

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



# 金属材料与成型工艺基础

JINSHU CAILIAO YU CHENGXING GONGYI JICHU

李庆峰 主编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



# 金属材料与成型工艺基础

机械工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

# 金属材料与成型工艺基础

李庆峰 主编

北京  
冶金工业出版社  
2012

## 内 容 提 要

本书系统地阐述了金属材料的成分、结构、性能之间的关系以及在生产实践中的应用,介绍了热加工工艺基础,并结合应用实例介绍了机械零件的选材及热处理工艺路线的安排,其中对铸造工艺、锻造工艺、焊接工艺,以及机械零件选材的介绍是本书的一大特色。通过本书的学习,可使学生掌握金属材料学的基本理论与应用,熟悉工程材料的主要热加工工艺方法,具有根据机械零件的服役条件和性能要求合理地选用工程材料的能力。

本书适合于高职院校机械类专业学生 50~60 学时的教学,也可供相关企业技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属材料与成型工艺基础/李庆峰主编. —北京:冶金工业出版社, 2012. 2

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5813-3

I. ①金… II. ①李… III. ①金属材料—成型—工艺—  
高等职业教育—教材 IV. ①TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 008026 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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 李 臻 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5813-3

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012 年 2 月第 1 版, 2012 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.5 印张; 344 千字; 222 页

30.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

“金属材料与成型工艺基础”课程是高等职业教育学校机械类专业的专业基础课，主要介绍工程材料的种类、性能及改性方法、应用、选材原则及方法、主要热加工工艺方法等内容。本课程的任务是通过学习使学生熟练掌握金属材料的“成分-组织-性能”三者之间关系的一般规律；掌握常用金属材料的分类、性能、应用范围和选择原则；初步掌握钢热处理的基本原理及常用工艺的目的；熟悉工程材料主要热加工工艺的方法、工艺性能及应用等相关基本理论和基本知识；具有能根据机械零件的服役条件和性能要求正确地选用工程材料的基本能力，为学习其他有关课程和今后的工作奠定必要的基础。

本书依据高职教育职业基础课教学必须、够用的原则，对课程内容进行模块化设计，全书共分金属学基础、钢铁材料基础、金属材料及应用、热加工工艺基础和机械零件选材及工艺路线分析五大模块。每个模块中的内容，因果相连，有很强的对照性和可比性，学习起来易于相互融通；而各个模块之间，既相互独立，又有一定的联系，可以针对不同的需求，进行取舍。每个模块都根据内容的内在规律进行了小结并配有针对性的课外练习。

本书第1、3、5章由安徽工业职业技术学院李庆峰编写；第2章由安徽工业职业技术学院孙春英编写；第4、6章由安徽工业职业技术学院张怀春编写。全书由李庆峰副教授主编；铜陵有色金属公司高级工程师刘晓明参审。

由于编者水平有限，疏漏及不足之处在所难免，敬请各位读者批评指正。

编 者

2011年8月于铜陵

# 目 录

1 绪论 .....	1
1.1 材料科学的重要地位 .....	1
1.2 我国古代对世界文明的产生和发展做出的巨大贡献 .....	2
1.2.1 先进的矿石开采 .....	3
1.2.2 完善的青铜冶炼 .....	3
1.2.3 悠久的工艺铸造 .....	4
1.2.4 珍贵的技术文献 .....	4
1.3 材料及材料性能的分类 .....	5
1.3.1 材料的分类 .....	5
1.3.2 材料的性能 .....	5
1.4 “金属材料及成型工艺基础”课程研究的对象和学习目的 .....	5
1.5 “金属材料及成型工艺基础”课程的基本内容 .....	6
2 金属学基础 .....	7
2.1 金属与合金的结构和性能 .....	7
2.1.1 金属材料的力学性能 .....	7
2.1.2 金属的晶体结构 .....	13
2.1.3 金属的力学性能 .....	19
2.1.4 合金的晶体结构 .....	19
2.1.5 合金的力学性能 .....	21
2.2 金属及合金的结晶过程 .....	22
2.2.1 金属的结晶 .....	22
2.2.2 纯铁的同素异构性 .....	25
2.2.3 金属的铸锭 .....	26
2.2.4 二元合金 .....	28
2.2.5 合金相图与合金性能的关系 .....	33
2.3 合金的塑性变形与再结晶 .....	34
2.3.1 金属的塑性变形 .....	34
2.3.2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	39
2.3.3 冷塑性变形的回复与再结晶 .....	42
2.3.4 金属的热加工 .....	45
小结 .....	47

习题 .....	47
<b>3 钢铁材料基础</b> .....	<b>49</b>
3.1 铁碳合金及性能 .....	49
3.1.1 铁碳合金的基本相、组织及性能 .....	49
3.1.2 Fe - Fe <sub>3</sub> C 相图分析 .....	51
3.1.3 含碳量对碳钢组织和力学性能的影响 .....	57
3.2 铁碳合金的应用 .....	59
3.2.1 钢铁生产过程简介 .....	59
3.2.2 碳钢的分类及用途 .....	62
3.2.3 铁碳合金状态图的应用 .....	66
3.3 钢的热处理原理 .....	67
3.3.1 热处理的基本概念 .....	68
3.3.2 钢在加热时的组织转变 .....	68
3.3.3 过冷奥氏体等温冷却时的组织转变 .....	71
3.3.4 过冷奥氏体冷却时的马氏体转变 .....	76
3.3.5 过冷奥氏体连续冷却时的组织转变 .....	79
3.4 钢的热处理应用 .....	81
3.4.1 退火和正火 .....	81
3.4.2 钢的淬火 .....	83
3.4.3 钢的回火 .....	89
3.4.4 钢的表面热处理 .....	93
3.4.5 钢的热处理新技术简介 .....	97
3.4.6 热处理的主要缺陷及其防止方法 .....	98
小结 .....	100
习题 .....	100
<b>4 金属材料及应用</b> .....	<b>103</b>
4.1 合金元素在钢中的作用 .....	103
4.1.1 合金钢基本概述 .....	103
4.1.2 合金元素对碳钢的影响 .....	104
4.2 合金结构钢及应用 .....	109
4.2.1 合金结构钢的编号原则 .....	110
4.2.2 普通低合金钢 .....	110
4.2.3 合金渗碳钢 .....	112
4.2.4 合金调质钢 .....	114
4.2.5 合金弹簧钢 .....	117
4.2.6 滚动轴承钢 .....	119
4.2.7 耐磨钢 .....	121

4.3 工具钢及应用 .....	122
4.3.1 工具钢的编号原则及分类 .....	122
4.3.2 合金刀具钢 .....	123
4.3.3 高速钢 .....	125
4.3.4 合金模具钢 .....	130
4.3.5 合金量具钢 .....	135
4.4 特殊性能钢及应用 .....	136
4.4.1 金属的腐蚀原理 .....	137
4.4.2 常用不锈钢 .....	138
4.4.3 其他特性钢 .....	142
4.5 铸铁 .....	143
4.5.1 铸铁的分类及碳的石墨化 .....	143
4.5.2 普通灰口铸铁 .....	147
4.5.3 球墨铸铁 .....	150
4.5.4 可锻铸铁 .....	153
4.5.5 3种铸铁力学性能的比较 .....	155
4.6 有色金属 .....	155
4.6.1 铝及铝合金 .....	155
4.6.2 铜及铜合金 .....	162
4.6.3 滑动轴承合金 .....	170
小结 .....	171
习题 .....	172
<b>5 热加工工艺基础 .....</b>	<b>174</b>
5.1 铸造工艺基础 .....	174
5.1.1 铸造工艺概述 .....	174
5.1.2 合金的流动性 .....	175
5.1.3 合金的收缩性 .....	177
5.1.4 铸造合金的其他工艺性能 .....	183
5.1.5 砂型铸造工艺 .....	184
5.1.6 特种铸造方法 .....	186
5.2 锻造工艺基础 .....	192
5.2.1 压力加工概述 .....	192
5.2.2 金属的锻造工艺性能 .....	194
5.2.3 锻造基本工艺 .....	195
5.3 焊接工艺基础 .....	198
5.3.1 焊接工艺概述 .....	198
5.3.2 常用的焊接方法 .....	199
5.3.3 金属材料的可焊性 .....	202



---

5.4 热成型工件的质量控制 .....	204
5.4.1 焊接加热对焊件质量的影响 .....	204
5.4.2 热成型工件加热及冷却时产生的缺陷及防止方法 .....	206
5.4.3 锻造加工过程的质量控制 .....	207
小结 .....	207
习题 .....	208
<b>6 机械零件选材及工艺路线分析 .....</b>	<b>209</b>
6.1 机械零件的失效形式 .....	209
6.1.1 失效的概念 .....	209
6.1.2 失效形式 .....	209
6.2 选材的基本原则 .....	212
6.2.1 选材的使用性能原则 .....	212
6.2.2 选材的工艺性能原则 .....	214
6.2.3 选材的经济性原则 .....	214
6.3 热处理方案的选择及工艺路线的合理安排 .....	215
6.3.1 热处理方案的选择 .....	215
6.3.2 热处理工艺路线的合理安排 .....	216
6.4 典型零件选材与热处理工艺分析 .....	216
6.4.1 齿轮类零件 .....	216
6.4.2 轴类零件 .....	217
6.5 工程材料应用举例 .....	218
6.5.1 汽车零件用材 .....	218
6.5.2 机床零件用材 .....	219
6.5.3 仪器仪表用材 .....	220
小结 .....	221
习题 .....	221



# 绪 论

## 1.1 材料科学的重要地位

人类社会的发展历程，是以材料为主要标志的。人类使用材料的历史，从过去到现在共经历了7个时代（见表1-1）。

表 1-1 人类使用材料的时代及时间表

石器时代	公元前 10 万年	钢时代	1800 年
青铜器时代	公元前 3000 年	硅时代	1950 年
铁器时代	公元前 1000 年	新材料时代	1990 年
水泥时代	公元 0 年		

公元前 10 万年以前，人类以石头作为工具，称旧石器时代；1 万年以前，人类对石器进行加工，使之成为器皿和精致的工具，从而进入新石器时代。新石器时代后期，出现了利用黏土烧制的陶器，人类在寻找石器过程中认识了矿石，并在烧陶生产中发展了冶铜术，开创了冶金技术。公元前 3000 年，人类开始发现并应用金属材料——青铜，从而进入青铜器时代，它是人类使用金属材料的第一个里程碑。公元前 1000 年，人类开始使用铸铁，从而进入了铁器时代。金属材料的使用标志着社会生产力的发展，人类逐渐进入文明社会，但直到进入铁器时代把铁作为武器和工具后，人们的经济 and 生活方式才发生了巨大的变化。

18 世纪，钢铁工业的发展成为产业革命的重要内容和物质基础，因而产生了若干经济发达的强国。19 世纪中叶，现代平炉和转炉炼钢技术的出现，使人类真正进入了钢时代。与此同时，铜、铅、锌也得到大量的应用，铝、镁、钛等金属相继问世并得到应用，直到 20 世纪中叶，金属材料在材料工业中一直占有主导地位。继钢时代之后，1950 年开始了硅时代，这是信息技术革命的时代，对当今世界产生了深远的影响。与此同时，随着科学技术的迅猛发展，作为发明之母和产业粮食的新材料又出现了划时代的变化。首先是人工合成高分子材料的问世，即先后出现的尼龙、聚乙烯、聚丙烯、聚四氟乙烯等塑料以及维尼纶、合成橡胶、新型工程塑料、高分子合金和功能高分子材料等。仅半个世纪时间，高分子材料已可与有上千年历史的金属材料并驾齐驱，并在年产量的体积上超过了钢，成为国民经济、国防尖端科学和高科技领域不可缺少的材料。其次是陶瓷材料的发展。陶瓷是人类利用自然界所提供的原料最早制造而成的材料。20 世纪中叶，合成化工原料和特殊制备工艺的发展使陶瓷材料产生了一个飞跃，出现了从传统陶瓷向先进陶瓷的转变，许多新型功能陶瓷形成了产业，满足了电力、电子技术和航天技术的发展和需要。

在钢时代和硅时代，人们强烈地认识到材料科学对社会发展与进步的作用。比如，日

本和英国两国对材料研究和应用的不同认识，对本国的经济发展程度产生重大影响。英国在钢时代到来之际，由于有一定的预见性，因此在世界钢铁生产中占有一定的优势，也给英国的经济发展带来巨大的活力。日本在“二战”之后，充分认识到钢材料的应用对社会经济发展的重要作用，钢产量从1952年的700万吨、1962年的2755万吨，增加到1972年的9690万吨，20年间增加了近13倍；而英国的钢产量从1952年的1700万吨、1962年的2082万吨，增加到1972年的2500万吨，20年间钢产量仅增加不到0.5倍。日本的这一技术政策推动了日本的汽车工业和其他一些主要用钢产品的发展，使日本经济有了很大的发展。在1970年以后，日本认识到世界已处于硅时代，因此，在保持钢的生产优势的同时，瞄准了硅材料，发展半导体工业，使得家用电器的生产在世界市场中占绝对优势。然而，英国却忽视了硅时代的到来，由于没有相应的技术政策和战略眼光，其结果是英国从世界一类强国中退居二类。

1949年后，我国也十分重视材料工业的发展，尤其是钢铁工业的发展，在反映中国发展成就的主要指标中，粮食产量、钢产量等总是摆在重要的位置。改革开放以来，钢铁工业更是得到了极大发展，有力地促进了中国国民经济的发展。表1-2与图1-1反映了我国钢材产量与国民经济发展综合指标——国内生产总值（GDP）的关系。

表 1-2 我国钢材产量与 GDP 增长数据比较

年 份	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
钢材产量/万吨	2716	3693	5153	8980	13146	37771	46893	56561	60460	69405	79776
GDP/亿元	4950	9020	18670	60800	99220	183870	210870	257310	314050	340510	401200

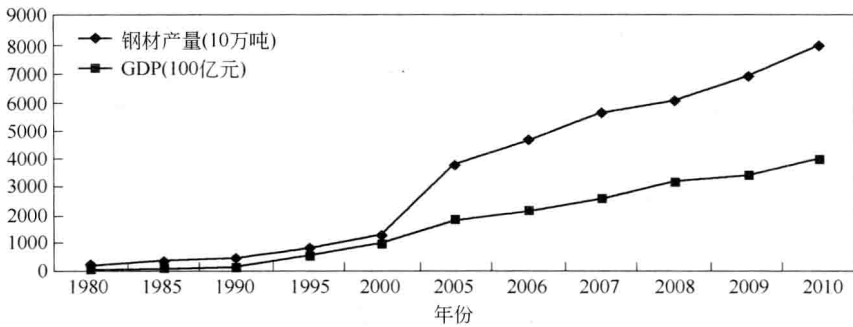


图 1-1 钢材产量与 GDP 增长关系比较

## 1.2 我国古代对世界文明的产生和发展做出的巨大贡献

中国从距今三千多前的殷商时期开始进入了一个光辉灿烂的青铜器时代。气势雄伟的司母戊鼎、精美绝伦的四羊方尊、大气磅礴的战国编钟、设计巧妙的长信宫灯等，这些荟萃了工艺技巧与文化艺术的杰作，使得出现并不算最早的中国青铜文明后来者居上，站在了世界的先进行列，并将青铜冶铸的技术推向了一个新的高峰。国外冶金学权威克里尔曾说：“即使把美国和欧洲第一流的技师集合起来，并使用现代的科学技术，也不能做得比殷商青铜器更好。”

中国的青铜业之所以能取得如此卓越的历史成就，要得益于中国古代先进的采矿、冶炼技术和高超的铸造工艺。

### 1.2.1 先进的矿石开采

我国古代劳动人民在从事农业、畜牧业、手工业生产中，陆续发现和使用石器、陶器、木器、骨器等。在长期生产实践中，又逐渐认识到自然界中存在金属铜块，于是开始采集和使用它。

早在新石器时代，中国人就已经会使用“火攻法”采集矿石。位于广州市郊区西南樵山的新石器时代制石工场遗址是我国目前发现最早的古代采矿遗址。在遗址的矿坑内壁上有火烧痕迹，巷道地面堆积了很厚一层经过火烧的磷石块和碳屑，说明早在5000多年前，我国劳动人民就已懂得利用热胀冷缩的原理来开采矿石，这是世界采矿史上的一个奇迹。

中国古代的采矿技术在商周时期就已经达到很高的水平。从已出土的商周时期的铜矿采矿遗址来看，开采方法既有露天开采，又有地下开采，其中以地下开采为主。当时矿工能利用木立框支撑在地层深部，构筑了庞大的地下采场。地下开采时利用井口高低不同所产生的气压差形成自然风流解决了通风问题。青铜斧、钺、凿等开采工具，木锹、木铲等翻土工具，竹筐、竹畚箕等装载工具，木辘轳、木钩等提升工具，都说明古铜矿井已有效地解决了安全、通风、排水、提升等一系列技术问题，展示了中国早期辉煌的采矿技术成就。在采矿遗址的矿区还发现了大型选矿场，出土了选矿器具木溜槽，它可以利用矿粒在斜向水流中运动状态的差异进行物料选别。矿粒在重力、摩擦力、水流的压力、剪切力及挡条阻力等联合作用下发生松散、分层，这是按密度分离的重力选矿法之一。

这些遗址证明，我国早在商、周时期不仅能找到富矿、大矿，而且已能开掘深矿井，这在当时世界上是极为先进的。

### 1.2.2 完善的青铜冶炼

我国在新石器晚期就进入了铜石并用时代。古人最初采集铜矿石是用于提炼纯铜。纯铜因为是红色的，所以叫红铜。红铜虽然可锻并能熔铸工具，但质地不如石器坚硬和锋利，制作出来的工具刀口容易钝。同时，由于红铜溶液黏稠，流动性差，所以难以浇铸出造型复杂的大件容器。古人在提炼及使用红铜工具的过程中，发现将红铜与锡、铅等金属熔融在一起，就能克服以上这些弱点，于是开始在红铜中掺进定量的锡、铅，炼制出一种青灰色的合金，这就是青铜。与红铜相比，青铜有熔点低，易于铸造，硬度大，熔化后流动性好，少气泡等优点，适于铸造锋利的刀刃和细密的纹饰。

青铜文化的出现和发展是建立在冶金设备的发展和完善的基础上的。先进的炼铜竖炉是青铜冶铸业兴起的基础之一。从湖北大冶铜绿山发现的春秋时期的炼铜竖炉来看，当时的竖炉由炉基、炉缸和炉身组成，在炉的前壁下部设有金门和出渣、出铜的孔洞，炉侧还设有鼓风口，整体结构已相当先进。

在冶炼青铜的过程中，我国古代劳动人民还逐步发现了铜与锡、铜与铅的配比的改变，能够使炼制出来的青铜的属性发生变化。青铜的熔点低，加进的锡越多，熔点越低。同时随着加锡量的增多，硬度也随之增高，远远超过了红铜的硬度。但是当加锡过多时，

青铜反而变脆，容易断裂。后来，人们又发现在青铜中加入定量的铅就能克服青铜较脆的弱点。通过反复的实践，到春秋战国时期，古人已经总结出配制青铜的合金规律。

战国时代的《周礼·考工记》里对于铸造各种青铜器物的合金配比就有比较明确的记载：“金有六齐，六分其金而锡居其一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居其一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居其一，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，谓之削杀矢之齐；金锡半，谓之鉴燧之齐。”这里的“金”是指青铜，“齐”是剂量的意思。这段话向人们指出了合金性能和合金成分之间的关系，说明当时的人们已经完全懂得了采用不同的铜、锡配方，来改变青铜的硬度、韧性、声学性能以及磨光性能，制作不同用途的青铜器。这是世界上关于青铜的成分配比不同而导致性能和用途不同的最早的文字记载。近年来，有关人员检验了 600 多件古代青铜器，成分都很合理。古代没有任何分析手段，却能将青铜器的成分掌握得如此精确，让人惊奇。

### 1.2.3 悠久的工艺铸造

铸造业在我国古代的金属加工工艺中占有突出的地位，并产生过巨大的社会影响。我国古代劳动人民在长期的生产实践中，创造了陶范法、失蜡法两大传统铸造工艺。

最初的铸造技术中使用的是石范（即模）。由于石料不容易加工，又不耐高温，随着制陶业的发展，很快就改用泥范。在近代砂型铸造之前的三千多年时间里，泥范铸造一直是最主要的铸造方法之一。我国在商代早期就有了泥范铸造，商代中期达到鼎盛时期。用这种方法，古代工匠们创造出了像司母戊鼎、四羊方尊这样的旷世珍品。

我国古代泥范铸造的又一个杰出成就是叠铸法的早期出现和广泛应用。所谓叠铸是把许多个范块或成对范片叠合装配，由一个共用的浇道进行浇注，一次得到几十甚至上百个铸件。我国最早的叠铸件是战国时期的齐刀币。这种方法由于其生产率高，成本比较低，至今仍在广泛使用。

我国的失蜡法最迟起源于春秋时期。战国、秦汉以后，失蜡法更为流行，尤其是隋唐至明、清期间，铸造青铜器采用的多是失蜡法。失蜡法一般用于制作小型铸件。用这种方法铸出的铜器既无范痕，又无垫片的痕迹，用它铸造镂空的器物更佳。中国传统的失蜡法铸造技术对世界的冶金发展有很大的影响。现代工业的熔模精密铸造就是从传统的失蜡法发展而来的。虽然无论在所用蜡料、制模、造型材料、工艺方法等方面，它们都有很大的不同，但是它们的工艺原理是一致的。20 世纪 40 年代中期，美国工程师奥斯汀创立以他命名的现代熔模精密铸造技术时，曾从中国传统失蜡法中得到启示。

### 1.2.4 珍贵的技术文献

《周礼·考工记》是中国目前所见年代最早的手工业技术文献，篇幅虽不长，但科技信息含量却相当大。书中除涉及先秦时代的制车、兵器、礼器、钟磬、练染、建筑、水利等手工业技术、工艺美术资料外，还涉及天文、生物、数学、物理、化学等自然科学知识，记载了一系列的生产管理和营建制度，一定程度上反映了当时的思想观念。《周礼·考工记》是一部记载了周王朝春秋战国时代的手工业品、工程技术规格、制造方法、技术要求以及质量管理的一部重要的技术方面的珍贵典范，成为我国从秦代到清代遵循效法的根据。该书在中国科技史、工艺美术史和文化史上都占有重要地位。

《天工开物》为明末清初的宋应星（1587~1661）所著，完成于1637年。全书共有18卷，包括种植、纺织、染色、粮食加工、熬盐、制糖、烧制陶瓷、冶铸、制造车船、锤锻、烧制灰硫、榨油、造纸、采矿、兵器、颜料、酿酒等诸多内容，描绘了130多项生产技术和工具的名称、形状、工序。无论是对操作技术还是对工具本身都尽可能用数字进行精确的描述。该书是中国古代一部综合性的科学技术著作，也是世界上第一部关于农业和手工业生产的综合性著作，被欧洲学者称为“技术的百科全书”。它对中国古代的各项技术进行了系统的总结，构成了一个完整的科学技术体系。对农业方面的丰富经验进行了总结，全面反映了工艺技术的成就，书中记述的许多生产技术一直沿用到近代。

### 1.3 材料及材料性能的分类

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。材料是物质，但不是所有物质都可以称为材料。如燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物，一般都不算是材料。

#### 1.3.1 材料的分类

材料的分类方法很多，从物理化学属性可分为无机物材料、有机物材料和不同类型材料所组成的复合材料；从用途可分为电子材料、航空航天材料、核材料、建筑材料、能源材料、生物材料等；从发挥的作用可分为结构材料和功能材料；从材料发展的角度可分为传统材料和新型材料等。

机械工业中常用的材料主要分为金属材料和非金属材料两类：

(1) 金属材料。金属材料是指由金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料。通常分为黑色金属材料和有色金属材料两大类。

(2) 非金属材料。非金属材料是指由非金属元素或化合物构成的材料。通常指以无机物为主体的玻璃、陶瓷、石墨、岩石以及以有机物为主体的木材、塑料、橡胶等一类材料。

#### 1.3.2 材料的性能

材料的性能包括使用性能和工艺性能两大类。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的特性，包含物理性能、化学性能和力学性能3种；工艺性能是指材料在不同的加工过程中表现出来的特性，根据工艺的类型，主要有铸造工艺性能、压力加工工艺性能、焊接工艺性能、切削加工工艺性能和热处理工艺性能等。

在上述各种性能中，力学性能是设计和制造机械零件时最重要的指标，是控制材料质量的重要参数。

### 1.4 “金属材料及成型工艺基础”课程研究的对象和学习目的

本课程是研究材料的成分、组织、性能三者之间关系和变化规律以及应用的一门学科。学习本课程的目的使学生获得机械工业中有关材料的基本理论和基本知识，初步掌握工程材料的基本类型和机械特性及常用热处理方法，同时了解常用热加工的方法和工艺性能，使学生具有合理选材、正确运用热处理方法改善性能、妥善安排工艺路线等方面

的初步能力。

### 1.5 “金属材料及成型工艺基础”课程的基本内容

课程的基本内容具体如下：

(1) 金属学基础：介绍金属和合金的基本结构、结晶规律、塑性变形、合金相图以及主要强化方法，以期掌握合金的成分、结构与性能之间的关系及其规律。

(2) 钢铁材料基础：介绍铁碳合金成分、组织与性能之间的关系，以奥氏体转变为基础着重介绍钢的基本热处理工艺，以期掌握强化和改善钢的内部和表面性能的方法。

(3) 金属材料及应用：介绍钢铁材料和常用有色金属材料的分类、特点、适用场合等知识，以期掌握常用金属材料的性能特点、热处理强化方法以及应用。

(4) 热加工工艺基础：介绍金属材料常用的热加工的方法、加工性能等知识，以期熟悉热加工方法适用的材料种类。

(5) 机械零件选材及工艺路线分析：介绍零件选材的基本原则，重要的机械零件材料的选择，热处理工艺及工艺路线的设置，以及典型零件工艺路线的分析，以期初步掌握本课程所学知识在工业上的综合应用。



## 2

# 金属学基础

金属学是研究金属及其合金的组成、组织结构和性能之间的内在联系以及在各种条件下的变化规律，为有效地使用金属材料和发展具有特定性能的金属材料而服务的一门应用科学。金属学研究内容可分为两方面：（1）依据成分、冷却结晶过程对金属与合金的组织结构和性能的影响，研究金属与合金的相结构和组织的形成规律；（2）联系金属材料的使用，研究材料结构强度和断裂行为，研究金属材料在各种不同使用条件下的特性变化，进而研究金属的强化原理。本章主要介绍金属与合金的基本结构、性能及其之间的关系；主要介绍强化方法和基本原理以及形成组织的基本过程，为进一步学习研究钢铁材料成分、组织、性能三者之间的关系以及应用打下基础。

## 2.1 金属与合金的结构和性能

### 2.1.1 金属材料的力学性能

在机械工业中应用最广泛的材料是金属材料，根据不同的使用目的和工作条件，人们对金属材料的性能提出了不同的要求。因此，为了在机械制造过程中能够合理地选择金属材料，正确地拟订各种加工工艺过程，充分发挥金属材料的性能潜力，达到既节约金属材料又保证产品质量的目的，就必须了解并掌握金属材料的各种性能。

实际上金属的性能是多方面的，如在使用条件下表现出来的使用性能包括物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性等）、化学性能（如抗氧化性、抗腐蚀性等）、力学性能（如强度、硬度、塑性、韧性等）；在加工过程中表现出来的工艺性能包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。

金属材料在实际应用时受到的外载荷（外力）形式是多种多样的，而在不同的受力形式下，材料表现出的力学性能也是不同的，所以金属材料对使用性能的要求，通常以力学性能为主。为保证金属材料的合理应用，在工程结构、机械零件及工具的设计与制造过程中，金属材料的选用大多以力学性能为首要依据，因此，熟悉和掌握金属材料的力学性能，对本课程后续的专业课程学习和实践而言是非常必要的。现将工程材料在应用过程中常用的有关力学性能介绍如下。

#### 2.1.1.1 材料在静载荷作用下的拉伸试验

图 2-1 所示为低碳钢拉伸试样在静载荷作用下，其纵向线应变（ $\epsilon$ ）与轴向拉应力（ $\sigma$ ）之间的关系曲线。

图 2-1 中直线段是材料的弹性变形阶段。在此

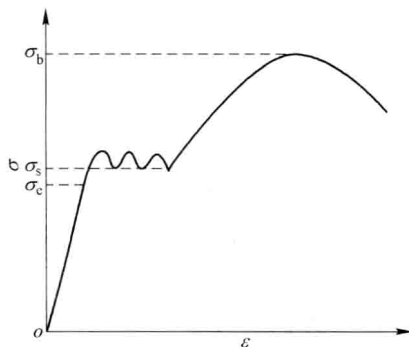


图 2-1 低碳钢拉伸曲线示意图



阶段试样的形变与所加的外力成正比，外力撤除后试样可以恢复原来的形状和尺寸，没有残留的永久变形。

图 2-1 中锯齿状的阶段为屈服阶段。在此阶段材料产生明显的塑性变形，也即当所加的外力超过弹性变形阶段对应的外力时，外力卸载后，伸长的试样只能部分恢复，而保留一部分残余变形，也就是材料产生了塑性变形。锯齿状表明，即使外力不再增加，试样也会继续变形，材料似乎已经失去了抵抗外力的能力。

图 2-1 中曲线阶段为均匀塑性变形阶段。屈服阶段后，随着塑性形变增大，试样变形抗力也逐步增加，要使试样继续变形，须不断增加外力，直到达到最大值。当外力达到最大后，试样就在某个薄弱部分形成“缩颈”，即局部产生明显塑性变形导致截面收缩，此时不增加外力试样也会发生断裂。

其各阶段的主要指标含义如下：

#### A 弹性极限 ( $\sigma_e$ )

弹性极限是指材料在外力作用下，只产生弹性变形的最高应力值。表示在外力作用下，工作应力若超过弹性极限值，材料将产生塑性变形。

#### B 屈服极限 ( $\sigma_s$ )

屈服极限是指材料在外力作用下，产生屈服变形时的最低应力值。表示在外力作用下，工作应力若超过屈服极限值，材料将产生明显的塑性变形。

#### C 抗拉极限 ( $\sigma_b$ )

抗拉极限是指材料在外力作用下，产生断裂的最低应力值。表示在外力作用下，工作应力若超过抗拉极限值，材料将产生断裂破坏。

### 2.1.1.2 材料在静载荷作用下的力学性能

#### A 刚度指标

刚度是指材料在外力作用下抵抗弹性变形的能力，表示材料产生弹性变形的难易程度。常用弹性模量  $E$  (图 2-1 中直线段的斜率) 表示刚度的大小。 $E$  的大小取决于金属键，它会随温度的升高而降低，但与显微组织的关系不大，因此，同一类型的材料通过合金化、热处理、冷变形等方式并不能改变其刚度的大小。

#### B 强度指标

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力。它是反映材料在静载荷作用下抵抗塑性变形以及断裂破坏的能力大小的指标。主要有屈服极限强度 ( $\sigma_s$ ) 和抗拉极限强度 ( $\sigma_b$ ) 两种。

#### C 塑性指标

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标有伸长率 (或称延伸率) 和断面收缩率。材料的塑性指标也是通过低碳钢拉伸试验获得的，如图 2-2 所示拉伸试样。

(1) 伸长率 ( $\delta$ ): 试样拉断后，试样标距的伸长量与试样原始标距的百分比，即：

$$\delta = (l_1 - l_0) \times 100\% / l_0$$

式中  $l_0$ ——试样原始标距长度；