

高等院校多媒体教材

新编工程材料

耿洪滨 吴宜勇 编著
雷廷权 主审

哈尔滨工业大学出版社



高等学校教材

新编工程材料

(多媒体)

耿洪滨 吴宜勇 编著

雷廷权 主审

哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨

内容提要

本书比较全面系统地介绍了晶体学基础知识,金属与合金的凝固理论及合金相图,塑性变形与再结晶,固态相变理论,为材料冷加工及设计类各专业提供了材料的强化理论,同时也奠定了坚实的工艺理论基础。在此基础上着重介绍了工程材料的成分、组织结构、性能与用途,为材料的选择提供了完整的技术资料。本书是按照教育部 1998 年修订的高等院校专业目录为机械设计及自动化、热能与动力工程、测控技术与仪器以及交通运输等工科专业编写的技术基础课教材,也可作为金属材料与工程、材料成型及控制等相关专业的学生和各类机械制造行业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新编工程材料/耿洪滨编著. —哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2000.9
高等院校(多媒体)教材
ISBN 7-5603-1544-5

I.新... II.耿... III.工程材料—高等学校—教材
IV.TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 41913 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451 — 6414749
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 15.75 字数 379 千字
版 次 2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-1544-5/TH·85
印 数 1~5000
定 价 68.00 元(书 30.00 元, 光盘 38.00 元)

序

《新编工程材料》(多媒体教材)一书是按照教育部 1998 年修订的高等院校专业目录为机械设计及自动化、热能与动力工程、测控技术与仪器以及交通运输等专业编写的技术基础课教材,也可作为金属材料与工程、材料成型及控制等相关专业的学生和各类机械制造行业工程技术人员的参考书。

本书作者是两位有丰富教学经验的博士、副教授。他们锐意改革,在仔细研究过去多次修改的教学大纲及多种版本教材的基础上,确定了以材料的强韧化方法为主线来讲授材料科学与工程的基础理论和基本知识,阐明材料的成分、组织结构和加工处理与性能之间的关系,为学生奠定坚实的材料选择及冷、热加工工艺理论基础。书中对传统的钢铁材料内容作了必要的删减,适当增加了陶瓷、高分子和复合材料的章节,并简要介绍了常用功能材料,反映了工程材料的全貌。为了培养学生分析问题和解决问题的能力,各章给出了学习要求、课堂讨论题和课后习题。尤其重要的是,针对教学内容的重点和难点,如晶体结构与晶体缺陷、相图与相变、位错与塑性变形、各种基本工艺方法以及工程材料的应用实例等,采用大量的图片、三维动画、视频影像等制作了与教材相配套的多媒体教学软件,力求生动形象、深入浅出、通俗易懂。本教材(包括学生版教学软件)信息量大、但所需教学时数少,在本科教学实践中已经收到了较好的效果。衷心希望本书的出版能对该课程的教学改革以及多媒体教学法的普及起到积极的推动作用。

中国工程院院士
哈尔滨工业大学教授



2000 年 7 月 18 日

前 言

加强素质教育,培养具有创新意识的人才,是我国高等教育所面临的长期任务。特别在教育改革的今天,我国高等教育改革在人才培养模式上正朝着加强基础、拓宽专业、提高能力的方向发展。比如,按系设置宽口径专业、优化课程体系、更新教学内容、反映最新科技成果、实现多学科理论的交叉与渗透是高等院校教学体系、教学内容改革所亟待解决的新课题。根据这一实际需要,作为一项重大教学改革,我们精心设计与研究,在三年教学实践的基础上编写了供材料冷加工类及设计类各专业使用的《新编工程材料》一书。为了加强基础,本书简要、系统地阐述了材料科学与工程的基本概念和基础理论。说明了材料的成分、结构、组织和加工工艺与性能之间的关系,能为材料冷加工类及设计类各专业奠定坚实的工艺理论基础,增强对专业变动的适应能力。考虑到专业特点的需要,对钢铁材料的内容作了必要的删减,适当加强了陶瓷、高分子和复合材料的内容,并简要介绍了常用功能材料,反映了工程材料的全貌,同时还扼要地介绍了粉末冶金方法,表面工程技术等内容。本书既给出了常用材料的基本性能数据和工艺参数,又针对一些教学难点与重点,如晶体结构与晶体缺陷、位错与塑性变形、相图与相变机制以及工程材料的应用实例等,采用大量的图片、三维动画、视频影像等制作了多媒体教学软件,生动形象地展示给学生。提供一部(包括一本教材和学生版教学软件)信息量大、学时少,既便于学生自学,也便于教师授课的电子出版物教材,同时也能作为其他相关专业学生以及工程技术人员的参考书。

本教材授课学时为 44 学时,实验为 6 学时。学习本教材前,学生应学完物理、化学课程,并进行过金工实习,具有初步的生产方面的感性知识。本书共十二章,前六章由耿洪滨编写,后六章由吴宜勇编写,动画由工大广告传媒有限公司张一平创意;配套的教学软件及动画片由耿洪滨制作。全书由雷廷权院士主审,并为此书作序。本书在编写过程中得到哈尔滨工业大学何世禹教授、李仁顺教授的热情指导,并提出许多宝贵意见。在此表示诚挚谢意。由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2000 年 6 月

目 录

绪论

0.1 工程材料及其分类	1
0.1.1 工程材料的重要性	1
0.1.2 工程材料的结构、组织与性能的含义	1
0.1.3 工程材料的分类	5
0.2 学习目的与要求	6
学习要求	6

第一章 材料的内部结构

1.1 材料的原子键合及其特性	8
1.1.1 离子键	9
1.1.2 共价键	9
1.1.3 金属键	9
1.1.4 范德瓦尔键	10
1.2 材料的原子排列	11
1.2.1 原子排列短程有序及非晶态	11
1.2.2 原子排列长程有序及晶体概念	11
1.2.3 晶体结构与空间点阵	11
1.2.4 晶面指数与晶向指数	12
1.3 金属的典型晶体结构	13
1.3.1 体心立方结构(bcc)	13
1.3.2 面心立方结构(fcc)	14
1.3.3 密排六方结构(hcp)	14
1.3.4 晶胞特征	14
1.3.5 晶胞中的间隙	16
1.3.6 多晶型	17
1.4 合金相结构	18
1.4.1 固溶体	18
1.4.2 中间相	20
1.5 陶瓷的相结构	21
1.5.1 晶相	21
1.5.2 玻璃相	23
1.5.3 气相	23
1.6 高分子化合物的结构	23
1.6.1 高分子链结构	23
1.6.2 高分子的聚集态结构	25
1.7 晶体缺陷	25
1.7.1 点缺陷	26

1.7.2 线缺陷	27
1.7.3 面缺陷	28
学习要求	31
习题	32
第二章 结晶与显微组织	
2.1 纯金属的结晶与组织	33
2.1.1 金属结晶的基本规律	33
2.1.2 金属的结晶过程	34
2.1.3 晶粒大小的控制	35
2.2 二元合金相图与合金组织	35
2.2.1 二元合金相图的建立	35
2.2.2 匀晶相图与合金组织	36
2.2.3 共晶相图与合金组织	38
2.2.4 包晶相图与合金组织	40
2.3 铁碳相图	41
2.3.1 铁碳合金的组元及基本相	41
2.3.2 铁碳相图分析	42
2.3.3 碳钢在平衡条件下的固态相变及组织	44
2.3.4 含碳量对碳钢平衡组织和性能的影响	46
2.4 铸锭(件)的组织与缺陷	47
2.4.1 铸锭(件)三晶区的形成	47
2.4.2 铸锭组织的控制	47
2.4.3 铸锭缺陷	48
2.4.4 钢锭的组织特征	49
学习要求	50
习题	51
第三章 工程材料的力学性能	
3.1 拉伸试验	52
3.1.1 应力-应变曲线	52
3.1.2 弹性	52
3.1.3 强度	54
3.1.4 塑性	54
3.2 硬度试验	55
3.2.1 布氏硬度	55
3.2.2 洛氏硬度	55
3.2.3 维氏硬度	55
3.3 冲击试验	57
3.3.1 冲击试验方法	57
3.3.2 冲击韧性	57

3.4 疲劳试验	58
3.4.1 疲劳概念	58
3.4.2 疲劳抗力的指标	58
3.5 蠕变试验	58
3.5.1 蠕变概念	58
3.5.2 蠕变性能指标	58
3.5.3 蠕变数据的表达式	59
学习要求	60
习题	60
第四章 工程材料的物理、化学性能及常用功能材料	
4.1 电性能	62
4.1.1 导电性	62
4.1.2 超导性	64
4.1.3 介电性	65
4.1.4 铁电性	67
4.1.5 压电性和电致伸缩现象	68
4.1.6 热电效应	69
4.2 磁性能	70
4.2.1 磁化	70
4.2.2 磁化率和磁导率	70
4.2.3 磁性分类	70
4.2.4 磁化曲线	71
4.2.5 磁性材料	72
4.3 热性能	73
4.3.1 热容	73
4.3.2 热导率	73
4.3.3 热膨胀	74
4.4 光学性能	74
4.4.1 吸收和透射	74
4.4.2 折射和反射	75
4.4.3 光学材料	75
4.5 腐蚀与氧化	76
4.5.1 耐腐蚀性	77
4.5.2 耐热性	79
学习要求	80
习题	80
第五章 工程材料的强化理论	
5.1 形变强化	82
5.1.1 金属的塑性变形	82

5.1.2 塑性变形对金属组织与性能的影响	86
5.1.3 变形金属在加热时组织与性能的变化	87
5.1.4 金属的热加工	90
5.1.5 超塑成形	91
5.2 固溶强化	92
5.2.1 固溶强化现象	92
5.2.2 影响因素	92
5.3 第二相强化	92
5.3.1 沉淀强化	93
5.3.2 弥散强化	94
5.4 细晶强化	96
5.4.1 Hall-Petch 公式	96
5.4.2 细化晶粒方法	97
学习要求	97
习题	98
第六章 钢的热处理与马氏体相变强化	
6.1 钢的热处理原理	99
6.1.1 碳钢在加热和冷却时的组织转变	99
6.1.2 钢在回火时的组织转变	106
6.1.3 钢的淬透性	107
6.2 合金元素对钢组织转变的影响	108
6.2.1 合金元素对钢组成相的影响	108
6.2.2 合金元素对钢组织转变的影响	109
6.3 钢的热处理工艺	110
6.3.1 退火与正火	110
6.3.2 淬火与回火	111
6.3.3 表面淬火	112
6.3.4 钢的化学热处理	113
学习要求	115
习题	115
第七章 钢铁材料	
7.1 概述	116
7.1.1 钢材的分类	116
7.1.2 钢材的牌号	117
7.2 普通结构钢	119
7.2.1 构件用钢性能要求选材	119
7.2.2 普通碳素钢	119
7.2.3 普通低合金钢	121
7.3 优质结构钢	122

7.3.1 渗碳钢	122
7.3.2 调质钢	124
7.3.3 弹簧钢	126
7.3.4 轴承钢	127
7.4 工具钢	128
7.4.1 刃具钢	129
7.4.2 模具钢	133
7.4.3 量具钢	136
7.5 特殊性能钢	137
7.5.1 不锈钢	137
7.5.2 耐热钢	140
7.5.3 其它特殊钢	141
7.6 铸铁	143
7.6.1 概述	143
7.6.2 铸铁的石墨化	143
7.6.3 常用普通铸铁	145
7.6.4 特殊性能铸铁	154
学习要求	155
习题	156

第八章 有色金属及其合金

8.1 铝及铝合金	159
8.1.1 工业纯铝	159
8.1.2 铝的合金化及其强化方式	159
8.1.3 铝合金的热处理	161
8.1.4 常用铝合金	162
8.2 镁及镁合金	166
8.2.1 纯镁	166
8.2.2 镁的合金化及热处理	167
8.2.3 镁合金的分类及常用镁合金	167
8.3 铜及铜合金	169
8.3.1 工业纯铜及其性能和用途	169
8.3.2 铜的合金化及分类	169
8.3.3 常用铜合金	170
8.4 钛及其合金	173
8.4.1 工业纯钛及其性质用途	173
8.4.2 钛的合金化及分类	174
8.4.3 钛合金的热处理	174
8.4.4 钛合金的性能特点与应用	175
8.5 其它合金	176

8.5.1 轴承合金	176
8.5.2 硬质合金	178
8.5.3 镍及镍基高温合金	178
学习要求	180
习题	181
第九章 陶瓷材料	
9.1 概述	182
9.1.1 陶瓷材料的发展及组成	182
9.1.2 陶瓷材料分类	182
9.2 陶瓷材料的制作工艺	184
9.2.1 大块陶瓷材料制作工艺	184
9.2.2 陶瓷薄膜制作方法	185
9.3 陶瓷材料的性能特点	185
9.3.1 陶瓷材料机械性能	185
9.3.2 其它物理化学性能	187
9.4 常用工业陶瓷及应用	187
9.4.1 普通陶瓷	187
9.4.2 特种陶瓷	187
学习要求	189
习题	190
第十章 高分子材料	
10.1 概述	191
10.1.1 高分子化合物组成	191
10.1.2 高分子材料成形	191
10.2 高分子材料分类及命名	192
10.2.1 高分子材料分类	192
10.2.2 高分子材料命名	193
10.3 高分子材料的性能特点	193
10.3.1 高分子材料的力学性能特点	193
10.3.2 高分子材料的其它性能特点	195
10.4 工程塑料	196
10.4.1 塑料的组成	196
10.4.2 塑料的分类	197
10.4.3 常见工程塑料的性能特点与用途	197
10.5 合成橡胶及合成纤维	202
10.5.1 橡胶	202
10.5.2 合成纤维	203
学习要求	204
习题	204

第十一章 复合材料

11.1 概述	206
11.1.1 复合材料定义	206
11.1.2 复合材料分类	206
11.2 复合材料性能特点与增强机制	207
11.2.1 复合材料性能特点	207
11.2.2 复合材料增强机制	209
11.3 复合材料简介	210
11.3.1 颗粒增强型复合材料	210
11.3.2 纤维增强型复合材料	211
11.3.3 其它类型的复合材料	215
学习要求	216
习题	216

第十二章 工程材料的选用

12.1 选材的一般原则	218
12.1.1 关于材料的使用性能	218
12.1.2 关于材料的工艺性能	223
12.1.3 关于零件选材的经济性	224
12.2 关于塑料的选用	224
12.2.1 塑料的使用性能与选材	225
12.2.2 塑料制品的工艺性和经济性	225
12.3 关于陶瓷材料的选用	226
12.3.1 陶瓷材料的使用性能	226
12.3.2 陶瓷材料的工艺性能	227

参考文献	228
------------	-----

附录一(常用元素表)	230
------------------	-----

附录二(常用工程材料物理性能)	231
-----------------------	-----

附录三(常用工程材料力学性能)	232
-----------------------	-----

附录四(常见介质中最耐蚀的合金)	233
------------------------	-----

附录五(常用静态压痕硬度测量方法比较)	233
---------------------------	-----

附录六(布氏硬度数值表)	234
--------------------	-----

附录七(维氏硬度数值表)	235
--------------------	-----

附录八(常用金相浸蚀剂)	238
--------------------	-----

绪 论

0.1 工程材料及其分类

0.1.1 工程材料的重要性

广义的材料包括人类思想意识之外的所有物质。工程材料是指在机械、电器、建筑、化工以及航空航天等工程领域内广泛应用的材料。

材料是人类生产、生活的物质基础。它与每一个人的衣、食、住、行都息息相关。人类使用材料的品种、数量和质量也无疑是人类社会文明程度的重要标志之一。对材料的认识和利用的能力,决定着社会的形态和人类生活的质量。历史学家就是按人类使用材料的种类来划分历史时代的。从某种意义上说,一部人类社会文明史也可以称之为世界材料发展史。我们只要考察一下从石器时代、青铜器时代、铁器时代,直到目前的信息时代发展的历程,就可以明显地看出材料在社会进步中的巨大作用。每一种新材料的应用,都会给社会生产和人类生活带来巨大变化,把人类文明推向前进。

近年来,一场全方位、多层次的新技术革命正在全世界范围内蓬勃兴起,它以信息科学、生命科学和材料科学作为基础,对材料的性能提出了更新、更高的要求。如核反应技术要求有耐辐射、耐腐蚀材料;微电子技术要求有高纯度、超薄的半导体材料;航空航天技术要求有低密度、高强度材料和能耐数千度高温的抗烧蚀材料及涂层材料。在历史上起过革命性作用的钢铁材料已经远远无法满足这些要求。这也是新材料得以发展的直接动力。在这些需求的推动下,新型材料作为新技术革命的支柱随之得到了迅速发展。其中非金属材料发展尤其神速。从1909年贝克兰首次采用化学方法合成酚醛树脂算起,至今还不到100年的时间,合成橡胶、合成塑料、合成纤维等新型高分子材料以及奇妙的新型陶瓷材料和高性能的复合材料,就如雨后春笋般地涌现出来。如今,新材料已成为当代社会经济的先导,是科技进步的关键。

0.1.2 工程材料的结构、组织与性能的含义

化学成分不同的材料其性能也不相同。但对于同一成分的材料,通过不同的加工工艺也可以使其性能发生极大的变化。可见,除化学成分外,材料内部的结构和组织状态也是决定材料性能的重要因素。

1. 结构

材料的结构是指构成材料的基本质点(离子、原子或分子等)是如何结合与排列的,它表明材料的构成方式。

2. 组织

材料的组织是指借助于显微镜所观察到的材料微观组成与形貌——通常称为显微组织。

3. 性能

工程材料的性能主要是指材料的使用性能和工艺性能。

(1) 使用性能

材料的使用性能是指在服役条件下,能保证安全可靠工作所必备的性能,其中包

括材料的力学性能、物理性能和化学性能。

①力学性能:主要包括工程材料的强度、硬度、塑性、韧性、蠕变和疲劳性能。

②物理性能:主要包括工程材料的熔点、密度以及电、磁、光和热性能。

③化学性能:是指工程材料在环境作用下的耐腐蚀和抗老化性能。

(2) 工艺性能

材料的工艺性能是指材料的可加工性。

利用材料的加工工艺可以将未经成型的坯料加工成零件所要求的形状、尺寸,并具有相应的性能。常用的加工工艺有:

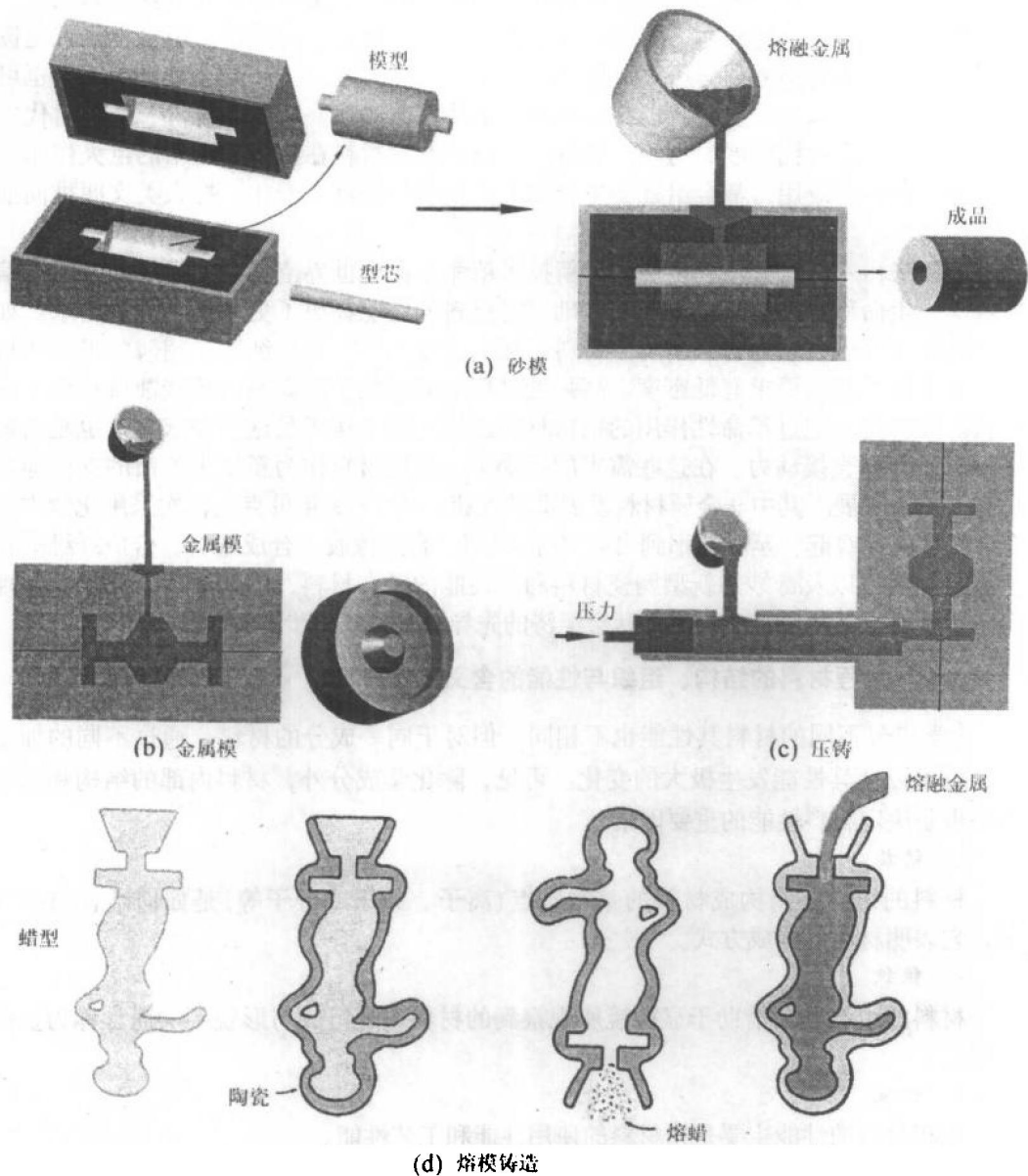
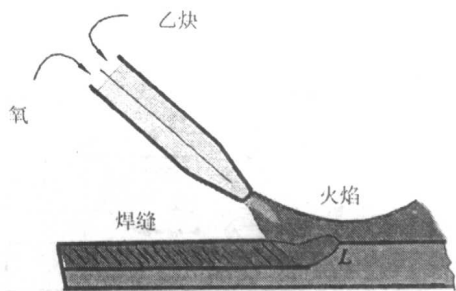
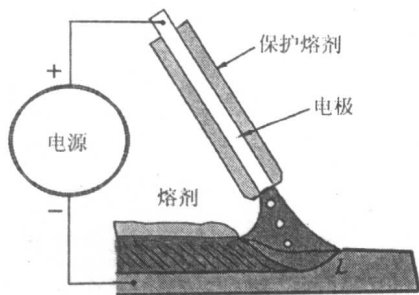


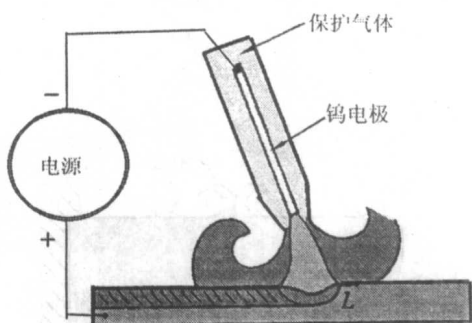
图 0-1 典型铸造工艺示意图



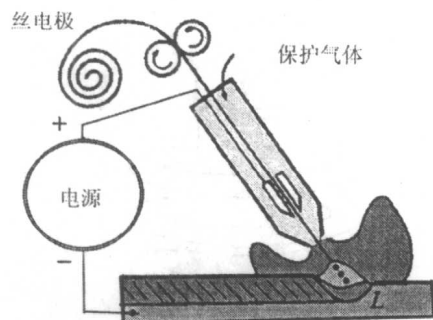
(a) 乙炔焊



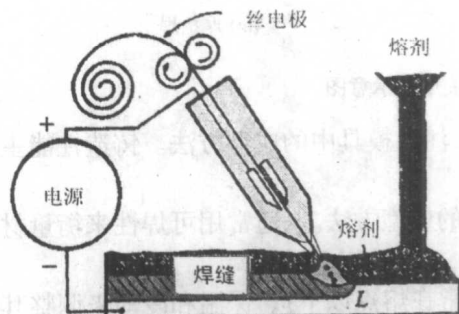
(b) 保护金属电弧焊



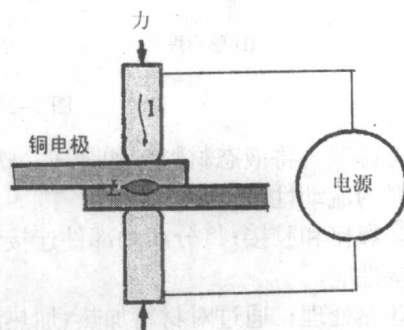
(c) 气体-钨极电弧焊



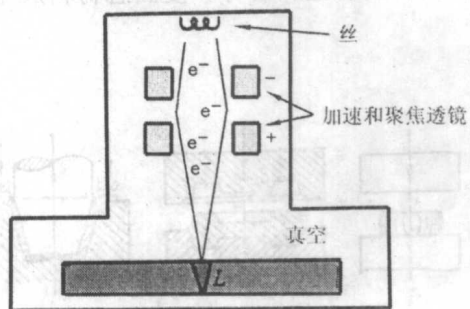
(d) 气体-金属极电弧焊



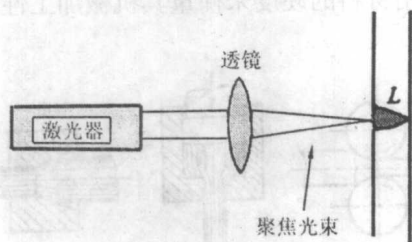
(e) 埋弧焊



(f) 电阻焊



(g) 电子束焊



(h) 激光焊

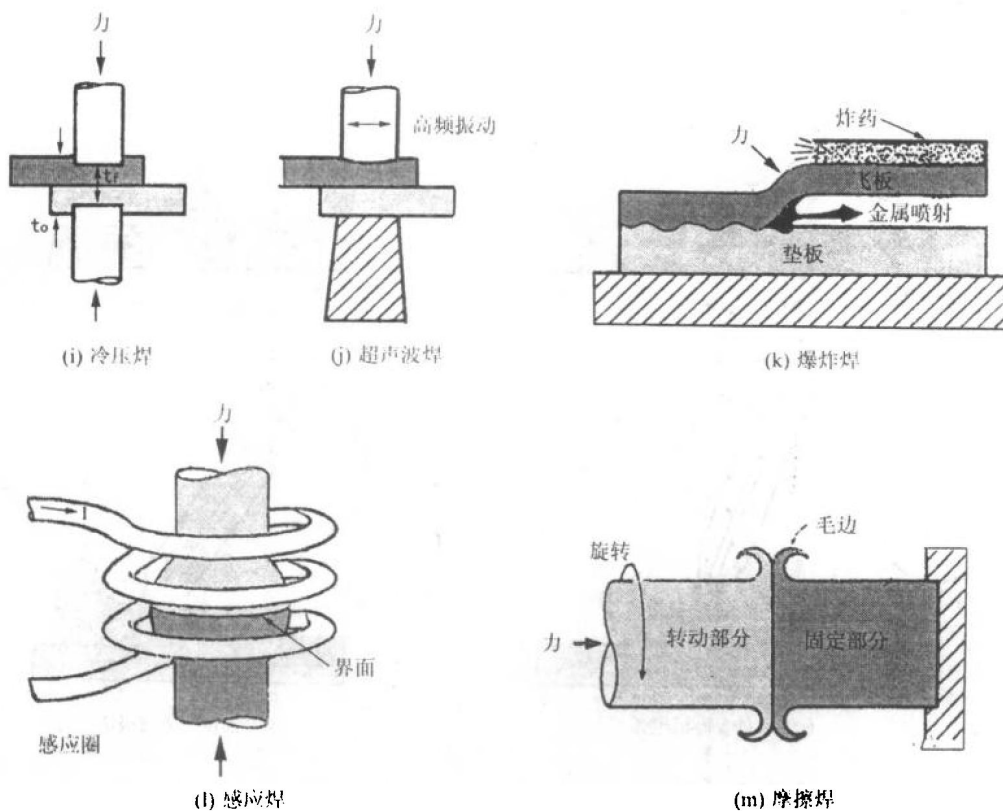


图 0-2 典型焊接工艺示意图

①铸造：将液态材料（如金属、塑料等）注入模具中的成型方法。铸造性能主要用材料的流动性来衡量。

②焊接和胶接：将分离的部件连接到一起的成型方法。通常用可焊性来衡量材料的焊接性能。

③热处理：通过对材料加热（加热温度通常在熔点以下）、保温和冷却来调整其性能的工艺方法。

④机械加工：采用切削加工（如车、铣、钳、刨、镗、磨等）使固态材料成型。通常用材料的硬度来衡量其机械加工性能。

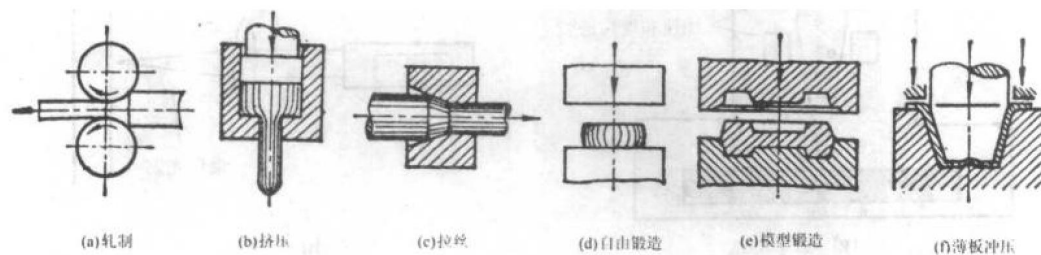


图 0-3 典型塑性加工工艺示意图

⑤粉末冶金：将材料粉末经压制、烧结成固体的成型方法。

⑥塑性加工：利用材料的延展性，在外力(如锻、拉、挤、轧、弯)作用下将固态材料加工成型的方法。塑性加工性主要用材料的变形抗力、变形开裂倾向来衡量。

材料的性能取决于材料的内部结构与组织，这就如同电子产品的功能取决于其内部的元件、器件和线路一样。材料的加工工艺影响材料的结构和组织，从而也改变了材料的性能。例如用铸造方法生产出来的钢棒，其组织与用塑性加工工艺制造的钢棒完全不同。假如在使用过程中，材料的结构、组织没有变化，那么它将永远保持这些性能。反过来，如果在使用过程中，材料的结构、组织发生变化，那么可以肯定地说材料的性能也会发生相应地变化。这就解释了为什么当橡胶暴露在阳光和空气中时会逐渐地硬化；为什么普通钢的钻头不能像高速钢钻头那样高速地切削；为什么磁性材料在射频场中会失去磁性。另一方面，材料原始组织和性能决定了采用何种加工工艺将材料加工成所需要的形状。高硬度材料不适合用切削加工方法，而像铅那样的软材料又会粘着切削工具。同样，高强度材料尤其是脆性材料不适于塑性加工。因此，对不同的材料应采用不同的加工工艺来达到成型、调整和改善性能的目的。

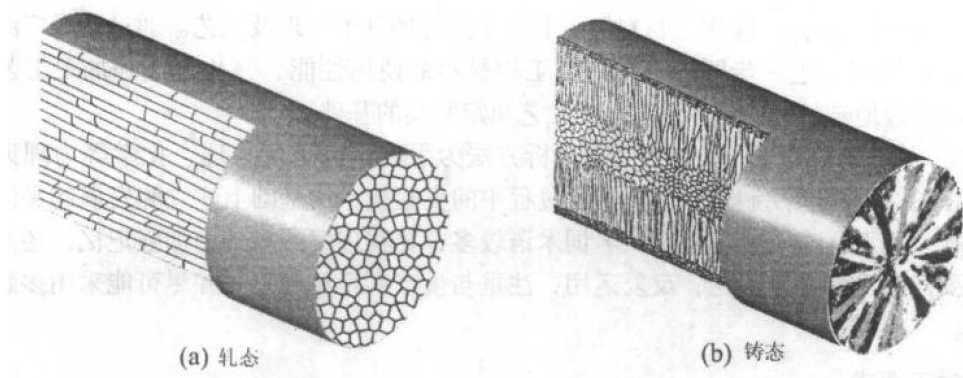


图 0-4 轧制与铸造的金属棒材组织差异示意图

0.1.3 工程材料的分类

工程材料种类繁多，按其性能特点和用途可分为两大类。一类是结构材料，主要是强调利用材料的力学性能来满足工程结构上的需要；另一类称为功能材料，主要强调材料具有光、电、磁、热等特殊的物理性能。根据材料中原子之间的键合特点又可将工程材料分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料。

1. 金属材料

金属是具有正的电阻温度系数的物质，通常具有良好的导电性、导热性、延展性、高的密度和高的光泽。包括纯金属和以金属元素为主的合金。在工程领域又把金属及其合金分成两部分：(1)黑色金属——铁和以铁为基的合金；(2)有色金属——黑色金属以外的所有金属及其合金。金属材料在工程领域是应用最广泛的材料。

2. 陶瓷材料

陶瓷材料是金属和非金属元素间的化合物，如砖、玻璃、各种绝缘材料和磨料等。陶瓷材料通常具有很高的强度和硬度，较低的导电、导热性，延性、成型性及耐冲击性都很差。但有一些陶瓷材料除具有极好的耐高温和耐腐蚀特性外，还有一些独