



高等院校“十二五”精品课程建设成果



机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO

■ 主编 张文灼
■ 主审 吴会波

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等院校“十二五”精品课程建设成果

机械工程材料

主 编	张文灼			
副主编	杨 兵	李 勇	赵 玉	
	张军翠	马 军	班玉成	
参 编	刘战涛	杨宜宁	吴国华	
	李海涛	赵宇辉	武双杰	
	杨珍明	任黎明	高 琨	
主 审	吴会波			

内 容 简 介

本书分9章,系统地介绍了工程材料及其性能指标、金属学基础及铁碳合金、碳素钢及铸铁、钢的热处理、合金钢及硬质合金、有色金属及其合金、非金属材料及新型材料、机械工程材料的选用、零件毛坯成型工艺基础,书末还附有4个简明的选做实验。

本书是作者在总结多年教学经验并结合国家高等教育教学改革及学院示范院校建设基础上组织编写的,良好地体现了“必需、够用和少而精”的原则,删减理论、整合内容、突出基本应用,最大特色为教师、学生“双轻松”——“教师愉快教”与“学生快乐学”。

为便于教学,本书备有授课电子课件、课后思考与练习的参考答案,凡选用本书作为授课用书的学校均可与出版社联系,免费赠送。

本书结构清晰,语言简练,实例众多,具有很强的实用性和可操作性。既可作为高等院校非机械专业或近机械类专业的教材,也可以作为相关工程技术人员的自学用书和普及机械基础知识的各类培训用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/张文灼主编. —北京:北京理工大学出版社,2011.12
ISBN 978-7-5640-5341-3

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制造材料-高等学校-教材
IV. ①TH14

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第252221号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京高岭印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 15.75

字 数 / 366千字

版 次 / 2011年12月第1版 2011年12月第1次印刷

印 数 / 1~2000册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 39.00元

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

目前,很多机械工程材料相关教材,多以理论为主,内容繁杂、抽象,学生普遍感到难学、厌学,教师感到难教。就现今的人才培养定位来看,在制造业一线应用中极少直接用到诸如“工程材料的成分”“组织结构”“合金相图”等一些过深的纯理论性的内容,而当前的很多教材恰恰对这些“纯理论内容”大篇幅的加以叙述,给讲授、学习均带来不便,“浪费”了课时。

本书是作者在总结多年教学经验并结合国家高等教育教学改革及学院示范院校建设基础上组织编写的。良好地体现了“必需、够用和少而精”的原则,删减理论、整合内容、突出基本应用。

本书分9章,系统地介绍了工程材料及其性能指标、金属学基础及铁碳合金、碳素钢及铸铁、钢的热处理、合金钢及硬质合金、有色金属及其合金、非金属材料及新型材料、机械工程材料的选用、零件毛坯成型工艺基础,书末还附有4个简明的选做实验。

本书的最大特色为:教师、学生“双轻松”——“教师愉快教”与“学生快乐学”。体现在三方面:

(1) 针对应用型人才培养编排,配大量实物图——内容精炼,深入浅出,编排上极大降低了理论难度,突出常见工程材料的基本性能和典型应用,图文并茂,设置了非常多的实物图片;

(2) 章首案例导引,章末案例透析——每章以有趣而又典型的“工程案例导引”切入,把握学生兴趣,提出疑问,引出相关内容,在章末给出“工程案例透析”;

(3) 便于学习、备课和授课——知识条目化、“浅显化”,并在正文关键处特别恰当设置“便签式”的说明或小提示,每章配有趣味盎然的拓展知识丰富学习。

本书由张文灼任主编,杨兵、李勇、赵玉、张军翠、马军、班玉成任副主编,参加编写的还有:刘战涛、杨宜宁、吴国华、李海涛、赵宇辉、武双杰、杨珍明、任黎明、高琨。张文灼负责对全书编写思路与大纲的总体策划,并对全书统一修改并定稿。

本书由吴会波任主审,吴老师对全书进行了认真细致的审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,在此谨表谢意。

由于高等教育教学改革在不断探索和深化中,加之编者视野范围和专业水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,敬请广大同行和读者批评指正,也请各位专家学者不吝赐教,以便下次修订时改进,所有建议和意见敬请发至 zhuowenzhang@126.com,我们将不胜感激。

为便于教学,本书备有授课电子课件、课后思考与练习的参考答案,凡选用本书作为授课用书的学校均可与出版社联系,免费赠送。

编 者

目 录

第 1 章 工程材料及其性能指标	1
本章主要知识点	1
工程案例导引	1
1.1 工程材料及常用性能指标	1
1.1.1 工程材料及分类	2
1.1.2 工程材料的常用性能指标	2
1.2 材料的力学性能	3
1.2.1 金属材料所受载荷与力学性能	3
1.2.2 强度	4
1.2.3 硬度	5
1.2.4 塑性	8
1.2.5 韧性	9
1.2.6 疲劳强度	11
1.2.7 粘弹性	12
1.3 材料的物理及化学性能	13
1.3.1 物理性能	13
1.3.2 化学性能	14
1.4 材料的工艺性能	14
工程案例透析	15
知识拓展——材料的发展历史	16
本章小结	18
思考与练习	18
第 2 章 金属学基础及铁碳合金	19
本章主要知识点	19
工程案例导引	19
2.1 纯金属的晶体结构	19
2.1.1 晶体与非晶体	19
2.1.2 晶体结构	20
2.1.3 金属晶格的类型	20
2.1.4 实际金属的晶体结构及晶体缺陷	21
2.2 金属的结晶	24
2.2.1 纯金属的过冷现象	24
2.2.2 纯金属的结晶过程	24

2.2.3	结晶晶粒的细化	25
2.2.4	铸件（铸锭）的组织结构	26
2.3	合金的晶体结构	26
2.3.1	合金的基本概念	27
2.3.2	合金的相结构	27
2.4	铁碳合金及其相图	28
2.4.1	纯铁及工业纯铁	28
2.4.2	铁碳合金的基本组织	29
2.4.3	铁碳合金相图	31
2.4.4	铁碳合金的分类	32
2.4.5	典型铁碳合金的结晶过程	33
2.4.6	含碳量对钢性能的影响	35
2.4.7	铁碳合金相图在工业中的应用	36
	工程案例透析	36
	知识拓展——单晶、多晶冰糖的结晶过程	38
	本章小结	38
	思考与练习	39
第3章	碳素钢及铸铁	40
	本章主要知识点	40
	工程案例导引	40
3.1	碳素钢概述	41
3.1.1	常存杂质元素对碳钢性能的影响	41
3.1.2	碳素钢的分类	42
3.1.3	钢铁的牌号命名	43
3.1.4	钢材的品种	43
3.2	碳素结构钢	44
3.2.1	普通碳素结构钢	44
3.2.2	优质碳素结构钢	45
3.3	碳素工具钢	49
3.4	铸造碳钢	50
3.5	铸铁概述	51
3.5.1	铸铁的成分及性能特点	51
3.5.2	铸铁的分类及应用	52
3.6	灰铸铁	52
3.6.1	灰铸铁的成分、组织与性能特点	52
3.6.2	灰铸铁的牌号和应用	54
3.6.3	灰铸铁的孕育处理	54
3.6.4	灰铸铁的热处理	55

3.7 球墨铸铁	55
3.7.1 组织和性能	55
3.7.2 球墨铸铁的牌号及用途	56
3.7.3 球墨铸铁的热处理	57
3.8 可锻铸铁	57
3.8.1 可锻铸铁的生产过程及成分	57
3.8.2 组织与性能	58
3.8.3 可锻铸铁的牌号及用途	58
3.9 其他铸铁	59
3.9.1 蠕墨铸铁	59
3.9.2 合金铸铁(特殊性能铸铁)	60
工程案例透析	62
知识拓展——钢铁材料的生产工艺简介	63
本章小结	65
思考与练习	66
第4章 钢的热处理	67
本章主要知识点	67
工程案例导引	67
4.1 热处理概述	68
4.2 钢在加热时的组织转变	69
4.2.1 加热和冷却时的固态临界点	69
4.2.2 加热时的奥氏体转变过程	70
4.2.3 奥氏体晶粒长大及其控制措施	71
4.3 钢在冷却时的组织转变	72
4.3.1 过冷奥氏体的等温转变	72
4.3.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	74
4.4 钢的退火与正火	75
4.4.1 钢的退火	75
4.4.2 钢的正火	76
4.4.3 退火与正火的应用选择	77
4.5 钢的淬火	78
4.5.1 钢的淬火工艺	78
4.5.2 淬火方法	80
4.5.3 钢的淬透性与淬硬性	81
4.5.4 钢的淬火缺陷及预防	82
4.6 淬火钢的回火	82
4.6.1 淬火钢的回火目的	83
4.6.2 常用的回火方法	83

4.6.3 回火脆性	84
4.7 钢的表面热处理	84
4.7.1 钢的表面淬火	85
4.7.2 钢的化学热处理	87
4.8 其他热处理技术	90
4.8.1 时效处理	90
4.8.2 形变热处理	90
4.8.3 真空热处理	91
4.8.4 可控气氛热处理	91
4.8.5 工件表面的气相沉积	91
4.9 热处理条件、工艺位置安排及方案选择	92
4.9.1 热处理的技术条件	92
4.9.2 常用热处理方案的选择	93
4.9.3 热处理工艺位置安排	94
4.10 零件的热处理结构工艺性	94
工程案例透析	96
知识拓展——我国古代的热处理工艺	97
本章小结	98
思考与练习	99
第5章 合金钢及硬质合金	100
本章主要知识点	100
工程案例导引	100
5.1 合金钢概述	101
5.2 合金钢的分类和牌号	101
5.2.1 合金钢的分类	101
5.2.2 合金钢的牌号	102
5.3 合金元素在钢中的作用	103
5.3.1 合金元素对钢力学性能的影响	103
5.3.2 合金元素对钢热处理性能的影响	104
5.3.3 合金元素对钢加工工艺性能的影响	105
5.4 合金结构钢	105
5.4.1 工程构件用合金钢（低合金结构钢）	105
5.4.2 机械结构用合金钢	107
5.5 合金工具钢	111
5.5.1 合金刀具钢	111
5.5.2 合金模具钢	114
5.5.3 合金量具钢	117
5.6 特殊性能合金钢	118

5.6.1 不锈钢	118
5.6.2 耐热钢	119
5.6.3 耐磨钢	121
5.6.4 易切削结构钢	122
5.7 硬质合金	123
5.7.1 硬质合金的应用与特性	123
5.7.2 常用的硬质合金	123
工程案例透析	124
知识拓展——古代的“宝刀”是如何炼成的	125
本章小结	127
思考与练习	127
第6章 有色金属及其合金	128
本章主要知识点	128
工程案例导引	128
6.1 有色金属概述	129
6.2 铝及铝合金	129
6.2.1 工业纯铝	129
6.2.2 铝合金	130
6.2.3 铝合金的热处理	132
6.3 铜及铜合金	133
6.3.1 工业纯铜	133
6.3.2 铜合金	134
6.4 钛及钛合金	136
6.4.1 工业纯钛	137
6.4.2 钛合金	137
6.4.3 钛合金的主要应用	139
6.4.4 钛合金的性能	139
6.4.5 钛合金的切削加工	140
6.5 镁及镁合金	141
6.5.1 纯镁的性能特点	141
6.5.2 镁合金的性能特点	141
6.5.3 镁合金的分类及应用	142
6.5.4 镁合金应用的发展	143
6.6 滑动轴承合金	143
6.6.1 轴承及轴承合金的类别	143
6.6.2 铅基轴承合金	144
6.6.3 锡基轴承合金	145
6.6.4 铝基轴承合金	145

6.6.5 铜基轴承合金	146
工程案例透析	146
知识拓展——人类发明和炼制钛的历程	147
本章小结	149
思考与练习	149
第7章 非金属材料及新型材料	150
本章主要知识点	150
工程案例导引	150
7.1 非金属材料概述	150
7.2 高分子材料	151
7.2.1 塑料	151
7.2.2 橡胶	155
7.2.3 纤维	157
7.2.4 胶粘剂	158
7.2.5 涂料	159
7.3 陶瓷材料	159
7.3.1 陶瓷的分类	160
7.3.2 陶瓷的性能特点	160
7.3.3 常用陶瓷的种类及应用	160
7.4 复合材料	161
7.4.1 复合材料的概念	161
7.4.2 复合材料的分类	162
7.4.3 复合材料的性能特点	162
7.4.4 常用复合材料	163
7.5 新型材料	164
7.5.1 高温材料	164
7.5.2 形状记忆合金	165
7.5.3 超导材料	167
工程案例透析	168
知识拓展——纳米技术与汽车	169
本章小结	171
思考与练习	171
第8章 机械工程材料的选用	172
本章主要知识点	172
工程案例导引	172
8.1 机械零件的失效形式	172
8.1.1 失效	172
8.1.2 失效的类型	173

8.1.3	零件的失效原因	174
8.1.4	失效分析的方法	174
8.2	工程材料的选择原则及步骤	175
8.2.1	使用性能原则	175
8.2.2	工艺性能原则	176
8.2.3	经济性原则	177
8.2.4	选材的步骤	178
8.3	典型零件的选材及工艺分析	178
8.3.1	毛坯的选择	178
8.3.2	齿轮类零件的选材与工艺分析	179
8.3.3	轴类零件的选材及热处理	181
8.3.4	机架、箱体类零件的选材	182
8.4	工程材料综合选用实例	183
8.4.1	汽车零件用材	183
8.4.2	机床零件用材	184
8.4.3	仪器仪表用材	185
	工程案例透析	185
	知识拓展——铝合金汽车轮毂相对传统钢轮毂的优势	186
	本章小结	186
	思考与练习	187
第9章	零件毛坯成型工艺基础	188
	本章主要知识点	188
	工程案例导引	188
9.1	铸造成型工艺	188
9.1.1	铸造概述	188
9.1.2	砂型铸造	189
9.1.3	特种铸造简介	195
9.2	焊接成型工艺	199
9.2.1	焊接概述	199
9.2.2	手工电弧焊	199
9.2.3	埋弧自动焊	202
9.2.4	气体保护焊	203
9.2.5	等离子弧焊	204
9.2.6	电阻焊	205
9.2.7	钎焊	208
9.3	锻压成型工艺	210
9.3.1	压力加工基础	210
9.3.2	金属的冷塑性变形	212

9.3.3 金属的热塑性变形	214
9.3.4 锻压加工概述	215
9.3.5 自由锻	216
9.3.6 模锻	219
9.3.7 板料冲压	221
9.3.8 锻压新技术简介	224
工程案例透析	225
知识拓展——焊接新技术	225
本章小结	226
思考与练习	227
附录	228
附录 1 选做简明实验	228
实验 1 金属材料的拉伸实验	228
实验 2 金属材料硬度的测定	230
实验 3 铁碳合金显微组织的观察及分析	232
实验 4 碳钢的热处理	234
附录 2 压痕直径与布氏硬度对照表	236
附录 3 黑色金属硬度及强度换算表	238
附录 4 各类钢铁的牌号表示方法	238
附录 5 常用热处理工艺代号及技术条件的表示方法	239
参考文献	240

第1章 工程材料及其性能指标

本章主要知识点 >>

- ◇ 工程材料的概念及分类
- ◇ 材料的常用力学性能指标
- ◇ 材料的物理、化学及工艺性能

工程案例导引 >>

2011年4月1日下午,美国西南航空公司一架波音737客机起飞40分钟后,因“机舱失压”紧急降落,在“令人恐惧的4分钟”内从10900米高空坠至3300米的位置,急降7600米。所幸飞行员临危不乱,成功迫降到位于亚利桑那州尤马的海军陆战队机场,仅一名空乘人员受轻伤。

事后乘客布伦达里斯回忆,“我突然被惊醒,听到‘类似枪声’的声音,随后看见机舱顶部被撕裂了一个洞,就在靠近行李架的位置。”乘客辛迪说,“机组刚刚发过饮料,突然听到响声,大家的氧气面罩全都弹出去了。”另一名乘客描述,当时的场面“一片混乱”。由于飞机急速下坠,机舱气压下降,一名乘客和一名空乘人员因缺氧而昏倒,头部撞在一起。一些人目睹这一切,因恐惧而哭泣。

美国相关部门调查结果显示,此次事故是机身破损引起的,而与恐怖主义无关,飞机机舱顶部有一个6英尺(约1.8米)的破洞(如图1-1所示,左图和右图分别为机身内、外部破损情况)。专家表示,机身破损是由金属疲劳现象引起的。

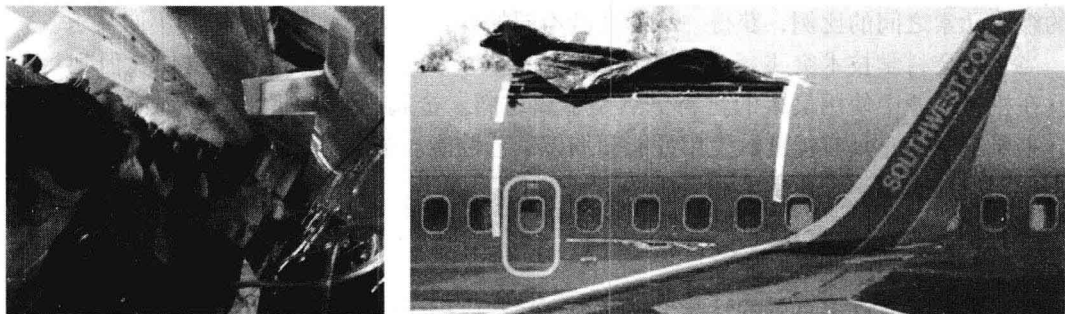


图1-1 失事飞机舱顶因金属疲劳出现破洞

金属疲劳其实是工程材料的一种力学性能指标,那么什么是“金属疲劳”呢?工程材料还有哪些性能指标?

1.1 工程材料及常用性能指标

材料是用来制作有用器件的物质,是人类生产和生活所必须的物质基础。从日常生活用

的器具到高技术产品,从简单的手工工具到复杂的航天器、机器人,都是用各种材料制作而成或由其加工的零件组装而成的。材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的重要标志。

材料的一大特点就是能为人类使用,另外,经济性也很重要,如金刚石很硬,虽然一般来说硬的材料耐磨,但由于它的稀有和昂贵就不适宜作为耐磨材料。要想合理使用材料,必须熟悉了解材料。本课程围绕材料的最基本问题展开,为合理使用与选用相关工程材料打下基础。

1.1.1 工程材料及分类

1. 工程材料

指在机械、船舶、化工、建筑、车辆、仪表、航空航天等工程领域中用于制造工程构件和机械零件的材料。

2. 分类

工程材料主要包括金属材料和非金属材料两大类。金属材料是以金属元素或金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称,包括纯金属、合金、金属间化合物和特种金属材料等;非金属材料包括高分子材料、陶瓷材料和复合材料等。

3. 金属材料

金属材料又可分为黑色金属材料和有色金属材料两类,黑色金属材料主要指各类钢和铸铁,有色金属材料主要指铝及铝合金、铜及铜合金以及滑动轴承合金等。

纯金属在工业生产中虽然具有一定的用途,但是由于它的强度、硬度一般都较低,而且冶炼技术复杂,价格较高,所以在使用上受到很大的限制。目前在工农业生产、建筑、国防建设中广泛采用的是合金状态的金属材料。

合金材料是指两种或两种以上的金属元素或金属元素与非金属元素组成的金属材料,如普通黄铜是由铜和锌两种金属元素组成的合金,普通白铜是由铜和镍两种金属元素组成的合金,碳素钢是由铁元素和碳元素组成的合金。合金具有较好的力学性能,还可以通过调整合金的组成元素之间的比例,获得一系列性能不同的合金,从而满足生产中的不同需求。

当今社会科学技术突飞猛进,新材料层出不穷,而且使用量也不断增加,但到目前为止,在机械工业中使用最多的材料仍然是金属材料。金属材料长期以来得到如此广泛地应用,主要是因为它具有优良的使用性能和加工工艺性能。金属材料是现代机械制造业的基本材料,广泛地应用于工业生产和生活用品制造中。

1.1.2 工程材料的常用性能指标

工程材料具有许多良好的性能,因此被广泛地应用于制造各种构件、机械零件、工具和日常生活用具等。为了正确地使用工程材料,应充分了解和掌握材料的性能。通常所说工程材料的性能有两个方面的意义:一是材料的使用性能,二是材料的工艺性能。

1. 材料的使用性能

它是指材料在使用条件下表现出的性能,包括:强度、塑性、韧性等力学性能;声、光、电、磁等物理性能;以及耐蚀性、抗氧化、耐热性等化学性能。

2. 材料的工艺性能

它是指材料在加工过程中表现出的性能,如冷热加工、压力加工性能、焊接性能、铸造

性能、切削性能等。

生产经验提示：各种机械设备、汽车、船舶、飞机和军用装备的设计师们，在精心设计出自己的作品（产品）后，都需要选用恰当的材料来制造，从而保证制成的产品具有最佳形貌和性能。如果选取材料不当，将会使所设计制造的产品不能发挥出最佳性能，并可能导致使用寿命降低，或导致成本太高而失去市场竞争力。所以，从事机械设计与制造的各类工程技术人员，都必须对经常使用的各类材料有一定的了解。

1.2 材料的力学性能

1.2.1 金属材料所受载荷与力学性能

1. 金属材料承受的载荷

金属材料在加工和使用过程中所受到的外力称为载荷。按外力的作用性质，常分为如下三种：

(1) 静载荷 大小不变或变化很慢的载荷。如：桌上放置重量不变的箱子，桌子所受的力；机床的床头箱对机床床身的压力等。

(2) 冲击载荷 突然增加或消失的载荷。例如：在墙上钉钉子，钉子所受的力；空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷；冲压时冲床对冲模的冲击作用等。

(3) 交变载荷 周期性的动载荷，如机床主轴就是在交变载荷的作用下工作的。

根据作用形式不同，载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等，如图 1-2 所示。

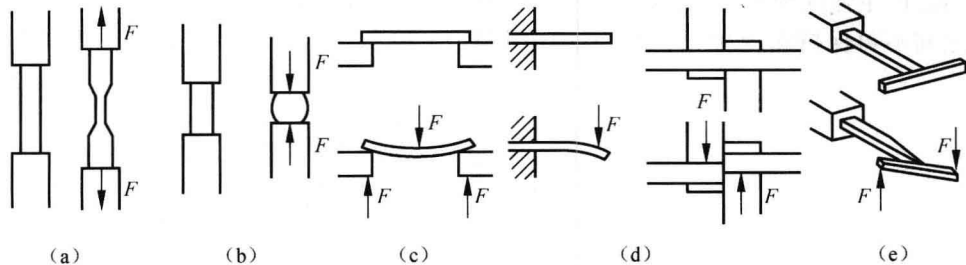


图 1-2 载荷的作用形式

(a) 拉伸载荷；(b) 压缩载荷；(c) 弯曲载荷；(d) 剪切载荷；(e) 扭转载荷

2. 内力与内应力

材料受外力作用时，为保持自身形状尺寸不变，在材料内部作用着与外力相对抗的力，称为内力。内力的大小与外力相等，方向则与外力相反，和外力保持平衡。单位面积上的内力称为应力。

3. 载荷下的变形

(1) 弹性变形 材料在载荷作用下发生变形，而当载荷卸除后，变形也完全消失。这种随载荷的卸除而消失的变形称为弹性变形。

(2) 塑性变形 当作用在材料上的载荷超过某一限度, 此时若卸除载荷, 大部分变形随之消失 (弹性变形部分), 但还留下了不能消失的部分变形, 称为塑性变形, 也称永久变形。

4. 常用的力学性能指标

金属材料的力学性能是指材料在各种载荷作用下表现出来的抵抗变形和断裂的能力。常用的力学性能指标有: 强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等, 另外还有粘弹性指标, 它们是衡量材料性能和决定材料应用范围的重要指标。

1.2.2 强度

金属材料在静载荷作用下抵抗永久塑性变形和断裂的能力, 称为强度。材料强度越高, 可承受的载荷越大。不同金属材料的强度指标, 可通过拉伸试验和其他力学性能试验方法测定。

1. 拉伸实验

实验前, 将被测试的金属材料制成标准试样, 将标准试样装夹在拉伸试验机 (如图 1-3 所示) 上, 然后对其逐渐施加拉伸载荷 F , 同时连续测量力和试样相应的伸长, 直至试样被拉断, 可得到拉力 F 与伸长量 Δl 的关系曲线图, 如图 1-4 所示, 即 $F-\Delta l$ 拉伸曲线, 纵坐标表示力 F , 单位为 N; 横坐标表示绝对伸长量 Δl , 单位为 mm。 $F-\Delta l$ 拉伸曲线反映了金属材料在拉伸过程中从弹性变形到断裂的全部力学特性。

由图 1-4 可知, 拉伸过程可分为如下几个阶段:

(1) Oe ——弹性变形阶段 试样在外力作用下均匀伸长, 伸长量与拉力大小保持正比关系, e 点所对应的应力 σ_e 称为弹性强度或弹性极限。

(2) es ——屈服阶段 试样所受的载荷大小超过 e 点后, 材料除产生弹性变形外, 开始出现塑性变形, 拉力与伸长量之间不再保持正比关系, 拉力达到图形中 s 点后,

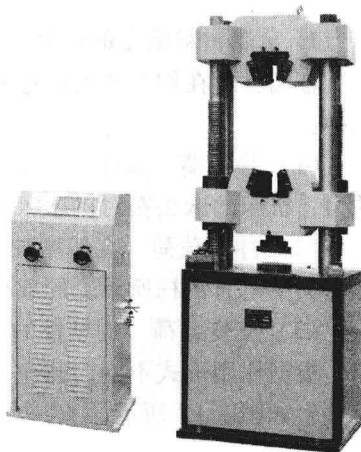


图 1-3 拉伸试验机

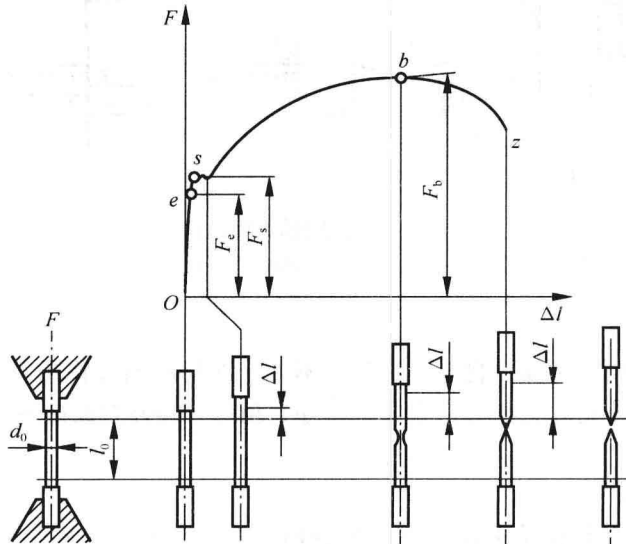



图 1-4 $F-\Delta l$ 拉伸曲线

即使拉力不再增加，材料仍会伸长一定距离，即 s 点右侧的接近水平或锯齿状的线段，此现象称为“屈服”，标志着材料丧失抵抗塑性变形的能力，并产生微量的塑性变形。 s 点所对应的应力 σ_s 称为屈服强度或屈服极限。

(3) sb ——塑性变形阶段 试样所受的载荷大小超过 s 点后，试样的变形随拉力的增大而逐渐增大，试样发生均匀而明显的塑性变形。

(4) bz ——缩颈阶段 当试样所受的力达到 b 点后，试样在标距长度内直径明显地出现局部变细，即“缩颈”现象。由于截面积的减小，变形集中在“缩颈”处，试样保持持续拉长到断裂所需的拉力逐渐下降，在 z 点试样断裂。

 **生产经验提示：**工程上使用的金属材料，在拉伸时，并不是都有明显的4个阶段，有的没有明显的屈服现象，如退火的轻金属、退火及调质的合金钢等。有些脆性材料，不仅没有屈服现象，而且也不产生“缩颈”，如铸铁等。

2. 强度指标

根据外力作用方式的不同，强度有多种指标，如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等，常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度 用符号 σ_s 表示，指材料开始产生屈服现象时的最低应力，又称屈服极限，是机械设计的主要依据，也是评定金属材料优劣的重要指标，计算公式为：

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中 σ_s ——屈服点，MPa；

F_s ——试样开始屈服时所受的外力，N；

S_0 ——试样原始截面积， mm^2 。

无明显屈服现象的材料，用试样标距长度产生 0.2% 塑性变形时的应力值作为屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示，称为条件屈服强度，意义同 σ_s 。

(2) 抗拉强度 用符号 σ_b 表示，指材料抵抗外力而不致断裂的最大应力值，是机械零件评定和选材时的重要强度指标，计算公式为：

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中 σ_b ——抗拉强度，MPa；

F_b ——试样在断裂前所受的最大外力，N；

S_0 ——试样原始截面积， mm^2 。

σ_s / σ_b 的值称为屈强比。屈强比越小，工程构件的可靠性越高，也就是万一超载也不致于马上断裂。但屈强比小，材料强度有效利用率也低。

1.2.3 硬度

硬度通常是指金属材料抵抗更硬物体压入其表面的能力，是金属抵抗其表面局部变形和破坏的能力，简单说就是材料的软硬程度。

通常材料越硬，其耐磨性越好。机械制造业所用的刀具、量具、模具等，都应具备足够的硬度，才能保证使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮、轴承等，也要求有一定的硬度，以保证足够的耐磨性和使用寿命。