基础外，还給予学生学好其它基础技术課以必需的知識，例如在机械零件設計中所牽涉到的金屬材料知識，以及选择毛坯与零件制造方法等。

要学好本課程，学生应具有物理、化学知識与一定的識图能力，并且要通过有关工种的劳动或实习，对本課程中基本工艺内容的操作技能有所掌握。

金屬工艺学是一門基础技术課，但和其它基础技术課比較，其内容相当广泛，而且各个部分的独立性頗强。本着“少而精”的原則，学生应注意掌握各种工艺方法、工艺原理与工艺設備的特点；要采用分析、对比、綜合、归納的学习方法，以达到牢固掌握和灵活运用要求。

· 金屬工艺学是一門实用的科学。学生必須注意理論与实际的联系，特别是与工厂生产实际的联系。不应将課程内容看作是条文式的東西，以为只要背熟条文就行了，而是应經常考虑到如何根据对零件的要求与材料的性能来选用合适的加工方法，使产品在质量、生产率与成本方面都能符合多快好省的原则。

金屬工艺学是在历代劳动人民所創造的工艺方法与积累經驗的基础上发展起来的，我国劳动人民在这方面有很多輝煌的成就。

我国早在上古新石器时代就已有了銅器。殷商时代（公元前 1766~1122 年）銅的冶炼和鑄造已經相当发达。1951~1952 年在河南輝县从战国时代（公元前 400 年）的古墓中所发掘出来的大量鉄器，証明我国在該时代就已普遍用鉄。1952 年在江苏宜兴周处墓中掘出的金屬帶飾，說明我国是鋁的祖国，早在公元 297 年前已經使用了鋁合金。在战国时期，我国鑄鉄工业已經很发达，并且已采用了金屬型，在同一时期还掌握了鍛造和鍛焊的技术，制出了“干将”和“莫邪”等名劍。在汉朝已出現了不少的簡單机械和金屬机件，如湖南省衡阳出土的人字齿輪，制作精細，彼此嚙合得良好。

但由于我国长期处于封建統治下，加上近百年来帝国主义的侵略，許多創造与发明，不但得不到发展与重視，反而被湮沒掉了。

旧中国的工业在整个国民經济中只占很小的比重，基础非常薄弱。这整个薄弱的工业中又只有很少的重工业，那是帝国主义为掠夺我国資源而开办的极少的采掘、冶炼工业和只能担負修理、装配任务的机械工业。部門殘缺不全，帶有殖民地与半殖民地的性质。

解放以后，在党的正确领导下，通过发展国民經济的两个五年計劃，我国工业发生了巨大的变化，社会主义工业化的初步基础已經建立起来了。

拖拉机、汽車、船舶、航空、重型机器、精密机床和精密仪表等工业；都是解放后从无到有建立起来的。現在我国已經有了独立自主的工业体系。

过去，我們的許多重要的工业产品，主要是利用外国的設計，現在，我們已經从仿造发展到自行設計；过去，我們只能制造技术比較簡單的中、小型設備，現在，我們已經能够制造一部分大型的、精密的設備，如年产 150 万吨鋼的鋼鉄联合企业，重型机械厂等，我們已經能够自行設計，并且依靠本国的技术力量建設起来。这表明我国工业建設的力量大大增强了，技术水平大大提高了。

由于新的工业部門的建立和技术力量的增强，我国社会主义建設所需要的設備和材料的自給程度也大大提高了。机器設備的自給率，第一个五年計劃期間为 55% 左右，第二个五年計劃期間提高到 85% 左右；鋼材的自給率，第一个五年計劃期間为 70% 左右，第二个五年計劃期間提高到 90% 左右。这些情况表明，我国社会主义工业已經在自力更生的道路上前进了一大步。

复习思考題

金屬工艺学及其各个組成部分的实质是什么？它屬於哪种性质的課程，其目的与任务是什么？

第一篇 金属冶炼

概 述

冶炼是从矿石中提炼出金属，以及进一步提纯的生产方法。

金属的冶炼分为两类：黑色金属的冶炼——包括炼铁与炼钢；有色金属的冶炼——包括炼铜、炼铝与炼镁等。

冶炼金属的冶金工业在国民经济中具有很重要的地位，要在我国尽快地实现社会主义工业化，必须发展冶金工业。

冶金工业中的钢铁工业是整个工业发展的基础。全世界钢、铁的产量约为金属总产量的94%，其余的为有色金属。但有色金属具有一些独特的性能，在国防工业、机械工业与电力工业方面均起着重要的作用。

我国有丰富的矿产资源，除了铁矿的蕴藏量极丰富以外，还有大量的钨、锡、钼、锰、铝、钒等矿藏，为发展冶金工业奠定了良好的基础。

我国远在公元前六七世纪的春秋时代，已经发明了冶铸生铁的技术，成为世界上最早发明冶铸生铁的国家，比欧洲要早1700多年。公元前二百多年的战国时代，我国已经有了“自然钢”的冶炼法，所炼出的坚韧而锋利的钢，可用来制造宝刀宝剑。公元前的西汉时代，我国已能用熟铁百炼成钢，使炼钢技术有了进一步的发展。在南北朝时代，我国已经有了灌铁冶炼法，在近代坩埚炼钢法发明以前，是世界炼钢技术上突出的创造性的贡献。总之，两千多年来，中国人民在钢铁冶炼上是有卓越成就的，是经常走在世界前面的。在钢的冶炼方面，我国很早就掌握了冶炼技术，早在新石器时代就能炼铜，在公元前2000~1400年已大量使用了铜器。

我国的冶炼技术虽然有着悠久的历史，但由于反动统治的腐败与无能，矿石资源受到帝国主义的残酷掠夺，在解放前我国的冶金工业处于十分落后的状态。钢的产量在1949年的解放前夕为数不过15.8万吨。

解放后，在党的领导下，我国建立了鞍钢、武钢与包钢等大型钢铁企业；有了高达1513米³的巨型高炉，550吨的大平炉。钢的产量有了迅速的增长。近几年来，贯彻了党的调整、巩固、充实、提高的方针与自力更生的方针，国产钢的品种有了进一步增加，如1957年为372种，1959年为500种，1961年则为744种；钢铁的质量合格率普遍有了提高，成本也有所下降，例如1963年1~5月全国各主要高炉的生铁质量合格率达到90%以上，同年1~8月全国重点企业每吨生铁的焦比降低了8.6%，每炼一吨钢，生铁的消耗降低了25公斤。

在钢铁的冶炼技术方面，我国也有着许多创造和发展。在炼铁方面的提高热风温度（提高到900℃，甚至到1080℃）大大提高了冶炼强度并降低了焦比。在炼钢方面有碱侧吹转炉炼钢法、转炉—电炉混合炼钢法、平炉三槽出钢法等，这些新的技术方法，在提高钢的质

量与生产率，以及降低成本方面，都起到了显著效果。特别是标志现代炼钢水平的氧气炼钢，在我国也即将投入生产。

第一章 生铁冶炼

生铁冶炼的实质就是使铁矿石中还原出来的铁，经过吸碳后变成生铁。在冶炼的同时，还将铁矿石中的其他杂质造成熔渣，与生铁分离开来。

本章主要内容为：冶炼生铁所需要的原料与设备，冶炼时发生的物理化学过程，以及冶炼产品的种类与用途。

§1 冶炼生铁的原料

炼铁的原料主要为铁矿石，此外，尚须加入燃料与熔剂。燃料用来维持冶炼所需要的热量，并供给还原剂；熔剂则用来造成熔渣。

1 铁矿石

一、种类 自然界中纯铁很少，而铁均以氧化物或其它化合物的形式存在。铁矿石中以铁的氧化物为主，其它的氧化物如 SiO_2 、 MnO 与 Al_2O_3 等，统称为脉石或废石。含铁的矿石种类很多，最主要的有下列四种，如表 1-1 所示。

表 1-1 铁矿石

名 称	铁的氧化物的分子式	理论含铁量 (纯矿含铁量)	实际含铁量	颜 色	特 性
赤 铁 矿	Fe_2O_3	70%	50~60%	暗 红	较易还原
磁 铁 矿	Fe_3O_4	72.4%	45~70%	灰 或 黑	有磁性，难还原
褐 铁 矿	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	60%	37~55%	黄 褐	还原性好
菱 铁 矿	FeCO_3	48.3%	30~40%	灰	还原性很好

我国铁矿资源丰富，矿区遍布全国。其中主要的矿区有：东北的鞍山与本溪，华北的宣化、五台与安阳，内蒙古的白云鄂博，华东的马鞍山、沂蒙山区与新余，中南的大冶，西南的綦江，西北的镜铁山等地。我国著名的三大钢铁企业——鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司与包头钢铁公司，就建立在鞍山、大冶与白云鄂博等大矿区。

矿石的好坏决定于：含铁量、还原的难易以及有害杂质（硫、磷等）的含量等。

铁矿石中由于有脉石存在，实际含铁量都低于理论含铁量，而且变动的范围很大。实际含铁量在 45% 以上的称为富矿，低于 45% 的称为贫矿。富矿可以直接加入高炉中，贫矿须经过处理才能入炉。

二、铁矿石的处理 开采出来的矿石，其含铁量与块度，都不能满足冶炼的要求，必须加以处理。处理的方法有破碎与筛分、选矿、烧结。矿石的破碎与筛分，是为了得到合格的矿石块度；选矿的目的在于分离开铁矿石中的杂质；烧结则是为了将破碎后的矿粒或选矿后的矿粉烧结成块。

2 燃 料

高炉燃料用来产生冶炼生铁所需的高温，并供给炉内还原反应所需的还原剂。现代高炉绝大部分用焦炭作燃料。焦炭的发热量高，有足够的强度（可承受上层炉料重量而不致被压碎）与一定数量的孔隙（可保证迅速而充分的燃烧），但其缺点是含灰分量与含硫量较高。

3 熔 剂

冶炼时矿石中的脉石与焦炭燃烧后的灰分，都是些难熔物质。加入熔剂后，能降低它们的熔点，使其容易熔化，并与熔剂一起组成熔渣（炉渣）除去。

熔剂有碱性的（如石灰石、白云石等）与酸性的（如石英）两种，但因脉石中的成分以酸性氧化物 SiO_2 为主，故常采用碱性熔剂石灰石（其主要成分为 CaCO_3 ）。

§2 高炉及其附属设备

现代冶炼生铁的设备很复杂，它包括高炉与辅助设备两大部分。

1 高 炉

高炉的外壳用钢板围成，内砌粘土耐火砖。粘土耐火砖的主要成分为 SiO_2 与 Al_2O_3 ，其耐火度是 $1580^\circ \sim 1730^\circ\text{C}$ 。

高炉剖面见图 1-1，其主要组成部分为炉喉、炉身、炉腰、炉腹与炉缸。

炉喉位于高炉最上部，在其上有加料设备与排气管。加料设备是为了保证迅速而均匀的将炉料加入高炉；排气管则用来排除高炉内不断产生的炉气。

炉身在炉喉下面，为了使炉料易于下落，炉身作成上小下大的圆锥形。矿石通过这一部分时，其中大部分氧化铁被还原，并发生铁的吸碳过程。

炉腰与炉腹均在炉身下面，分别为圆柱形与截头倒圆锥形。铁的熔化、熔剂与脉石的造渣，都在此处进行。

炉缸位于炉腹下面，它为圆锥形，用来贮存生铁液与熔渣。炉缸的上部有与环风管连通的風嘴 8~12 个，用来送入热风。下部有出铁口与出渣口，用来出铁与出渣，但出铁口的位置低于出渣口的位置。

高炉的大小按有效容积计算，有效容积是指从装料线至出铁口中心线处的炉内容积。我国鞍钢、武钢和包钢已拥有有效容积为 1386、1436 和 1513 立方米的自动化巨型高炉。

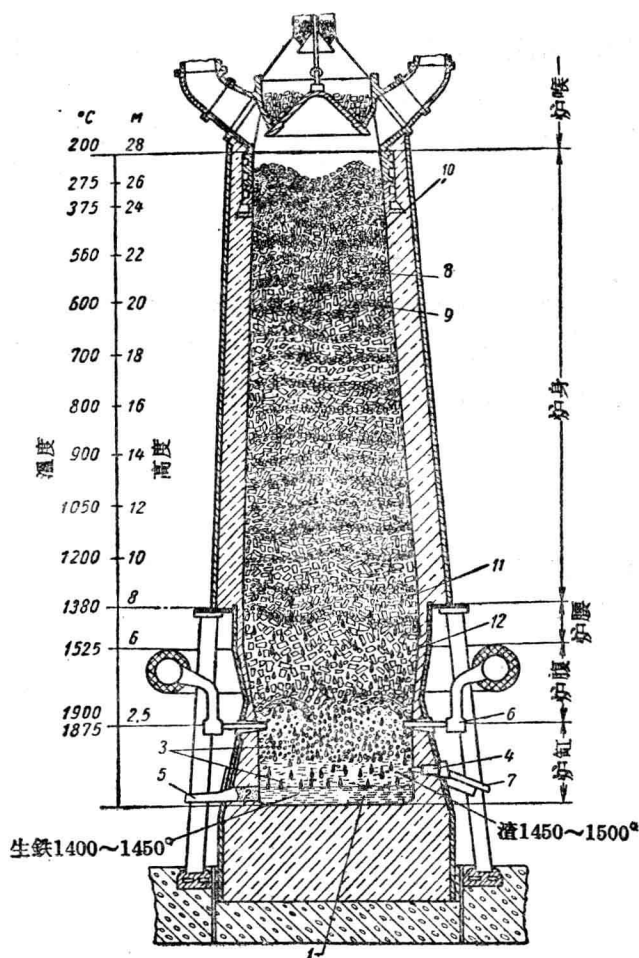


图1-1 高炉剖面:

1—生鐵水；2—出鐵口；3—渣液；4—出渣口；5—出鐵槽；6—風口；7—出渣槽；8—燃料；9—矿石；10—熔剂；11—生鐵熔滴；12—渣的熔滴。

2 輔助設備

輔助設備中主要的为热風炉。热風炉是将鼓风机送来的冷空气預热到 $600\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，再通入高炉內。若将冷空气直接鼓入高炉內，炉溫不易提高到 1300°C 以上。采用热風炉就可以提高高炉炉溫，既改善了高炉熔炼过程，又节省了燃料。現代高炉燃燒区的溫度高达 1800°C 。

热風炉的外层为鉄壳1，内砌耐火磚2。它的主要部分为燃燒室5与格子房6，见图1-2。

使用热風炉預热空气时，先利用燃燒的煤气加热格子房，再利用格子房加热空气，并且是交替循环进行的。当加热格子房时，关上热風口8与空气进口4，并由煤气进口3送入煤气与空气。煤气与空气在燃燒室5內燃燒，燃燒后的高温气体通过格子房6，使格子房6的溫度上升，廢气最后由烟道7与9

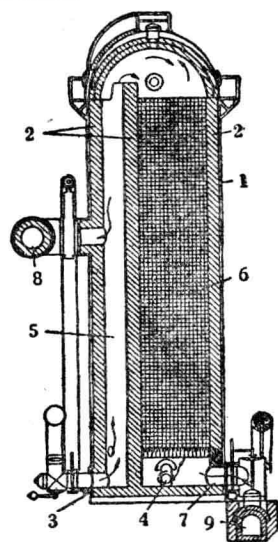


图1-2 热風炉剖面。

排出。

当热风炉的格子房被加热到800~1200°C时，关上煤气进口3和烟道7，开启空气进口4与热风口8。由空气进口4送入的空气，通过格子房6时被加热到600~1000°C，然后热空气经燃烧室5、热风口8、热风管等进入高炉。

利用煤气加热格子房，一般需要二小时，而利用格子房加热空气，则只能用一小时。为了使热风能不断地供给高炉，每一座高炉至少要有三座热风炉。

辅助设备中尚有加料设备、巨大马力的鼓风机、除尘设备和渣、铁处理设备。

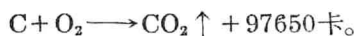
§3 高炉冶炼过程

处理后的矿石，燃料与熔剂分层装入高炉。当炉料下降时，通过不同的温度区域，并与上升的炉气接触，发生一系列的物理、化学变化。变化后所得到的生铁水与炉渣，聚集在炉缸中，分别由出铁口与出渣口放出。高炉出铁每天为4~6次，在每次出铁前须出渣2~3次。放出的生铁水用来炼钢或铸成生铁锭。

高炉冶炼生铁的变化是复杂的，兹择其主要的过程说明如下。

1 焦炭的燃烧

高炉料层中的焦炭在下落过程中，逐渐被加热，当它降落到风嘴附近时，即热到赤热状态，此时从风嘴鼓入炉内的1.5大气压的热空气，与它发生燃烧反应：



反应中所产生的热量，可使炉缸的中心温度达到1800°C，其它区域温度的分布情况见图1-1。

CO₂上升后，遇到下落的赤热焦炭，发生还原反应：

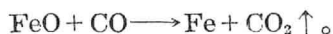
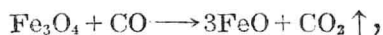
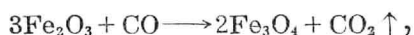


反应中所产生的CO是还原铁矿石所需要的主要还原剂。

2 氧化铁的还原

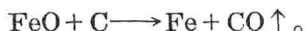
矿石中的氧化铁在高炉中发生的还原反应，有间接与直接两种。

一、间接还原 间接还原发生在250~950°C温度范围内，以CO作为还原剂。还原反应是逐步进行的，即由高价的氧化铁依次还原成低价的氧化铁和铁：



由CO还原出来的铁，约为铁的总量的50%时，燃料消耗最少。至于未被还原的铁，均以FeO的形式存在。

二、直接还原 未被彻底还原的FeO，下落到高于950°C温度区域时，被固体碳素直接还原：

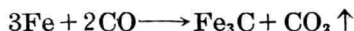


在这个反应过程中，由下列反应产生的活性碳原子起着主要作用，它是由CO分解出来的：



3 铁的吸碳

由上述反应还原出来的铁，疏松多孔，称为海绵铁，它具有很强的吸碳能力。吸碳反应如下：



其中只有部分的铁发生吸碳反应。铁经过吸碳后熔点降低，在1200°C温度区域，熔化成为液滴，通过焦炭缝隙，落入炉缸中。

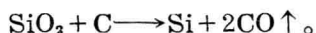
4 硅、锰、磷的还原

存在于矿石中的 SiO_2 、 MnO_2 与 $(\text{CaO})_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ，在较高温度区域始能还原。其中 MnO_2 的还原，是由含氧较多的氧化物依次还原成为含氧较少的氧化物，最后才还原成为金属锰。现将其还原次序排列如下：



由 MnO_2 依次还原成为 MnO ，在温度为700°C的区域就已完成，此时是以CO作为还原剂，所生成的 MnO 比较稳定。只有在高于1100°C温度区域，才能被碳素直接还原成为金属锰。

硅的还原反应在更高温度区域（不低于1050°C）中进行。其主要反应为：



磷的还原反应复杂，而且在高炉中几乎全部还原。

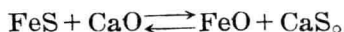
经上述反应生成的 Si、Mn、P 均进入生铁中。在炼高硅或高锰生铁时，要提高炉温与多加焦炭，以利于 SiO_2 或 MnO_2 的还原；而在冶炼低磷生铁时，应选用含磷少的矿石。

5 去 硫

矿石与焦炭中的硫，以 FeS 的形态溶于铁水中。为了减少生铁的含硫量，须加入一定数量的石灰石（其主要成分为 CaCO_3 ）以造成碱性渣。石灰石在900°C左右温度区域即分解：



去硫反应是由石灰石分解出来的 CaO 进行的：



CaS 不溶于铁水，比重小，故能进入铁水上面的渣中，可随渣一道除去。但由于反应是可逆的，只能去除一部分硫。若多加石灰，则去硫较彻底。

6 造 渣

CaO 与矿石中的脉石、焦炭中的灰分通过复杂的变化形成熔渣。熔渣在炉腰及炉腹部分熔化，流入炉缸，浮于铁水表面上。高炉熔渣由 SiO_2 、 Al_2O_3 与 CaO 等物质组成。

高炉冶炼生铁时，炉渣起很大的作用。如果能很好地控制炉渣，就能得到所要求成分的生铁。例如为了能很好地去硫，须造成含 CaO 多的高碱性渣；要炼含硅较多的铸造生

鉄，就須造成較难熔的炉渣。

§4 高炉产品及其技术經濟指标

1 高 炉 产 品

高炉的主要产品为生鉄。生鉄为鉄与碳的合金，含碳量大于2%，并含有硅、錳、硫、磷等杂质，其种类如下。

一、炼鋼生鉄（白口生鉄） 用来作为炼鋼原料，含硅量小于2%。其中所含的碳全部以 Fe_3C 的形态存在，因而炼鋼生鉄很硬很脆，且断面呈銀白色。

二、鑄造生鉄（灰口生鉄） 含硅量为2~4%，有良好的鑄造性能，用来作鑄造原料。鑄造生鉄所含的碳，主要以石墨形态存在，因而硬度低，断面呈灰色。

三、高炉鉄合金 它用作炼鋼的原料，其中含有大量的硅与錳。例如硅鉄的含硅量为10~13%，錳鉄的含錳量为70~75%等。

如前面所提到的，要使硅、錳等元素大量还原出来，就須多加燃料，提高風溫并降低冶炼速度，这便提高了成本。用高炉生产炼鋼生鉄具有最低的成本和最高的生产率，而在生产鑄造生鉄（特别是鉄合金）时，成本便相应提高。

高炉产品除生鉄外，还有高炉煤气（由 CO 、 H_2 、 CH_4 、 CO_2 与 N_2 等組成）和炉渣。高炉煤气用来作热風炉、炼鋼平炉与炼焦炉的燃料；炉渣則用来作建筑材料。

2 高炉技术經濟指标

高炉技术經濟指标以高炉利用系数 K 和焦比 k 来表示：

$$K = \frac{T \text{ (每昼夜生产的生鉄吨数)}}{V \text{ (高炉有效容积的立方米数)}};$$

$$k = \frac{Q \text{ (焦炭公斤数)}}{T \text{ (生鉄吨数)}}。$$

高炉利用系数与焦比，可以說明高炉的工作情况。高炉利用系数愈大，表示生产率愈高；而焦比愈小則表示成本愈低。我国鞍鋼在敌伪时期的高炉利用系数为0.565，解放初期为0.612，1959年上升到1.64。焦比降低情况：1962年1~11月全国重点鋼鉄企业比1961年降低了八十多，1963年1~6月又降低五十多。鞍山炼鉄厂1963年1~8月的焦比，已降低到610左右。

复习思考題

1. 什么是生鉄冶炼的实质？并用生鉄冶炼的实质來說明高炉原料应具备的条件和作用。
2. 試述高炉各組成部分的功用，热風炉的結構与工作原理。
3. 說明高炉冶炼生鉄的主要原理。
4. 高炉炼出的鉄，为何不是純鉄，而是生鉄？
5. 試述高炉生鉄的种类、成分、性能与用途，以及冶炼硅鉄、錳鉄时，应采取的特殊措施。

第二章 炼 鋼

高炉冶炼出来的生铁，大部分用来炼钢。钢也是铁碳合金，但其含碳量低于2%，硅、锰、磷、硫的含量，也较生铁为少。现举一例加以比较：

生铁 3.5% C 1.5% Si 1% Mn 0.2% P 0.5% S

鋼 0.4% C 0.3% Si 0.6% Mn 0.03% P 0.03% S

由此可见，要将生铁炼成钢，就必须降低生铁中碳与杂质的含量。因而炼钢的实质为通过氧化除去铁中的一部分碳与杂质，使其中碳与杂质的含量达到钢所要求的标准。炼钢与炼铁的区别在于炼钢为氧化过程，而炼铁为还原过程。

现代炼钢的方法主要有转炉炼钢法、平炉炼钢法与电炉炼钢法三种。根据炼钢炉所用的耐火材料不同，炼钢又分酸性炼钢法与碱性炼钢法两种。酸性炼钢法的炉衬为硅砖与石英砂等酸性耐火材料；碱性炼钢法的炉衬材料为镁砖、镁砂与白云石等。

§1 轉 炉 炼 鋼

转炉炼钢是将空气吹入转炉内的生铁水中，通过氧化来除去其中一部分碳与杂质的炼钢方法。

1 底吹轉炉的构造

转炉按吹入空气的位置不同，可分为底吹、侧吹与顶吹三种。

底吹转炉的构造见图1-3。它由钢壳与耐火材料构成。炉身左、右各有一轴（实心轴与空心轴），安装在支架上以支承转炉。其中的实心轴用来将转炉倾转到不同的角度，以便从炉口注入铁水与倾出钢水，冶炼过程所需的2~2.5个大气压力的空气，则经空心轴、风管、风箱与炉底上的风嘴吹入炉内生铁水中。

转炉的容量是以每一炉能注入的铁水重量来表示，一般为3~5吨，大型转炉可达100吨。

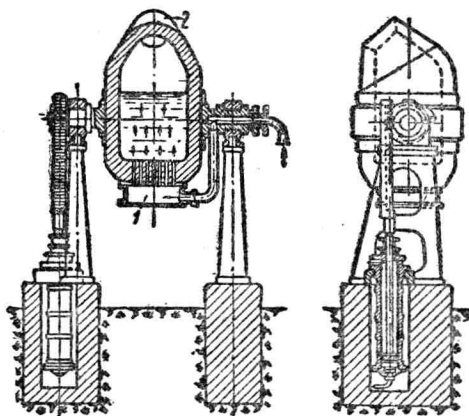


图1-3 底吹轉炉：
1—風箱；2—炉口。

2 底吹轉炉炼鋼

当由浇包将生铁水注入转炉中时，转炉须转动一定的角度（见图1-4a），使铁水不致流入炉底的风嘴。铁水注入后，向炉内鼓风并将转炉转到垂直位置开始吹炼（见图1-4b）。

一、酸性转炉炼钢法 用这种方法炼钢时，炉衬材料为硅砖、石英砂。因为炉衬材料是酸性的，铁水的硫、磷含量应很低（ $P < 0.07\%$ 、 $S < 0.06\%$ ），而含硅量较高（为0.8