



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

工程材料及机械制造基础(I)

工程材料 **第三版**

东南大学 戴枝荣 张远明 主编

高等教育出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

工程材料及机械制造基础 (I)

工程材料

Gongcheng Cailiao ji Jixie Zhizao Jichu (I)

Gongcheng Cailiao

第三版

东南大学 戴枝荣 张远明 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书是在第二版的基础上,根据教育部新制订的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》,并结合机械制造工程专业的发展和实际需要而进行修订编写的。本书除保留上一版教材特色之外,适当地增加了一些新概念、新材料、新工艺及其应用的内容。有关计量单位、名词术语、工艺数据和材料编号等均采用了最近颁布的国家标准。

全书包括工程材料的性能、晶体结构与结晶、金属的塑性变形、二元合金、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料、材料的选用等内容。

本书主要供高等学校机械类各专业使用,教学时数为32~48学时(含实验),也可供其他近机械类专业选用和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及机械制造基础. 1, 工程材料/戴枝荣, 张远明主编.-- 3版.-- 北京: 高等教育出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-04-041251-2

I. ①工… II. ①戴… ②张… III. ①工程材料-高等学校-教材②机械制造-高等学校-教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 244624 号

策划编辑	宋 晓	责任编辑	宋 晓	封面设计	李卫青	版式设计	余 杨
插图绘制	杜晓丹	责任校对	陈 杨	责任印制	刘思涵		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landracom.com
印 刷	肥城新华印刷有限公司		http://www.landracom.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16	版 次	1995 年 4 月第 1 版
印 张	13.75		2014 年 12 月第 3 版
字 数	320 千字	印 次	2014 年 12 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	23.00 元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 41251-00

第三版前言

本书第一版曾获第三届全国国家教委高等学校优秀教材二等奖,从出版至今已近 20 年,期间多次印刷,累计印数 20 多万册,被全国几十所高等学校作为机械类各专业的技术基础课教材。本书根据《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》编写,着重论述材料结构—工艺—性能—应用之间的关系,强调工程应用的重要性。整个教材内容新颖、简洁,结构合理,层次鲜明,各章节处理恰到好处,成为各高等学校公认的优秀教材之一。

近十多年来,随着计算机技术、网络技术的不断发展,机械工程学科(或机械类各专业)已完全从过去的纯机械制造发展到以计算机技术、网络技术为支撑平台(或系统)的先进的制造工程。机械工程(或制造)实际上已成为机、电、信息、材料、控制等为主的多学科综合的载体。另一方面,在材料科学与工程领域,一批新型的工程结构材料、功能材料以及一些材料改性新工艺不断涌现并在机械制造中广泛应用。这些都促使工程材料课程和所使用的教材作相应的调整。因此,根据教育部新制订的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》和高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目“机械类专业人才培养方案及教学内容和课程体系改革的研究与实践”的研究成果,结合机械制造工程专业的发展和实际需要,本教材在修订编写时,除保留原教材特色之外,仍以材料的成分—结构—工艺—性能—应用为主线,适当地增加一些新概念、新材料、新工艺及其应用的内容。同时,本书还进一步加强在工程中选材、选工艺等应用方面的知识及范例。

修订后的教材反映了当前工程材料研究领域的最新成果和进展。本书在重点讲述基本概念、基本理论和基本方法的前提下,力图建立起与现代机械工程(或制造)相适应的工程材料课程内容体系。本书有关计量单位、名词术语、工艺数据和材料编号等均采用了最近颁布的国家标准。

本书主要供高等学校机械类各专业使用,其教学时数为 32~48 学时(含实验)。对于其他近机械类专业,可根据具体情况进行删减或补充。

参加本书修订的有东南大学戴枝荣(第一、四、五、八、十一章),张远明(第二、三、六章),何红媛(第七、九、十章),并由戴枝荣、张远明担任主编。

本书由山东大学孙康宁教授审阅,在编写的过程中,本书第一版作者东南大学赵小东教授、杨克副教授提供了许多宝贵意见,在此谨表示谢意!

由于编者水平有限,书中缺点错误在所难免,恳请广大读者指正。

编 者

2014 年 3 月 28 日

目录

绪论	1	第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	26
第一章 工程材料的性能	3	第三节 变形金属在加热时的组织和性能的变化	27
第一节 静载时材料的力学性能	3	一、回复	28
一、静拉伸试验	3	二、再结晶	28
二、硬度	5	三、晶粒长大	29
第二节 动载时材料的力学性能	7	第四节 金属的热加工	30
一、冲击韧度	7	一、热加工的概念	30
二、疲劳强度	8	二、热加工对金属组织和性能影响	30
第三节 断裂韧性	8	第五节 超塑性	31
复习与思考题	9	复习与思考题	32
第二章 晶体结构与结晶	10	第四章 二元合金	33
第一节 金属的晶体结构	10	第一节 合金的相结构	33
一、晶体概念	10	一、固溶体	33
二、常见的金属晶格	11	二、化合物	35
三、单晶体的各向异性	12	第二节 二元合金相图	37
第二节 实际金属结构	12	一、二元相图的建立	38
一、多晶体结构	12	二、匀晶相图	39
二、晶体缺陷	13	三、共晶相图	41
第三节 非金属晶体	14	四、包晶相图	44
一、离子晶体	14	五、共析相图	46
二、共价晶体	15	第三节 相图与性能的关系	46
三、结晶型高分子聚合物	15	一、当合金形成单相固溶体	46
第四节 金属的结晶	15	二、当合金形成两相混合物	47
一、结晶的概念	15	复习与思考题	47
二、金属的结晶过程	16	第五章 铁碳合金	48
三、影响生核与长大的因素	17	第一节 铁碳合金的相结构与性能	48
四、金属的同素异构性	18	第二节 铁碳合金相图	48
五、金属铸锭的组织特点	19	一、相图分析	48
复习与思考题	21	二、典型合金的结晶过程	50
第三章 金属的塑性变形	22	三、铁碳合金的成分与性能的关系	54
第一节 单晶体、多晶体的塑性变形	22		
一、塑性变形的基本形式	22		
二、单晶体的塑性变形	23		
三、多晶体的塑性变形	25		

第三节 碳钢	56	四、热喷涂	91
一、常存杂质对碳钢性能的影响	56	五、非金属复层	91
二、碳钢的分类	56	第十一节 热处理对零件结构设计的	
三、碳钢的编号和用途	57	要求及技术条件标注	92
复习与思考题	61	一、热处理对零件结构设计的	
第六章 钢的热处理	62	要求	92
第一节 概述	62	二、热处理技术条件的标注	93
第二节 钢在加热时的转变	62	第十二节 材料改性处理的新进展	96
一、奥氏体的形成	63	一、离子注入	96
二、奥氏体晶粒的长大	64	二、电子束热处理	96
第三节 钢在冷却时的转变	65	三、计算机辅助热处理生产	97
一、奥氏体等温转变曲线	66	复习与思考题	97
二、过冷奥氏体转变产物的组织与		第七章 合金钢	99
性能	66	第一节 合金元素在钢中的作用	99
三、影响 C 曲线的因素	70	一、合金元素对钢中基本相的	
四、奥氏体连续冷却转变曲线	72	影响	100
第四节 钢的退火与正火	73	二、合金元素对铁碳合金相图的	
一、钢的退火	73	影响	101
二、钢的正火	74	三、合金元素对钢的热处理的	
第五节 钢的淬火	74	影响	102
一、淬火工艺	74	第二节 合金钢的分类和编号方法	104
二、淬火方法	76	一、分类	104
三、钢的淬透性	78	二、合金钢的编号方法	105
第六节 钢的回火	81	第三节 合金结构钢	106
一、淬火钢的回火转变	81	一、低合金高强度结构钢	106
二、回火的分类及应用	82	二、渗碳钢	107
第七节 钢的形变热处理	83	三、调质钢	110
第八节 钢的表面淬火	84	四、弹簧钢	113
一、感应加热表面淬火	84	五、滚动轴承钢	114
二、火焰加热表面淬火	85	六、易切钢	118
三、激光加热表面淬火	86	七、超高强度钢	119
第九节 钢的化学热处理	86	第四节 工具钢	121
一、钢的渗碳	86	一、刀具钢	121
二、钢的渗氮	88	二、模具钢	127
第十节 表面复层处理	90	三、量具钢	129
一、化学膜层保护	90	第五节 特殊性能钢	130
二、镀层处理	90	一、不锈钢	130
三、离子沉积	90	二、耐热钢	133

三、耐磨钢	134	第三节 钛及其合金	165
四、低温用钢	136	一、纯钛	165
第六节 工程材料的新进展	136	二、钛合金	165
一、形状记忆合金	136	第四节 镁及其合金	168
二、减振合金	137	一、纯镁	168
三、功能梯度材料	137	二、镁合金	168
四、智能材料	137	第五节 锌及其合金	169
五、超导材料	138	一、纯锌	169
六、纳米材料	138	二、锌合金	169
七、非晶态材料	139	第六节 轴承合金	169
八、磁性材料	139	一、锡基轴承合金	170
复习与思考题	139	二、铅基轴承合金	172
第八章 铸铁	141	三、铜基轴承合金	172
第一节 概述	141	四、铝基轴承合金	172
一、铸铁的成分和特性	141	复习与思考题	173
二、铸铁的石墨化	141	第十章 非金属材料	174
三、铸铁的分类	143	第一节 高分子材料的基础知识	174
第二节 常用铸铁	143	一、高分子化合物的组成与结构	174
一、灰铸铁	144	二、高聚物的物理状态	178
二、可锻铸铁	146	三、高聚物的性能	179
三、球墨铸铁	147	第二节 高分子材料	182
四、蠕墨铸铁	149	一、塑料	182
第三节 合金铸铁	149	二、橡胶	186
一、耐磨铸铁	149	三、胶粘剂	189
二、耐热铸铁	150	第三节 陶瓷	190
三、耐蚀铸铁	150	一、陶瓷材料的组织结构及特点	191
复习与思考题	150	二、陶瓷的基本性能	192
第九章 有色金属及其合金	152	三、常用工业陶瓷	193
第一节 铝及其合金	152	第四节 复合材料	195
一、纯铝	152	一、纤维增强复合材料	196
二、铝合金的分类	153	二、层状复合材料	197
三、铝合金的热处理	153	三、颗粒复合材料	198
四、形变铝合金	155	复习与思考题	198
五、铸造铝合金	157	第十一章 材料的选用	199
第二节 铜及其合金	159	第一节 选材的一般原则	199
一、纯铜	159	一、材料的使用性能	199
二、黄铜	160	二、材料的工艺性	200
三、青铜	161	三、材料的经济性	201

第二节 零件的失效与选材	201
一、零件的失效分析	201
二、变形失效与选材	202
三、断裂失效与选材	203
四、表面损伤失效与选材	204
第三节 典型零件的选材与工艺	205

一、轴的选材与工艺	205
二、齿轮的选材与工艺	207
三、箱体类的选材与工艺	208
复习与思考题	209
参考文献	210

1.1 机械零件的失效形式	211
1.2 机械零件的失效原因	212
1.3 机械零件的失效分析	213
1.4 机械零件的失效预防	214
1.5 机械零件的失效案例	215
1.6 机械零件的失效预防	216
1.7 机械零件的失效预防	217
1.8 机械零件的失效预防	218
1.9 机械零件的失效预防	219
1.10 机械零件的失效预防	220
1.11 机械零件的失效预防	221
1.12 机械零件的失效预防	222
1.13 机械零件的失效预防	223
1.14 机械零件的失效预防	224
1.15 机械零件的失效预防	225
1.16 机械零件的失效预防	226
1.17 机械零件的失效预防	227
1.18 机械零件的失效预防	228
1.19 机械零件的失效预防	229
1.20 机械零件的失效预防	230
1.21 机械零件的失效预防	231
1.22 机械零件的失效预防	232
1.23 机械零件的失效预防	233
1.24 机械零件的失效预防	234
1.25 机械零件的失效预防	235
1.26 机械零件的失效预防	236
1.27 机械零件的失效预防	237
1.28 机械零件的失效预防	238
1.29 机械零件的失效预防	239
1.30 机械零件的失效预防	240
1.31 机械零件的失效预防	241
1.32 机械零件的失效预防	242
1.33 机械零件的失效预防	243
1.34 机械零件的失效预防	244
1.35 机械零件的失效预防	245
1.36 机械零件的失效预防	246
1.37 机械零件的失效预防	247
1.38 机械零件的失效预防	248
1.39 机械零件的失效预防	249
1.40 机械零件的失效预防	250
1.41 机械零件的失效预防	251
1.42 机械零件的失效预防	252
1.43 机械零件的失效预防	253
1.44 机械零件的失效预防	254
1.45 机械零件的失效预防	255
1.46 机械零件的失效预防	256
1.47 机械零件的失效预防	257
1.48 机械零件的失效预防	258
1.49 机械零件的失效预防	259
1.50 机械零件的失效预防	260
1.51 机械零件的失效预防	261
1.52 机械零件的失效预防	262
1.53 机械零件的失效预防	263
1.54 机械零件的失效预防	264
1.55 机械零件的失效预防	265
1.56 机械零件的失效预防	266
1.57 机械零件的失效预防	267
1.58 机械零件的失效预防	268
1.59 机械零件的失效预防	269
1.60 机械零件的失效预防	270
1.61 机械零件的失效预防	271
1.62 机械零件的失效预防	272
1.63 机械零件的失效预防	273
1.64 机械零件的失效预防	274
1.65 机械零件的失效预防	275
1.66 机械零件的失效预防	276
1.67 机械零件的失效预防	277
1.68 机械零件的失效预防	278
1.69 机械零件的失效预防	279
1.70 机械零件的失效预防	280
1.71 机械零件的失效预防	281
1.72 机械零件的失效预防	282
1.73 机械零件的失效预防	283
1.74 机械零件的失效预防	284
1.75 机械零件的失效预防	285
1.76 机械零件的失效预防	286
1.77 机械零件的失效预防	287
1.78 机械零件的失效预防	288
1.79 机械零件的失效预防	289
1.80 机械零件的失效预防	290
1.81 机械零件的失效预防	291
1.82 机械零件的失效预防	292
1.83 机械零件的失效预防	293
1.84 机械零件的失效预防	294
1.85 机械零件的失效预防	295
1.86 机械零件的失效预防	296
1.87 机械零件的失效预防	297
1.88 机械零件的失效预防	298
1.89 机械零件的失效预防	299
1.90 机械零件的失效预防	300
1.91 机械零件的失效预防	301
1.92 机械零件的失效预防	302
1.93 机械零件的失效预防	303
1.94 机械零件的失效预防	304
1.95 机械零件的失效预防	305
1.96 机械零件的失效预防	306
1.97 机械零件的失效预防	307
1.98 机械零件的失效预防	308
1.99 机械零件的失效预防	309
1.100 机械零件的失效预防	310

绪 论

材料用来制作器件、结构或其他产品,是生产和生活的物质基础。历史表明,生产中使用的材料品质直接反映人类社会的文明水平,所以历史学家根据制造生产工具的材料将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。国民经济的各个部门和人民的衣、食、住都离不开各种类型的材料。材料、能源、信息合称为现代社会的三大支柱,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学科之一,使之为新技术革命提供坚实的物质基础。

材料按经济部门可分为土建工程材料、机械工程材料、电工材料、电子材料等,按物质结构可分为金属材料、有机高分子材料、陶瓷材料等,按材料功用可分为结构材料、功能材料等。本教材所述及的主要是机械工程上所用的结构材料,并按物质的不同结构作些介绍。

约在 50 万年前,人类学会了用火。在六七千年以前,我们的祖先开始用火烧制陶器,到东汉出现了瓷器,于 9 世纪传至东非和阿拉伯地区,13 世纪传到日本,15 世纪传到欧洲,对世界文明产生了很大的影响,瓷器已成为中国文化的象征。

早在 5 千年前,我们的祖先就冶炼了红铜和青铜等铜合金;在商周时代(公元前 16 世纪至公元前 8 世纪),我国的青铜冶炼技术已达到了很高的水平,出土的商周时期的大量青铜礼器、生活用具、武器、农具等便是证明,而且有了相当的生产规模,能制造重达 875 kg 的司母戊鼎;湖北江陵楚墓中出土的两把越王勾践的剑,至今仍异常锋利,这些都是我国青铜器方面的杰出成就。在春秋时期(公元前 8 世纪至公元前 5 世纪)的《考工记》中,记载着有关青铜的成分、性能和用途之间关系的“六齐”规律,乃是世界上最早的有关冶金的工艺总结。

铁的应用较晚,到春秋时期(公元前 770—公元前 475 年),我国已开始大量使用铁器。兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇注农具用的铁型,说明当时冶铸技术已由砂型铸造进入金属型铸造的高级阶段。在西汉后期,我国就发明了炼钢方法——炒钢法,这种方法在英国 18 世纪才获得应用。

至于高分子材料,古代主要是用一些天然高分子材料,如木材、丝绸、棉、麻之类。

在材料的生产和使用方面,我们的祖先有过辉煌的成就,为人类文明做出了巨大的贡献,直到 17 世纪,我国一直处于领先地位。由于长期的封建统治,劳动人民的生产经验得不到应有的重视,不能及时总结提高,再加上近代百年来受到帝国主义的侵略及压迫,科学技术受到极大的抑制,我国的科学技术才日渐处于落后的状态。

在国外,随着 18 世纪中期开始的工业革命的兴起,对金属材料在数量和质量上都提出越来越高的要求。同时由于物理、化学、力学的发展,显微镜在金属研究中的应用,逐渐形成了一门材料科学——金属学。金属学是阐明金属的成分、组织与性能间关系的一门学科。近数十年来,由于电子显微镜、X 射线、放射性同位素和扫描电镜的应用,金属学得到了更进一步的发展。金属材料在各生产部门、世界各国得到极其广泛的应用。例如,一台东风型内燃机车重 127 t,其中钢占 95.5%,铸铁占 2.0%,有色金属占 2.5%;一辆载重汽车,其总重量的 71% 为钢,15% 为铸铁,

4%为橡胶,其余为各种有色金属、塑料、玻璃等;一般的机床,其自重的70%左右为铸铁,碳钢占20%,其余为合金钢及少量的有色金属、塑料等;造一艘万吨轮,所耗用的钢材就达万吨;建设一公里的铁路,就需要钢轨百余吨。所以,一个国家金属材料的产量或耗用量就体现着国民经济发展水平。现在我国的钢产量已从1949年的17万吨增至2010年的6亿3千万吨,占世界44.3%。可以肯定地说,在今后相当长的时间内,在机械制造业中应用最多的仍然是金属材料。

金属材料虽然具有许多优良的性能,但是一方面由于科学技术的发展对材料的要求越来越高,越来越严格,例如要求高硬度、高耐磨性、耐高温、耐腐蚀、高弹性、绝缘性能好、比强度大等,金属材料已难于胜任。另一方面,由于近数十年开始使用了高纯度的原料代替过去的天然物料来制备现代陶瓷,用人工方法合成新型有机高分子材料,使现代陶瓷和有机高分子材料具有了许多优异的性能,从而满足工农业生产及人们生活方面的需要。因此,人们开始把注意力转移到陶瓷和有机高分子复合材料方面,例如航天飞机外壁瓦片就是新型的陶瓷材料,吸收电磁波的隐身材料中就有高分子复合材料。2004年3月召开的国家技术发明奖大会颁发了两个一等奖,一个是高性能炭/炭航空制动材料,另一个是耐高温、长寿命、抗氧化陶瓷基复合材料。它们都属于材料学科方面的新成就,必将对我国航空航天工业的发展起到促进作用。

鉴于以上情况,关于金属材料的介绍仍是本书叙述的重点,希望通过本课程的学习能了解常用金属材料的成分、组织、性能之间的关系,了解强化金属材料的基本途径;掌握钢的热处理原理的基本概念,了解热处理工艺在机械零件加工工艺流程中的位置和作用;熟悉常用金属材料的牌号、成分、组织、性能及用途,为正确地选用材料提供理论依据;本书亦适当介绍非金属材料的性能特点和应用。

本门课程是一门偏重于叙述性的课程,考虑到低年级学生缺乏实际生产经验与感性认识,所以在讲授时辅之以课堂讨论,并配合实验和作业。

在后继课程(机械制造基础、机械设计等)和生产实习、课程设计、毕业设计等教学环节中,还会遇到和用到材料方面的知识,希望通过这些教学过程进一步巩固对材料方面知识的掌握。

作为结构材料应具备的最主要的性能是力学性能,即材料抵抗外力的能力。材料在各种外力作用下所表现出来的性能要通过各种不同的试验来测定。

第一节 静载时材料的力学性能

静载是指对试样缓慢加载。最常用的是静拉伸试验和硬度试验。

一、静拉伸试验

按 GB/T 228.1—2010 制作拉伸试样,在拉伸试验机上缓慢地进行拉伸,使试样承受轴向拉力 F ,并引起试样沿轴向产生伸长 ΔL (试验期间任一时刻原始标距(L_0)的增量 $\Delta L=L_t-L_0$),直到试样断裂,将拉力 F 除以试样的原始截面 S_0 为纵坐标(即拉应力 σ)。将 ΔL 除以试样原始长度 L_0 为横坐标(即伸长率 e),则可画出应力-伸长率图,如图 1-1 所示。

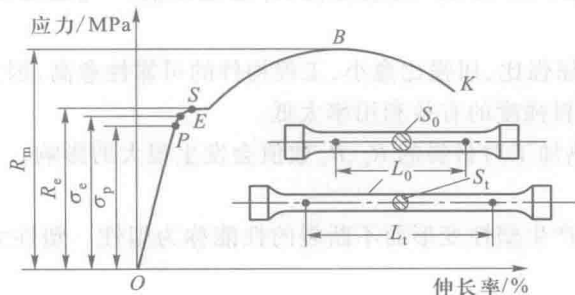


图 1-1 拉伸试样及低碳钢的应力-伸长率图

(一) 弹性和刚度

试验时,应力 σ 不超过 σ_p 时,应力与应变成正比,也就是说 OP 是直线,点 P 是保持这种关系的最高点, σ_p 称为比例极限。只要加载后的应力不超过 σ_e ,若卸载,试样能即刻恢复原状,这种不产生永久变形的性能,称为弹性。 σ_e 为不产生永久变形的最大应力,称为弹性极限。

σ_e 、 σ_p 很接近,在工程实际应用时,两者常取同一数值。

OP 的斜率为弹性模量 E ,它是衡量材料产生弹性变形难易的指标。 E 愈大,则使其产生一定量弹性变形的应力也愈大。因此,工程上把它称为材料的刚度。刚度表征材料弹性变形抗力的大小。

弹性模量 E 主要决定于材料本身,是金属材料最稳定的性能之一,合金化、热处理、冷热加工对它的影响很小。在室温下,钢的弹性模量 E 大都在 $1.9 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^5$ MPa 之间。弹性模量随着温度的升高而逐渐降低。

(二) 强度

在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。按外力作用方式不同,可分为抗拉、抗压、抗扭等,抗拉强度最常用。当承受拉力时,强度特性指标主要是屈服强度 R_e 和抗拉强度 R_m 。

1. 屈服强度 如图 1-1 所示,在点 S 出现一近似水平的锯齿形线段,这表示拉力虽然不再增加,但变形仍在进行,这种现象称为“屈服”。此时若卸载,试样的变形不能全部消失,将保留一部分残余的变形。这种不能恢复的残余变形,称为塑性变形。 R_e 即表示材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力,表示材料抵抗微量塑性变形的能力。由于在 GB/T 228.1—2010 中没有规定屈服强度的符号,本书采用 R_e 来表示,单位为 MPa。

有些材料的拉伸曲线上没有明显的屈服强度 R_e ,难于确定开始塑性变形的最低应力值,因此,规定试样产生 0.2% 残余应变时的应力值为该材料的条件屈服强度(称为规定残余延伸强度),以 $R_{0.2}$ 表示。

零(构)件在工作中一般不允许发生塑性变形。所以屈服强度 R_e 或 $R_{0.2}$ 是设计时的主要参数,是材料的重要力学性能指标。

2. 抗拉强度 抗拉强度为图 1-1 所示的 R_m 值,是试样被拉断前的最大承载能力,故又称强度极限,用 R_m 表示,单位为 MPa,它反映试样最大的均匀变形的抗力。当外力达到此应力时,试样的直径会发生局部收缩,即“缩颈”现象后,试样迅速断裂。 R_m 也是设计和选材的主要参数之一。

R_e 与 R_m 的比值称为屈强比,屈强比愈小,工程构件的可靠性愈高,因为万一超载也不至马上断裂。屈强比太小,则材料强度的有效利用率太低。

合金化、热处理、冷热加工对材料的 R_e 、 R_m 数值会发生很大的影响。

(三) 塑性

材料在外力作用下,产生塑性变形而不断裂的性能称为塑性。塑性大小用伸长率 A 和断面收缩率 Z 来表示。

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$Z = \frac{S_u - S_0}{S_0} \times 100\%$$

式中: L_u ——试样拉断后的长度, mm;

L_0 ——试样原始长度, mm;

S_u ——试样拉断处的最小横截面积, mm²;

S_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

A 、 Z 愈大,表示材料的塑性愈好。由于 A 值与试样尺寸有关,为了便于比较,必须采用标准试样尺寸。对于比例试样(指试样原始标距与原始横截面积有 $L_0 = k(S_0)^{1/2}$ 关系者),当原始标距 L_0 等于 $5.65(S_0)^{1/2}$ 倍时,测得的断后伸长率用 A 表示;当原始标距 L_0 不满足该条件时,符号 A 应附以下脚注说明所使用的比例系数,例如 $A_{11.3}$ 表示原始标距 $L_0 = 11.3(S_0)^{1/2}$ 的断后伸长率。

金属材料应具有一定的塑性才能顺利地承受各种变形加工;另一方面材料具有一定塑性,可以提高零件使用的可靠性,防止突然断裂。

目前,金属材料室温拉伸实验方法采用最新标准为 GB/T 228.1—2010,但是由于现在原有各有关手册和有关工厂企业所使用的金属力学性能数据均是按照国家标准 GB/T 228—1987《金属拉伸试验方法》的规定测定和标注的,因此本书为方便读者阅读,列出了新、旧标准关于金属材料强度与塑性有关指标的名词术语及符号对照表,见表 1-1。

表 1-1 新、旧标准金属材料强度与塑性有关指标的名词术语及符号对照

GB/T 228.1—2010		GB/T 228—1987	
名词术语	符号	名词术语	符号
屈服强度	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
规定残余伸长强度	R_r , 如 $R_{r0.2}$	规定残余伸长应力	σ_r , 如 $\sigma_{r0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
断后伸长率	A 和 $A_{11.3}$	断后伸长率	δ_5 和 δ_{10}
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ

二、硬度

硬度是指金属表面抵抗其他硬物压入的能力,或者说是材料对局部塑性变形的抗力。工程上常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(一) 布氏硬度

按 GB/T 231.1—2009 规定,采用相应的试验力 F ,将直径为 D (mm) 的硬质合金球压入金属材料的表层,经过规定的保持时间后,卸除试验力,即得到一直径为 d (mm) 的压痕,如图 1-2 所示。载荷除以压痕表面积所得之值即为布氏硬度,以 HBW 表示。

从几何关系可求得

$$HBW = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

当试验压力的单位为 N 时,则

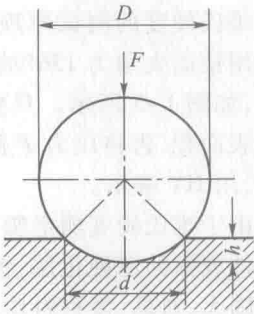


图 1-2 布氏硬度试验原理图

$$HBW=0.102\frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$$

上式中只有 d 为变量,因此,只要在试验后测出压痕平均直径 d ,即可求得布氏硬度值。单位为 MPa,但习惯上不标出。

金属布氏硬度试验适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。表示布氏硬度时,在符号 HBW 之前为硬度值,符号后面按一定顺序用数值表示试验条件(球体直径、试验力大小和保持时间等)。当保持时间为 10~15 s 时,不需标注。例如,350HBW5/750 表示用直径为 5 mm 的硬质合金球在 7.355 kN(750 kgf)试验力作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 350;600HBW1/30/20 表示用直径 1 mm 的硬质合金球在 294.2 N(30 kgf)试验力作用下保持 20 s 测得的布氏硬度值为 600。

在旧标准 GB/T 231—1984 中曾规定,在测量退火、正火、调质钢及铸铁、有色合金等硬度小于 450 HB 的较软金属时,可用淬火钢球作为压头压入被测材料,所测出的硬度以 HBS 表示。

布氏硬度试验的优点是测定结果较准确,不足之处是压痕大,不适合成品检验。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是以一特定的压头加上一定的压力压入被测材料,根据压痕的深度来度量材料的软硬,压痕愈深,硬度愈低。被测材料的硬度可直接在硬度计刻度盘上读出。

按照 GB/T 230.1—2009,所采用的压头和试验力的不同,洛氏硬度分为 A、B、C、D 等 11 种标尺,其中 A、B、C 三种如表 1-2 所示。洛氏硬度用硬度值、符号、使用的标尺和球压头代号(钢球为 S,硬质合金球为 W)表示。例如,59HRC 表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 59;60HRBW 表示用硬质合金球在 B 标尺上测得的洛氏硬度值为 60。

表 1-2 洛氏硬度符号、试验条件和应用举例

硬度符号	压头类型	总压力/kgf	应用举例(被测材料)
HRA	120°金刚石圆锥	60	硬质合金、表面淬火钢
HRB	φ1.587 5 mm 的球	100	软钢、退火钢、铜合金
HRC	120°金刚石圆锥	150	淬火钢件

洛氏硬度测量简便易行,压痕小,甚至可以检测较薄工件或表面较薄的硬化层的硬度。在生产中以 HRC 应用最多。

(三) 维氏硬度

维氏硬度的测试原理与布氏硬度基本相同,不同之处在于压头采用锥面夹角为 136°的金刚石正四棱锥体,其压痕为一正四方锥形,如图 1-3 所示。只要测出压痕对角线的长度 d 即可计算压痕的表面积,再将压力 F 除以压痕的表面积,所得之值,即为维氏硬度,用 HV 表示。

由于维氏硬度测定所用的试验力小,压痕浅,故特别适用于测定零件表面的薄硬化层、镀层及薄片材料的硬度。此外,试验力可调范围大,对软、硬材料均适用。

值得注意的是,上述三种硬度值之间不能直接进行比较,必须通过相应的硬度换算表换算成同一种硬度值后,才可进行比较。

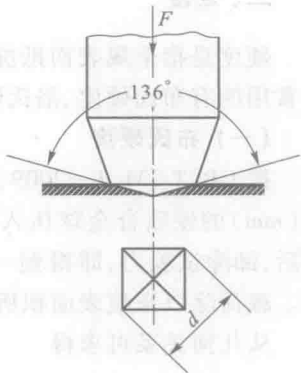


图 1-3 维氏硬度试验原理图

由于硬度测试方便、迅速,又不必破坏工件,而且硬度与抗拉强度之间存在一定的对应关系。例如,工程上已总结出如下的经验公式:

低碳钢: $R_m \approx 3.53 \text{ HBW}$

高碳钢: $R_m \approx 3.33 \text{ HBW}$

合金调质钢: $R_m \approx 3.19 \text{ HBW}$

灰铸铁: $R_m \approx 0.98 \text{ HBW}$

退火铝合金: $R_m \approx 4.70 \text{ HBW}$

硬度测定的详细办法,实验课中介绍。

第二节 动载时材料的力学性能

许多机械零件在动载下工作。材料对动载外力的抗力,就不能简单地用静载力学性能指标来衡量。动载主要有两种形式:一是载荷以较高速度施加到零构件上,形成冲击;二是载荷的大小和方向作周期性变化,形成交变载荷。

一、冲击韧度

在工程上,冲击载荷是一类重要的动载形式,常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧度 a_{KU} ^①(或冲击韧性值),其测试方法是按GB 229—1984 制成带有 U 型缺口的标准试样,将具有质量 $G(\text{kg})$ 的摆锤举至高度为 $H_1(\text{m})$,使之自由落下(图 1-4),将试样冲断后,摆锤升至高度 $H_2(\text{m})$ 。如试样断口处的截面积为 $S(\text{cm}^2)$,则冲击韧度 a_{KU} 为:

$$a_{KU} = \frac{GH_1 - GH_2}{S} \times 9.8 \text{ J/cm}^2$$

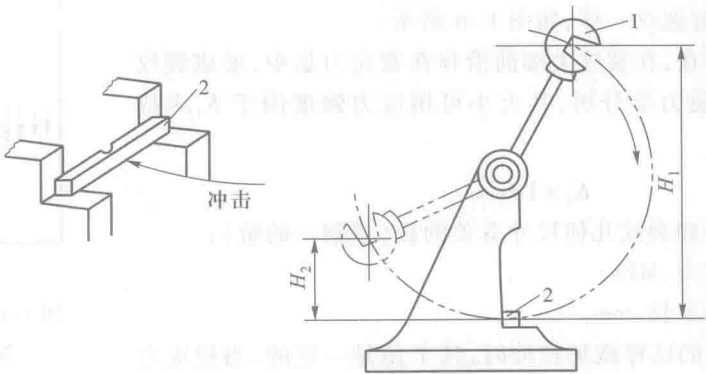


图 1-4 冲击试验示意图

1—摆锤;2—试样

① GB 229—1984 规定,采用 U 型缺口的冲击试样的冲击韧度以 a_{KU} 表示,采用 V 型缺口的试样的冲击韧度以 a_{KV} 表示,亦有冲击试样不加缺口,根据不同牌号的材料选用。

在新标准 GB/T 229—2007 中,用冲击吸收能量 K 来表示材料抵抗冲击载荷的能力。例如 KU_2 (或 KV_2) 表示 U 型缺口试样 (或 V 型缺口试样) 在 2 mm 摆锤刀刃下的冲击吸收能量。由于目前企业产生中的数据仍以旧标准规定的为主,所以本书暂时保留旧标准的使用。

冲击韧度或冲击吸收能量的大小除取决于材料本身外,还受环境温度、试样大小、缺口形状等因素影响。

二、疲劳强度

许多机械零件,如弹簧、轴、齿轮等,在工作时承受交变应力,即使交变应力往往低于屈服强度,但经一定循环次数后便发生断裂。实验证明,金属材料能承受的交变应力 σ 与断裂前应力循环次数 N 有如图 1-5 所示的规律。

由图可知,当 σ 低于某一值时,曲线与横坐标平行,表示材料可经无限次循环而不断裂,这一应力称为疲劳强度。用 σ_{-1} 表示光滑试样对称弯曲疲劳强度。

工程上指的疲劳强度,是指在一定的循环次数下不发生断裂的最大应力,一般规定钢铁材料的循环次数为 10^7 ,有色金属为 10^8 。

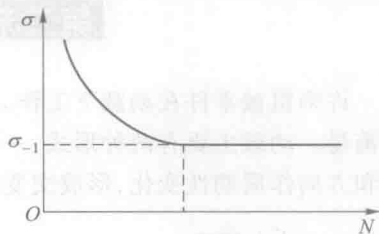


图 1-5 疲劳曲线

发生疲劳断裂的原因,可能是由于材料内部的缺陷,或是由于加工过程中所形成的磨痕、刀痕,或是由于零件局部应力集中导致产生的裂纹等。

第三节 断裂韧性

工程上实际使用的材料中,常常存在一定的缺陷,例如夹杂物、气孔等,亦有可能是在加工过程中或是在使用过程中产生的缺陷。这些缺陷破坏了材料的连续性,如材料中存在着裂纹一样,如图 1-6 所示。

由于裂纹的存在,在裂纹尖端前沿存在着应力集中,形成裂纹尖端应力场,按断裂力学分析,其大小可用应力强度因子 K_I 来描述, K_I 可表达为:

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a}$$

式中: Y ——与试样和裂纹几何尺寸有关的量(量纲一的量);

σ ——外加应力,MPa;

a ——裂纹的半长,mm。

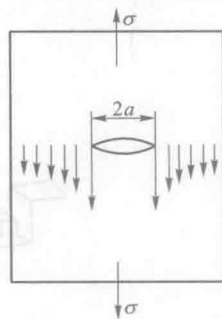


图 1-6 具有张开型裂纹的试样

对一个有裂纹的试样施加拉伸时,其 Y 值是一定的,当拉应力 σ 逐渐增大时,裂纹尖端的应力强度因子 K_I 也逐渐增大,当 K_I 增大到某一定值时,就能使裂纹前沿的内应力大到足以使材料分离,从而使裂纹产生失稳扩展,发生断裂,这个应力强度因子的临界值,称为材料的断裂韧性,用 K_{Ic} 表示。它反映材料有裂纹存在时,抵抗脆性断裂的能力。 K_{Ic} 可通过试验来测定,它是材料本身的特性,与材料成分、热处理及加工工艺等有关。

断裂韧性为安全设计提供了一个重要的力学性能指标。

上面介绍了结构材料的几个主要性能,但零(构)件服役的环境是多种多样的,如有的零件在高温下工作,有的零件在低温下工作,那么在室温下测定的性能指标就不能代表它在高温或低温下的性能;有的零件在腐蚀性的介质中工作,有的零件在严重的磨损条件下工作,那么就要研究它的耐蚀或耐磨性能;各种材料要经不同加工方法加工成零件才能使用,各种加工方法又对各种材料提出各工艺性能要求,这些将在以后有关章节中介绍。

复习与思考题

- 1-1 名词解释
 R_m 、 R_e 、 σ_p 、 σ_s 、 $\sigma_{0.2}$ 、 E 、 A 、 Z 、HBS、HBW4/300/20、HRC、HRBW、 a_K 、 KU_2 、HV、 σ_{-1} 、 K_{1C} 。
- 1-2 试分别讨论布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度适用及不适用于什么场合。

凡金属材料,在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。

材料科学基础

金属材料

金属材料是指由金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。



图 1-1 金属材料、非金属材料、复合材料

金属材料是指由金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。金属材料在室温下测定的性能指标,称为室温性能指标。