

中等专业学校教材

金属工艺学

(机械工程材料)

第2版

杭州机械工业学校 张至丰 主编



机械工业出版社



中等专业学校教材

金属工艺学

(机械工程材料)

第 2 版

张淑琴

封面设计：张 琴

责任编辑：张淑琴

2008年3月第1版 第10次印刷

184mm×260mm · 14.2印张 · 342千字

167301-170300册

定价：19.00元



本书由张淑琴主编，机械工业出版社出版。

机械工业出版社

本书系统地阐述了金属的力学性能、金属学、金属材料与热处理、非金属材料(工程塑料、橡胶、陶瓷)、复合材料、机械零件与工具的选材、工艺路线等方面的基本原理、基础知识,内容简明扼要。书中还列了实验指导、课堂讨论、习题课等实践性较强的有关内容。每章后附有思考题与练习题。此外,书末还附有金属材料硬度换算表、常用钢的热处理工艺规范、部分国内外金属材料牌号对照表等。

本书是中等专业学校机械类、机电类专业的教学用书,也可供高等职业学校上述各专业选用,以及有关的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学:机械工程材料/张至丰主编. -2版

-北京:机械工业出版社,2000.9(2008.3重印)

中等专业学校教材

ISBN978-7-111-01795-0

I. 金… II. 张… III. 机械制造工艺-专业学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第70461号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:崔占军 董连仁 版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

封面设计:方芬 责任印制:杨曦

成都新华印务有限责任公司印刷

2008年3月第2版 第10次印刷

184mm×260mm·14.5印张·346千字

167201-170200册

标准书号:ISBN978-7-111-01795-0

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379182

封面防伪标均为盗版

第1版前言

本书是根据1986年11月原国家机械工业委员会中等专业学校《金属工艺学(机械金属材料)》课程教学大纲编写的。与《金属工艺学(热加工基础)》配套,适用于各个行业、各个系统的机械制造类专业使用。教学时数为80学时(包括实验、课堂讨论、习题课等)。本书也可供有关的技术人员参考。

本书内容主要包括:金属材料的性能与成分、组织、结构以及加工工艺之间的关系;钢铁材料和非铁金属材料的热处理基本原理和常用方法;热处理在机械零件与工具加工过程中的地位与作用;常用金属材料,如碳钢、合金钢、铸铁、非铁金属及其合金的分类、编号、成分、组织、结构、性能和用途及选用原则;非金属材料(工程塑料、橡胶、陶瓷和复合材料)的性能和用途。为帮助学生思考、复习、巩固所学内容,各章附有思考题与练习题,并按授课顺序安排了实验内容。另外,还编写了加强实践性环节的课堂讨论、习题课内容。

参加本书编写的有杭州机械工业学校张至丰(绪论、第一章、第五至第八章、第十一至第十三章);新疆机电工业学校贾明旭(第二至第四章、第九、十章)。全书由张至丰主编,浙江大学黄振源主审,还经杭州电子工业学院何发昌审阅。

参加本书审稿会议的有上海机械专科学校王运炎、无锡机械工业学校卢鼎恒、西安仪表工业学校杨士娟、太原工业学校杨永富、宁波机械工业学校段鲁同等同志。浙江大学朱保养、黑龙江省机械制造学校刘世荣等同志为本书提供了金相照片,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、经验不足,加之编写时间紧迫,对于书中存在的缺点与错误,恳切请求批评指正。

第2版前言

本书是根据1996年机械工业部中等专业学校“金属工艺学”课程教学大纲基本要求,在原国家机械工业委员会中等专业学校“八五”规划教材《金属工艺学(机械工程材料)》基础上修订的。

全书共分十一章,主要内容包括:金属材料的力学性能;金属学基础知识;热处理基本原理与常用方法;常用金属材料,如碳钢、合金钢、铸铁、有色金属;非金属材料,如工程塑料、橡胶、陶瓷;复合材料。本教材适用于中等专业学校的各个行业、各个系统的机械制造类、机电类(机械制造、机械设备维修与管理、模具设计与制造,机电一体化)等专业及高等职业学校的上述各专业学生使用,并可供有关工程技术人员参考。

本书在内容处理上有如下几点说明:①本教材的编写力求少而精,适当删减理论知识,合并第1版中部分章节内容(碳钢与合金钢、有色金属及粉末冶金材料各合并为一章);②各种材料分类、牌号以及名词解释均采用国家最新标准;③全书在简述金属学基本知识的基础上,以成分、组织、结构以及加工工艺与性能间关系的规律为主线处理各章的内容,并通过第十一章“典型零件与工具的选材及工艺路线分析”,起到归纳、总结、综合应用的作用;④各章附有思考题与练习题,教师可结合具体情况选择布置,以利学生思考复习、巩固所学知识;⑤编写了实践教学环节的课堂讨论、习题课和实验内容;⑥全书增加了显微组织照片,以利教学。

参加本书编写的有杭州机械工业学校张至丰、中原机械工业学校王富山、江西省机械工业学校罗建军、北京汽车工业学校曲爱玲、沈阳机电工业学校李淑清、天津机电工业学校何焱、上海冶金工业学校朱燕、杭州职工大学学院余永平。全书由张至丰主编。上海理工大学王运炎为本书主审。

本书在编写过程中得到杭州电子工业学院何发昌、成都机械电子高等专科学校苏家麟的大力支持与帮助,对本书编写提出了不少宝贵意见和建议,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

1998年5月编者

常用符号

$\sigma_{p0.01}$	规定非比例伸长应力	A	奥氏体
σ_s	屈服点	A'	残余奥氏体
$\sigma_{0.2}$	屈服强度	Fe ₃ C	渗碳体
σ_b	抗拉强度 (强度极限)	P	珠光体
σ_{-1}	对称循环载荷下测定的疲劳极限	Ld	莱氏体
δ	伸长率	Ld'	低温莱氏体
δ_5	短试样 ($l_0 = 5d_0$) 伸长率	A ₁	共析转变平衡相变点
δ_{10}	长试样 ($l_0 = 10d_0$) 伸长率	A ₃	铁素体 $\rightleftharpoons$ 奥氏体转变点
ψ	断面收缩率	A _{cm}	奥氏体析出或溶入渗碳体的平衡相变点
A_K	冲击吸收功	Ac ₁ 、Ac ₃ 、Ac _{cm}	加热时的相变点
HBS	用钢球 (作压头) 的布氏硬度	Ar ₁ 、Ar ₃ 、Ar _{cm}	冷却时的相变点
HBW	用硬质合金 (作压头) 的布氏硬度	v_k	临界冷却速度
HRA	洛氏 A 标度硬度	S	索氏体 (细珠光体)
HRB	洛氏 B 标度硬度	T	托氏体 (极细珠光体)
HRC	洛氏 C 标度硬度	B	贝氏体
HV	维氏硬度	M	马氏体
L	液相、液态、液体	Me	合金元素
T 或 t	温度	Ms	马氏体转变开始温度
N	结晶过程中的形核率	Mf	马氏体转变终了温度
G	结晶过程中的线长大速度; 石墨	D ₀	临界淬透直径
w_C	碳的质量分数		
F	铁素体; 载荷		

目 录

第1版前言	
第2版前言	
绪论	1
第一章 金属的力学性能	3
第一节 强度与塑性	3
一、拉伸试验	3
二、强度	4
三、塑性	5
第二节 硬度	5
一、布氏硬度试验	5
二、洛氏硬度试验	7
三、维氏硬度试验	8
第三节 冲击韧性	9
一、冲击试验	9
二、冲击试验的实际意义	10
第四节 疲劳	10
一、疲劳的概念	10
二、疲劳曲线与疲劳极限	11
三、提高材料疲劳极限的途径	11
第五节 金属的力学性能实验	11
一、硬度实验	11
二、金属夏比冲击试验	14
思考题与练习题	15
第二章 金属的晶体结构与结晶	16
第一节 金属的晶体结构	16
一、晶体与非晶体	16
二、晶体结构的基本知识	16
三、常见金属的晶格类型	17
第二节 金属的实际晶体结构	18
一、单晶体与多晶体	18
二、晶体中的缺陷	19
第三节 纯金属的结晶	21
一、纯金属的冷却曲线和过冷现象	21
二、金属的结晶过程	22
三、晶粒大小对金属力学性能的影响	23
四、细化晶粒的方法	23
第四节 金属的同素异构转变	24

思考题与练习题	25
第三章 加工硬化与再结晶	26
第一节 金属塑性变形简介	26
一、单晶体的塑性变形	26
二、多晶体的塑性变形	27
第二节 加工硬化	27
一、加工硬化现象	27
二、产生加工硬化的原因	28
三、加工硬化在生产中的利弊	28
第三节 回复、再结晶与晶粒长大	29
一、回复	29
二、再结晶	30
三、晶粒长大	31
第四节 热加工与冷加工	32
一、热加工与冷加工的区别	32
二、热加工对金属组织与性能的影响	32
思考题与练习题	33
第四章 合金与二元合金相图	34
第一节 合金的基本概念	34
第二节 合金的相结构	34
一、固溶体	34
二、金属化合物	36
第三节 二元合金相图	37
一、二元合金相图的建立	38
二、匀晶相图	39
三、共晶相图	41
四、共析相图	44
思考题与练习题	45
第五章 铁碳合金相图	46
第一节 铁碳合金的基本相	46
第二节 铁碳合金相图分析	47
一、相图中各点分析	48
二、相图中各线分析	48
三、铁碳合金的分类	49
第三节 钢的结晶过程	50
一、合金Ⅰ(共析碳钢)	51
二、合金Ⅱ(亚共析碳钢)	51

三、合金Ⅲ (过共析碳钢)	52	一、渗碳	86
第四节 铁碳合金的成分、组织与性能间 关系和铁碳合金相图的应用	53	二、渗氮	87
一、碳的含量对平衡组织的影响	53	三、钢的多元共渗	88
二、碳的含量对力学性能的影响	54	第八节 其它热处理工艺简介	89
三、铁碳合金相图的应用	55	一、形变热处理	89
第五节 课堂讨论铁碳合金相图	55	二、真空热处理	90
第六节 铁碳合金平衡组织观察实验	56	三、可控气氛热处理	90
一、实验目的	56	四、激光热处理	91
二、铁碳合金在平衡状态下的组织 特征	56	第九节 课堂讨论钢的热处理	91
三、实验设备及材料	58	第十节 钢的热处理实验	92
四、实验步骤	58	一、实验目的	92
五、实验报告要求	58	二、热处理工艺的确定	92
附录一 金相显微镜的使用	58	三、实验设备及材料	94
附录二 金相试样的制备	61	四、实验步骤	94
思考题与练习题	63	五、实验报告要求 (格式可由学生 自行设计)	94
第六章 钢的热处理	64	思考题与练习题	95
第一节 钢在加热时组织的转变	64	第七章 碳素钢与合金钢	97
一、奥氏体的形成	64	第一节 钢的分类与编号	97
二、奥氏体晶粒的长大及影响因素	65	一、钢的分类	97
第二节 钢在冷却时组织的转变	67	二、钢的编号	98
一、过冷奥氏体的等温转变	67	第二节 钢中常存杂质元素的影响	99
二、过冷奥氏体的连续冷却转变	71	第三节 合金元素在钢中的作用	100
三、马氏体转变	72	一、合金元素在钢中存在形式	100
第三节 钢的退火与正火	74	二、合金元素对铁碳合金相图的影响	101
一、退火	74	三、合金元素对钢的热处理影响	102
二、正火	76	第四节 结构钢	104
第四节 钢的淬火	76	一、工程结构用结构钢	104
一、钢的淬火工艺	76	二、机器零件用结构钢	108
二、淬火方法	78	三、其它结构钢	117
三、钢的淬火变形与开裂	79	第五节 工具钢	119
第五节 钢的回火	79	一、刀具钢	119
一、回火的目的	79	二、模具钢	126
二、淬火钢在回火时组织的转变	80	三、量具钢	131
三、回火种类与应用	81	第六节 特殊性能钢	132
四、回火脆性	82	一、不锈钢	132
五、钢的淬透性与淬硬性	82	二、耐热钢	135
第六节 钢的表面淬火	84	三、耐磨钢	137
一、感应加热表面淬火	84	第七节 课堂讨论碳素钢与合金钢	138
二、火焰加热表面淬火	85	思考题与练习题	139
三、接触电阻加热表面淬火	85	第八章 铸铁	141
第七节 钢的化学热处理	86	第一节 铸铁的石墨化	141
		一、铁碳合金双重相图	141

二、石墨化过程及影响因素	142	三、常用的轴承合金	168
第二节 灰铸铁	143	第四节 粉末冶金材料	170
一、灰铸铁的成分、组织和性能	143	一、粉末冶金工艺简介	170
二、灰铸铁的孕育处理	145	二、常用粉末冶金材料	171
三、灰铸铁的牌号和应用	145	思考题与练习题	173
四、灰铸铁的热处理	146	第十章 非金属材料及复合材料	174
第三节 球墨铸铁	147	第一节 高分子化合物的基本知识	174
一、球墨铸铁的成分、组织和性能	147	一、基本概念	174
二、球墨铸铁的牌号和应用	148	二、高分子化合物的合成	175
三、球墨铸铁的热处理	149	三、高分子材料的分类与命名	176
第四节 蠕墨铸铁	150	第二节 高分子材料	177
一、蠕墨铸铁的成分、组织和性能	150	一、工程塑料	177
二、蠕墨铸铁的牌号和应用	151	二、橡胶	180
三、蠕墨铸铁的热处理	151	第三节 工业陶瓷	182
第五节 可锻铸铁	152	一、工业陶瓷的性能	182
一、可锻铸铁的生产	152	二、常用工业陶瓷	183
二、可锻铸铁的牌号、性能和应用	152	第四节 复合材料	184
第六节 合金铸铁	154	一、复合材料的分类	184
一、耐磨铸铁	154	二、复合材料的性能	184
二、耐热铸铁	154	三、常用复合材料及其应用	185
三、耐蚀铸铁	155	思考题与练习题	186
第七节 常见铸铁组织的观察实验	155	第十一章 典型零件和工具的选材 及工艺路线分析	187
一、实验目的	155	第一节 零件和工具的失效方式	187
二、概述	155	一、变形失效	187
三、实验设备及材料	156	二、断裂失效	188
四、实验内容	156	三、表面损伤失效	188
五、实验报告要求	156	第二节 选用材料的一般原则	189
思考题与练习题	156	一、材料的使用性能	189
第九章 有色金属及粉末冶金材料	158	二、材料的工艺性能	189
第一节 铝及铝合金	158	三、材料的经济性	190
一、工业纯铝	158	第三节 热处理的技术条件、工序 位置 and 结构工艺性	190
二、铝合金的分类	158	一、热处理的技术条件	190
三、铝合金的热处理——固溶 + 时效 强化	159	二、热处理工序位置的安排	191
四、变形铝合金	160	三、热处理零件的结构工艺性	192
五、铸造铝合金	161	第四节 典型零件的选材及工艺 路线分析	194
第二节 铜及铜合金	163	一、齿轮	194
一、工业纯铜	163	二、轴类	196
二、黄铜	164	第五节 典型工具的选材及工艺路 线分析	198
三、青铜	166		
第三节 滑动轴承合金	167		
一、对轴承合金性能的要求	167		
二、轴承合金的组织特征	168		

一、手用丝锥	198
二、冷作模具	199
第六节 习题课	202
一、生产实例	202
二、习题	205
思考题与练习题	205
附录	207
附录 A 布氏硬度换算表	207
附录 B 黑色金属硬度及强度换算表	211

附录 C 常用结构钢退火与正火工 艺规范	214
附录 D 常用工具钢退火与正火工 艺规范	215
附录 E 常用钢材回火温度与硬度 对照表	216
附录 F 国内外常用钢牌号对照表	217
参考文献	222

170	 金属材料力学性能
171	 金属材料力学性能
172	 金属材料力学性能
180	 金属材料力学性能
181	 金属材料力学性能
182	 金属材料力学性能
183	 金属材料力学性能
184	 金属材料力学性能
185	 金属材料力学性能
186	 金属材料力学性能
187	 金属材料力学性能
188	 金属材料力学性能
189	 金属材料力学性能
190	 金属材料力学性能
191	 金属材料力学性能
192	 金属材料力学性能
193	 金属材料力学性能
194	 金属材料力学性能
195	 金属材料力学性能
196	 金属材料力学性能
197	 金属材料力学性能
198	 金属材料力学性能
199	 金属材料力学性能
200	 金属材料力学性能
201	 金属材料力学性能
202	 金属材料力学性能
203	 金属材料力学性能
204	 金属材料力学性能
205	 金属材料力学性能
206	 金属材料力学性能
207	 金属材料力学性能
208	 金属材料力学性能
209	 金属材料力学性能
210	 金属材料力学性能
211	 金属材料力学性能
212	 金属材料力学性能
213	 金属材料力学性能
214	 金属材料力学性能
215	 金属材料力学性能
216	 金属材料力学性能
217	 金属材料力学性能
218	 金属材料力学性能
219	 金属材料力学性能
220	 金属材料力学性能
221	 金属材料力学性能
222	 金属材料力学性能

21	 金属材料力学性能
22	 金属材料力学性能
23	 金属材料力学性能
24	 金属材料力学性能
25	 金属材料力学性能
26	 金属材料力学性能
27	 金属材料力学性能
28	 金属材料力学性能
29	 金属材料力学性能
30	 金属材料力学性能
31	 金属材料力学性能
32	 金属材料力学性能
33	 金属材料力学性能
34	 金属材料力学性能
35	 金属材料力学性能
36	 金属材料力学性能
37	 金属材料力学性能
38	 金属材料力学性能
39	 金属材料力学性能
40	 金属材料力学性能
41	 金属材料力学性能
42	 金属材料力学性能
43	 金属材料力学性能
44	 金属材料力学性能
45	 金属材料力学性能
46	 金属材料力学性能
47	 金属材料力学性能
48	 金属材料力学性能
49	 金属材料力学性能
50	 金属材料力学性能
51	 金属材料力学性能
52	 金属材料力学性能
53	 金属材料力学性能
54	 金属材料力学性能
55	 金属材料力学性能
56	 金属材料力学性能
57	 金属材料力学性能
58	 金属材料力学性能
59	 金属材料力学性能
60	 金属材料力学性能
61	 金属材料力学性能
62	 金属材料力学性能
63	 金属材料力学性能
64	 金属材料力学性能
65	 金属材料力学性能
66	 金属材料力学性能
67	 金属材料力学性能
68	 金属材料力学性能
69	 金属材料力学性能
70	 金属材料力学性能
71	 金属材料力学性能
72	 金属材料力学性能
73	 金属材料力学性能
74	 金属材料力学性能
75	 金属材料力学性能
76	 金属材料力学性能
77	 金属材料力学性能
78	 金属材料力学性能
79	 金属材料力学性能
80	 金属材料力学性能
81	 金属材料力学性能
82	 金属材料力学性能
83	 金属材料力学性能
84	 金属材料力学性能
85	 金属材料力学性能
86	 金属材料力学性能
87	 金属材料力学性能
88	 金属材料力学性能
89	 金属材料力学性能
90	 金属材料力学性能
91	 金属材料力学性能
92	 金属材料力学性能
93	 金属材料力学性能
94	 金属材料力学性能
95	 金属材料力学性能
96	 金属材料力学性能
97	 金属材料力学性能
98	 金属材料力学性能
99	 金属材料力学性能
100	 金属材料力学性能

绪 论

材料是人类社会发展的物质基础，用它来制作各种产品，满足人类生产和生活的需要。人类社会的发展历史表明，生产中使用材料的情况，直接反映人类社会的文明水平。所以历史学家以石器时代、陶瓷时代、铜器时代和铁器时代来划分古代史各个阶段。而今人类正跨入人工合成材料的新时代。

我国是世界上应用铜、铁最早的国家。根据对大量出土文物的考证，表明我国在公元前1562~公元前1066年以前就开始使用青铜。殷商时代，在生产工具、武器、生活用具及礼器等方面均大量使用青铜，如重达875kg的祭器司母戊大方鼎，不仅体积庞大，而且花纹精巧、造型美观，这说明了当时已具有高超的冶铸技术和艺术造诣。在春秋时期，我国发明了生铁冶炼技术，开始用铸铁制作农具，这比欧洲国家早1800多年。青铜组成元素的六种配比的“六齐”规律，是世界上最早的合金工艺的总结。早在2000年前，我国就采用了淬火、渗碳等热处理工艺。我国的陶瓷及天然高分子材料（如丝绸），曾远销欧亚诸国，踏出了名垂千古的丝绸之路，在世界文明史上更占有光辉的一页。

在材料的生产和使用方面，我们的祖先有过辉煌的成就，为人类文明作出了巨大的贡献。直到17世纪我国还一直处于世界领先地位。由于长期的封建统治，再加上百年来受帝国主义的侵略和压迫，使我国科学技术处于极端落后状态，解放初期钢铁的年产量仅15.3万t。

新中国成立后，我国材料工业迅速发展，而目前钢铁年产量达1亿t，不但能生产常用碳钢，而且能生产品种繁多、性能各异的合金钢等金属材料。

在科学技术迅猛发展的今天，塑料、橡胶、合成纤维、陶瓷材料等非金属材料异军突起发展，仅以塑料为例，全世界塑料产量每近五年翻一番，到2000年（体积）可为钢铁产量（体积）的4倍。目前在材料领域里，金属材料、非金属材料中的高分子材料和陶瓷材料已成三足鼎立的地位，构成固体材料的三大支柱。

材料的发展与国民经济的发展有密切的关系，从日常生活用具到高、精、尖的产品，从简单的手工工具到复杂的飞机、机器人，都是由不同种类、不同性能的工程材料加工成的零件组合装配而成。例如，我国依靠自己的力量，用自己生产的金属材料，建成了长江大桥；成功地发射了跨进世界先进行列的运载火箭；卫星回收技术；制造相当数量的远洋巨轮、内燃机车等。目前机械工业正朝着高速、自动、精密方向迅速发展。机械产品不仅装配了国内各个生产领域，而且有相当数量的金属材料和机械产品远销世界许多国家。年产量亿吨以上钢铁及数百万吨的非金属材料，为我国各条战线飞速发展提供了可靠的物质保证。这些成就，充分反映了工程材料在国民经济中重要作用与地位。

材料、能源和信息是现代文明及人类社会进步的三大支柱。而能源和信息的发展，在一定程度上又依赖于材料的进步。因此，许多国家都把材料科学作为重点发展的学科之一。

机械工程材料可分为金属材料与非金属材料，其中金属材料目前应用较多，尤其是钢和铸铁的应用最广，约占机械制造业中产品95%。

除了钢铁材料以外的其它金属称为有色金属。以铝及铝合金应用最多,其次是铜及铜合金,除了良好导电、导热性能外,还有耐磨性、耐蚀性好。钛及钛合金自1952年才作结构材料应用,具有高的比强度和优良的高温力学性能,在航空工业中应用广泛。

随着有机化学和无机化学的发展及信息技术等领域提出的特殊要求,近几十年来,非金属材料的性能及品种快速增长。非金属材料包括有机高分子材料和无机材料两大类。有机高分子材料主要的成分是碳和氢,按应用可分为塑料、橡胶、合成纤维;而无机材料是指不含碳、氢的化合物,其中以陶瓷材料应用最广。

随着机械工程、信息产业及医疗技术的发展,对材料性能的要求越来越高。传统的金属与非金属材料已不能满足要求,综合应用金属与非金属材料性能的各种复合材料问世。例如电子工业中广泛应用的复合铜板是铜箔与塑料板压合而成,可满足导电与绝缘的不同要求;医用功能材料是用溶胶—凝胶等方法制成的有助于康复的复合材料;由钢丝与高强度塑料复合成的齿形带,用于机器人及机械的高精度无滑差传动。因此复合材料是一种新型材料,其强度高、质量轻,并具有抗疲劳性、耐高温及可设计的优点。

机械工业的发展与“机械工程材料”这门课程之间的关系亦越加密切。课程教学本身除解决正确地选择材料外,还涉及到一些加工工艺问题,尤其是热处理工艺。因此正确地选用材料,并合理地选择热处理方法,就能充分发挥材料本身的性能潜力,显著提高产品的质量,更好地满足各种不同使用条件下的要求。

“机械工程材料”是中等专业学校机械制造类(机械制造、设备维修与管理、模具制造与设计、机电一体化等)专业必修的技术基础课程。学习本课程时,在内容上既要注意理解基本概念和基本原理,又要注意掌握工艺特点,逐步熟悉常用技术名词、符号和材料牌号。在学习中不仅要认真学习系统的理论知识,而且要重视室内讨论课、习题课、实验课等实践教学环节。

室内讨论课是知识运用的很好方式,本教材将列入有关章节。学生可围绕着一定的问题,经过充分而认真准备后,在教师的指导下在课堂上各抒己见,相互启发,共同探讨,取长补短,更好地掌握所学知识。

实验是培养学生观察、分析、动手的能力,获得一定的实验技能的重要教学环节。为此学生必须认真阅读实验课内容,在教师和实验员指导下自己动手做好实验,并写好实验报告。

课后要及时复习,认真完成教师布置的思考题与练习题。思考题偏重于基本概念,是学生阅读教材的引导;练习题偏重于综合运用,有些就是生产中实际问题,它是培养学生将所学知识灵活运用,提高分析问题、解决问题和独立工作的能力。

本课程实践性较强,必须在金工教学实习、参观等获得感性认识的基础上进行课堂教学,才能收到预期的效果。课程中有些工艺知识等内容,尚需在有关后续课堂、课程设计和毕业设计中反复练习提高,才能较好地掌握和应用。

第一章 金属的力学性能

为了正确地使用金属材料,应充分了解和掌握金属的性能。金属的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指为保证机械零件或工具能正常工作,金属材料应具备的性能,包括力学性能、物理性能(如电学性能、磁学性能及热学性能等)、化学性能(如耐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是指在制造机器零件及工具过程中,金属材料适应各种冷、热加工的性能,包括铸造性、锻造性、焊接性、热处理性和切削加工性等。

机械零件或工具在使用过程中,要受到各种载荷的作用,金属材料在载荷作用下所反映出来的性能,称为力学性能。主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳极限等,是设计机械零件或工具时选材的重要依据。

第一节 强度与塑性

一、拉伸试验

金属材料的强度和塑性指标可以通过拉伸试验求得。

1. 拉伸试样

在国家标准(GB6397—86)中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有规定,图1-1a所示为圆柱形拉伸试样。

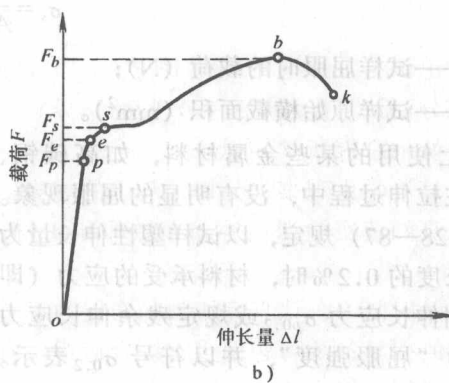
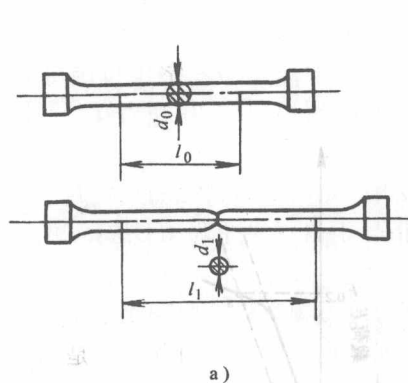


图 1-1 拉伸试样与力-伸长曲线

a) 拉伸试样 b) 力-伸长曲线

图中 d_0 为试样直径, l_0 为标距。根据标距与直径之间的关系,试样可分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$)。

2. 力-伸长曲线

将试样装夹在拉伸试验机上,缓慢加载,直至拉断为止。在拉伸过程中,试验机自动记录载荷与伸长量之间的关系,并得出以载荷为纵坐标,伸长量为横坐标的图形,即力-伸长曲线。图1-1b为低碳钢力-伸长曲线。由图可见,低碳钢试样在拉伸过程中,其载荷与伸长

量的关系分为以下几个阶段。

当载荷不超过 F_p 时, 拉伸曲线 op 为直线段, 即伸长量与载荷成正比。若此时卸除载荷, 试样立即能恢复到原来的尺寸, 属于弹性变形阶段。

当载荷超过 F_p 后的一定范围, 拉伸曲线开始偏离直线, 即试样的伸长量与载荷不成正比例关系。若此时卸除载荷, 试样仍能恢复到原来的尺寸, 故仍属于弹性变形阶段。

当载荷超过 F_e 后, 试样将继续伸长。但此时若卸除载荷, 试样不能完全恢复到原来的尺寸, 这种不能恢复的变形称为塑性变形或永久变形。

当载荷增加到 F_s 时, 力-伸长曲线在 s 点后出现一个平台, 表明载荷不增加, 试样继续伸长, 这种现象称为屈服。

当载荷超过 F_s 后, 试样的伸长量与载荷又将成曲线关系上升, 但曲线的斜率比 op 段小。即载荷的增加量不大, 而试样的伸长量却很大, 表明当载荷超过 F_s 后, 试样已开始产生大量的塑性变形。当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时, 试样的局部截面缩小, 产生颈缩现象。由于试样局部截面的逐渐减少, 故载荷也逐渐降低, 当达到拉伸曲线上的 k 点时, 试样被拉断。

二、强度

强度是指金属材料在载荷作用下, 抵抗塑性变形和断裂的能力。当金属材料受载荷作用而未引起破坏时, 其内部产生与载荷相平衡的力称为内力。材料单位面积上的内力称为应力。强度的高低是以金属材料所能承受的应力大小来表示的。

1. 屈服点与屈服强度

金属材料开始产生屈服现象时的最低应力称为屈服点, 用符号 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样屈服时的载荷 (N);

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

工业上使用的某些金属材料, 如高碳钢、铸铁等, 在拉伸过程中, 没有明显的屈服现象。国标 (GB228—87) 规定, 以试样塑性伸长量为试样标距长度的 0.2% 时, 材料承受的应力 (即规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 或规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$) 称为“屈服强度”, 并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。如图 1-2 所示。

对大多数零件而言, 塑性变形就意味着零件丧失了对尺寸和公差的控制。因此常将 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 确定为材料的许用应力, 作为零件的选材和设计时的依据。

2. 抗拉强度

金属材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

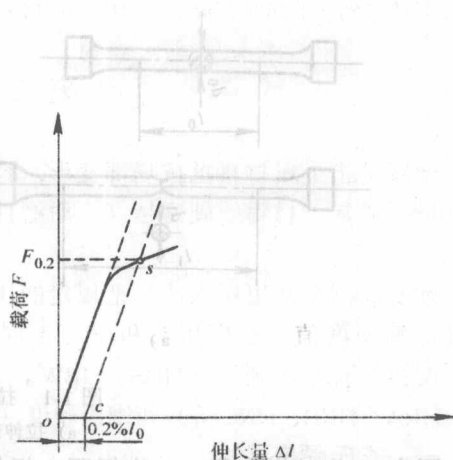


图 1-2 屈服强度的测定

式中 F_b ——试样断裂前的最大载荷 (N);

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

有些脆性材料, 在拉伸试验时 $\sigma_{0.2}$ 也难以测出。因此, 用脆性材料制作机器零件或工程构件时, 常以 σ_b 作为选材和设计的依据, 并选用适当的安全系数。

三、塑性

金属材料在载荷作用下, 断裂前材料发生不可逆永久变形的能力称为塑性。塑性的大小用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原始标距 (mm);

l_1 ——试样拉断后标距 (mm);

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

A_1 ——试样拉断后缩颈处横截面积 (mm^2)。

应当指出, 对于同一种材料, 用短试样测得的伸长率大于长试样的伸长率, 即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。因此, 在比较不同材料的伸长率时, 应采用同样尺寸规格的试样。而断面收缩率 ψ 与试样的尺寸因素无关。

金属材料的塑性好坏, 对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺, 而且在使用时万一超载, 由于塑性变形而能避免突然断裂。所以, 大多数机械零件除要求具有足够的强度外, 还必须有一定的塑性。一般说来, 伸长率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料, 即可满足绝大多数零件的要求。

第二节 硬 度

硬度是指金属材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力, 是一个综合的物理量。通常, 材料的硬度越高, 耐磨性越好, 故常将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。

硬度的测定常用压入法。把规定的压头压入金属材料表面层, 然后根据压痕的面积或深度确定其硬度值。根据压头和压力不同, 常用的硬度指标有布氏硬度 (HBS、HBW)、洛氏硬度 (HRA、HRB、HRC 等) 和维氏硬度 (HV)。

一、布氏硬度试验

1. 试验原理

用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 以相应的试验力 F 压入试样表面, 保持规定的时间后卸除试验力, 在试样表面留下球形压痕, 如图 1-3 所示。布氏硬度值用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示。用淬火钢球作压头

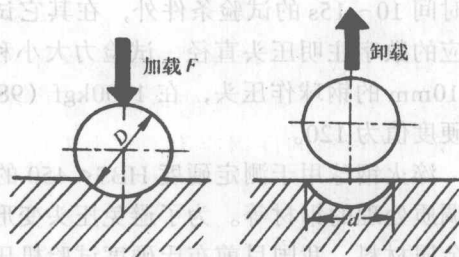


图 1-3 布氏硬度试验原理图

时, 布氏硬度用符号“HBS”表示; 用硬质合金球作压头时, 布氏硬度用符号“HBW”表示。

$$\text{HBS(或 HBW)} = \frac{F}{A_{\text{凹}}} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HBS (HBW) ——用钢球 (硬质合金球) 试验的布氏硬度值;

F ——试验力 (N);

d ——压痕平均直径 (mm);

D ——钢球 (硬质合金球) 直径 (mm)。

布氏硬度的单位为 N/mm^2 , 但习惯上只写明硬度值而不标出单位。

2. 选择试验规范

在进行布氏硬度试验时, 钢球直径 D 、施加的试验力 F 和试验力保持时间, 应根据被测测试金属的种类和试样厚度, 按表 1-1 所示的布氏硬度试验规范正确地进行选择。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材 料	布氏硬度	$0.102F/D^2$	备 注
钢及铸铁	<140	10	F 单位: N D 单位: mm
	>140	30	
铜及其合金	<35	5	
	35~130	10	
	>130	30	
轻金属及其合金	<35	25	
	35~80	10	
	>80	10	
铅、锡		1.25	

由布氏硬度值的计算公式可以看出, 当所加试验力 F 与钢球 (或硬质合金球) 直径 D 已选定时, 硬度值 HBS (HBW) 只与压痕直径 d 有关。 d 越大, 则 HBS (HBW) 值越小, 表明材料越软; 反之, d 越小, HBS (HBW) 值越大, 表明材料越硬。在实际测试时, 硬度值不必用上述公式计算, 一般用刻度放大镜测出压痕直径 d , 然后根据 d 大小查附录 A, 即可求出所测的硬度值。

除了采用钢球 (或硬质合金球) 直径 D 为 10mm, 试验力 F 为 3000kgf (29421N), 保持时间 10~15s 的试验条件外, 在其它试验条件下测得的硬度值, 应在符号 HBS 的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。如 120HBS10/1000/30, 即表示用 10mm 的钢球作压头, 在 1000kgf (9807N) 的试验力作用下, 保持时间为 30s 后所测得的硬度值为 120。

淬火钢球用于测定硬度 $\text{HBS} < 450$ 的金属材料, 如灰铸铁、有色金属以及经退火、正火和调质处理的钢材等。为了避免压头变形, 可用硬质合金球压头, 它适用于测试 $\text{HBW} < 650$ 的金属材料。我国目前布氏硬度试验机压头主要是淬火钢球。

3. 试验的优缺点

布氏硬度试验的优点是: 试验时使用的压头直径较大, 在试样表面上留下压痕也较大,

测得的硬度值也较准确。缺点是：对金属表面的损伤较大，不易测试太薄工件的硬度（GB231—84 对试样厚度提出具体要求），也不适于测定成品件的硬度。布氏硬度试验常用来测定原材料、半成品及性能不均匀的材料（如铸铁）硬度。

二、洛氏硬度试验

1. 试验原理

洛氏硬度是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 $\phi 1.588\text{mm}$ 的淬火钢球作压头，以规定的试验力使其压入试样表面。试验时，先加初试验力，然后加主试验力。压入试样表面之后卸除主试验力，在保留初试验力的情况下，根据试样表面压痕深度，确定被测金属材料的洛氏硬度值。

图 1-4 所示，0-0 为金刚石压头还没有和试样接触的位置。1-1 是在初试验力作用下压头所处的位置，压入深度为 h_1 ，目的是为了消除由于试样表面不光洁对试验结果的精确性造成的不良影响。图中 2-2 在总试验力（初试力 + 主试验力）作用下压头所处的位置，压入深度为 h_2 。3-3 是卸除主试验力后压头所处的位置，由于金属弹性变形得到恢复，此时压头实际压入深度为 h_3 。故由于主试验力所引起的塑性变形而使压头压入深度为 $h = h_3 - h_1$ 。洛氏硬度值由 h 的大小确定，压入深度 h 越大，硬度越低；反之，则硬度越高。一般说来，按照人们习惯上的概念，数值越大，硬度越高。因此采用一个常数 c 减去 h 来表示硬度的高低。并用每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位。由此获得的硬度值称为洛氏硬度值，用符号 HR 表示。

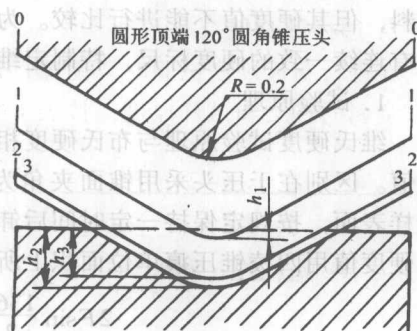


图 1-4 洛氏硬度试验原理图

$$HR = \frac{c - h}{0.002}$$

式中， c 为常数（对于 HRC、HRA， c 取 0.2；对于 HRB， c 取 0.26）。由此获得的洛氏硬度值 HR 为一无名数，试验时一般由试验机指示器上直接读出。

2. 常用洛氏硬度标尺及适用范围

为了能用一种硬度计测定较大范围的硬度，洛氏硬度采用了常用的三种硬度标尺，分别以 HRA、HRB、HRC 表示。其试验条件及应用范围见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验范围及应用

标 尺	压 头 类 型	总试验力/N	硬度值有效范围	应 用
HRA	120°金刚石圆锥体	600	70~85	适用测量硬质合金、表面淬火层或渗碳层等
HRB	(1/16)"($\phi 1.588\text{mm}$)钢球	1000	25~100	适用测量有色金属、退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	1500	20~67	适用淬火钢、调质钢等

上述洛氏硬度的三种标尺中，以 HRC 应用最多，一般经淬火处理的钢或工具都采用 HRC 测量。