 高职高专“十一五”规划示范教材

# 机械工程材料

主编 于泓 鞠加彬 副主编 何宝芹  
编著 张长英 主审 王于林

 北京航空航天大学出版社

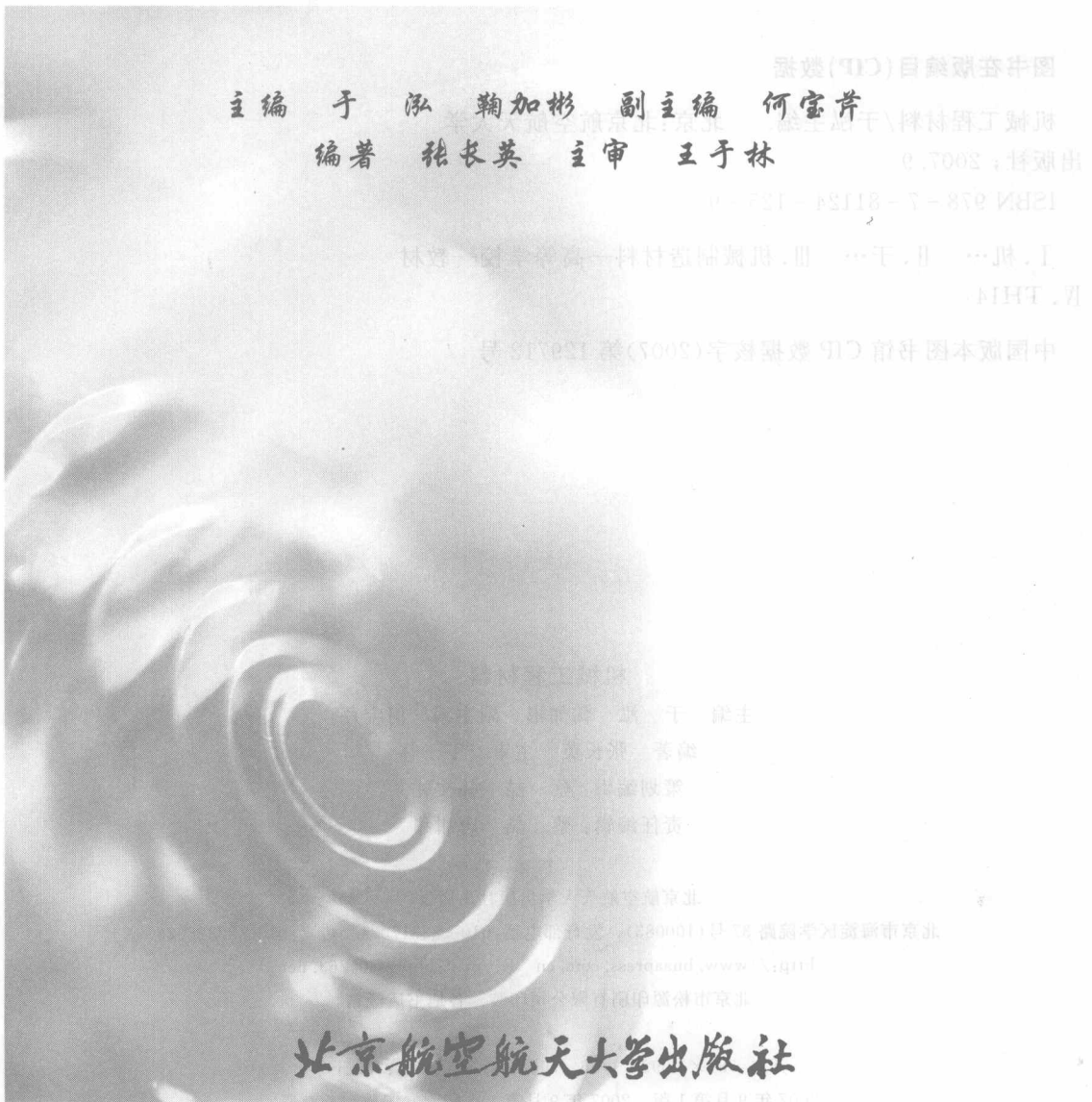


高职高专“十一五”规划示范教材

# 机械工程材料

主编 于泓 鞠加彬 副主编 何宝芹  
编著 张长英 主审 王于林

北京航空航天大学出版社



## 内 容 简 介

“机械工程材料”是机械、机电类专业重要的专业基础课。本书内容主要包括工程材料的力学性能,常见金属的晶体结构和结晶,金属的塑性变形与再结晶,铁碳合金相图及碳钢以及钢的热处理;合金钢、铸铁、非铁金属材料、非金属材料及新型材料及常用机械工程材料的选用等内容。

本书可用作高等职业教育应用型专门人才和培养的相关课程教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

本书配有教学课件,请发送邮件至 bhkejian@126.com 或致电 010-82317027 申请索取。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/于泓主编. —北京:北京航空航天大学出版社, 2007.9

ISBN 978-7-81124-125-9

I. 机… II. 于… III. 机械制造材料—高等学校—教材  
IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 129712 号

## 机械工程材料

主编 于 泓 鞠加彬 副主编 何宝芹

编著 张长英 主审 王于林

策划编辑:蔡 喆 韩文礼

责任编辑:蔡 喆 唐甜甜

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail: bhpress@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:365 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-125-9 定价:22.00 元

## 前 言

在科学技术飞速进步和生产力水平日益发展的今天,传统的金属材料在机械制造业领域仍占主导地位,同时,高分子合成材料、陶瓷材料以及复合材料的应用也越来越广泛,这对高职院校高水平应用型工程技术人才的培养提出了新的要求。

“机械工程材料”是机械、机电类专业重要的专业基础课。为了适应材料科学与制造技术发展的需求,针对高等职业教育应用型专门人才的培养目标,从机械专业工程技术人员的实际生产要求出发,在总结高职院校机械类专业教学改革经验的基础上编写了本书。

本书主要有以下特点:

(1) 注重实践能力和职业技能的培养,基础理论以“实用、够用”为原则,强调知识的实际运用和实践训练;

(2) 以金属材料为重点,去适当增加新材料、新技术和新工艺等方面内容,以拓宽学生的专业知识面;

(3) 力求做到理论深入浅出,内容重点突出,文字通俗易懂;

(4) 使用法定计量单位,名词、术语及牌号尽量采用最新国家标准,根据现行标准的推行以及生产实际应用情况,少量术语仍沿用传统说法并在文中加以说明。

根据各院校机械、机电类专业对各章节内容要求的不同,学时数安排的不同,在选用本书作为教材时,可根据具体情况对各章节的内容加以取舍和调整。

参加本书编写的人员有江苏农林职业技术学院于泓(前言、绪论、第4章、第7章、第10章、附表I、II以及第1章、第2章及第3章的部分内容)、黑龙江农业工程职业学院鞠加彬(第1章、第2章及第3章)、大连水产学院职业技术学院何宝芹(第6章、第8章及第9章)、南京工业职业技术学院张长英(第5章)。全书由于泓和鞠加彬任主编,何宝芹任副主编,于泓统稿,南京航空航天大学王于林教授



# 目 录

18	.....	.....	.....
22	.....	.....	.....
28	.....	.....	.....
34	.....	.....	.....
39	.....	.....	.....
41	.....	.....	.....
46	.....	.....	.....
53	.....	.....	.....
58	.....	.....	.....
60	.....	.....	.....
62	.....	.....	.....
64	.....	.....	.....
66	.....	.....	.....
68	.....	.....	.....
70	.....	.....	.....
72	.....	.....	.....
74	.....	.....	.....
76	.....	.....	.....
78	.....	.....	.....
80	.....	.....	.....
82	.....	.....	.....
84	.....	.....	.....
86	.....	.....	.....
88	.....	.....	.....
90	.....	.....	.....
92	.....	.....	.....
94	.....	.....	.....
96	.....	.....	.....
98	.....	.....	.....
100	.....	.....	.....
102	.....	.....	.....
104	.....	.....	.....
106	.....	.....	.....
108	.....	.....	.....
110	.....	.....	.....
112	.....	.....	.....
114	.....	.....	.....
116	.....	.....	.....
118	.....	.....	.....
120	.....	.....	.....
122	.....	.....	.....
124	.....	.....	.....
126	.....	.....	.....
128	.....	.....	.....
130	.....	.....	.....
132	.....	.....	.....
134	.....	.....	.....
136	.....	.....	.....
138	.....	.....	.....
140	.....	.....	.....
142	.....	.....	.....
144	.....	.....	.....
146	.....	.....	.....
148	.....	.....	.....
150	.....	.....	.....
152	.....	.....	.....
154	.....	.....	.....
156	.....	.....	.....
158	.....	.....	.....
160	.....	.....	.....
162	.....	.....	.....
164	.....	.....	.....
166	.....	.....	.....
168	.....	.....	.....
170	.....	.....	.....
172	.....	.....	.....
174	.....	.....	.....
176	.....	.....	.....
178	.....	.....	.....
180	.....	.....	.....
182	.....	.....	.....
184	.....	.....	.....
186	.....	.....	.....
188	.....	.....	.....
190	.....	.....	.....
192	.....	.....	.....
194	.....	.....	.....
196	.....	.....	.....
198	.....	.....	.....
200	.....	.....	.....
202	.....	.....	.....
204	.....	.....	.....
206	.....	.....	.....
208	.....	.....	.....
210	.....	.....	.....
212	.....	.....	.....
214	.....	.....	.....
216	.....	.....	.....
218	.....	.....	.....
220	.....	.....	.....
222	.....	.....	.....
224	.....	.....	.....
226	.....	.....	.....
228	.....	.....	.....
230	.....	.....	.....
232	.....	.....	.....
234	.....	.....	.....
236	.....	.....	.....
238	.....	.....	.....
240	.....	.....	.....
242	.....	.....	.....
244	.....	.....	.....
246	.....	.....	.....
248	.....	.....	.....
250	.....	.....	.....
252	.....	.....	.....
254	.....	.....	.....
256	.....	.....	.....
258	.....	.....	.....
260	.....	.....	.....
262	.....	.....	.....
264	.....	.....	.....
266	.....	.....	.....
268	.....	.....	.....
270	.....	.....	.....
272	.....	.....	.....
274	.....	.....	.....
276	.....	.....	.....
278	.....	.....	.....
280	.....	.....	.....
282	.....	.....	.....
284	.....	.....	.....
286	.....	.....	.....
288	.....	.....	.....
290	.....	.....	.....
292	.....	.....	.....
294	.....	.....	.....
296	.....	.....	.....
298	.....	.....	.....
300	.....	.....	.....
302	.....	.....	.....
304	.....	.....	.....
306	.....	.....	.....
308	.....	.....	.....
310	.....	.....	.....
312	.....	.....	.....
314	.....	.....	.....
316	.....	.....	.....
318	.....	.....	.....
320	.....	.....	.....
322	.....	.....	.....
324	.....	.....	.....
326	.....	.....	.....
328	.....	.....	.....
330	.....	.....	.....
332	.....	.....	.....
334	.....	.....	.....
336	.....	.....	.....
338	.....	.....	.....
340	.....	.....	.....
342	.....	.....	.....
344	.....	.....	.....
346	.....	.....	.....
348	.....	.....	.....
350	.....	.....	.....
352	.....	.....	.....
354	.....	.....	.....
356	.....	.....	.....
358	.....	.....	.....
360	.....	.....	.....
362	.....	.....	.....
364	.....	.....	.....
366	.....	.....	.....
368	.....	.....	.....
370	.....	.....	.....
372	.....	.....	.....
374	.....	.....	.....
376	.....	.....	.....
378	.....	.....	.....
380	.....	.....	.....
382	.....	.....	.....
384	.....	.....	.....
386	.....	.....	.....
388	.....	.....	.....
390	.....	.....	.....
392	.....	.....	.....
394	.....	.....	.....
396	.....	.....	.....
398	.....	.....	.....
400	.....	.....	.....
402	.....	.....	.....
404	.....	.....	.....
406	.....	.....	.....
408	.....	.....	.....
410	.....	.....	.....
412	.....	.....	.....
414	.....	.....	.....
416	.....	.....	.....
418	.....	.....	.....
420	.....	.....	.....
422	.....	.....	.....
424	.....	.....	.....
426	.....	.....	.....
428	.....	.....	.....
430	.....	.....	.....
432	.....	.....	.....
434	.....	.....	.....
436	.....	.....	.....
438	.....	.....	.....
440	.....	.....	.....
442	.....	.....	.....
444	.....	.....	.....
446	.....	.....	.....
448	.....	.....	.....
450	.....	.....	.....
452	.....	.....	.....
454	.....	.....	.....
456	.....	.....	.....
458	.....	.....	.....
460	.....	.....	.....
462	.....	.....	.....
464	.....	.....	.....
466	.....	.....	.....
468	.....	.....	.....
470	.....	.....	.....
472	.....	.....	.....
474	.....	.....	.....
476	.....	.....	.....
478	.....	.....	.....
480	.....	.....	.....
482	.....	.....	.....
484	.....	.....	.....
486	.....	.....	.....
488	.....	.....	.....
490	.....	.....	.....
492	.....	.....	.....
494	.....	.....	.....
496	.....	.....	.....
498	.....	.....	.....
500	.....	.....	.....

## 绪 论

## 第 1 章 工程材料的力学性能

1.1	材料的强度及塑性	3
1.1.1	拉伸试验及拉伸曲线	3
1.1.2	弹性极限与刚度	4
1.1.3	强 度	4
1.1.4	塑 性	5
1.2	材料的硬度	6
1.2.1	布氏硬度	6
1.2.2	洛氏硬度	7
1.2.3	维氏硬度	8
1.3	材料的冲击韧度	8
1.3.1	冲击试验及其指标	9
1.3.2	小能量多次冲击试验	10
1.4	材料的断裂韧度	10
1.5	材料的疲劳强度	11
	习 题	12

## 第 2 章 常见金属的晶体结构与结晶

2.1	金属的晶体结构	13
2.1.1	晶体与非晶体	13
2.1.2	金属的晶体结构	13
2.1.3	金属的实际晶体结构	16
2.2	纯金属的结晶	18
2.2.1	纯金属的冷却曲线和过冷度	19
2.2.2	纯金属的结晶过程	20
2.2.3	晶粒大小对金属力学性能的影响	21
2.2.4	影响晶粒大小的因素及晶粒大小的控制	21



2.3 合金的相结构及二元合金相图	22
2.3.1 合金的相结构	22
2.3.2 二元合金相图	24
2.3.3 二元合金相图的基本类型	25
2.4 合金性能与相图的关系	31
2.4.1 合金的力学性能、物理性能与相图的关系	31
2.4.2 合金的工艺性能与相图的关系	32
习 题	32

### 第3章 金属的塑性变形与再结晶

3.1 金属的塑性变形	34
3.1.1 金属的弹性变形与塑性变形	34
3.1.2 单晶体的塑性变形	35
3.1.3 多晶体的塑性变形	37
3.2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	38
3.2.1 冷塑性变形对金属组织的影响	38
3.2.2 冷塑性变形对性能的影响	40
3.3 回复与再结晶	42
3.3.1 回 复	42
3.3.2 再结晶	43
3.3.3 晶粒长大	44
3.3.4 影响再结晶晶粒大小的因素	44
3.4 金属的热加工	45
3.4.1 热加工与冷加工的区别	45
3.4.2 热加工对金属组织和性能的影响	45
习 题	47

### 第4章 铁碳合金相图及碳钢

4.1 铁碳合金的基本组织	48
4.1.1 纯 铁	48
4.1.2 铁碳合金的基本组织	49
4.2 铁碳合金相图	50
4.2.1 铁碳合金相图中的特性点与特性线	50
4.2.2 典型铁碳合金的结晶过程	52
4.3 碳的质量分数对铁碳合金组织和力学性能的影响	57
4.3.1 碳的质量分数对平衡组织的影响	57
4.3.2 碳的质量分数对力学性能的影响	58
4.4 铁碳合金相图的应用	59
4.5 碳 钢	60
4.5.1 钢中的常存元素	60

4.5.2	碳钢的分类	61
4.5.3	碳钢的牌号、性能及用途	62
	习 题	67
<b>第 5 章 钢的热处理</b>		
5.1	钢在加热时的组织转变	68
5.1.1	奥氏体的形成	69
5.1.2	奥氏体晶粒的大小及控制	71
5.2	钢在冷却时的组织转变	73
5.2.1	过冷奥氏体的等温转变曲线	73
5.2.2	过冷奥氏体的等温转变产物的组织和性能	74
5.2.3	影响 C 曲线的因素	78
5.2.4	过冷奥氏体的连续冷却转变	79
5.3	钢的退火与正火	79
5.3.1	钢的退火	80
5.3.2	钢的正火	81
5.4	钢的淬火	82
5.4.1	淬火温度与保温时间	82
5.4.2	淬火冷却介质	82
5.4.3	淬火方法	83
5.4.4	钢的淬硬性和淬透性	84
5.4.5	淬火缺陷及防止措施	86
5.5	钢的回火	87
5.5.1	回火的目的	88
5.5.2	淬火钢在回火时组织与性能的变化	88
5.5.3	回火的分类及应用	89
5.6	钢的表面热处理	90
5.6.1	钢的表面淬火	90
5.6.2	钢的化学热处理	91
5.7	其他热处理工艺	95
5.7.1	可控气氛热处理	95
5.7.2	真空热处理	96
5.7.3	形变热处理	97
5.7.4	激光热处理	98
	习 题	99
<b>第 6 章 合金钢</b>		
6.1	合金元素在钢中的作用	101
6.1.1	合金元素对钢中基本相的影响	101
6.1.2	合金元素对铁碳合金相图的影响	102



13	6.1.3 合金元素对钢热处理的影响	103
58	6.2 合金钢的分类和牌号	106
70	6.2.1 合金钢的分类	106
	6.2.2 合金钢的牌号表示方法	106
	6.3 合金结构钢	109
88	6.3.1 低合金结构钢	109
90	6.3.2 合金渗碳钢	113
17	6.3.3 合金调质钢	116
65	6.3.4 合金弹簧钢	117
85	6.3.5 滚动轴承钢	120
15	6.3.6 超高强度钢	122
85	6.4 合金工具钢与高速工具钢	122
87	6.4.1 合金工具钢	122
95	6.4.2 高速工具钢	126
92	6.5 特殊性能钢	130
18	6.5.1 不锈钢	130
98	6.5.2 耐热钢	134
98	6.5.3 高锰耐磨钢	136
98	习 题	137
<b>第7章 铸 铁</b>		
68	7.1 铸铁的石墨化	138
78	7.1.1 铁碳合金的双重相图	138
66	7.1.2 铸铁的石墨化过程	139
88	7.1.3 影响石墨化的因素	140
98	7.2 铸铁的分类	141
66	7.3 灰铸铁	141
99	7.3.1 灰铸铁的化学成分、组织与性能	141
19	7.3.2 灰铸铁的孕育处理	142
69	7.3.3 灰铸铁的牌号及用途	142
69	7.3.4 灰铸铁的热处理	143
89	7.4 球墨铸铁	144
70	7.4.1 球墨铸铁的化学成分、组织与性能	144
89	7.4.2 球化处理	145
99	7.4.3 球墨铸铁的牌号及用途	145
	7.4.4 球墨铸铁的热处理	145
	7.5 蠕墨铸铁	147
101	7.5.1 蠕墨铸铁的化学成分、组织与性能	147
101	7.5.2 蠕墨化处理	147
901	7.5.3 蠕墨铸铁的牌号及用途	147

7.6	可锻铸铁	148
7.6.1	可锻铸铁的化学成分、组织与性能	148
7.6.2	可锻铸铁的生产工艺	149
7.6.3	可锻铸铁的牌号及用途	150
7.7	特殊性能铸铁	151
7.7.1	耐磨铸铁	151
7.7.2	耐热铸铁	152
7.7.3	耐蚀铸铁	153
	习 题	153

## 第 8 章 非铁金属材料及硬质合金

8.1	铝及铝合金	154
8.1.1	工业纯铝	154
8.1.2	铝合金的分类	154
8.1.3	铝合金的强化	156
8.1.4	变形铝合金	157
8.1.5	铸造铝合金	159
8.2	铜及铜合金	161
8.2.1	工业纯铜	161
8.2.2	铜合金	161
8.3	钛及钛合金	168
8.3.1	工业纯钛	168
8.3.2	钛合金	168
8.3.3	钛合金的热处理	170
8.4	滑动轴承合金	170
8.4.1	滑动轴承对轴承合金的性能要求	170
8.4.2	轴承合金的分类及牌号表示方法	171
8.4.3	常用的轴承合金及用途	171
8.5	硬质合金	173
8.5.1	粉末冶金简介	174
8.5.2	硬质合金	174
	习 题	176

## 第 9 章 非金属材料及新型材料

9.1	高分子材料	178
9.1.1	高分子材料的概念	178
9.1.2	高分子材料的性能	178
9.1.3	常用高分子材料	179
9.2	陶瓷材料	184
9.2.1	陶瓷材料的概念	184



## 绪 论

材料是人类生产和生活的物质基础,是人类社会发展和文明进步的重要标志。从原始社会的石器时代开始,人类经历了青铜器时代、铁器时代和钢铁时代,从农业社会进入了工业社会。近百年来,随着科学技术的迅猛发展,高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料、复合材料、人工合成材料、纳米材料等新型材料层出不穷,人类又进入了崭新的现代工业文明,新材料的发展和运用又成为现代科学技术和现代文明发展的重要基础和强劲动力。

早在六七千年前的原始社会末期,中华民族的祖先就已经掌握了烧制陶器的技术,东汉时期又出现了瓷器,对人类文明产生了极大的影响,已成为中国古代文化的象征。四千多年前,我国就已开始青铜的冶炼,殷商时期的司母戊大方鼎说明当时中国已经有高度发达的青铜冶炼与铸造技术,秦铜车马、越王剑等标志着青铜的冶炼技术和应用水平达到了一个个新的高峰。在春秋时期,我国出现了炼铁技术,比欧洲早 1800 多年,从西汉到明代,我国的钢铁生产技术和钢铁材料的应用水平都居世界领先地位,明代科学家宋应星所著《天工开物》一书是世界上最早的有关金属加工工艺的著作之一。中华民族在材料开发及应用方面对人类文明和社会进步作出了巨大贡献,创造了灿烂的古代中华文明。到了 18 世纪,钢铁冶炼的工业化,成为产业革命的主要潮流和物质基础,有力地推动了以欧洲为中心的世界工业迅速发展,使欧洲各国率先步入了工业社会。

由此可见,材料科学对人类社会文明和经济发展起着的巨大的推动作用,世界各国对此都非常重视。作为以能源、信息、新材料和生物工程为代表的现代技术的四大支柱之一,新材料技术更是现代技术发展的一个关键领域,起着先导和基础的作用,被很多国家确定为重点发展的学科之一,我国也把新材料的研究与开发放在了优先发展的地位。

机械工程材料是指用于机械制造的各种材料的总称。机械工程材料按其成分特点,一般分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。按其性能特点,又可分为结构材料和功能材料两种,结构材料以力学性能为主,而功能材料则以其特殊的物理、化学性能为主,如超导、激光、半导体和形状记忆材料等。机械工程材料主要研究和应用的是结构材料。

金属材料包括钢铁材料和非铁材料。钢铁材料也称为黑色金属,是指铁和以铁为基的合金,如铸铁、钢;非铁材料又称为有色金属,是除钢铁材料以外的所有金属及其合金的统称,如铜、铝、钛及其合金等。钢铁材料具有力学性能优异、加工性能良好、原料来源广、生产成本低等突出的优点,目前机械工程材料仍以钢铁材料的应用最为广泛,占整个机械制造业用材的 90% 左右。

非金属材料主要包括高分子材料和陶瓷材料。随着研究和应用的不断深入,非金属材料以其特有的性能得到越来越广泛的应用,其中高分子材料发展迅速,目前,其产量按体积计算已经超过了钢铁的产量。复合材料保留了各组成材料的优点,具有单一材料所没有的优异性能,虽然目前成本较高,一定程度上限制了其应用范围,但随着成本的降低,其应用领域将日益广泛。

金属材料、非金属材料和复合材料之间不是独立应用或可以替代的关系,而是相互补充、

相互结合,已经形成一个完整的材料科学体系。

随着材料科学的飞速发展,新材料、新工艺不断涌现,机械工程材料的种类越来越多,应用范围越来越广,在产品的设计与制造过程中,与材料和热处理有关的问题也日益增多。因此,具备与专业相关的材料知识,在机械设计过程中能够合理地选择工程材料和强化方法,正确地制定加工工艺路线,从而充分发挥材料本身的性能潜力,获得理想的使用性能,节约材料,降低成本,是从事机械设计与制造工作的工程技术人员必须具备的能力,这是本课程的主要任务和所希望达到的目标。

本课程的内容主要包括工程材料的力学性能、金属学基础、钢的热处理、金属材料、非金属材料及常用机械工程材料的选用等部分。

通过本课程的学习,可以了解常用机械工程材料化学成分、组织结构、力学性能与热加工工艺之间的关系及变化规律,熟悉常用金属材料的牌号、成分、力学性能及用途,了解零件失效分析的方法,初步具备合理选择材料、正确制订热处理工艺及合理安排加工工艺路线的能力。

本课程是一门实践性和应用性都很强的课程,在学习中应注意理论与生产实际相结合,知识的掌握与应用并重,提高分析问题和解决问题的能力。

# 第 1 章 工程材料的力学性能

工程材料的力学性能是指材料在外力(载荷)作用时表现出来的性能。力学性能指标是用来反映工程材料在各种形式外力作用下抵抗变形或破坏的能力。工程材料的力学性能主要包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等,它不仅取决于材料本身的化学成分和组织结构,还与加工工艺、载荷性质及环境温度等有密切的关系,是选用工程材料和检测工程材料性能的重要依据。

## 1.1 材料的强度及塑性

材料的强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。根据外力作用方式的不同,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,通常以抗拉强度作为基本的强度指标。

材料的塑性是指材料在外力作用下断裂前发生不可逆永久变形的能力。

材料的强度和塑性是材料最重要的力学性能指标之一,可以通过拉伸试验获得。

### 1.1.1 拉伸试验及拉伸曲线

#### 1. 拉伸试验

进行拉伸试验的材料应根据国家标准(GB 6397—86)的规定,制作拉伸试样。拉伸试样的截面形状有圆形和矩形等,常用的为如图 1-1 所示的光滑圆柱形截面的标准拉伸试样。图中  $d_0$  为试样的原始直径, $L_0$  为试样的原始标距长度。根据标距长度与直径之间的比例关系,试样可分长试样( $L_0=10 d_0$ )和短试样( $L_0=5 d_0$ )两种。

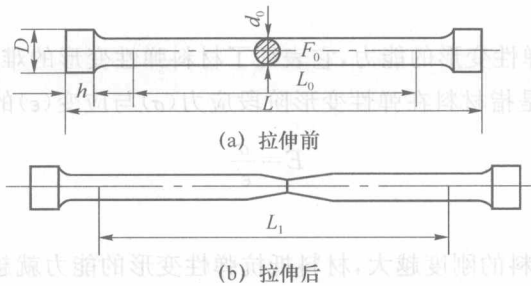


图 1-1 光滑圆柱形标准拉伸试样

拉伸试验时,将试样两端装入拉伸试验机夹头内夹紧,随后缓慢加载。随着载荷的不断增加,试样随之伸长,直至拉断为止。在拉伸过程中,拉伸试验机上的自动绘图装置绘制出载荷(拉伸力)和伸长量之间的关系曲线,即拉伸曲线,也称力—伸长曲线。图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线。



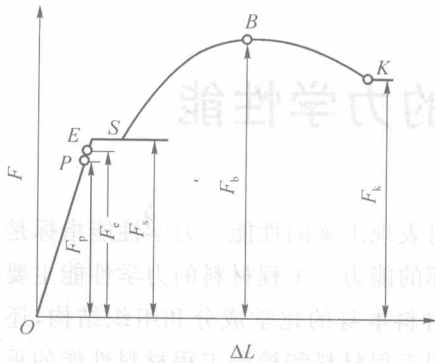


图 1-2 退火低碳钢拉伸曲线

## 2. 拉伸曲线

由图 1-2 可见,退火低碳钢在拉伸过程中,载荷  $F$  与伸长量  $\Delta L$  的关系有以下几个阶段。

(1) 弹性变形阶段( $O-E$ )。当载荷由零逐渐增加到  $F_e$  时,试样处于弹性变形状态,卸除载荷后试样可恢复到原来的形状和尺寸。其中  $OP$  阶段,载荷与伸长量呈正比关系,即符合胡克定律。

(2) 屈服阶段( $E-S$ )。当载荷超过  $F_e$  后,试样开始产生塑性变形,或称永久变形,即卸除载荷时,伸长的试样只能部分地恢复,而保留一部分的残余变形。当载荷增加到  $F_s$  时,拉伸曲线上出现平台或锯齿状,这种在载荷不增加的情况下,试样还继续伸长的现象称为屈服。

(3) 强化阶段( $S-B$ )。当载荷超过  $F_s$  后,由于塑性变形而产生形变强化(加工硬化),必须增大载荷才能使伸长量继续增加。此时变形与强化交替进行,直至载荷达到  $F_b$  时,试样的伸长量也达到最大值。

(4) 局部塑性变形阶段( $B-K$ )。当载荷达到  $F_b$  后,试样的某一部分横截面急剧缩小,出现“缩颈”。此时施加的载荷逐渐减小,而变形继续增加,直到  $K$  点时试样断裂。

### 1.1.2 弹性极限与刚度

#### 1. 弹性极限

弹性极限是指材料保持弹性变形所能承受的最大应力,用符号  $\sigma_e$  (MPa) 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (1-1)$$

式中:  $F_e$ ——试样发生屈服时的载荷(N);

$A_0$ ——试样原始横截面积( $\text{mm}^2$ )。

#### 2. 刚度

刚度是指材料抵抗弹性变形的能力,它表征了材料弹性变形的难易程度,通常用弹性模量  $E$  来衡量。弹性模量  $E$  是指材料在弹性变形阶段应力( $\sigma$ )与应变( $\epsilon$ )的比值。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1-2)$$

式中:  $\epsilon = \Delta L / L_0$ 。

弹性模量越大,则材料的刚度越大,材料抵抗弹性变形的能力就越强。弹性模量的大小主要取决于材料本身,合金化、热处理及冷变形对它影响很小。因此,在材料不变的情况下,只有改变零件的结构或截面尺寸,才能改变其刚度。

### 1.1.3 强度

常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

## 1. 屈服点

屈服点是指材料开始产生屈服现象的最小应力,它反映的是工程材料抵抗塑性变形的能力,用符号  $\sigma_s$  (MPa) 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-3)$$

式中:  $F_s$ ——试样发生屈服时的载荷(N)。

对于铸铁、高碳钢等没有明显屈服现象的金属材料(如图 1-3 所示),按国标 GB228—87 的规定,可测定其规定残余伸长应力值,用符号  $\sigma_r$  (MPa) 表示,它表示材料在卸除载荷后,试样标距部分残余伸长率达到规定数值时的应力。表示此应力的符号,应附以下角标说明其规定的残余伸长率,例如,  $\sigma_{r0.2}$  表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{A_0} \quad (1-4)$$

式中:  $F_{r0.2}$ ——残余伸长率为 0.2% 时的载荷(N)。

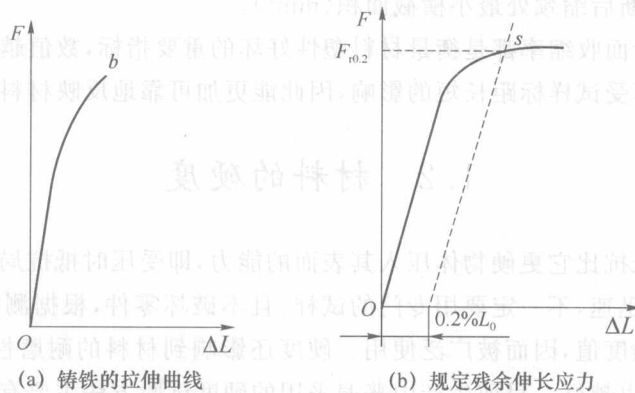


图 1-3 规定残余伸长应力示意图

原国标将规定残余伸长应力  $\sigma_{r0.2}$  以  $\sigma_{0.2}$  表示,目前有许多技术资料仍沿用这一表示方法。

零件在工作中如发生少量塑性变形,会导致零件精度降低或影响与其他零件的配合。为保证零件正常工作,材料的屈服点应高于零件的工作应力。因此,材料的屈服点是机械零件设计时的主要依据,也是评定金属材料性能的重要指标之一。

## 2. 抗拉强度(强度极限)

抗拉强度是指材料在拉断前所承受的最大应力,它反映了材料抵抗断裂的能力,用符号  $\sigma_b$  (MPa) 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-5)$$

式中:  $F_b$ ——试样拉断前承受的最大载荷(N)。

零件在工作中所承受的应力,不允许超过抗拉强度,否则就会产生断裂。这也是机械设计和评定金属材料质量的主要依据。

### 1.1.4 塑性

常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

### 1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比,用符号  $\delta$  表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中:  $L_1$ ——试样拉断后的标距(mm);

$L_0$ ——试样原始标距(mm)。

断后伸长率与试样长度有关。国家标准规定,短、长试样的断后伸长率分别用符号  $\delta_5$ 、 $\delta_{10}$  表示。

### 2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后,缩颈处截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号  $\psi$  表示。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中:  $S_0$ ——试样原始横截面积( $\text{mm}^2$ );

$S_1$ ——试样拉断后缩颈处最小横截面积( $\text{mm}^2$ )。

断后伸长率和断面收缩率都是衡量材料塑性好坏的重要指标,数值越大,表示材料的塑性越好。断面收缩率不受试样标距长短的影响,因此能更加可靠地反映材料的塑性。

## 1.2 材料的硬度

硬度是指材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力,即受压时抵抗局部塑性变形的能力。硬度试验操作简单、迅速,不一定要用专门的试样,且不破坏零件,根据测得的硬度值,还能估计金属材料的近似强度值,因而被广泛使用。硬度还影响到材料的耐磨性,一般情况下,金属的硬度越高,耐磨性也越好。目前生产中普遍采用的硬度试验方法主要有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

### 1.2.1 布氏硬度

布氏硬度的试验原理如图 1-4 所示,以一定直径的球体(淬火钢球或硬质合金球)在一定载荷作用下压入试样表面,保持一定时间后卸除载荷,测量其压痕直径,计算硬度值。布氏硬度值用压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。

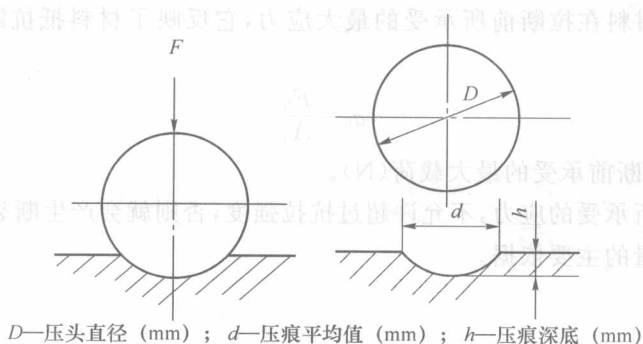


图 1-4 布氏硬度试验原理