

高职高专规划教材

JINSHUXUE YU RECHULI

金属学与热处理

刘天佑 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高职高专规划教材

金属学与热处理

刘天佑 主编

北京
冶金工业出版社
2009

内 容 提 要

全书共分十一章, 主要内容包括: 金属的力学性能; 金属的晶体结构; 纯金属的结晶; 二元合金的相结构与结晶; 铁碳合金相图; 三元合金相图; 金属的塑性变形与再结晶; 钢的热处理; 工业用钢; 铸铁; 有色金属及其合金。

本书可作为大专与高职高专冶金及热加工类专业的教学用书, 也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属学与热处理/刘天佑主编. —北京: 冶金工业出版社,
2009. 3

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5024-4807-3

I. 金… II. 刘… III. ①金属学—高等学校: 技术学校—教材
②热处理—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 022174 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 程志宏 郭冬艳 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 侯 瑁 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4807-3

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 3 月第 1 版, 2009 年 3 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 21.5 印张; 570 千字; 328 页; 1-3000 册

42.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

我们根据高职、高专冶金类专业金属学及热处理课程教学大纲的要求、编写了《金属学与热处理》一书。本书可作为高职高专冶金及热加工类专业，职工大学、业余大学相关专业、中等专业学校、技工学校和职业技能培训相关专业的教学用书，并可供冶金和热加工的现场工程技术人员参考。本书采用了国家近年来新颁布的相关标准，内容兼顾了黑色和有色金属冶金类专业的教学需要，可按80~100教学学时课程安排，在使用本书时可根据不同院校自身教学计划，教学时对书中内容进行取舍。

本书主要内容包括：金属的力学性能、金属学基础、热处理基本原理和常用热处理工艺方法、工业用钢及有色金属材料等。本书的任务在于使读者获得金属和合金的成分、组织结构和性能间的关系及其变化规律的基本理论、基本知识和基本技能；了解合金元素在金属材料中的作用和冶金产品的热处理原理及工艺方法；初步具备正确选择和合理使用金属材料的能力，为学习冶炼和热加工专业课，以及从事生产和科研工作奠定基础。

参加本书编写工作的有辽宁科技学院刘天佑（绪论、第一、二、三、五、六、七章）、陈丹（第八、十一章）、刘研（第九、十章）和王卫国（第四章）。本书由刘天佑担任主编，陈丹、刘研担任副主编。在编写过程中，编者参考和引用了一些文献中的内容，在此谨向这些文献的作者表示谢意。

参加本书审稿的有东北大学宗亚平教授、辽宁科技学院马贺利教授、刘志明教授和陈韧副教授，全书由东北大学宗亚平教授担任主审，他们对初稿提出了许多宝贵建议。编者在此谨向他们表示衷心感谢。

限于编者的水平，书中疏漏和不妥之处，欢迎同行和读者批评指正。

编 者
2008年6月

目 录

绪论	1
第一章 金属的力学性能	4
第一节 金属室温强度和塑性	4
一、拉伸曲线	4
二、强度	5
三、塑性	7
第二节 硬度	8
一、布氏硬度	9
二、洛氏硬度	11
三、维氏硬度	12
四、显微硬度	13
五、肖氏硬度	13
六、里氏硬度	14
第三节 冲击韧度	15
一、冲击试验方法及原理	15
二、冲击试验的应用	18
三、多次冲击试验	18
第四节 金属的高温力学性能	19
一、高温短时拉伸力学性能	19
二、金属的蠕变现象及其性能	20
第二章 金属的晶体结构	23
第一节 金属	23
一、金属的特性	23
二、金属原子的结构特点	23
三、金属原子间的结合方式(金属键)	23
第二节 金属晶体结构	25
一、晶体结构的基本知识	25
二、金属中常见的三种晶体结构	26
三、表示晶体结构特征的几何参数	27
四、晶面指数和晶向指数	31
五、晶体的各向异性	35
第三节 金属的实际晶体结构	36

一、点缺陷	36
二、线缺陷	37
三、面缺陷	39
第三章 纯金属的结晶	41
第一节 金属结晶的现象	41
一、纯金属的冷却曲线和过冷现象	41
二、纯金属的结晶过程	42
第二节 金属结晶的结构条件和热力学条件	43
一、金属结晶的结构条件	43
二、金属结晶的热力学条件	44
第三节 晶核的形成	44
一、自发形核	45
二、非自发形核	47
第四节 晶核的长大	50
一、晶体长大的条件	50
二、液-固界面微观结构	51
三、晶体长大机理	51
四、液-固界面前沿液体中的温度梯度	53
五、晶体的长大方式——晶体形貌	54
第五节 金属结晶后的晶粒大小	55
一、晶粒大小对性能的影响	55
二、影响晶粒大小的因素	56
三、细化铸件晶粒的方法	56
第六节 金属铸锭的组织及缺陷	57
一、铸锭的宏观组织	57
二、三晶区的形成	58
三、铸锭缺陷	59
第四章 二元合金的相结构与结晶	62
第一节 合金的固态相结构	62
一、基本概念	62
二、合金的固态相结构	63
第二节 二元合金相图的基本知识	71
一、二元相图的表示方法	72
二、二元合金相图的测定方法	72
三、相律	73
四、平衡相的定量法则——杠杆定律	74
第三节 匀晶相图	75

一、相图分析	75
二、平衡结晶及其组织	75
三、不平衡结晶及枝晶偏析	77
四、成分过冷及晶体长大	79
五、固溶体合金的性能与成分（相图）的关系	81
第四节 共晶相图	83
一、相图分析	83
二、典型合金的平衡结晶及其组织	84
三、初晶和共晶组织的形态	88
四、不平衡结晶及其组织	91
五、密度偏析（比重偏析）	92
六、共晶合金性能与成分（相图）的关系	93
第五节 包晶相图	94
一、相图分析	94
二、典型合金的平衡结晶及其组织	95
三、合金的不平衡结晶及其组织	97
四、包晶转变对细化晶粒的作用	98
第六节 其他类型的二元合金相图	99
一、组元间形成化合物的相图	99
二、偏晶、熔晶和合晶相图	100
三、具有固态相变的二元合金相图	102
第五章 铁碳合金相图	105
第一节 铁碳合金的基本相	105
一、铁素体	105
二、奥氏体	106
三、渗碳体	107
第二节 相图分析	107
一、铁碳合金相图中的特性点	108
二、铁碳合金相图中的特性线	109
三、铁碳合金相图中的相区	110
第三节 典型合金的平衡结晶及其组织	111
一、工业纯铁	111
二、共析钢	112
三、亚共析钢	113
四、过共析钢	114
五、共晶白口铁	115
六、亚共晶白口铁	115
七、过共晶白口铁	116

第四节 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	117
一、含碳量对平衡组织的影响	117
二、含碳量对力学性能的影响	118
第五节 铁碳相图的应用	119
一、作为选用钢铁材料的依据	119
二、在铸造生产方面的应用	119
三、在压力加工工艺方面的应用	120
四、在热处理方面的应用	120
第六章 三元合金相图	121
第一节 三元相图的成分表示方法	121
一、成分三角形（等边三角形）	121
二、成分三角形中具有特定意义的线	122
三、等腰三角形（等腰梯形）	123
四、直角三角形	123
第二节 三元系中的直线定律和重心法则	123
一、直线定律	123
二、重心法则	125
第三节 三元匀晶相图	125
一、相图分析	125
二、等温截面	126
三、变温截面	128
第四节 简单三元共晶相图	129
一、相图分析	129
二、等温截面	130
三、变温截面	133
四、投影图和合金结晶过程分析	133
第五节 三元合金相图实例分析	135
一、Fe-C-Cr 三元系的等温截面	135
二、Fe-C-Si 三元系的变温截面	137
第七章 金属的塑性变形与再结晶	139
第一节 金属的塑性变形	139
一、单晶体的塑性变形	140
二、多晶体的塑性变形	145
三、合金的塑性变形	146
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	148
一、冷塑性变形对金属组织结构的影响	148
二、冷塑性变形对金属性能的影响	150

三、产生残余应力	151
第三节 冷变形金属在加热时的变化	152
一、回复	152
二、再结晶	152
第四节 金属的热塑性变形（热变形加工）	157
一、金属的热变形加工和冷变形加工	157
二、热变形加工对金属组织和性能的影响	158
第八章 钢的热处理	161
第一节 概述	161
一、钢的热处理及其应用	161
二、钢实际加热和冷却时的临界点	161
第二节 钢在加热时的转变	162
一、共析钢的奥氏体化	163
二、影响奥氏体化的因素	164
三 奥氏体晶粒的长大	165
第三节 钢在冷却时的转变	167
一、过冷奥氏体的等温转变	168
二、影响奥氏体等温转变的因素	176
三、过冷奥氏体的连续冷却转变	177
四、马氏体转变	180
第四节 钢的退火与正火	185
一、退火	185
二、正火	187
第五节 钢的淬火	189
一、淬火工艺	189
二、淬火方法	192
三、淬火缺陷及防止方法	194
第六节 钢的回火	195
一、回火的目的	195
二、淬火钢的回火转变	196
三、回火转变产物的组织与性能	197
四、回火的种类及应用	200
五、回火脆性	201
第七节 钢的淬透性	202
一、淬透性的概念	202
二、影响淬透性的因素	203
三、影响淬透层深度的因素	203
四、淬透性的测定与表示方法	204

五、淬透性的实际意义	206
第八节 钢的表面热处理	207
一、表面淬火	207
二、化学热处理	209
第九章 工业用钢	217
第一节 钢的分类	217
一、按化学成分分类	217
二、按钢的冶金质量分类	217
三、按金相组织分类	217
四、按冶炼方法分类	218
五、按用途分类	218
第二节 常存杂质元素对钢性能的影响	218
一、锰的影响	218
二、硅的影响	219
三、硫的影响	219
四、磷的影响	219
五、氮的影响	219
六、氢的影响	220
七、氧的影响	220
第三节 碳钢钢锭（钢坯）的组织及其宏观缺陷	220
一、镇静钢	220
二、沸腾钢	222
三、连铸坯	223
第四节 合金元素在钢中的作用	225
一、合金元素在钢中存在的形式	225
二、合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	227
三、合金元素对热处理组织转变的影响	228
第五节 结构钢	232
一、工程结构用钢	232
二、机器结构用钢	238
第六节 工具钢	256
一、刀具钢	256
二、模具钢	264
三、量具用钢	267
第七节 特殊性能钢	268
一、不锈钢	268
二、耐热钢	272
三、耐磨钢	275

第十章 铸铁	277
第一节 铸铁的石墨化	278
一、铁碳双重相图	278
二、石墨化过程	278
三、影响石墨化的因素	279
第二节 普通灰口铸铁	281
一、灰口铸铁的牌号、化学成分、组织和性能	281
二、灰口铸铁的孕育处理	283
三、灰口铸铁的应用	284
四、灰口铸铁的热处理	285
第三节 球墨铸铁	286
一、球墨铸铁的球化处理和孕育处理	286
二、球墨铸铁的牌号、化学成分、组织和性能	287
三、球墨铸铁的用途	287
四、球墨铸铁的热处理	289
第四节 可锻铸铁	291
一、可锻铸铁的生产	291
二、可锻铸铁的牌号、组织、性能及用途	292
第五节 蠕墨铸铁	293
一、蠕墨铸铁的获得	293
二、蠕墨铸铁的化学成分	294
三、蠕墨铸铁的牌号、组织、性能及应用	294
第六节 合金铸铁	295
一、耐磨铸铁	295
二、耐热铸铁	297
三、耐蚀铸铁	298
第十一章 有色金属及其合金	300
第一节 铝及其合金	300
一、纯铝	300
二、铝合金的分类	301
三、铝合金的热处理	301
四、变形铝合金	303
五、铸造铝合金	306
第二节 铜及其合金	309
一、工业纯铜	309
二、铜合金的分类及牌号表示方法	310
三、黄铜	311

四、青铜	315
五、白铜	320
第三节 钛及其合金	321
一、纯钛	321
二、钛合金	322
附录 周期表中部分元素的晶体结构、原子直径及核外电子分布总表	327
参考文献	328

绪 论

金属学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关系及其变化规律,并利用这些关系和变化规律来改善和提高金属材料的性能,进而设计、研制和开发新型合金的一门科学。

金属材料通常指的是合金,它是由两种和两种以上的金属元素或非金属元素构成的、具有金属特性的物质。它是材料中的一大类,是人类社会发展极为重要的物质基础。金属材料是现代工业、农业、国防和科学技术部门用量最多、应用最广的材料。从日常生活用品到高科技产品,从简单的手工工具到复杂的机器设备,都使用了不同种类、不同性能的金属材料。例如劳动工具、农用机器、汽车、内燃机车、远洋巨轮、飞机、宇宙飞船、数控机床、机器人等。在可以预见的将来,金属材料仍将占据材料工业的主导地位。金属材料的种类繁多、性能各异,但通常可分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属是指钢和铸铁,其余统称为有色金属。其中钢的产量最多、应用最广。

金属材料具有一系列优良的性能,大致可分为两大类,一类是工艺性能,即金属材料在各种冷、热加工工艺过程中表现出来的性能,如铸造性能、锻造性能、弯曲性能、切削加工性能、焊接性能、热处理工艺性能等。另一类是使用性能,即零件和产品在使用过程中适应和抵抗外界对它的力、化学、电磁、温度等作用而必须具有的能力,如力学性能(强度、硬度、塑性、韧性等)、物理性能(密度、熔点、导电、导热、磁性以及膨胀性能等)、化学性能(抗氧化性、耐腐蚀性等)。

金属材料的化学成分指的是所含化学元素及其质量分数。例如碳钢主要是由铁和碳两种化学元素构成的;黄铜主要是由铜和锌构成的。45钢是平均含碳 $w(C) = 0.45\%$ 的碳钢,而65钢是平均含碳 $w(C) = 0.65\%$ 的碳钢。碳钢中除了铁、碳外,某些杂质如Mn、Si、S、P也要作为化学成分加以严格控制,因为这些杂质元素对碳钢的性能有着重要的影响。

金属材料的组织是指用肉眼或借助各种不同放大倍数的显微镜所观察到的金属材料内部的晶体形貌。习惯上用肉眼或放大几十倍的放大镜所观察到的组织称为低倍组织或宏观组织;用放大约100~2000倍的显微镜所观察到的组织称为高倍组织或显微组织;用放大几千倍或几十万倍电子显微镜所观察到的组织称为电镜组织或精细组织。例如45钢退火后的显微组织是铁素体和珠光体,淬火后的显微组织为马氏体。金属学中的结构一般指的是晶体结构,即金属内部原子的排列方式。例如在室温下纯铁的晶体结构是体心立方晶格,而加热到 912°C 以上将转变为面心立方晶格。45钢退火显微组织中的铁素体是体心立方晶格,而其淬火后显微组织马氏体为体心正方晶格。

金属材料性能与化学成分、组织结构间有着极其密切的关系。金属材料的性能取决于它的内部组织结构,而组织结构又决定于它的化学成分或加工处理条件。只要改变金属材料的化学成分或加工处理条件,金属材料的组织结构就会发生相应的变化,金属的性能亦因之而改变,即使同一化学成分的金属材料,只要改变其加工处理条件,其内部组织结构也会发生改变。例如铸态的铁和铸态的钢都是铁碳合金,但由于化学成分不同(一般钢 $w(C) < 2.11\%$,铸铁 $w(C) > 2.11\%$),它们的内部组织结构也就不同,钢的显微组织中含有较多塑性好的铁素体,而铸铁组织中含有大量硬而脆的莱氏体。因此钢和铸铁具有不同的性能,钢为塑性合金,铸铁为脆性材料。又如,含碳量均为 $w(C) = 0.77\%$ 的两块钢试样(化学成分相同),都加热到 770°C ,然后分

别进行炉中缓冷（退火）和水中急冷（淬火），尽管两块试样化学成分相同，但加工处理条件不同，因而两块试样的显微组织不同，一块试样的显微组织为珠光体，另一块则为马氏体，两者的强度、硬度相差三到四倍。再如 16Mn 钢制的自行车链条链板，经五次冷轧使板厚由 3.5mm 压缩到 1.2mm（变形度为 65%），则硬度从 150HB 提高到 275HB，抗拉强度 σ_t 从 510MPa 提高到 980MPa，硬度和强度的提高是由于冷轧变形使钢的组织结构发生了显著变化的缘故。

由此可见，金属材料的性能是一定化学成分和组织结构的反映。学习、研究和掌握金属材料的化学成分、组织结构、加工处理工艺和性能之间的关系，以及组织结构的形成和变化规律，其目的在于利用这些规律来指导科学研究和生产实践。在此基础上，才能通过改变和控制金属材料的成分，以及选用各种适当的工艺手段，来充分有效地发挥现有金属材料性能的潜力，改善和提高金属材料的性能，并按照给定的性能要求设计、研制新型合金，以满足国民经济各部门对金属材料品种和数量上的日益增长需求。

人类使用金属材料制造生产工具及生活用品已有悠久的历史。我们的祖先在生产、使用金属材料方面积累了许多经验，为金属材料的研制、创造和发展作出了巨大贡献。在商周时代（公元前 16 世纪 ~ 公元前 11 世纪）就出现了高度发达的青铜文化。远在四千年前，我们的祖先已开始使用天然存在的红铜。至公元前一千多年的殷商时代，我国的青铜冶铸技术已达到很高的水平。在河南安阳晚商（距今 3000 多年）遗址出土的司母戊大鼎重达 875kg，外形尺寸 133cm × 78cm × 110cm，是迄今世界上发现的最古老的大型青铜器。商周的青铜器和古埃及的金字塔同被认为是古代社会科学技术水平的标志。在湖北隋县出土的战国青铜编钟 65 件，总重 2500kg，最大的达 203kg，最小的仅为 2.4kg。铸造精巧、音律准确，音色之优美连当代最严格的声学家亦为之惊叹，这是我国古代高超的冶铸技术和艺术造诣的见证。到春秋时期，《周礼·考工记》中记载了青铜成分的六种配比规律：“金有六齐：六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀之齐；金、锡半，谓之鉴燧之齐。”此处“金”指铜，“齐”为剂之假借，“鉴燧”指铜镜。这些关于青铜“六齐”规律的论述，是世界上最早的金属材料的成分、性能和用途间关系的科学总结，即使是科学技术高度发展的今天，它仍然是应当严格遵循的规律。我们的祖先在青铜材料的冶铸技术和应用方面达到了当时世界的最高峰，创造了灿烂的青铜文化。

我国早在周代就开始了冶铁，这比欧洲最早使用生铁的时间约早 2000 年。春秋时已能冶炼铸铁，到战国时，铸铁的生产和应用已显著扩大，所谓白口铁、展性铸铁、麻口铁相继出现。在洛阳出土的春秋战国之交的铁铲，经金相检验，是迄今发现最早的可锻铸铁，比法国人莱翁·缪尔在 1722 年研制成的可锻铸铁早 2200 年。随后又发展到由铸铁而炼钢。秦汉时期，先人们利用铸铁件或铸铁板退火脱碳避免石墨生成的办法生产了钢质铸件，或利用得到的钢质铸板进行热加工锻成器件，发明了生铁制钢的方法。后来又发展成为将生铁在空气中反复锻造脱碳成钢的工艺。不久，在公元一世纪（东汉时），我国又进一步发明了炒钢炼钢法，即将生铁在炼炉内熔化搅拌，通过氧化脱碳成为高碳钢或低碳钢（熟铁），然后除渣锻造成型，这一方法的发明，比西欧约早 1800 年。

西汉时，钢和铸铁的冶炼技术已有很大提高，产量、质量和应用得到空前的发展。河南安阳汉代冶炼作坊遗址出土的 9 种农具，其中 8 件是黑心可锻铸铁，其质量与现代同类产品相当。又如河南巩县铁生沟出土的西汉铁镢，经金相检验，石墨球化良好，符合现代球墨铸铁标准，比英国人莫洛于 1947 年研制成功的球墨铸铁约早 2000 年。

在热处理方面，我国古代人民曾作出了很大贡献。西汉司马迁所著的《史记·天官书》

中就有“水与火合为焯”；东汉班固所著的《汉书·王褒传》中有“清水焯其锋”等有关热处理技术方面的记载。从辽阳三道壕出土的西汉钢剑，经金相检验，发现其内部组织完全符合马氏体组织。从河北满城出土的西汉佩剑及书刀，检验发现中心为低碳钢，表层有明显的高碳层。这些事例证明早在两千年前，我国已采用了淬火工艺和渗碳工艺。明朝宋应星所著《天工开物》中有关锉刀的制造、翻新和热处理工艺有如下记述：“凡铁锉（锉），纯钢为之，未健（淬火）之时，钢性亦软，以已健钢鏊划成纵斜文理，划时斜向，则文成方焰（陷），划后烧红，退微冷，入水健。久用乖平，入火退健性（退火），再用鏊划。”可见，当时我国已经完全掌握了淬火和退火工艺原理及其对性能的影响，热处理技术已经发展到相当高的水平。

综上所述，可以看出，我国古代人民在金属材料的生产与热处理方面有辉煌的成就，直至明朝，在世界上一直遥遥领先，对人类作出过重大贡献。只是到了18世纪，特别是新中国成立以前的近百年间，由于腐朽的封建统治，加之帝国主义的不断侵略和长期掠夺，使我国的科学技术处于落后的状态。

新中国成立后，我国在金属材料的生产、加工工艺和理论研究方面有了突飞猛进的发展。钢产量从1949年的年产17万t，增至2007年的年产4.89亿t，占全球总产量的36.4%，名列世界前茅。已建立了符合我国资源的合金钢系统，低合金高强度结构钢、超高强度钢、特定用途钢、特殊性能钢的生产和应用日益扩大。各种有色金属材料及特殊性能合金，如高温合金、电磁合金等，已经在质量、品种上逐渐满足了现代工业和科学技术的需要。我国用自己生产的钢铁材料和其他金属材料建成了多座长江大桥、长江三峡工程、青藏铁路，制造了内燃机车、远洋巨轮、原子弹、氢弹、人造地球卫星、洲际火箭和载人宇宙飞船等。在热处理方面，许多热处理新技术、新工艺、新设备正在应用和推广。如可控气氛热处理、真空热处理、形变热处理、辉光离子热处理、软氮化及碳氮共渗、多元共渗、化学气相沉积、物理气相沉积等已接近和达到世界先进水平。不少工矿企业已采用了计算机辅助热处理生产成套设备，实现了热处理机械化和自动化，使热处理产品的质量和生产效率有很大提高。在我国的金属材料生产和研究部门也广泛应用了透射电子显微镜、扫描电子显微镜、电子探针等现代研究手段，对金属材料进行分析研究，这将会显著提高金属材料的质量，推动金属材料科学的飞速发展。但是，当今世界各国的科学技术都在迅速发展，在金属学与热处理技术领域，我国与某些发达国家相比仍有一定差距，我们必须加倍努力学习，赶超世界先进水平。

《金属学与热处理》课程是冶金类和金属热加工类专业的技术基础课。它主要包括金属的力学性能、金属学基础知识、金属热处理原理和热处理工艺，以及金属材料等内容。本课程的任务在于使读者获得金属和合金的化学成分、组织结构与性能间关系变化规律的基本知识、基本理论和基本技能；初步具有正确选择和合理使用金属材料的能力；懂得合金元素在金属材料中的作用，以及冶金产品的热处理原理和热处理工艺。

《金属学与热处理》课程是建立在物理、化学、材料力学、物理化学、晶体学和金属工艺学等学科基础上的一门独立课程。学习本课程时应注意联系和应用上述学科的一些基本知识、基本理论，本课程应在学完上述课程之后进行。

《金属学与热处理》课程中的一些基本概念和基本理论都是从实验、科研和生产实践中总结概括发展起来的，具有很强的实践性。学习本课程时，应在理解基本概念和掌握基本理论的基础上，注重理论联系实际，认真搞好金工实习，做好每一个实验。

《金属学与热处理》课程中基本概念多，名词术语多，内容抽象且繁琐杂乱，难背难记。本课程中的确有很多内容是需要记忆的，但不应单纯地死记硬背。学习时应着重对概念的理解，对知识的综合，在理解和综合的基础上，按照事物的内在规律去记忆，这样才能记得多，记得牢。

第一章 金属的力学性能

金属在加工或服役过程中，都要承受各种不同外力的作用，当外力超过一定限度时，金属就会发生变形，甚至断裂。金属抵抗外力作用的能力，称为力学性能（或叫机械性能）。它与金属材料的化学成分、热加工工艺、组织结构以及服役工况（外加载荷性质、环境温度与介质等）有着非常密切的关系。金属的力学性能不仅是工程结构和机器零件设计、选用材料时的重要依据，而且也是按验收技术标准鉴定材料是否合格的重要依据。在冶金工厂的生产过程中，力学性能还是用以制订和改进生产工艺、控制产品质量的重要参数。

按照国家技术标准，许多金属材料均须进行力学性能检验。力学性能检验就是利用一定外力或能量作用于材料的试样上，以测定材料的这种性能。根据试验方法的不同，可测得多种力学性能指标。金属的常用力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧度、断裂韧度和疲劳等。下面分别介绍这些力学性能指标。

第一节 金属室温强度和塑性

金属的强度和塑性一般可以通过金属拉伸试验来测定。它是按照 GB 228—1987《金属拉伸试验方法》的规定，把规定尺寸和形状的金属试样（图 1-1 所示为圆形拉伸试样）装夹在万能材料试验机上，试样在拉伸负荷平稳增加下发生变形直至断裂。此时利用万能材料试验机上的自动绘图装置，可以绘出试样在拉伸过程中伸长与负荷之间的关系曲线，习惯上称此曲线为试样的拉伸图。即 $F-\Delta L$ 曲线，也称拉伸曲线。由此曲线可测定金属的强度和塑性。

除非另有规定，试验一般在室温 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ 范围内进行。对温度要求严格的试验，其温度应控制在 $23 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

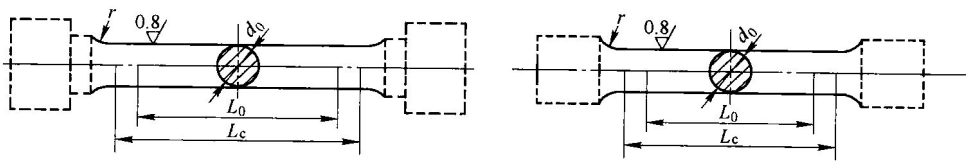


图 1-1 圆形拉伸试样
(按夹具结构不同选择其中一种)

一、拉伸曲线

图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，钢试样在拉伸变形过程中，大致可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。钢的碳含量不同，拉伸曲线的形状有所区别，低碳钢有明显的屈服现象，而中碳调质钢和高碳钢没有明显的屈服现象。

下面以低碳钢拉伸曲线为例进行简单分析。

如图 1-2 所示，当外加载荷不超过 F_p 时，拉伸曲线 Op 为一直线，即试样的伸长与载荷的增加呈正比关系，完全符合胡克定律，显然，试样处于弹性变形阶段，当载荷在 F_p 至 F_c 之间

时, 试样的伸长量与载荷已不再呈正比关系, 拉伸曲线不成直线, 但当载荷去除后, 变形也会立即消失, 此时试样仍处于弹性变形阶段。

载荷超过 F_e 后, 试样开始发生塑性变形。当载荷达到 F_s 时, 试样开始产生明显的塑性变形, 在拉伸曲线上出现了一个小平台, 即表明载荷不增加, 试样仍继续变形, 这种现象称为“屈服”现象, 这是退火低碳钢拉伸曲线的特征。

试样在屈服时, 由于塑性变形产生加工硬化, 只有载荷继续增大, 变形才能继续增加, 直到载荷达到某一最大值 F_b 时, 试样的局部截面缩小, 产生所谓“缩颈”现象。以后的变形主要集中在颈缩部分。由于试样颈缩部位截面面积急剧减小, 故载荷也逐渐降低。当达到拉伸曲线上的 k 点时, 试样在颈缩处断裂。

由拉伸曲线可知, 断裂时的总伸长 Of 中 gf 相当于弹性伸长, $Og(\Delta L_k)$ 相当于塑性伸长。塑性变形中 $Oh(\Delta L_b)$ 是试样产生缩颈前的均匀变形, $hg(\Delta L_u)$ 是颈缩部位的集中变形。

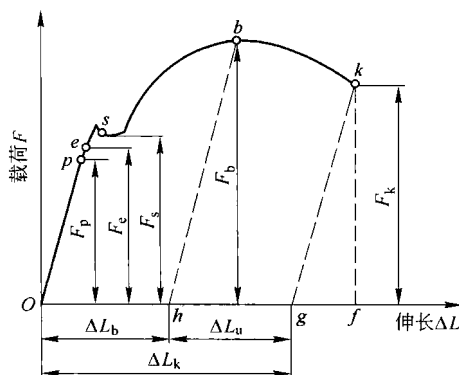


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

二、强度

金属材料在静载荷作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度, 即试样单位面积上所能承受的应力, 通常用符号 σ 表示, 单位为帕, 其符号为 Pa。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等多种形式, 所以强度也分为拉伸强度、抗压强度、抗弯强度, 抗剪切强度等。由图 1-2 所示的拉伸曲线, 可确定下列强度指标。

(一) 规定非比例伸长应力

在 GB 228—76 标准中引入了“规定比例极限”这一概念, 按照定义, 比例极限应是应力—应变能保持正比关系的最大应力值, 亦即在拉伸曲线上开始偏离直线时的那一点所求得的应力。但在技术上很难准确测定这一点的位置 (受所用测量仪器, 特别是引伸计的精度的影响), 而通常工程上希望了解的是材料在多大的应力作用下产生多大应变, 而不是拉伸曲线斜率偏离的大小。所以, 在新标准 GB 228—87 中未定义“规定比例极限”。而引入了“规定非比例伸长应力”。

在拉伸曲线上无明显屈服现象的高碳钢和合金调质钢需测定规定非比例伸长应力。规定非比例伸长应力, 就是试样标距的非比例伸长达到规定原标距百分比时的应力, 表示此应力的符号应加脚注说明, 如 $\sigma_{p0.01}$ 、 $\sigma_{p0.05}$ 等分别表示规定非比例伸长率为 0.01% 和 0.05% 的应力, 即:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 σ_p ——规定非比例伸长应力;

F_p ——规定非比例伸张力;

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面面积。

(二) 规定总伸长应力

在拉伸曲线上无明显屈服现象的高碳钢和合金调质钢须测定规定总伸长应力。规定总伸长