



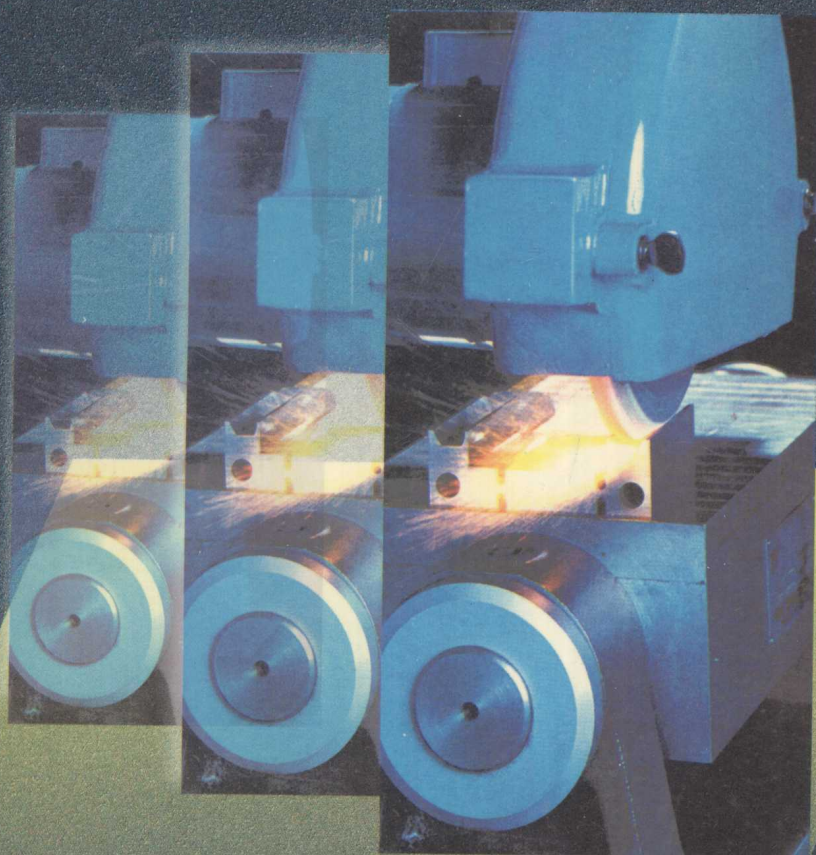
国家教委中等专业学校规划教材

机械维修类专业通用

金属工艺学

(第二版) 上册

黄孟域 主编 郭新民 副主编



高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是在第1版的基础上,根据1987年国家教委审定的中等专业学校工科机构类专业通用《机构工程材料工艺学教学大纲》修订的,修订时仍保持了原有的体系和风格。全书分上、下册出版,并配有《金属工艺学实验指导书》。

上册内容为钢铁冶炼、金属材料及钢的热处理、非金属材料、金属的腐蚀及其防护方法、铸造生产、金属压力加工、金属的焊接;下册为金属的切削加工、特种加工以及零件生产过程的基本知识。

本书主要作中等专业学校机构维修、设备运转、设计等类专业用的教材,也可供其他相近专业以及职工中专、职业高中有关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学 上册/黄孟域主编. —2版. —北京:高等教育出版社,1994.5(1996重印)

中等专业学校教材 机械维修类专业用

ISBN7-04-004332-7

I. 金… II. 黄… III. 金属加工—工艺学—专业学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第01048号

*
高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

江苏省丹阳市第三彩色印刷厂印装

*
开本 787×1092 1/16 印张 15.5 插页 1 字数 380000

1986年2月第1版

1994年5月第2版 1997年7月第4次印刷

印数 73492—94300

定价:12.50元

第 2 版 序

本书是根据国家教育委员会关于调整1986~1990年全国中等专业学校教材选题规划的通知精神和中等专业学校工科机械类(不含热加工)《机械工程材料工艺学教学大纲》的要求,在1986年第1版的基础上修订的。

本书保持了原有的体系和风格,同时,根据教学大纲精神删减了一些过深、过难的内容,增加了一些新内容。全书还按最新国家标准进行订正。

全书分上、下两册出版。上册为工程材料及热加工工艺,下册为金属的切削加工、特种加工及零件生产过程的基本知识。配有《金属工艺学实验指导书》。

本书带有“*”号的部分为选学内容,各校可根据不同的专业、对象、学制加以取舍,对某些教学计划有特殊要求的专业,可根据专业需要适当调整。

本版由铁道部济南铁路机械学校黄孟域(第2版序、绪论、第1至10章、第15、18章及上册附录),郭新民(第11、12、14、19章),曹方中(第13章)和山东经济管理干部学院王旭东(第16、17章及下册附录)修订。全书由黄孟域任主编,郭新民任副主编。

本书由全国中专金属工艺学课程组组长、长春水利电力高等专科学校康云武组织审稿,并兼任下册(第16至19章)主审;南京化工学校罗会昌任上册(第1至15章)主审。参加审稿会议的还有:四川省农业机械化学学校刘志刚,兰州石油学校石文义,成都无线电机械学校苏家麟,苏州铁路机械学校胡焕章,南京农业机械化学学校顾平,湖南省机械工业学校陈定乾,山东省机械工业学校陆永昌、马中全。最后经全国中专金属工艺学课程组讨论通过,推荐作为全国中专机械维修、设备运转、设计等类专业金属工艺学教材。

对提出宝贵意见和建议的审稿老师,以及给予大力支持和帮助的苏州铁路机械学校,在此一并表示感谢。由于修订时间匆促,水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

与本书配套的《金属工艺学实验指导书》同时作了修订。

编 者

1993年1月

第 1 版

前 言

本书是根据1982年2月原教育部审订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）》中有关机械维修类专业的内容编写的，与本书配套使用的尚有《金属工艺学实验指导书》（工科机械维修类专业用）。

主要内容包括：钢铁冶炼、金属材料及其热处理、铸造、压力加工、焊接及切割、切削加工等加工工艺以及零件生产过程的基本知识等十八章。

本书在编写过程中，注意了我国四化近期建设与长远目标、传统科学与现代科学的关系；努力贯彻少而精、理论联系实际的原则。为此，对主要内容除阐明现象与结论外，都作了一定的说理分析；对实际的工艺过程除作分析说明外，尽量注重实用，特别对常用和简便的工艺方法作了适当介绍（例如，简单零件热处理工艺曲线的拟订、自身回火及回火色的应用、火花鉴别等）；对新工艺、新材料、新技术也有一定介绍。

对注重培养学生综合运用知识的能力，本书在阐述金属材料及冷、热加工工艺的基础上，将原大纲中“典型零件的选材及热处理”和“工艺过程的基本知识”两部分内容合并为一章，并安排在最后，定名为“零件生产过程的基本知识”。以材料（或毛坯）的选择→加工工艺的配合→产品质量、数量的分析为主线，全面考虑技术与经济的统一，对所学知识进行系统全面地分析、归纳、总结。为便于学生复习巩固所学知识，各章后均附有一定量的复习思考题，以培养学生独立思考、分析和解决问题的能力。

全书计量单位统一采用我国法定计量单位。术语、定义及物理量代号以近期国家标准为准，国家标准没有的，则以《机械工程手册》为依据。为了便于学生阅读“金属工艺学”外文资料，本书下册附有汉英常用专业名词对照表。

本书带有“*”号部分为选学内容，可根据不同专业、对象、学制加以取舍，对某些特殊要求的专业，可根据专业需要适当调整。

本书由铁道部济南铁路机械学校黄孟城同志主编，兰州铁道学院副教授蒋光道同志主审。参加编写的有济南铁路机械学校郭新民同志（第十一、第十二及第十八章）、曹方中同志（第十三章）、郭宏孝同志（第十四章），山东机械工业学校王旭东同志（第十六、第十七章、下册附录），其余（前言、绪论、第一章至第十章、第十五章、汉英常用专业名词对照表及上册附录）由黄孟城同志编写。本书插图由济南铁路机械学校王渤同志描绘。

本书编写期间收到兄弟学校的不少宝贵意见。在编审过程中，济南交通学校田柏龄同志提出了很多积极建议。在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中的错误及不当之处在所难免，敬希广大读者指正。

编 者

1985年6月

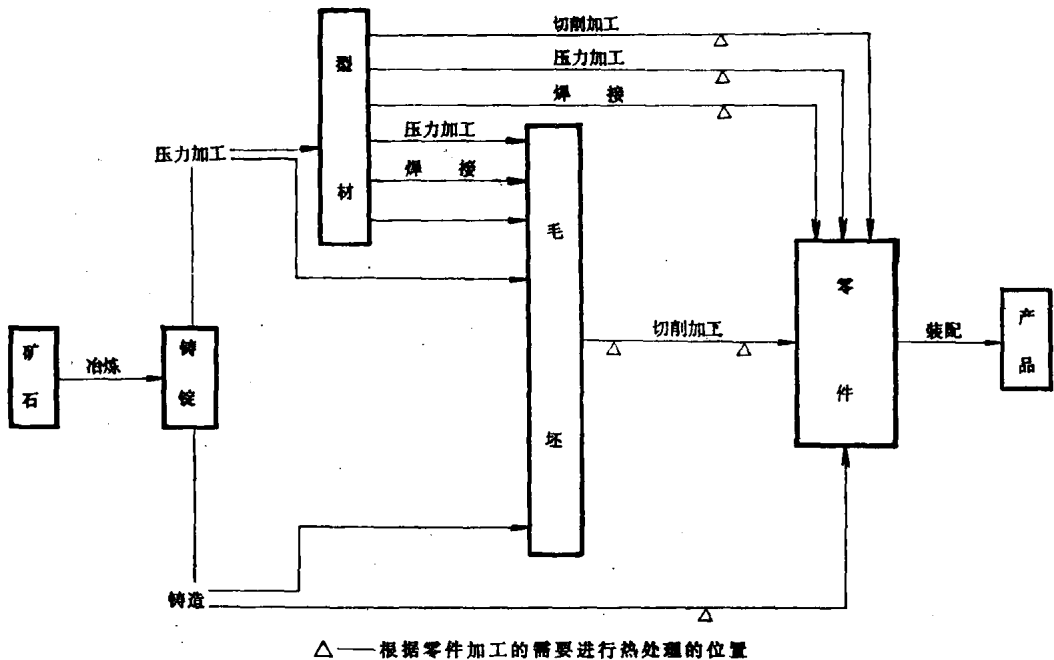
目 录

绪论	1	复习思考题	88
第1章 钢铁冶炼	3	第7章 合金钢	90
第1节 炼铁	3	第1节 概述	90
第2节 炼钢	4	第2节 合金元素在钢中的作用	90
复习思考题	7	第3节 合金元素对钢的热处理的影响	93
第2章 金属的力学性能及其试验方法	8	第4节 合金钢的分类与牌号	96
第1节 强度和塑性	8	第5节 低合金结构钢与合金结构钢	97
第2节 硬度	10	第6节 合金弹簧钢与滚动轴承钢	101
第3节 冲击韧性	14	第7节 合金工具钢与高速工具钢	103
第4节 金属疲劳的概念	16	第8节 特殊性能钢	107
第5节 金属蠕变的概念	17	复习思考题	110
复习思考题	18	第8章 粉末冶金与硬质合金简介	112
第3章 金属的晶体结构与结晶	19	第1节 概述	112
第1节 金属的晶体结构	19	第2节 粉末冶金减摩材料及硬质合金简介	112
第2节 金属的实际晶体结构	21	复习思考题	114
第3节 纯金属的结晶过程	23	第9章 铸铁	115
第4节 钢锭的结构	27	第1节 概述	115
复习思考题	28	第2节 灰铸铁及其热处理	118
第4章 合金的相结构与二元合金相图	29	第3节 可锻铸铁	121
第1节 基本概念	29	第4节 球墨铸铁及其热处理	122
第2节 合金的相结构	30	第5节 合金铸铁简介	125
第3节 二元合金相图	31	复习思考题	127
复习思考题	35	第10章 有色金属及其合金	128
第5章 铁碳合金	36	第1节 铝及其合金	128
第1节 铁碳合金的基本组织	36	第2节 铜及其合金	131
第2节 铁碳合金相图	37	第3节 滑动轴承合金	135
第3节 碳素钢	46	复习思考题	137
复习思考题	52	第11章 非金属材料	138
第6章 钢的热处理	54	第1节 概述	138
第1节 概述	54	第2节 工程塑料	139
第2节 钢在加热时的组织转变	54	第3节 橡胶	142
第3节 钢在冷却时的组织转变	58	第4节 陶瓷	143
第4节 钢的退火与正火	66	第5节 复合材料	143
第5节 钢的淬火与回火	69	复习思考题	144
第6节 钢的表面热处理	80		
第7节 热处理新技术简介	86		

第12章 金属的腐蚀及其防护方法	145	第1节 概述	203
第1节 金属的腐蚀	145	第2节 手工电弧焊	203
第2节 防止腐蚀的途径和方法	147	第3节 气焊与气割	210
复习思考题	149	第4节 其它焊接方法简介	215
第13章 金属铸造生产	150	第5节 焊接应力与变形	221
第1节 概述	150	第6节 常用金属材料的焊接	225
第2节 砂型铸造	150	第7节 常见焊缝缺陷及检验	229
第3节 常用合金的铸造性能	163	第8节 焊接结构工艺性	231
第4节 铸件结构工艺性	166	复习思考题	233
第5节 特种铸造简介	169	附录1 洛氏硬度与其它硬度及强度换算表	235
复习思考题	176	附录2 常用钢材回火温度与硬度对照表	237
第14章 金属压力加工	177	附录3 结构钢按坯料截面与屈服极限选用钢种参考表	238
第1节 概述	177	图版 钢的加热温度色标图	
第2节 金属压力加工基本原理	178	钢的回火温度色标图	
第3节 金属锻造的加热与冷却	183		
第4节 自由锻造	184		
第5节 模型锻造	195		
第6节 板料冲压	198		
复习思考题	202		
第15章 金属的焊接	203		

绪 论

本课程是研究机械工程材料(主要是金属材料)及其加工工艺的一门综合性的技术基础课。内容包括钢铁冶炼、金属材料及热处理、铸造生产、金属压力加工、金属焊接、金属切削加工及非金属材料等部分。它们在机械生产过程中的地位与作用如下图所示:



从上图可以看出,从矿石到制成机械产品,需要经过一系列的加工过程,一般是先将矿石冶炼成铸锭,再通过铸造、压力加工或焊接等工艺方法制成毛坯,然后进行切削加工制成各种零件,其间根据需要进行热处理,最后经过装配得到成品。具体到每一部机器,甚至每一个零件,都有选择材料、选择加工方法的过程,选择的材料不同,选择的加工工艺也就不同。例如:有的材料适宜于铸造,有的材料则适宜于压力加工。经过铸造或压力加工后的工件,又影响后续的焊接、切削加工及热处理等工艺。因此,从选材到各种工艺之间都是相互联系相互影响的,直接关系到机械产品的质量、产量及成本等。为了充分发挥金属材料的潜力,提高产品质量,提高生产效率,降低产品成本,机械技术人员必须具有能全面地、综合地分析从选材到各种加工工艺的基础知识。金属工艺学正是培养工科学生获得这些基础知识的一门必修的技术基础课。

金属工艺学是从生产实践中发展起来的一门学科,对人类文明进步起了推动作用。我国金属工艺学发展的历史,可以追溯到商代(公元前1562~1066年),那时就已制造出许多精美的铜器。在春秋时期铸成的铁器已大量使用于农耕,冶铁技术比欧洲早1800多年。战国时期已掌握较高的铸造、热处理等技术,制出了“干将”、“莫邪”等名剑,还可以用白口铁经热处理制造可锻

铸铁。唐代就开始用锡焊和银焊,比欧洲早1000多年。到明朝,不仅出现了很多切削工具,还有比较完整的文字著作,如宋应星所著的《天工开物》一书,内有冶铁、炼铜、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工法,是世界上最早比较全面地叙述金属工艺的科学著作之一。总之,我国人民在金属工艺学方面取得过辉煌的成就,对推动人类文明进步有过举世公认的卓越贡献。但是,由于长期的封建统治,帝国主义的掠夺,以及半封建半殖民地反动统治的压榨,我国的科学技术未能得到充分发展,金属工艺技术长期处于落后停滞状态。

新中国成立后,我国人民在中国共产党的领导下,在坚持独立自主、自力更生建设方针的同时,不断汲取世界各国的先进科学技术,我国的工业生产和科学技术得到迅速发展,逐步建立了独立的比较完整的工业生产体系。同样,我国在金属工艺技术方面取得了很大的发展,许多新材料、新技术、新工艺、新设备在金属工艺学所涉及的各个领域得以广泛应用,并不断取得新的成果。例如:钢产量由1949年的15.8万吨增加到1992年的8000多万吨,并制定了适合我国实际情况的钢铁标准;建立了符合我国资源特点的合金钢系统;研究出具有世界先进水平的稀土镁球墨铸铁、特殊性能合金等新材料;依靠本国金属工艺技术,利用国产金属材料,制造了相当数量的远洋巨轮、内燃机车、汽车、机床及各种机器设备,建造了南京长江大桥,成功地发射了跨进世界先进行列的运载火箭和试验通讯卫星,建成了30万千瓦的秦山核电站;生产的金属材料和机械设备除了满足国内需要外,还有相当数量远销世界许多国家。这些成就足以表明,我国在冶炼、铸造、压力加工、焊接及切削加工等金属工艺技术方面已经达到了较高的水平。另外,我国在塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料的研制、生产和应用方面也有了较大进展。但是,就目前来说,与世界先进水平比较,我国在金属工艺学所涉及的领域,技术仍较落后,生产率较低,产品质量和数量还有待提高,人力、物力、能源的使用还大有潜力,很多先进技术还有待于大力推广和发展。因此,必须进一步加强金属工艺技术研究,赶超世界先进水平,为我国的现代化建设做出新的贡献。

学习本课程的目的和任务是:培养学生根据零部件要求,合理地选择使用常用金属材料及合理选择加工方法的能力,并为学习其他有关课程及从事生产技术工作奠定必要的金属工艺学基础。

学习本课程的基本要求是:初步掌握常用金属材料的牌号、成分、组织、性能及其应用和一般选用原则;具有运用常用热处理方法的初步能力;了解各种加工方法的实质、工艺特点和应用范围;初步了解零件的结构工艺性和金属材料的加工工艺性;了解各种主要加工方法的设备、工作原理和使用范围;初步掌握选择毛坯和零件加工方法的基本知识。

金属工艺学是实践性和应用性很强的一门课程,因此,在学习过程中不仅要注意系统的理论学习,及时完成指定的习题和作业,而且必须注意密切联系实际,在教学中除利用电化教学以增强直观性外,还应充分重视金工实习、实验课以及现场教学等实践性环节。通过实习、实验,熟悉金属材料的主要加工方法、常用的试验方法及其所用的设备和工具,对主要的工种和实验具有一定的操作能力,为培养独立分析问题、解决实际问题的能力创造条件。

第1章 钢铁冶炼

钢铁材料在现代工农业生产中占有很重要的地位，是国民经济各部门中应用最广泛的材料。为了合理地选用钢铁材料，本章将简要地介绍钢铁冶炼的基本过程。

第1节 炼铁

现代炼铁是在高炉中进行的，炼铁过程就是从铁矿石（铁的氧化物）还原成铁的化学变化过程。

一、炼铁原料

炼铁的主要原料是铁矿石、焦炭和熔剂。

(1) 铁矿石 在自然界中，除陨石外，铁矿石多以氧化物（ Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 $FeCO_3$ 、 $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ 等）形式存在。铁矿石中除了铁的氧化物外，还有氧化硅、氧化锰以及硫、磷等其他杂质（称为脉石）。炼铁实质是将铁矿石中铁的氧化物还原成为铁，并除掉脉石得到生铁的过程。

(2) 焦炭 要完成从矿石中提炼铁的任务，只能 在高温下进行。所以，必须有燃料燃烧，以提供炼铁所需要的热量。焦炭是现代炼铁的主要燃料，它的发热量高，在不完全燃烧时所生成的CO，还是很好的还原剂。

(3) 熔剂 熔剂的作用是与脉石及焦炭的灰分相互作用，生成密度较小的炉渣，使其与铁水分离。由于脉石中主要是酸性氧化物 SiO_2 ，所以多用碱性的石灰石作为熔剂。

二、高炉及炼铁基本过程简介

炼铁的主要设备是高炉，高炉炉体构造示意图如图1.1。它是由炉缸8、炉腹6、炉腰5、炉身4、炉喉3、风嘴9、环形风管11、出渣口7、出铁口10、排气管2及加料设备1组成的大型炉子。从出铁口到炉喉之间的全部容积称为有效容积，用它表示高炉的大小，小高炉只有几立方米，大高炉可达5050m³。

炼铁的基本过程是：先将炉料从上部的加料设备装入炉内，由于焦炭燃烧，矿石、熔剂熔化，使炉料不断下降，同时从环形风管通过风嘴向炉缸鼓入热风，热风上升，使焦炭燃烧，生成的CO将铁的氧化物还原成铁。其反应式为

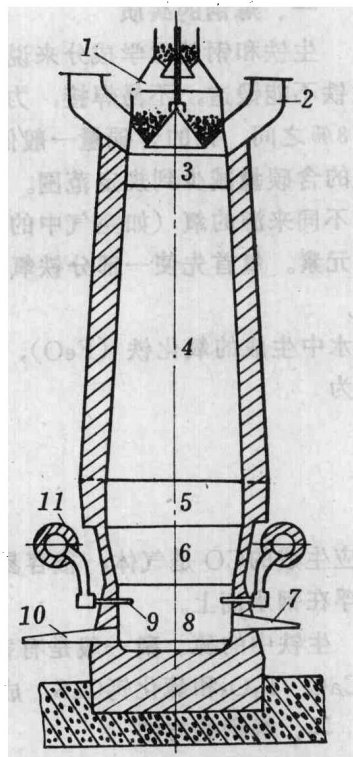
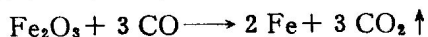


图1.1 高炉炉体结构示意图

1. 加料设备, 2. 排气管, 3. 炉喉, 4. 炉身, 5. 炉腰, 6. 炉腹, 7. 出渣口, 8. 炉缸, 9. 风嘴, 10. 出铁口, 11. 环形风管

在高温下，碳又能渗入到还原出来的铁中，变成熔点较低的铁水。铁水从出铁口流出，即为高炉生铁，炉渣浮在铁水上面，由出渣口排出。

三、高炉生产的产物

高炉的产物有：

(1) 铸造生铁 是指用于铸造各种铸铁件的生铁，一般含硅量较高（高达3.60%）。

(2) 炼钢生铁 是指专门用于炼钢的生铁，一般含硅量较低（不大于1.25%），在高炉生铁产量中占80~90%。炼钢生铁不一定浇注凝固成铁锭，在钢铁联合企业中，常以液体状态供炼钢炉炼钢，以降低成本，提高生产率。

(3) 铁合金 是在冶炼时特意加入一些成分，炼成含有合金元素的特种生铁。铁合金是炼钢原料之一，它可以用作脱氧剂和合金元素添加剂。

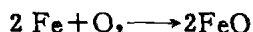
(4) 高炉煤气 是炼铁时的副产品，可作为燃料。

(5) 炉渣 也是副产品，可用来制造水泥、渣砖或直接用来铺路。

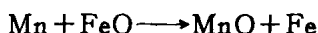
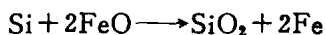
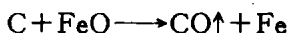
第 2 节 炼 钢

一、炼钢的实质

生铁和钢就化学成分来说绝大部分是铁，并都含有碳及其他一些元素。但生铁与钢不同，生铁不能锻造，不易焊接，力学性能也差，而最根本的区别是：生铁的含碳量大多在2.2~3.8%之间，钢的含碳量一般低于1.5%，其次是生铁中杂质元素较多。炼钢的主要任务是把生铁的含碳量减少到规定范围。所以用生铁炼钢，实质上是一个氧化过程（炼铁则是还原过程），是用不同来源的氧（如空气中的氧、纯氧气、铁矿石 Fe_2O_3 中的氧）来氧化铁水中的碳、锰、硅等元素。氧首先使一部分铁氧化成 FeO ，其反应式为



铁水中生成的氧化铁（ FeO ），再使碳、硅、锰等元素氧化成为 CO 、 SiO_2 和 MnO 等，其反应式为



反应生成的 CO 是气体，很容易从铁水中排至炉外，生成的 SiO_2 、 MnO 同 FeO 互相作用成为炉渣浮在钢水面上。

生铁中的硫、磷一般是有害的，必需尽可能除去。在钢中加入石灰使磷、硫变成磷酸钙 $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 和硫化钙 CaS ，成为炉渣排出。

二、炼钢的方法

炼钢方法主要有三种：转炉炼钢法、平炉炼钢法和电弧炉炼钢法。每种炼钢法又分为酸性炼钢法和碱性炼钢法。炉衬材料及炉渣为酸性的炼钢法称为酸性炼钢法。这种方法不能去除硫、磷，应用受到很大限制。炉衬材料及炉渣均为碱性的炼钢法称为碱性炼钢法。这种方法可以除掉炉料中大部分硫、磷，工业用钢绝大部分是用碱性法冶炼的。

1. 转炉炼钢法

转炉炉形见图1.2, 它的炉身内衬是耐火材料、外包钢板的容器。它可在一定位置转动, 所以叫转炉。所用的主要原料是炼钢生铁(铁水)及废钢, 利用铁液中的碳、硅、锰、磷等元素与吹入的氧气发生氧化反应放出的热量作为热源, 不需另加燃料。

氧气顶吹转炉炼钢法是当代炼钢的主要方法, 具有速度快、成本低、投资少等一系列的优点。它的主要产品是各种碳素钢和低合金钢。

2. 平炉炼钢法

平炉炉形见图1.3。平炉炼钢必须依靠外来热源, 用煤气或重油作燃料, 喷入熔炼室进行燃烧, 使炉料熔化和升温。所用的主要原料是炼钢生铁和废钢, 靠炉气中的氧和加入的铁矿石使铁水中的杂质氧化。平炉容量大, 废钢比例不限, 整个冶炼过程比较容易控制, 能用劣质原料炼出优质钢。缺点是炉子构造比较复杂, 投资大, 冶炼时间长。采用吹氧技术, 可显著提高平炉的生产率。平炉用于冶炼各种碳素钢和低合金钢, 适于大量生产。

3. 电弧炉炼钢法

电弧炉炉形见图1.4。电弧炉炼钢是利用电能作为热源的炼钢法。电弧炉炉盖上有三个圆孔, 供插入石墨电极用。通电时, 电极与炉料之间产生电弧, 造成很高的温度, 使熔炼得以进行。所用的主要原料是废钢。

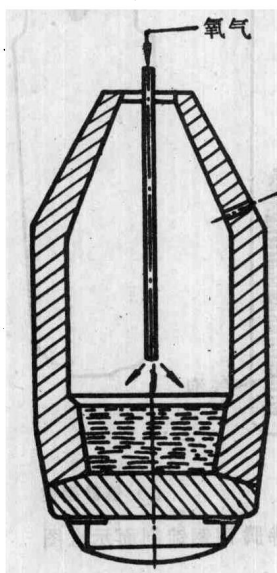


图1.2 氧气顶吹转炉示意图

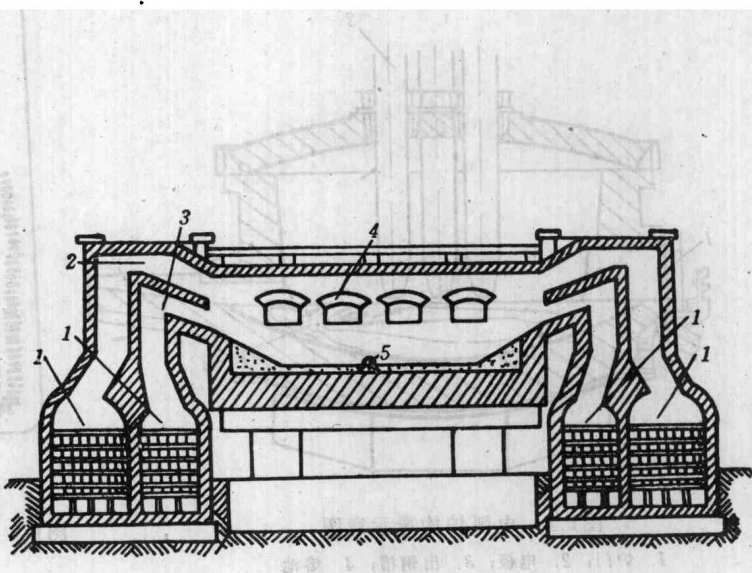


图1.3 平炉构造示意图

1. 蓄热室; 2. 空气进口; 3. 煤气进口; 4. 装料口; 5. 出钢口

电弧炉炼钢的优点是炉料通用性大, 炉内气氛可以控制, 是熔炼高质量合金钢的有效方法。缺点是耗电量大, 成本比转炉、平炉高。主要用于各种合金钢和优质碳素结构钢。

三、钢的脱氧

炼钢的过程中, 杂质氧化后钢水(钢液)中常存在过剩的氧。这些氧残留在钢中, 对钢的力学性能产生不良的影响, 因此, 必须脱氧。根据钢的脱氧程度不同, 钢锭分为镇静钢、沸腾钢和半镇静钢。

镇静钢是指在浇注时, 加入足够的脱氧剂(硅、铝)进行充分的脱氧, 使钢水凝固时不产

生CO气体，钢水保持平静，所以叫镇静钢。其特点是成分和性能均匀。但钢锭头部有巨大的缩孔，切头量较大，成材率低，成本较高。一般合金钢和优质碳钢都是镇静钢。

沸腾钢是指在浇注时，只用弱脱氧剂锰铁，进行不完全的脱氧，致使钢锭浇注后，钢水中残存的氧与碳发生化学反应，生成大量的CO气体，引起钢水沸腾，所以叫沸腾钢。沸腾钢内部分布着许多气泡，一般无缩孔，轧成钢坯后，头部切除量很小，成材率高（一般大于80%），表面质量好，成本低。但成分和性能不均匀，抗腐蚀性和力学性能较差。这类钢大量用于含碳量不大于0.25%的低碳钢，由于具有良好的塑性，故通常轧制成型钢或钢板，在不影响使用性能的条件下，应尽量采用这类钢，以降低成本。

半镇静钢是介于镇静钢与沸腾钢之间的钢，它的产品质量较难控制，这类钢在生产中所占的比重不大。

镇静钢和沸腾钢钢锭的宏观组织见图1.5。

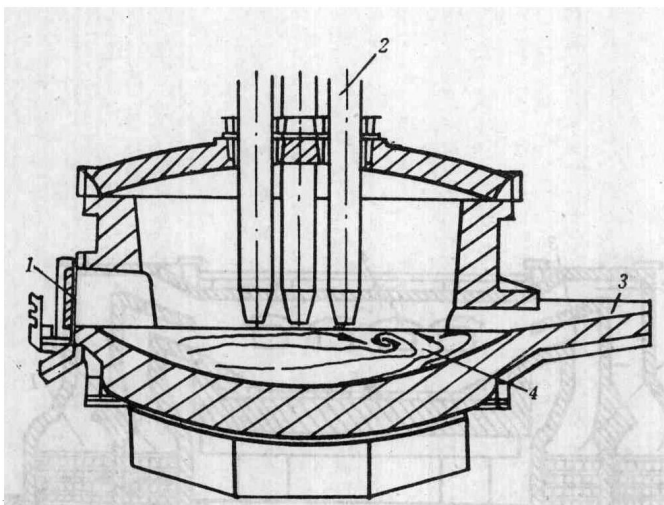
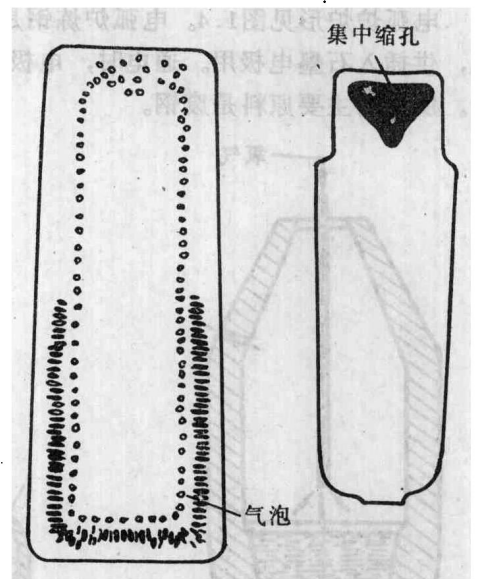


图1.4 电弧炉构造示意图

1. 炉门；2. 电极；3. 出钢槽；4. 熔池



a) 沸腾钢锭 b) 镇静钢锭

图1.5 镇静钢和沸腾钢钢锭剖面示意图

四、钢的浇注

浇注方法分模铸法和连铸法两种。

模铸法又分为上注法和下注法两种。上注法是将钢水从钢锭模上口注入。此法比较简单，外来夹杂物少，但每次只能浇注一个钢锭且易造成飞溅，影响钢锭表面质量。下注法（见图1.6）是将钢水注入中注管，通过底部流入铸模，一次可浇注多个钢锭，生产率高，宜浇注小钢锭。

连铸法见图1.7，是将钢水连续注入铸机的水冷结晶器内，迅速冷却，凝成一个坯壳，并缓慢从结晶器下口拉出，全部凝固后，经矫直，切割成一定长度的铸坯。这种方法成材率高、质量好、成本低、劳动条件好，是先进的浇注法，目前我国正在普遍推广。

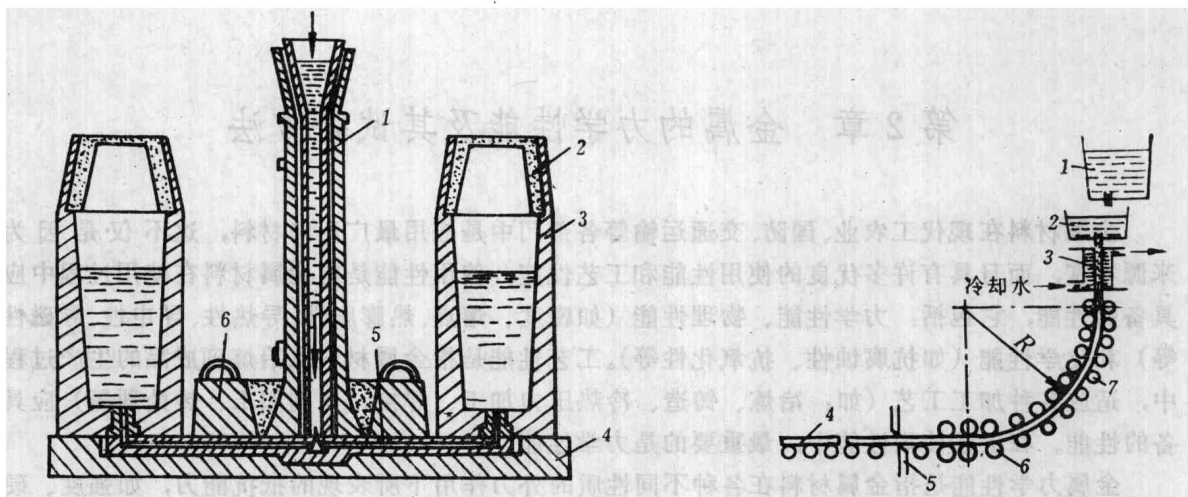


图1.6 下注模铸法示意图

1. 中注管; 2. 保温帽; 3. 钢锭模; 4. 底盘; 5. 流钢砖; 6. 压圈

图1.7 连铸法示意图

1. 盛钢桶; 2. 中间罐; 3. 结晶器; 4. 钢坯; 5. 切割机; 6. 矫直机; 7. 冷却夹辊

复习思考题

1. 炼铁的主要原料是什么? 起什么作用?
2. 炼铁与炼钢的实质有什么不同?
3. 炼钢生铁与铸造生铁有什么不同?
4. 什么是沸腾钢? 什么是镇静钢? 什么是半镇静钢? 各有何优缺点?

第2章 金属的力学性能及其试验方法

金属材料在现代工农业、国防、交通运输等各部门中是应用最广泛的材料，这不仅是因为来源丰富，而且具有许多优良的使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中应具备的性能，它包括：力学性能、物理性能（如密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性、导磁性等）和化学性能（如抗腐蚀性、抗氧化性等）。工艺性能是指金属材料从冶炼到成品的生产过程中，适应各种加工工艺（如：冶炼、铸造、冷热压力加工、焊接、切削加工、热处理等）应具备的性能。在上述使用性能中，最重要的是力学性能。

金属力学性能是指金属材料在各种不同性质的外力作用下所表现的抵抗能力，如强度、硬度、塑性、韧性、弹性、抗疲劳性等。这些性能指标在工业生产及科研中具有重要的作用。它是评定原材料质量和工艺水平的重要根据，是机器零件和构件设计时进行强度计算和选材的主要依据，也是金属材料研究中挖掘材料性能潜力和发展金属新材料的主要准绳。

第1节 强度和塑性

一、强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。由于作用力性质不同，可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。目前，在生产中最常用最基本的强度是抗拉强度，其试验方法是拉伸试验法。

将试验用的金属材料制成一定形状和尺寸的试样（见GB6397—86《金属拉伸试验试样》），图2.1为试样示意图，图中 d_0 为直径， L_0 为标距长度。根据规定圆形试样有长试样（ $L_0=10d_0$ ）和短试样（ $L_0=5d_0$ ）两种。

试验时，将试样两端夹装在试验机的上下夹头上，随后缓慢地增加外力（载荷、负荷）。随着载荷的增加，试样逐步变形伸长，直至被拉断为止（试验方法详见GB228—87《金属拉伸试验法》）。在试验过程中，试验机自动记录每一瞬间载荷 F 和伸长量 ΔL ，并绘出它们之间的关系曲线，故称拉伸曲线（或拉伸图）。拉伸曲线反映了材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形，直至拉断时的力学特性。

图2.2为低碳钢的拉伸曲线图，图中 OE 是直线段，载荷不超过 F_e 时，伸长量与载荷成正比增加，载荷去掉后，试样恢复到原来长度，即弹性变形阶段。当载荷超过 F_e 时，试样除产生弹性变形外，开始出现塑性变形，载荷去掉后试样不能恢复到原来的长度，即保留塑性变形。载荷继续增加到 F_s 时，虽然载荷不再增加，但试样继续伸长，这种现象称为屈服。屈服现象是金属发生显著的塑性变形的标志。

载荷继续增加到 F_b 时出现试样局部截面变细的缩颈现象。由于截面变小，载荷也就下降，当载荷达到 F_m 时，试样被拉断。 F_b 是试样拉断前所能承受的最大载荷。

根据拉伸曲线，可以求出材料的强度指标。强度指标通常以应力表示。材料受外力作用时，

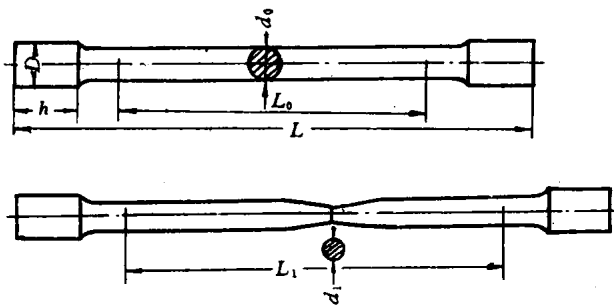


图2.1 钢的标准拉伸试样示意图

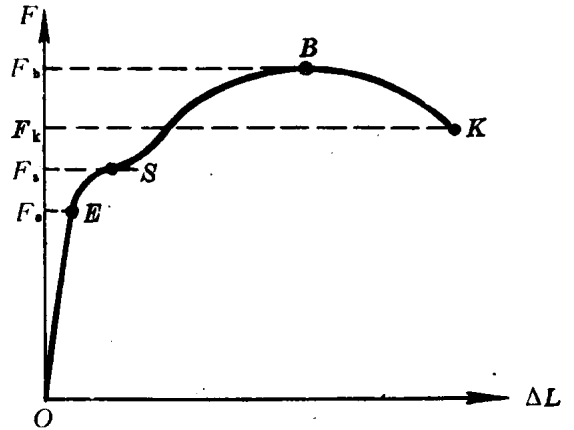


图2.2 低碳钢的拉伸曲线

其内部产生了与其大小相等方向相反的抵抗力，即内力。单位横截面上的内力称为应力，用符号 σ 表示，即

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F ——载荷 (N)；
 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

1. 弹性极限

材料由弹性变形过渡到弹-塑性变形的应力，用符号 σ_e 表示。

由于弹性极限的测定很困难，通常以规定的残余变形量（标距长度的0.005~0.01%）所对应的应力来代表，并以 $\sigma_{0.01}$ 等表示。所以严格说来，弹性极限是表示微量塑性变形的应力。或者说是开始产生塑性变形时的应力。当工作条件不允许产生微量变形时， σ_e 是弹性元件设计、选材的依据，例如弹簧等。弹性极限

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_e ——弹性极限载荷 (N)。

2. 屈服极限 (屈服点)

金属材料开始产生明显塑性变形时的应力（具有上、下屈服点的材料，规定以下屈服点作为该材料的屈服点），以 σ_s 表示，

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_s ——屈服时的载荷 (N)。

除低碳钢、中碳钢及少数合金钢有屈服现象外，大多数金属材料没有明显的屈服现象。国标规定，以产生试样标长的0.2%残余变形时的应力作为其屈服极限，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。人们常称 $\sigma_{0.2}$ 为条件屈服极限。

3. 抗拉强度

材料在拉断前所承受的最大载荷的应力，以 σ_b 表示，

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_b ——拉断试样的最大载荷 (N)。

σ_s 、 σ_b 都是金属材料主要力学性能指标，是设计及选材的重要依据，塑性材料多用 σ_s 值，脆性材料没有屈服现象，则用 σ_b 值。

σ_s/σ_b 之比叫屈强比。屈强比愈小，可靠性愈大，万一超载也能由于塑性变形，而不致立刻破断。但此值太低，材料的利用率太低。因此，屈强比对不同钢种有不同要求。例如：碳素结构钢约为0.5~0.6；低合金结构钢约为0.65~0.75；合金结构钢约为0.7~0.8；弹簧钢约为0.85~0.9。

当材料所受的力为压应力或弯曲应力时，这种抵抗破坏的最大能力，分别称为抗压强度，(以 σ_{bc} 表示)，抗弯强度(以 σ_{bb} 表示)，其单位与 σ_b 相同，它们都与 σ_b 有一定的关系。

二、塑性

塑性是指金属在外力作用下产生残余变形而不被破坏的能力。塑性指标用伸长率 δ 和截面收缩率 ψ 来表示，

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度 (mm)；

L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)；

S_1 ——试样拉断后的横截面积 (mm^2)。

δ_{10} 及 δ_5 表示分别用长试样和短试样试验所计算的伸长率。同样的材料， δ_5 大于 δ_{10} ，一般 $\delta_5 = (1.2 \sim 1.5)\delta_{10}$ 。由于短试样较长试样节约材料，目前各国标准中有优先选用短试样的趋势。

δ 、 ψ 愈大，表示材料塑性愈好。良好的塑性是压力加工及焊接等加工工艺的重要条件，也是机械零件在使用过程中安全的保证。

第 2 节 硬 度

硬度在工程上是指固体材料表面在一个小面积范围内抵抗弹性变形、塑性变形或破坏的能力，是表示材料性能的一个工程量或技术量。

硬度试验的特点是：设备简单，操作简便，易于维护，不破坏试样，试样可大可小，塑性、脆性材料均可测定，硬度与其他力学性能如 σ_b 有一定的关系，试验迅速等。因此，被广泛应用于检验原材料和热处理件的质量，以及鉴定热处理工艺的合理性等。常用硬度试验法有：布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度试验法。

一、布氏硬度试验法

根据GB231—84《金属布氏硬度试验方法》规定，布氏硬度试验原理见图2.3，用一定直径 D (10、5、2.5、2或1mm)的淬火钢球压头或硬质合金球压头，在规定试验力 F 的作用下压

入试件表面，并保持一定时间，然后卸除试验力，测量压痕直径 d ，以压痕球面积上所产生的抗力表示被测材料的布氏硬度值，

$$\text{布氏硬度} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力 (kgf)；
 D ——压头球体直径 (mm)；
 d ——压痕直径 (mm)。

当试验力 F 的单位用N表示时，则

$$\text{布氏硬度} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

用淬火钢球压头测得的布氏硬度以HBS表示，用硬质合金球压头测得的以HBW表示。试样完整的布氏硬度用5组数码表示，布氏硬度符号HBS或HBW之前为硬度值，符号后面按以下顺序数值表示试验条件：

- (1) 压头球体直径 (mm)；
- (2) 试验力 (kgf)；
- (3) 试验力保持时间 (s) (10~15 s 不标注)。

例如：

120HBS10/1000/30表示用直径10 mm钢球在1000 kgf 试验力作用下保持30 s 测得的布氏硬度为120。

500HBW5/750表示用直径5 mm硬质合金球在750 kgf 试验力作用下保持10~15 s 测得的布氏硬度值为500。

淬火钢球用于测试硬度 $< 450\text{HBS}$ 的材料，硬质合金球可测试硬度 $< 650\text{HBW}$ 的材料。我国目前布氏硬度试验机，主要是淬火钢球。

在实际使用中，并不计算HBS(HBW)值，也不用标注单位，只要用专门的刻度放大镜测出压痕直径 d 值，就可从“金属布氏硬度数值表”〔黄孟域编《金属工艺学实验指导书》(第2版)第17页附表4〕查得。

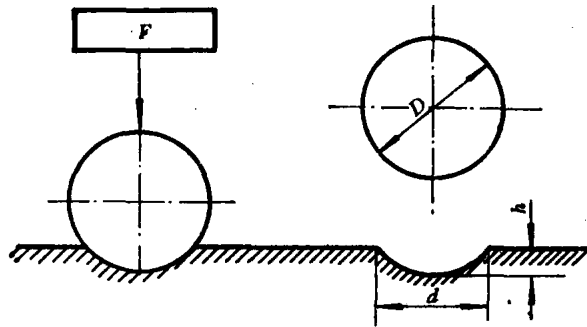


图2.3 布氏硬度试验原理图

布氏硬度试验的优点是其硬度值代表性全面，压痕清晰，比较精确。此外，因为布氏硬度值是由塑性变形抗力决定的，材料 σ_0 愈高，塑性变形抗力愈高，硬度值也愈高。HBS值与 σ_0 间在一定条件下有近似相应的关系，可近似换算，其经验换算关系为