



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

金属材料及工艺

主 编 于文强 陈宗民



贴合实际：理顺常规工艺与现代技术的关系
突出应用：培养分析与解决工程问题的能力
内容新颖：反映机械制造的新工艺和新成就



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

金属材料及工艺

主 编	于文强	陈宗民
副主编	姜学波	张 勇
	秦聪祥	尹文红



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书主要包括金属材料的种类与性能,金属的结构与结晶,二元合金相图及其应用,金属的塑性变形与再结晶,钢的热处理,合金钢,有色金属,机械零件的失效分析与选材,铸造,锻压,冲压,焊接和毛坯的选择等,每章后附有习题。

本书注重学生分析问题与解决工程技术问题能力的培养以及学生工程素质与创新思维能力的提高。为此,在本书的编写内容上既要体现现代制造技术、材料科学和现代信息技术的密切交叉与融合,又要体现工程材料和制造技术的历史传承与发展趋势。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类各专业的教材和参考书,也可作为高职类工科院校及机械制造工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及工艺/于文强,陈宗民主编. —北京:北京大学出版社,2011.9

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19522-2

I. ①金… II. ①于…②陈… III. ①金属材料—生产工艺—高等学校—教材 IV. ①TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 190290 号

书 名: 金属材料及工艺

著作责任者: 于文强 陈宗民 主编

策 划 编 辑: 童君鑫

责 任 编 辑: 周 瑞

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19522-2/TH·0268

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 534 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 44.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是按照高等院校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求，合理定位，由长期在教学一线从事教学工作，具有丰富教学经验的教师立足于教学改革的需要，整合金属材料学、金属热加工工艺等有关材料基础、选材和毛坯成形方法等专业知识；参考国外原版教材的优秀体例，以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写的，以适应不同类型、不同层次学校教学的需要。

机械零件的选材、毛坯的制备以及合理的热处理工艺方案是获得优秀工业产品所必需的核心技术能力，企业必须掌握先进的工业化制造技术，产品才有市场竞争力。金属材料及工艺课程是工科院校进行产品制造工艺教育的一门重要的技术基础课程，着重阐述常用金属材料及热成形方法的基本原理和工艺特点，全面讲述机械零件常用材料的选用、热处理工艺方案的确定、毛坯成形方法的选择以及工艺路线的拟订和机械制造中的新技术、新工艺。其兼有基础性、实用性、知识性、实践性与创新性等特点，是培养现代复合型人才的重要基础课程之一。本书注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养，而且力求体现注重学生工程素质与创新思维能力的培养。为此本书在编写上既要体现现代制造技术、材料科学、现代信息技术的密切交叉与融合，又要体现工程材料和制造技术的历史传承和发展趋势。在内容的选择和编写上本书有如下特点。

(1) 本书的编写力求适应机械类及近机类专业的应用实际，力求处理好常规工艺与现代新技术的关系。

(2) 内容的选择和安排上既系统丰富又重点突出，每个章节既相互联系，又相对独立，以便适应不同专业、不同学习背景、不同学时、不同层次的学生选用。

(3) 导入案例和文中阅读材料反映机械制造新工艺和新成就，开阔学生视野，培养学生的创新素质和能力。

(4) 在内容的选择和安排上考虑到机械类各专业的不同需要，具有一定的通用性。

(5) 为加深学生对课程内容的理解，掌握和巩固所学的基本知识，在分析问题和独立解决问题的能力方面得到应有的训练，每章后附有习题，供学生学完有关内容后及时进行消化和复习。

(6) 本书编者创建的 QQ 群：39024033，用于专业教师同行探讨问题、研究教学方法、交流教学资源，同时为本书提供课件下载。

本书由山东理工大学于文强、陈宗民主编，姜学波、张勇、秦聪祥、尹文红担任副主编，张建龙、赵闰南、徐达、曹宝玉、夏明栋、叶成荫、段秀超负责文字校对。全体同仁为本书的出版付出了辛苦的劳动，在此表示衷心的感谢！

本书可作为高等工科院校机械类、近机类各专业的教材和参考书，也可供高职类工科院校选用及机械制造工程技术人员学习参考。

在本书的编写过程中，汲取了许多人员对编写工作的宝贵意见，在编写和出版过程中得到北京大学出版社和印刷单位有关工作人员的大力支持，在此一并表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，不妥之处在所难免，衷心希望广大读者批评指正。

编 者

2011 年 7 月

北京大学出版社教材书目

- ◇ 欢迎访问教学服务网站 www.pup6.cn, 免费查阅下载已出版教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。
- ◇ 欢迎征订投稿。联系方式: 010-62750667, 童编辑, 13426433315@163.com, pup_6@163.com, 欢迎联系。

序号	书 名	标准书号	主 编	定价	出版日期
1	机械设计	978-7-5038-4448-5	郑 江, 许 瑛	33	2007.8
2	机械设计	978-7-301-15699-5	吕 宏	32	2009.9
3	机械设计	978-7-301-17599-6	门艳忠	40	2010.8
4	机械原理	978-7-301-11488-9	常治斌, 张京辉	29	2008.6
5	机械原理	978-7-301-15425-0	王跃进	26	2010.7
6	机械原理	978-7-301-19088-3	郭宏亮, 孙志宏	36	2011.6
7	机械原理	978-7-301-19429-4	杨松华	34	2011.8
8	机械设计基础	978-7-5038-4444-2	曲玉峰, 关晓平	27	2008.1
9	机械设计课程设计	978-7-301-12357-7	许 瑛	35	2009.5
10	机械设计课程设计	978-7-301-18894-1	王 慧, 吕 宏	30	2011.5
11	机械工程专业毕业设计指导书	978-7-301-18805-7	张黎骅 吕小荣	22	2011.6
12	机械创新设计	978-7-301-12403-1	从晓霞	32	2010.7
13	TRIZ 理论机械创新设计工程训练教程	978-7-301-18945-0	蒯苏苏, 马履中	45	2011.6
14	AutoCAD 工程制图	978-7-5038-4446-9	杨巧绒, 张克义	20	2011.4
15	工程制图	978-7-5038-4442-6	戴立玲, 杨世平	27	2011.1
16	工程制图	978-7-301-19428-7	孙晓娟, 徐丽娟	30	2011.8
17	工程制图习题集	978-7-5038-4443-4	杨世平, 戴立玲	20	2008.1
18	机械制图(机类)	978-7-301-12171-9	张绍群, 孙晓娟	32	2009.1
19	机械制图习题集(机类)	978-7-301-12172-6	张绍群, 王慧敏	29	2007.8
20	机械制图(第 2 版)	978-7-301-19332-7	孙晓娟, 王慧敏	38	2011.8
21	机械制图习题集(第 2 版)	978-7-301-19370-7	孙晓娟, 王慧敏	22	2011.8
22	机械制图与 AutoCAD 基础教程	978-7-301-13122-0	张爱梅	35	2007.11
23	机械制图与 AutoCAD 基础教程习题集	978-7-301-13120-6	鲁 杰, 张爱梅	22	2007.12
24	AutoCAD 2008 工程绘图	978-7-301-14478-7	赵润平, 宗荣珍	35	2009.1
25	工程制图案例教程	978-7-301-15369-7	宗荣珍	28	2009.6
26	工程制图案例教程习题集	978-7-301-15285-0	宗荣珍	24	2009.6
27	理论力学	978-7-301-12170-2	盛冬发, 闫小青	29	2010.8
28	材料力学	978-7-301-14462-6	陈忠安, 王 静	30	2011.1
29	工程力学(上册)	978-7-301-11487-2	毕勤胜, 李纪刚	29	2008.6
30	工程力学(下册)	978-7-301-11565-7	毕勤胜, 李纪刚	28	2008.6
31	液压传动	978-7-5038-4441-8	王守城, 容一鸣	27	2009.4
32	液压与气压传动	978-7-301-13129-4	王守城, 容一鸣	32	2009.4
33	液压与液力传动	978-7-301-17579-8	周长城等	34	2010.8
34	液压传动与控制实用技术	978-7-301-15647-6	刘 忠	36	2009.8
35	金工实习(第 2 版)	978-7-301-16558-4	郭永环, 姜银方	30	2011.1
36	机械制造基础实习教程	978-7-301-15848-7	邱 兵, 杨明金	34	2010.2
37	公差与测量技术	978-7-301-15455-7	孔晓玲	25	2010.7
38	互换性与测量技术基础(第 2 版)	978-7-301-17567-5	王长春	28	2010.8

39	机械制造技术基础	978-7-301-14474-9	张 鹏, 孙有亮	28	2011.6
40	先进制造技术基础	978-7-301-15499-1	冯宪章	30	2009.8
41	机械精度设计与测量技术	978-7-301-13580-8	于 峰	25	2008.8
42	机械制造工艺学	978-7-301-13758-1	郭艳玲, 李彦蓉	30	2008.8
43	机械制造基础(上)——工程材料及热加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18474-5	侯书林, 朱 海	40	2011.1
44	机械制造基础(下)——机械加工工艺基础(第2版)	978-7-301-18638-1	侯书林, 朱 海	32	2011.3
45	工程材料及其成形技术基础	978-7-301-13916-5	申荣华, 丁 旭	45	2010.7
46	工程材料及其成形技术基础学习指导与习题详解	978-7-301-14972-0	申荣华	20	2009.3
47	机械工程材料及成形基础	978-7-301-15433-5	侯俊英, 王兴源	30	2009.7
48	机械工程材料	978-7-5038-4452-3	戈晓岚, 洪 琢	29	2011.6
49	机械工程材料	978-7-301-18522-3	张铁军	36	2011.1
50	金属材料及工艺	978-7-301-19522-2	于文强, 陈宗民	44	2011.9
51	工程材料与机械制造基础	978-7-301-15899-9	苏子林	32	2009.9
52	控制工程基础	978-7-301-12169-6	杨振中, 韩致信	29	2007.8
53	机械工程控制基础	978-7-301-12354-6	韩致信	25	2008.1
54	机电工程专业英语(第2版)	978-7-301-16518-8	宋 林	24	2011.5
55	机床电气控制技术	978-7-5038-4433-7	张万奎	26	2007.9
56	机床数控技术(第2版)	978-7-301-16519-5	杜国臣, 王士军	35	2011.6
57	数控机床与编程	978-7-301-15900-2	张洪江, 侯书林	25	2010.11
58	数控加工技术	978-7-5038-4450-7	王 彪, 张 兰	29	2008.2
59	数控加工与编程技术	978-7-301-18475-2	李体仁	34	2011.1
60	数控编程与加工实习教程	978-7-301-17387-9	张春雨 于 雷	37	2011.9
61	现代数控机床调试及维护	978-7-301-18033-4	邓三鹏等	32	2010.11
62	金属切削原理与刀具	978-7-5038-4447-7	陈锡渠, 彭晓南	29	2008.1
63	金属切削机床	978-7-301-13180-0	夏广岚, 冯 凭	32	2008.5
64	精密与特种加工技术	978-7-301-12167-2	袁根福, 祝锡晶	29	2010.8
65	逆向建模技术与产品创新设计	978-7-301-15670-4	张学昌	28	2009.9
66	CAD/CAM 技术基础	978-7-301-17742-6	刘 军	28	2010.9
67	CAD/CAM 技术案例教程	978-7-301-17732-7	汤修映	42	2010.9
68	Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 实用教程	978-7-5038-4437-X	黄卫东, 任国栋	32	2007.7
69	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 实例教程	978-7-301-12359-1	张选民	45	2008.2
70	Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 曲面设计实例教程	978-7-301-13182-4	张选民	45	2008.2
71	SolidWorks 三维建模及实例教程	978-7-301-15149-5	上官林建	30	2009.5
72	UG NX6.0 计算机辅助设计与制造实用教程	978-7-301-14449-7	张黎骅, 吕小荣	26	2009.6
73	Cimatron E9.0 产品设计与数控自动编程技术	978-7-301-17802-7	孙树峰	36	2010.9
74	应用创造学	978-7-301-17533-0	王成军, 沈豫浙	26	2010.7
75	机电产品学	978-7-301-15579-0	张亮峰等	24	2009.8
76	品质工程学基础	978-7-301-16745-8	丁 燕	30	2011.5
77	设计心理学	978-7-301-11567-1	张成忠	48	2011.6
78	计算机辅助设计与制造	978-7-5038-4439-6	仲梁维, 张国全	29	2007.9
79	产品造型计算机辅助设计	978-7-5038-4474-4	张慧姝, 刘永翔	27	2006.8
80	产品设计原理	978-7-301-12355-3	刘美华	30	2008.2
81	产品设计表现技法	978-7-301-15434-2	张慧姝	42	2009.8
82	产品创意设计	978-7-301-17977-2	虞世鸣	38	2010.11
83	工业产品造型设计	978-7-301-18313-7	袁涛	39	2011.1
84	化工工艺学	978-7-301-15283-6	邓建强	42	2009.6
85	过程装备机械基础	978-7-301-15651-3	于新奇	38	2009.8

86	过程装备测试技术	978-7-301-17290-2	王毅	45	2010.6
87	过程控制装置及系统设计	978-7-301-17635-1	张早校	30	2010.8
88	质量管理与工程	978-7-301-15643-8	陈宝江	34	2009.8
89	质量管理统计技术	978-7-301-16465-5	周友苏, 杨 飒	30	2010.1
90	测试技术基础(第2版)	978-7-301-16530-0	江征风	30	2010.1
91	测试技术实验教程	978-7-301-13489-4	封士彩	22	2008.8
92	测试技术学习指导与习题详解	978-7-301-14457-2	封士彩	34	2009.3
93	可编程控制器原理与应用(第2版)	978-7-301-16922-3	赵 燕, 周新建	33	2010.3
94	工程光学	978-7-301-15629-2	王红敏	28	2009.9
95	精密机械设计	978-7-301-16947-6	田 明, 冯进良等	38	2010.3
96	传感器原理及应用	978-7-301-16503-4	赵 燕	35	2010.2
97	测控技术与仪器专业导论	978-7-301-17200-1	陈毅静	29	2010.6
汽车类					
98	汽车电子控制技术	978-7-5038-4432-9	凌永成, 于京诺	32	2007.7
99	汽车构造	978-7-5038-4445-4	肖生发, 赵树朋	44	2007.8
100	汽车发动机原理	978-7-301-12168-9	韩同群	32	2010.8
101	汽车设计	978-7-301-12369-0	刘 涛	45	2008.1
102	汽车运用基础	978-7-301-13118-3	凌永成, 李雪飞	26	2008.1
103	现代汽车系统控制技术	978-7-301-12363-8	崔胜民	36	2008.1
104	汽车电气设备实验与实习	978-7-301-12356-0	谢在玉	29	2008.2
105	汽车试验测试技术	978-7-301-12362-1	王丰元	26	2008.2
106	汽车运用工程基础	978-7-301-12367-6	姜立标, 张黎骅	32	2008.6
107	汽车制造工艺	978-7-301-12368-3	赵桂范, 杨 娜	30	2008.6
108	汽车工程概论	978-7-301-12364-5	张京明, 江浩斌	36	2008.6
109	汽车运行材料	978-7-301-13583-9	凌永成, 李美华	30	2008.7
110	汽车试验学	978-7-301-12358-4	赵立军, 白 欣	28	2011.7
111	内燃机构造	978-7-301-12366-9	林 波, 李兴虎	26	2008.8
112	汽车故障诊断与检测技术	978-7-301-13634-8	刘占峰, 林丽华	34	2008.8
113	汽车维修技术与设备	978-7-301-13914-1	凌永成, 赵海波	30	2010.8
114	热工基础	978-7-301-12399-7	于秋红	34	2009.2
115	汽车检测与诊断技术	978-7-301-12361-4	罗念宁, 张京明	30	2009.1
116	汽车评估	978-7-301-14452-7	鲁植雄	25	2009.8
117	汽车车身设计基础	978-7-301-15619-3	王宏雁, 陈君毅	28	2009.9
118	汽车车身轻量化结构与轻质材料	978-7-301-15620-9	王宏雁, 陈君毅	25	2009.9
119	车辆自动变速器构造原理与设计方法	978-7-301-15609-4	田晋跃	30	2009.9
120	新能源汽车技术	978-7-301-15743-5	崔胜民	32	2010.8
121	工程流体力学	978-7-301-12365-2	杨建国, 张兆营	35	2010.1
122	高等工程热力学	978-7-301-16077-0	曹建明, 李跟宝	30	2010.1
123	汽车电气设备(第2版)	978-7-301-16916-2	凌永成, 李淑英	38	2011.1
124	现代汽车排放控制技术	978-7-301-17231-5	周庆辉	32	2010.6
125	汽车服务工程	978-7-301-16743-4	鲁植雄	36	2010.7
126	现代汽车发动机原理	978-7-301-17203-2	赵丹平, 吴双群	35	2010.7
127	现代汽车新技术概论	978-7-301-17340-4	田晋跃	35	2011.6
128	汽车数字开发技术	978-7-301-17598-9	姜立标	40	2010.8
129	汽车人机工程学	978-7-301-17562-0	任金东	35	2010.8
130	专用汽车结构与与设计	978-7-301-17744-0	乔维高	45	2010.9
131	汽车空调	978-7-301-18066-2	刘占峰, 宋 力等	28	2010.11

132	汽车 CAD 技术及 Pro/E 应用	978-7-301-18113-3	石沛林, 李玉善	32	2010.11
133	汽车振动分析与测试	978-7-301-18524-7	周长城, 周金宝等	40	2011.3
134	汽车空气动力学数值模拟技术	978-7-301-16742-7	张英朝	45	2011.6
135	汽车使用与管理	978-7-301-18761-6	郭宏亮, 张铁军	39	2011.5
136	新能源汽车概论	978-7-301-18804-0	崔胜民, 韩家军	30	2011.5
137	汽车空气动力学数值模拟技术	978-7-301-16742-7	张英朝	45	2011.6
138	汽车电子控制技术(第 2 版)	978-7-301-19225-2	凌永成, 于京诺	40	2011.7
139	车辆液压传动与控制技术	978-7-301-19293-1	田晋跃	28	2011.8
140	车辆悬架设计及理论	978-7-301-19298-6	周长城	48	2011.8
材料类					
141	金属学与热处理	978-7-5038-4451-5	朱兴元, 刘 忆	24	2007.7
142	冲压工艺与模具设计(第 2 版)	978-7-301-16872-1	牟 林, 胡建华	34	2010.6
143	锻造工艺过程及模具设计	978-7-5038-4453-1	胡亚民, 华 林	30	2008.6
144	材料成型设备控制基础	978-7-301-13169-5	刘立君	34	2008.1
145	材料成形 CAD/CAE/CAM 基础	978-7-301-14106-9	余世浩, 朱春东	35	2008.8
146	材料成型控制工程基础	978-7-301-14456-5	刘立君	35	2009.2
147	材料科学基础	978-7-301-15565-3	张晓燕	32	2009.8
148	铸造工程基础	978-7-301-15543-1	范金辉, 华 勤	40	2009.8
149	造型材料	978-7-301-15650-6	石德全	28	2009.9
150	模具设计与制造	978-7-301-15741-1	田光辉, 林红旗	42	2011.5
151	材料物理与性能学	978-7-301-16321-4	耿桂宏	39	2010.1
152	金属材料成形工艺及控制	978-7-301-16125-8	孙玉福, 张春香	40	2010.2
153	材料腐蚀及控制工程	978-7-301-16600-0	刘敬福	32	2010.7
154	摩擦材料及其制品生产技术	978-7-301-17463-0	申荣华, 何 林	45	2010.7
155	纳米材料基础与应用	978-7-301-17580-4	林志东	35	2010.8
156	热加工测控技术	978-7-301-17638-2	石德全, 高桂丽	40	2010.8
157	智能材料与结构系统	978-7-301-17661-0	张光磊, 杜彦良	28	2010.8
158	材料性能学	978-7-301-17695-5	付 华, 张光磊	34	2010.9
159	金属学与热处理	978-7-301-17687-0	崔占全, 王昆林等	50	2010.9
160	特种塑性成形理论及技术	978-7-301-18345-8	李 峰	30	2011.1
161	材料科学基础	978-7-301-18350-2	张代东, 吴 润	34	2011.1
162	DEFORM-3D 塑性成形 CAE 应用教程	978-7-301-18392-2	胡建军, 李小平	34	2011.1
163	原子物理与量子力学	978-7-301-18498-1	唐敬友	28	2011.1
164	模具 CAD 实用教程	978-7-301-18657-2	许树勤	28	2011.4
165	金属材料学	978-7-301-19296-2	伍玉娇	38	2011.8
166	材料科学与工程专业实验教程	978-7-301-19437-9	向 嵩, 张晓燕	25	2011.9
167	金属液态成型原理	978-7-301-15600-1	贾志宏	35	2011.9
168	材料成形原理	978-7-301-19430-0	周志明, 张 弛	49	2011.9
169	材料工艺及设备	978-7-301-19454-6	马泉山	45	2011.9
170	金属组织控制技术与设备	978-7-301-16331-3	邵红红, 纪嘉明	38	2011.9
171	材料分析测试技术	978-7-301-19533-8	齐海群	28	2011.9

目 录

第 1 章 金属材料的种类与性能	1	第 3 章 二元合金相图及其应用	36
1.1 金属材料的种类	2	3.1 合金的相结构	37
1.2 金属材料的性能	3	3.1.1 基本概念	37
1.2.1 力学性能	3	3.1.2 固态合金的相结构	38
1.2.2 物理、化学性能	13	3.2 二元合金相图的建立	39
1.2.3 工艺性能	15	3.2.1 相图的绘制	39
习题	16	3.2.2 二元匀晶相图	41
第 2 章 金属的结构与结晶	18	3.2.3 二元共晶相图	43
2.1 材料结构的类型	19	3.2.4 二元包晶相图	47
2.1.1 结构类型	19	3.2.5 形成稳定化合物的二元合金相图	48
2.1.2 几何晶体学的基本概念	20	3.2.6 具有共析反应的二元合金相图	49
2.1.3 配位数和致密度	22	3.2.7 合金的性能与相图间的关系	50
2.2 金属键与金属的特性	23	3.3 铁碳合金相图	51
2.2.1 金属键	23	3.3.1 铁碳合金基本相及组织	52
2.2.2 金属的特性	23	3.3.2 铁碳合金相图分析	52
2.3 纯金属常见的晶体结构	24	3.3.3 典型铁碳合金的结晶过程分析	55
2.3.1 体心立方晶格	24	3.3.4 碳的质量分数对铁碳合金组织、性能的影响	57
2.3.2 面心立方晶格	25	3.3.5 铁碳合金相图的应用	58
2.3.3 密排六方晶格	25	3.4 碳素钢、铸铁	59
2.4 金属的实际晶体结构	26	3.4.1 碳钢中常存杂质及其对性能的影响	59
2.4.1 多晶体结构和亚结构	26	3.4.2 碳素钢分类、牌号及用途	59
2.4.2 晶体中的缺陷	26	3.4.3 铸铁分类、牌号及用途	65
2.5 金属的结晶	28	习题	70
2.5.1 结晶概述	28	第 4 章 金属的塑性变形与再结晶	72
2.5.2 纯金属的冷却曲线和冷却现象	28	4.1 金属的塑性变形	73
2.5.3 纯金属的结晶过程	29	4.1.1 金属单晶体的塑性变形	73
2.5.4 晶粒大小与金属力学性能的关系	31		
2.5.5 金属的铸锭组织	32		
2.6 金属的同素异构转变	33		
习题	34		

4.1.2 金属多晶体的塑性 变形	77	习题	110
4.2 金属的塑性变形对组织和 性能的影响	78	第6章 合金钢	113
4.2.1 纤维组织	78	6.1 合金元素在钢中的作用	114
4.2.2 加工硬化	79	6.1.1 合金元素对钢中 基本相的影响	114
4.2.3 织构现象	79	6.1.2 合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	115
4.2.4 残余应力	80	6.1.3 合金元素对钢材热处理 的影响	116
4.3 变形金属在加热时组织和 性能的变化	81	6.2 合金钢的分类与编号	117
4.3.1 回复与再结晶	81	6.3 合金结构钢	118
4.3.2 再结晶温度与晶粒度	82	6.3.1 低合金高强度结构钢	118
4.4 金属的热变形加工	84	6.3.2 合金渗碳钢	120
4.4.1 热变形加工与冷变形 加工的区别	84	6.3.3 合金调质钢	121
4.4.2 金属的热变形加工对 组织和性能的影响	85	6.3.4 合金弹簧钢	122
习题	86	6.3.5 滚动轴承钢	123
第5章 钢的热处理	87	6.4 合金工具钢	124
5.1 钢的热处理原理	88	6.4.1 合金刀具钢	125
5.1.1 钢在加热时的组织转变	88	6.4.2 合金模具钢	128
5.1.2 钢在冷却时的组织转变	90	6.4.3 合金量具钢	131
5.2 钢的普通热处理	93	6.5 特殊性能钢	131
5.2.1 钢的退火与正火	93	6.5.1 不锈钢	131
5.2.2 钢的淬火	95	6.5.2 耐热钢	132
5.2.3 钢的回火	97	6.5.3 耐磨钢	133
5.3 钢的表面热处理	99	习题	134
5.3.1 钢的表面淬火	99	第7章 有色金属	138
5.3.2 钢的化学热处理	101	7.1 铝及铝合金	139
5.4 钢的其他热处理方法	103	7.1.1 工业纯铝	139
5.5 热处理的技术条件和结构 工艺性	104	7.1.2 铝合金	139
5.5.1 热处理技术条件的 标注	104	7.2 铜及铜合金	143
5.5.2 热处理零件的结构 工艺性	105	7.2.1 工业纯铜	143
5.6 典型零件热处理工艺分析	107	7.2.2 铜合金	144
5.6.1 车床主轴热处理工艺	107	7.3 钛及其合金	145
5.6.2 20CrMnTi 变速箱齿轮的 渗碳热处理工艺	108	7.3.1 纯钛	145
		7.3.2 钛合金	145
		7.4 滑动轴承合金	146
		7.4.1 轴承合金的性能要求和 组织特征	147

7.4.2 轴承合金的分类及 牌号	147	10.3.3 铸造工艺图的制定	195
7.5 其他材料	148	10.3.4 轴承座造型工艺方案 实例	195
习题	150	习题	197
第 8 章 机械零件的失效分析与 选材	152	第 11 章 特种铸造	199
8.1 机械零件的失效分析	153	11.1 金属型铸造	200
8.2 选材的一般原则	156	11.2 压力铸造	201
8.3 典型零件的选材与工艺	158	11.3 低压铸造	204
8.3.1 提高疲劳强度与耐磨性的 选材与工艺	158	11.4 熔模铸造	205
8.3.2 齿轮类与轴类零件的 选材与工艺	160	11.5 离心铸造	206
习题	164	11.6 其他铸造方法	207
第 9 章 铸造工艺基础	165	习题	211
9.1 液态合金的充型	166	第 12 章 铸件结构设计	212
9.1.1 合金的流动性	166	12.1 铸造工艺对铸件结构设计的 要求	213
9.1.2 影响流动性和充型能力的 因素	167	12.2 合金铸造性能对铸件结构 设计的要求	216
9.2 铸件的凝固与收缩	168	12.3 不同铸造方法对铸件结构的 要求	219
9.2.1 铸件的凝固方式	168	习题	221
9.2.2 铸造合金的收缩	169	第 13 章 铸造新工艺与发展	223
9.2.3 铸件的缩孔与缩松	170	13.1 造型新方法	224
9.3 铸造应力与变形、开裂	172	13.2 铸造新技术	226
9.4 铸件的缺陷与分析	175	13.3 铸造技术的发展趋势	228
习题	177	习题	229
第 10 章 砂型铸造	179	第 14 章 锻压工艺基础	230
10.1 造型材料	180	14.1 金属的塑性变形规律	231
10.1.1 造型材料的种类	180	14.2 金属的锻造性能	234
10.1.2 型砂与芯砂的配制	181	14.3 锻造比与锻造流线	236
10.2 造型和造芯方法	183	习题	238
10.2.1 手工造型	183	第 15 章 常用锻造方法	239
10.2.2 机器造型	184	15.1 自由锻造	240
10.2.3 造芯	186	15.1.1 锻造设备与生产特点	240
10.3 铸造工艺设计	190	15.1.2 自由锻造工艺	241
10.3.1 浇注位置与分型面的 确定	190	15.1.3 自由锻件的结构 工艺性	244
10.3.2 主要工艺参数的确定	192		

15.1.4 典型锻件的自由锻 工艺实例	245	第 20 章 其他焊接方法	315
15.2 模锻	246	20.1 压力焊	316
15.2.1 锤上模锻	246	20.2 钎焊	321
15.2.2 其他设备模锻	251	习题	322
15.2.3 胎模锻	253	第 21 章 常用金属材料的焊接	323
15.2.4 典型锻件的模锻工艺 实例	255	21.1 金属材料的焊接性	324
习题	257	21.2 碳钢及低合金结构钢的 焊接	325
第 16 章 板料冲压	259	21.3 不锈钢的焊接	326
16.1 冲压设备与冲模结构	260	21.4 铸铁的焊补	327
16.2 冲压基本工序	262	21.5 非铁金属的焊接	328
16.3 板料冲压件的结构工艺性	268	习题	329
习题	270	第 22 章 焊接结构设计	330
第 17 章 现代塑性加工与发展 趋势	271	22.1 焊接结构件材料的选择	331
17.1 现代塑性加工方法	272	22.2 焊接方法的选择	331
17.2 塑性加工发展趋势	280	22.3 焊接接头的工艺设计	332
习题	281	22.3.1 焊缝的布置	332
第 18 章 熔焊成形基础理论	282	22.3.2 接头的设计	334
18.1 熔焊冶金过程	283	习题	336
18.2 焊接接头组织和性能	285	第 23 章 焊接过程自动化	337
18.3 焊接应力与变形	287	23.1 计算机辅助焊接技术	338
18.4 焊接接头的缺陷	290	23.2 焊接机器人	338
习题	295	23.2.1 点焊机器人	339
第 19 章 熔化焊	296	23.2.2 弧焊机器人	342
19.1 电弧焊	298	23.2.3 焊接机器人工作方式	343
19.1.1 焊接电弧	298	23.3 焊接柔性生产系统	344
19.1.2 焊条电弧焊	299	习题	345
19.1.3 埋弧自动焊	301	第 24 章 毛坯的选择	346
19.1.4 气体保护焊	304	24.1 毛坯的选择原则	347
19.2 气焊与气割	306	24.1.1 毛坯的种类及成形 方法的比较	347
19.2.1 气焊工艺	307	24.1.2 毛坯的选择原则	349
19.2.2 气割原理与工艺	309	24.2 零件的结构分析及毛坯选择	350
19.3 其他熔焊方法	310	24.3 毛坯选择实例	353
习题	313	习题	355
		参考文献	356

第 1 章

金属材料的种类与性能



教学目标

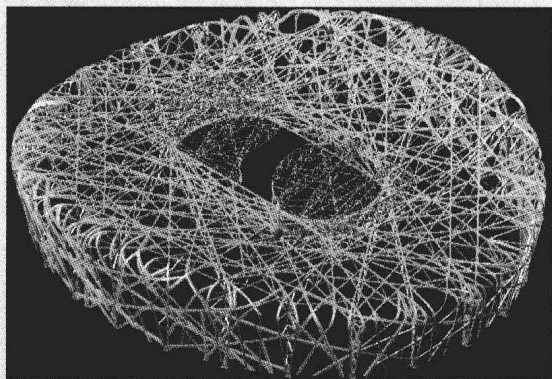
通过学习，了解金属材料的种类，掌握金属材料的使用性能和工艺性能。



导入案例

材料的力学性能

材料在常温、静载作用下的宏观力学性能，是确定各种工程设计参数的主要依据。这些力学性能均需用标准试样在材料试验机上按照规定的试验方法和程序测定，并可同时测定材料的应力-应变曲线。随着工农业的迅速发展，如何有效的利用有限的资源成为当今材料界关注的重点，其中利用材料的力学性能设计构件不但能够保证安全使用，同时还能提高资源的利用效率。



鸟巢

“鸟巢”所用钢材强度是普通钢的两倍，是由我国自主创新研发的特种钢材，集刚强、柔韧于一体，从而保证了“鸟巢”在承受最大 460MPa 的外力后，依然可以恢复到

原有形状,也就是说能抵抗当年唐山大地震那样的地震波。托起“鸟巢”最关键的是“肩部”结构,这一部分所用的钢材——“Q460”钢板厚度达到了10毫米,具有良好的抗震性、抗低温性和可焊性等特点。为满足抗震要求,钢构件的节点部位还特别作了加厚处理,杆件的联结方式一律为焊接,以增加结构整体的刚度和强度。“鸟巢”凌空的屋顶气势不凡,支撑它的24根巨大钢柱脚更是壮观雄伟。为保证建造在8度抗震设防的高烈度地震区的“鸟巢”能站稳脚跟,科研设计人员克服“鸟巢”柱脚集合尺寸大且构造复杂、我国现行规范的计算假定与设计方法难以适用等情况,为这些钢柱脚增加了底座和铆钉,将柱脚牢牢铆在了混凝土中。柱脚下的承台厚度高达4~6米,24根巨大钢柱分别与24个巨大的钢筋混凝土墩子牢固地连在一起,共同撑起巨大的“鸟巢”。鸟巢的设计综合考虑了材料的强度、韧性以及材料的利用效率。

人类生活、生产的过程是使用材料和将材料加工成成品的过程。材料使用的能力和水平标志着人类的文明和进步程度。人类发展的历史时代按人类对材料的使用分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等。在当今社会,能源、信息和材料已成为现代化技术的3大支柱,而能源和信息的发展又依托于材料。因此,世界各国都把材料的研究、开发放在突出的地位,我国的“863”计划把材料列为7个优先发展的领域之一。

为了便于材料的生产、应用与管理,也为了便于材料的研究与开发,有必要对材料进行分类。由于材料的种类繁多,用途甚广,因此分类的方法也很多。

按材料的用途可分为:建筑材料、电工材料、结构材料等;按材料的结晶状态可分为:单晶体材料、多晶体材料及非晶体材料;按材料的物理性能及物理效应可分为:半导体材料、磁性材料、激光材料(这类材料能受激辐射而发出方向恒定、波长范围窄、颜色单纯的激光,如红宝石、钇铝石榴石、含钕玻璃等)、热电材料(在温度作用下产生热电效应,由热能直接转变为电能或由电能转变为热能,可用于制造引燃、引爆器件)、光电材料(利用光电效应,可将光能直接转变成电能,如用硅、硫化镉等光电材料制作的太阳能电池)等。

值得注意的是,在工程上通常按材料的化学成分、结合键的特点将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料等几大类。

1.1 金属材料的种类

金属材料是以过渡族金属为基础的纯金属及其含有金属、半金属或非金属的合金。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能,能采用比较简便和经济的加工方法制成零件,因此金属材料是目前应用最广泛的材料。工业上通常把金属材料分为两大类:一类是黑色金属,它是指铁、锰、铬及其合金,其中以铁为基的合金——钢和铸铁应用最广,占整个结构和工具材料的80%以上;另一类是有色金属,它是指黑色金属以外的所有金属及其合金。

这两类材料还可进一步细分为图1.1所示的系列。

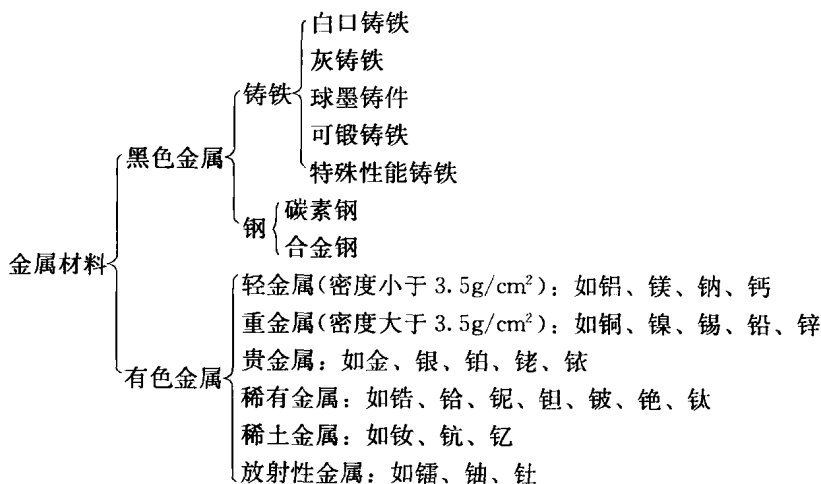


图 1.1 不同系列的金属材料

1.2 金属材料的性能

金属材料的性能包括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(强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等)、物理性能(密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性等)和化学性能(耐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是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。

1.2.1 力学性能

材料的力学性能是指材料在外力作用下所表现出的抵抗能力。由于载荷的形式不同，材料可表现出不同的力学性能，如强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等。材料的力学性能是零件设计、材料选择及工艺评定的主要依据。

1. 强度

材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为材料的强度。根据外力的作用方式，材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。在使用中一般多以抗拉强度作为基本的强度指标，常简称为强度。强度单位为 MPa(N/mm²)。

材料的强度、塑性是依据国家标准(GB/T 228—2002)通过静拉伸试验测定的。它是把一定尺寸和形状的试样装夹在拉力试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断为止。拉伸前后的试样如图 1.2 所示。标准试样的截面有圆形的和矩形的，圆形试样用的较多，圆形试样有长试样($l_0=10d_0$)和短试样($l_0=5d_0$)。一般拉伸试验机上都带有自动记录装置，可绘制出载荷(F)与试样伸长量(ΔL)之间的关系曲线，并据此可测定应力(σ)-应变(ϵ)关系： $\sigma=F/S$ (S 为试样原始截面积)、 $\epsilon=(L-L_0)/L_0(\%)$ 。图 1.3 为低碳钢的应力—应变曲线($\sigma-\epsilon$ 曲线)。研究表明低碳钢在外加载荷作用下的变形过程一般可分为 3 个阶段，即弹性变形、塑性变形和断裂。

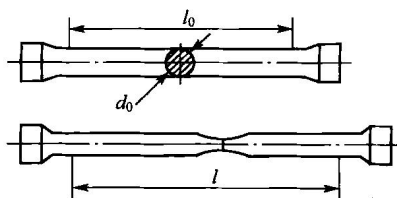


图 1.2 拉伸试样

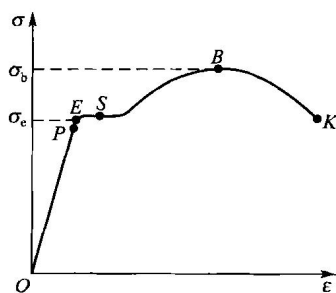


图 1.3 低碳钢的应力-应变曲线图

(1) 弹性变形 在图 1.3 中, OE 段为弹性阶段, 即去掉外力后, 变形立即恢复, 这种变形称为弹性变形, 其应变值很小, E 点的应力 σ_E 称为弹性极限。 OE 线中 OP 部分为一斜直线, 因为应力与应变始终成比例, 所以 P 点的应力 σ_P 称为比例极限。由于 P 点和 E 点很接近, 一般不作区分。

在弹性变形范围内, 应力与应变的比值称为材料的弹性模量 E (MPa)。弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标, 工程上常把它叫做材料的刚度。 E 值越大, 则使其产生一定量弹性变形的应力也越大, 亦即材料的刚度越大, 说明材料抵抗产生弹性变形的能力越强, 越不容易产生弹性变形。

(2) 塑性变形 在 S 点附近, 曲线较为平坦, 不需要进一步的增大外力, 便可以产生明显的塑性变形, 该现象称为材料的屈服现象, S 点称为屈服点, σ_s 称为屈服强度。

工业上使用的某些材料(如高碳钢、铸铁和某些经热处理后的钢等)在拉伸试验中没有明显的屈服现象发生, 故无法确定屈服强度 σ_s 。国家标准规定, 可用试样在拉伸过程中标距部分产生 0.2% 塑性变形量的应力值来表征材料对微量塑性变形的抗力, 称为屈服强度, 即所谓的“条件屈服强度”, 记为 $\sigma_{0.2}$ 。

(3) 断裂 经过一定的塑性变形后, 必须进一步增加应力才能继续使材料变形。当达到 B 点时, σ_B 为材料能够承受的最大应力, 称为强度极限。超过 B 点后, 试棒的局部迅速变细, 产生颈缩现象, 迅速伸长, 应力明显下降, 到达 K 点后断裂。



阅读材料 1-1

世贸中心的倒下

纽约世界贸易中心大楼位于曼哈顿闹市区南端, 是美国纽约市最高、楼层最多的摩天大楼。它由原籍日本的总建筑师山崎实设计, 于 1966 年开工, 历时 7 年, 1973 年竣工以后, 以 411 米的高度作为 110 层的摩天巨人而载入史册。它是由 5 幢建筑物组成的综合体。其主楼呈双塔形, 塔柱边宽 63.5 米。大楼采用钢结构, 用钢 7 万 8 千吨, 楼的外围有密置的钢柱, 墙面由铝板和玻璃窗组成, 素有“世界之窗”之称。

美国东部时间 2001 年 9 月 11 日上午 8 时 45 分, 一架起飞重量达 160 吨的波音 767 型飞机, 直接撞击纽约世界贸易中心北塔; 18 分钟后, 又一架起飞重量为 100 吨的波音 757 型飞机, 几乎拦腰撞击世界贸易中心南塔。在高达 1000℃ 的烈焰煎熬下, 撞击后的 1 个半小时内, 两幢塔楼最终还是坍塌了(图 1.4)。