

高职高专规划教材

机械工程材料 及成形工艺基础

张至丰 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专规划教材

机械工程材料及成形 工艺基础

主 编 张至丰
 副主编 罗建军 罗晓晔 李志宏
 参 编 万金彪 刘雪华 王桂荣 宫成立
 李淑清 曲爱玲 于艳丽
 主 审 严绍华

江苏工业学院图书馆
藏 书 章



机械工业出版社

本书是依据教育部颁布的“高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学要求”，总结高职高专教学改革成果，结合参编人员多年教学实践经验编写的。

本书共分 13 章，系统阐述了金属材料的力学性能，金属学基础知识，钢的热处理，常用金属材料，非金属材料与复合材料，铸造、锻压、焊接的成形工艺，机械零件的毛坯成形综合选材与工艺路线等内容。每章后附有思考题与练习题。本书的材料牌号、单位、名词术语等均采用国家新标准。

本书为高职高专院校机械类、近机械类专业教材，也适合职工大学、业余大学、中等专业学校选用，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料及成形工艺基础/张至丰主编. —北京: 机械工业出版社, 2007.3

高职高专规划教材

ISBN 978-7-111-20954-6

I. 机… II. 张… III. 机械制造材料-成形-工艺-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 025122 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: 王海峰 版式设计: 霍永明 责任校对: 吴美英

封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·462 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-20954-6

定价: 28.00 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) 68354423

封面无防伪标均为盗版

前言

本教材是根据教育部制定的“高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学基本要求”，根据培养生产第一线需要高等技术应用型人才为目标要求，结合近年高职高专院校教改经验和教学实践，组织教学一线的教师编写的。

“机械工程材料及成形工艺基础”是一门重要的技术基础课。本教材在内容和体系上进行了较大改革，删除了传统成形工艺的陈旧内容，突出了成形工艺方法与之相关主要设备的基本原理，着重以培养分析零件结构工艺性和选择成形工艺方法的基本素质为主线，大幅度增加了新材料、新工艺、新技术的内容，对各种材料成形工艺方法进行了归纳总结。教材中引入了一部分工艺设计常用资料，突出了其实用性与综合性，既考虑到便于课后使用，又有利于学生自学。本教材名词术语等均采用最新国家标准。各章都附有难度不等的思考题与练习题，以满足不同课时教学的要求，供不同层次学生复习使用。

本教材可作为高职高专院校机械类、近机械类专业用教材，也可供有关工程技术人员参考。使用教材时可结合各专业的具体情况进行调整，有些内容可供学生自学。

参加本教材编写的有杭州职业技术学院张至丰、罗晓晔、王桂荣，福建工程学院刘雪华，江西机电职业技术学院罗建军、于艳丽，温州职业技术学院万金彪，四川工程职业技术学院李志宏，沈阳职业技术学院官成立、李淑清，北京汽车工业学校曲爱玲。本书由张至丰任主编，罗建军、罗晓晔、李志宏任副主编。

本教材特聘清华大学严绍华教授担任主审。严教授对书稿内容提出了许多宝贵意见，对此，谨致诚挚的谢意。

参加本教材审稿的还有杭州电子科技大学何发昌教授、福建工程学院陈抗生副教授，在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2006年5月于杭州

常用符号表

$\sigma_{p0.01}$	规定非比例拉伸应力	Ld	莱氏体
σ_s	屈服点	Ld'	变态莱氏体
$\sigma_{0.2}$	屈服强度	A ₁	共析转变平衡相变点
σ_b	抗拉强度 (强度极限)	A ₃	铁素体 \Rightarrow 奥氏体转变点
σ_{-1}	对称循环载荷下测定的疲劳极限	A _{cm}	奥氏体析出或溶入渗碳体的平衡相变点
δ	伸长率; 板料厚度	Ac ₁ 、Ac ₃ 、Ac _{cm}	加热时的相变点
δ_5	短试样 ($l_0 = 5d_0$) 伸长率	Ar ₁ 、Ar ₃ 、Ar _{cm}	冷却时的相变点
δ_{10}	长试样 ($l_0 = 10d_0$) 伸长率	v_k	临界冷却速度
Ψ	断面收缩率	S	索氏体 (细珠光体)
A_K	冲击吸收功	T	托氏体 (极细珠光体)
HBW	布氏硬度	B	贝氏体
HRA	洛氏 A 标度硬度	M	马氏体
HRB	洛氏 B 标度硬度	M _c	合金元素
HRC	洛氏 C 标度硬度	M _s	马氏体转变开始温度
HV	维氏硬度	M _f	马氏体转变终止温度
L	液相、液态、液体	CE	碳当量
T 或 t	温度	IT	尺寸精度
$T_{再}$	热力学温度表示的金属再结晶温度	CT	尺寸公差等级
N	结晶过程中的形核率	MA	加工余量等级
G, G	结晶过程中的线长大速度; 石墨	R _a	表面粗糙度
w _C	碳的质量分数	MPa	强度单位
F, F	铁素体; 载荷	m	拉深系数
A	奥氏体	τ	切应力
A'	残留奥氏体	K	热力学温度
Fe ₃ C	渗碳体	Y	锻造比
P	珠光体	ρ	材料密度
		Z	凸凹模间隙

目 录

前言 三

常用符号表 五

绪论 1

第一章 金属材料的力学性能 2

 第一节 强度与塑性 2

 一、拉伸试验 2

 二、强度 3

 三、塑性 4

 第二节 硬度 4

 一、布氏硬度试验 4

 二、洛氏硬度试验 5

 三、维氏硬度试验 6

 第三节 冲击韧度 7

 一、冲击试验方法与原理 7

 二、冲击试验的实际意义 8

 第四节 疲劳 9

 一、疲劳概念 9

 二、疲劳曲线与疲劳极限 9

 三、提高材料疲劳极限的途径 10

 第五节 断裂韧度 10

 一、裂纹扩展的基本形式 10

 二、应力场强度因子 K_{I} 10

 三、断裂韧度 K_{Ic} 及其应用 11

 思考题与练习题 11

第二章 纯金属与合金的晶体结构 13

 第一节 纯金属的晶体结构 13

 一、晶体与非晶体 13

 二、晶体结构的基本知识 13

 三、金属特性和金属键 14

 四、常见金属晶格类型 14

 五、晶体结构致密度 15

 六、晶面与晶向 16

 第二节 合金的晶体结构 17

 一、合金的基本概念 17

 二、合金的相结构 17

 第三节 金属的实际晶体结构 20

 一、单晶体与多晶体 20

 二、晶体中的缺陷 20

 思考题与练习题 22

第三章 纯金属与合金的结晶 23

 第一节 纯金属的结晶 23

 一、纯金属的冷却曲线和过冷现象 23

 二、纯金属的结晶过程 24

 三、晶粒大小对金属力学性能的影响 24

 四、同素异构转变 24

 第二节 合金的结晶 25

 一、二元合金相图的建立 25

 二、匀晶相图 26

 三、共晶相图 27

 四、共析相图 30

 五、合金性能与相图间关系 30

 思考题与练习题 31

第四章 铁碳合金相图 32

 第一节 铁碳合金的基本相 33

 一、铁素体 33

 二、奥氏体 34

 三、渗碳体 34

 第二节 铁碳合金相图分析 34

 一、相图中各点分析 34

 二、相图中各线分析 35

 三、铁碳合金分类 36

 第三节 典型铁碳合金的平衡结晶过程 36

 一、合金 I (共析钢) 36

 二、合金 II (亚共析钢) 37

 三、合金 III (过共析钢) 38

 四、合金 IV (共晶白口铸铁) 39

 五、合金 V (亚共晶白口铸铁) 40

 六、合金 VI (过共晶白口铸铁) 40

 第四节 铁碳合金的成分、组织与性能间的关系 41

 一、碳的质量分数对平衡组织的影响 41

 二、碳的质量分数对力学性能的影响 41

 三、碳的质量分数对工艺性能的影响 42

 思考题与练习题 43

第五章 钢的热处理 45

第一节 钢在加热时的组织转变	45	二、合金元素对铁碳合金相图的影响	74
一、奥氏体的形成	45	三、合金元素对钢的热处理的影响	75
二、奥氏体晶粒长大及其控制	46	第四节 结构钢	77
第二节 钢在冷却时的组织转变	48	一、工程结构用结构钢	77
一、过冷奥氏体的等温转变	48	二、机器零件用结构钢	80
二、过冷奥氏体的连续冷却转变	50	三、其他结构钢	91
三、马氏体转变	52	第五节 工具钢	94
第三节 钢的退火与正火	54	一、刀具钢	94
一、退火	54	二、模具钢	100
二、正火	56	三、量具钢	104
三、退火和正火的选择	56	第六节 特殊性能钢	105
第四节 钢的淬火	56	一、不锈钢	105
一、钢的淬火工艺	57	二、耐热钢	108
二、淬火方法	57	三、耐磨钢	110
三、钢的淬透性与淬硬性	59	思考题与练习题	111
第五节 钢的回火	60	第七章 铸铁	113
一、回火的目的	61	第一节 铸铁的石墨化	113
二、淬火钢在回火时的组织转变	61	一、铁碳合金双重相图	113
三、回火的种类与应用	61	二、石墨化过程及影响因素	114
四、回火脆性	62	第二节 灰铸铁	115
第六节 钢的表面淬火	62	一、灰铸铁的化学成分、组织和性能	116
一、感应加热表面淬火的基本原理	63	二、灰铸铁的孕育处理	117
二、感应加热表面淬火用钢及其应用	63	三、灰铸铁的牌号和应用	117
三、感应加热表面淬火的特点	63	四、灰铸铁的热处理	118
第七节 钢的化学热处理	64	第三节 球墨铸铁	118
一、渗碳	64	一、球墨铸铁的化学成分、组织	
二、渗氮	66	和性能	118
三、钢的碳氮共渗	67	二、球墨铸铁的牌号和应用	120
第八节 表面气相沉积	67	三、球墨铸铁的热处理	120
一、表面气相沉积的方法	67	第四节 蠕墨铸铁	122
二、表面气相沉积的应用	68	一、蠕墨铸铁的化学成分、组织	
思考题与练习题	69	和性能	122
第六章 常用钢材及选用	70	二、蠕墨铸铁的牌号和应用	122
第一节 钢的分类与编号	70	三、蠕墨铸铁的热处理	123
一、钢的分类	70	第五节 可锻铸铁	123
二、钢的编号	71	一、可锻铸铁的化学成分和组织	123
第二节 钢中常存杂质元素的影响	72	二、可锻铸铁的牌号、性能和应用	124
一、硅的影响	72	第六节 合金铸铁	125
二、锰的影响	72	一、耐磨铸铁	125
三、硫的影响	72	二、耐热铸铁	125
四、磷的影响	72	三、耐蚀铸铁	126
第三节 合金元素在钢中的作用	72	思考题与练习题	126
一、合金元素在钢中的存在形式	73	第八章 非铁金属及粉末冶金材料	128

第一节 铝及铝合金	128	二、合金的收缩性	169
一、工业纯铝	128	第二节 砂型铸造工艺设计	172
二、铝合金的分类	128	一、造型方法的选择	172
三、铝合金的热处理	129	二、浇注位置与分型面的选择	173
四、变形铝合金	129	三、铸造工艺参数的确定	177
五、铸造铝合金	131	四、型芯的设计	179
第二节 铜及铜合金	134	五、铸造工艺设计举例	180
一、工业纯铜	134	第三节 特种铸造	182
二、黄铜	134	一、熔模铸造	183
三、青铜	135	二、金属型铸造	184
第三节 轴承合金	138	三、压力铸造	185
一、对轴承合金性能的要求	138	四、低压铸造	186
二、轴承合金的组织特征	138	五、离心铸造	187
三、常用轴承合金	139	六、实型铸造	188
第四节 粉末冶金材料	140	七、常用铸造方法的比较	189
一、粉末冶金工艺简介	141	第四节 铸件结构设计	190
二、粉末冶金材料的应用	141	一、铸件质量对铸件结构的要求	190
思考题与练习题	143	二、铸造工艺对铸件结构的要求	193
第九章 非金属材料及成形	145	第五节 铸件质量与成本分析	196
第一节 高分子材料	145	一、铸件的主要缺陷及其防止措施	196
一、基本概念	145	二、铸件成本分析	197
二、高分子化合物的合成	146	思考题与练习题	198
三、高分子材料的分类与命名	147	第十一章 锻压成形工艺	200
四、工程塑料	148	第一节 金属的塑性变形	200
第二节 陶瓷材料	153	一、金属塑性变形的实质	200
一、陶瓷材料的分类	153	二、金属的冷塑性变形、回复	202
二、陶瓷材料的性能特点	153	及再结晶	202
三、常用陶瓷的种类、性能和应用	154	三、锻造流线及锻造比	204
第三节 复合材料	155	四、金属的锻造性能	205
一、复合材料的分类	155	第二节 坯料加热和锻件冷却	206
二、复合材料的性能	155	一、坯料的加热	206
三、复合材料的制造方法	156	二、锻件的冷却	207
四、常用复合材料及其应用	157	第三节 自由锻	207
第四节 纳米材料及功能材料	158	一、自由锻设备	207
一、纳米材料	158	二、自由锻的基本工序	208
二、超导材料	161	三、自由锻工艺规程的制订	210
三、储氢合金	163	四、自由锻锻件结构工艺性	216
四、形状记忆合金	164	第四节 模锻	217
五、非晶态合金	165	一、锤上模锻	217
思考题与练习题	166	二、胎模锻	221
第十章 铸造成形工艺	167	三、压力机上模锻	223
第一节 合金的铸造性能	168	第五节 板料冲压	225
一、合金的流动性	168	一、板料冲压的基本工序	226

绪 论

机械工程材料及其成形工艺基础是一门研究材料成形方法的技术基础课。作为机械类及近机类各专业的主干课程之一，本课程在奠定专业基础、拓宽知识面、提高综合素质方面起着重要作用。

在机械制造工艺过程中，通常是先用铸造、锻压、焊接、非金属材料成形等方法制成毛坯，再经切削加工得到所需零件，为了改善零件某些性能，常要进行热处理，最后将零件装配成机械设备。因此，这些成形方法是各类机械制造生产中不可缺少的重要环节。

工程材料及其成形工艺是人类长期在生产实践中发展起来的一门科学。我国是世界上应用铜、铁最早的国家。远在新石器时代（距今 6000 多年）开始，就已会冶炼和应用黄铜。至商周时期，青铜冶炼、铸造技术已达到很高水平。如当时铸造的重达 875kg 的祭品司母戊鼎，外形尺寸 133cm × 78cm × 110cm，是迄今世界上最古老的大型青铜器。战国时期开始大量使用铁器，广泛应用于辘轳、滑轮、绞车以及各种兵器、战车和战船中。秦汉时期，金属材料的冶铸、锻焊技术已达到相当高的水平，出现了齿轮和链条等传动系统。从秦公一号墓出土的铁铲、铁权，比世界上其他国家发现的最早铁器工具要早 1800 多年。与此同时，我国劳动人民在长期的生产实践中，总结出一套较完整的金属加工工艺经验。如先秦时代的《考工记》、宋代沈括的《梦溪笔谈》、明代宋应星的《天工开物》等著作中，都记载了冶炼、铸造、锻焊、淬火等各种金属加工方法。尤其是《天工开物》，可谓是一部金属材料加工工艺的“百科全书”，是世界上最早的金属加工工艺科学著作。

新中国成立后，特别是改革开放以来，我国科学技术突飞猛进的发展，2005 年钢铁年产量达到了 3 亿 t，居世界第一位，有力地推动了我国机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、航天航空等现代化工业的发展，同时，现代化的机械制造先进技术在我国已得到了广泛的应用。

机械工程材料及其成形工艺基础课程是一门综合性的技术基础课，是机械类、近机类各专业的必修课。其特点一是课程内容的广泛性、综合性、工艺方法的多样性；另一特点是实践性很强。课堂内容不但涉及金属材料、非金属材料及其成形工艺，而且和质量检验、经济性紧密联系，其工艺既可以单独应用，也可以优化组合。其评价标准，在满足性能的前提下，视经济效益高低而定。本课程的讲授内容，来自生产实际和科学实验总结。为此，要特别注意联系生产实际。

本课程的任务是使学生获得有关工程结构和机器零件常用金属材料、非金属材料主要性能特点，成形工艺特点，应用范围，合理选择毛坯材料的知识，初步掌握常用工程材料的成形工艺方法及工艺分析的能力，掌握毛坯结构工艺性并具有设计毛坯和零件结构的初步能力。

学习本课程时，在内容上既要注意理解基本概念、基本原理，又要注意工艺特点，逐步熟悉常用技术名词、符号、常用材料牌号和必要的工艺参数。在理论学习外，还要注意密切联系生产实际。本课程的实践性强，必须在金工教学实习、参观中获得感性认识的基础上进行课堂教学，才能收到预期效果。课堂中有些工艺知识等内容，尚需在后续课程教学、课程设计、毕业设计中提高，才能较好地掌握和运用。

第一章 金属材料的力学性能

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。使用性能是指为保证机械零件能正常工作，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过程中，金属材料适应各种冷、热加工工艺要求的能力，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性等。

机械零件在使用过程中，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。力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳极限、断裂韧度等，它们是设计机械零件选材时的重要依据。

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测定。国家标准 GB/T 228—2002 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。

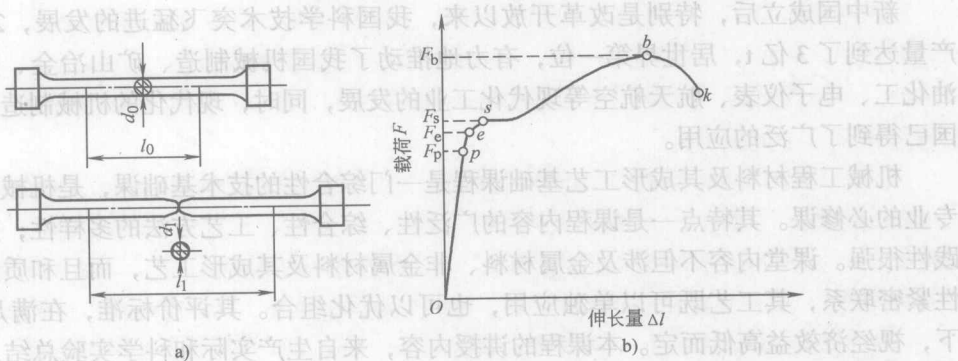


图 1-1 拉伸试样与力-伸长曲线

a) 拉伸试样 b) 力-伸长曲线

图中 d_0 为试样直径， L_0 为原始标距。根据标距与直径之间有关系，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 所示为低碳钢力-伸长曲线。由图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，其载荷与伸

长量关系分为以下几个阶段。

当载荷不超过 F_p 时, 拉伸曲线 O_p 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 O_p 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值称为屈服点, 用符号 σ_s 表示。

$$\sigma_s = F_s / A_0$$

式中 F_s ——试样发生屈服时的载荷 (N);

A_0 ——试样的原始横截面积 (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, 无法确定其屈服点 σ_s , 按 GB/T 228 规定, 可用屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 来表示该材料开始产生塑性变形时的最低应力值, 如图 1-2 所示。屈服强度为试样标距部分产生 0.2% 残余伸长时的应力值, 即

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / A_0$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样标距产生 0.2% 残余伸长时的载荷 (N);

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

对大多数机器零件, 不仅是在断裂时形成失效, 而往往是在发生塑性变形丧失了尺寸和公差的控制时就形成了失效, 因此常将 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 确定为材料的许用应力, 作为机器零件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值称为抗拉强度, 用符号 σ_b 表示。

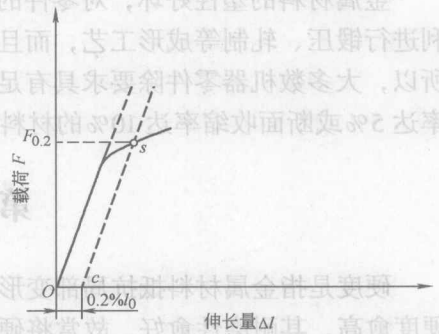


图 1-2 屈服强度的测定

$$\sigma_b = F_b / A_0$$

式中 F_b ——试样在断裂前所承受的载荷 (N);

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

由力-伸长曲线可见, 抗拉强度是表示塑性材料抵抗大量均匀塑性变形的能力。脆性材料在拉伸过程中, 一般不产生颈缩现象, 因此抗拉强度 σ_b 就是材料的断裂强度。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。

$$\delta = L_1 - L_0 / L_0 \times 100\%$$

$$\psi = A_0 - A_1 / A_0 \times 100\%$$

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 ——试样拉断后颈缩处最小横截面积 (mm^2)。

材料的伸长率随标距增加而减小。对于同一种材料, 用短试样测得的伸长率大于用长试样测得的伸长率, 即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。通常, 试验时优先选取短的比例试样。比较不同材料的伸长率时, 应采用尺寸规格一样的试样。而断面收缩率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意义。塑性好的材料不仅能顺利进行锻压、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, 大多数机器零件除要求具有足够的强度外, 还必须具有一定的塑性。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。通常, 材料的硬度愈高, 其耐磨性愈好, 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 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 的硬质合金球, 在规定试验力压入试样表面, 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。布氏硬度用符号 HBW 表示。

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

式中 F ——试验力 (N);

A ——压痕表面积 (mm^2);
 d ——压痕平均直径 (mm);
 D ——硬质合金球直径 (mm).

布氏硬度的单位为 MPa, 但习惯上只写明硬度值, 而不标出单位。一般硬度符号 HBW 前面为硬度值, 符号后面数值表示试验条件指标, 依次表示球体直径、试验力大小及试验保持时间 (保持时间为 10~15s 时不标注)。如 600HBW/30/20 表示用 1mm 直径的硬质合金球, 在 294N 试验力下保持 20s, 测得硬度值为 600。

2. 选择试验规范

硬度试验应根据被测金属材料的种类和试样厚度, 选用不同大小的球体直径 D , 施加的试验力 F 和试验力保持时间, 按表 1-1 所列的布氏硬度试验规范正确选择。按 GB/T 231.1—2002 规定, 球体直径有 10mm、5mm、2.5mm 和 1mm 四种, 试验力 (单位为 kgf^{\ominus}) 与球体直径平方的比值 (F/D^2) 有 30、15、10、5、2.5 和 1 共 6 种, 可根据金属材料的种类和布氏硬度范围选定。试验力保持时间为 10~15s。

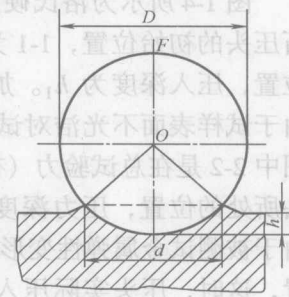


图 1-3 布氏硬度试验原理图

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 ~ 200	10	
	> 130	30	
轻金属及其合金	< 35	25	
	35 ~ 80	10	
铅、锡	> 80	10	
	80 ~ 200	1	

由布氏硬度值计算公式可以看出, 当所加试验力 F 和硬质合金球直径 D 已选定时, 硬度值 HBW 只与压痕直径 d 有关。 d 越大, 则 HBW 值越大, 表明材料越硬。实际测试时, 用刻度放大镜测出压痕直径 d , 然后根据 d 值查表, 即可求得所测的硬度值。

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, 所得值也较准确。缺点是: 对金属表面的损伤较大, 不易测试太薄工件的硬度, 也不适于测定成品件硬度。布氏硬度试验常用来测定原材料、半成品和性能不均匀材料 (如铸铁) 的硬度。

二、洛氏硬度试验

1. 试验原理

\ominus kgf 为非法定计量单位, 此处暂保留, $1\text{kgf}=9.8\text{N}$ 。

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 所示为洛氏硬度试验原理图。图中 0-0 为金刚石压头的初始位置，1-1 为在初试验力作用下压头所处的位置，压入深度为 h_1 。加入初试验力的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不良影响。图中 2-2 是在总试验力（初试验力 + 主试验力）作用下压头所处的位置，压力深度为 h_2 ，3-3 是卸除主试验力后，由于被测试金属弹性变形恢复，而使压头略为提高时的位置，这时，压头实际压入试样深度为 h_3 。故由主试验力引起的塑性变形而产生的残余压痕深度 $h = h_3 - h_1$ ，并以此来衡量被测试金属的硬度。显然， h 值愈大，被测试金属的硬度愈低；反之则愈高。为了照顾习惯上数值愈大，硬度愈高的概念，根据 h 值及常数 K 和 S ，用以下公式计算洛氏硬度：

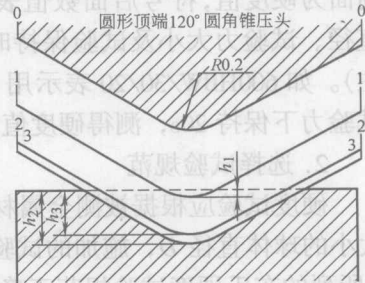


图 1-4 洛氏硬度试验原理图

$$\text{洛氏硬度} = \frac{K - h}{S}$$

式中， K 为给定标尺的硬度数， S 为给定标尺的单位，通常以 0.002 为一个硬度单位。

2. 常用洛氏硬度标尺及适用范围

为了能用一种硬变测定较大范围的硬度，洛氏硬度采用了常用三种硬度标尺，分别用 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条件和应用

标尺	硬度符号	所用压头	总试验力 F/N	适用范围 ^① HR	应用范围
A	HRA	金刚石圆锥	588.4	20~88	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢
B	HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 钢球	980.7	20~100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
C	HRC	金刚石圆锥	1471	20~70	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

① HRA、HRC 所用刻度盘满刻度为 100，HRB 为 130。

洛氏硬度值没有量纲，它置于符号 HR 的前面，HR 后面为使用的标尺。例如，60HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 60。实际测量时，硬度值一般均由硬度计的刻度盘上直接读出。

3. 试验优缺点

洛氏硬度试验的优点是：操作简单迅速，效率高，直接从指示器上读出硬度值；压痕小，故可直接测量成品或较薄工件的硬度；洛氏硬度 HRA 和 HRC 采用金刚石压头，可测量高硬度薄层和深层的材料。其缺点是：由于压痕小，测得的数值不够准确，通常要在试样不同部位测定数次，取其平均值做为该材料的硬度值。

三、维氏硬度试验

布氏硬度试验不适用测定硬度较高的材料。洛氏硬度试验虽然可用于测定软材料和硬材

料，但其硬变值不能进行比较。为了测量从极软到极硬金属材料的硬度值，并有连续一致的硬度标尺，特制定维氏硬度试验法。

1. 试验原理

维氏硬度试验原理与布氏硬度试验相似，也是根据压痕单位面积上的试验力大小来计算硬变值，区别在于其压头采用锥面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体，将其以选定的试验力压入试样表面，按规定保持一定时间后卸除试验力，测量压痕两对角线长度，进而计算出被测金属的硬度值，其试验原理如图 1-5 所示。维氏硬度值用四棱锥压痕单位面积上所承受的平均压力表示，符号为 HV。

$$HV = 0.189 F / d^2$$

式中 F ——作用在压头上试验力 (N)；

d ——压痕两对角线长度的平均值 (mm)。

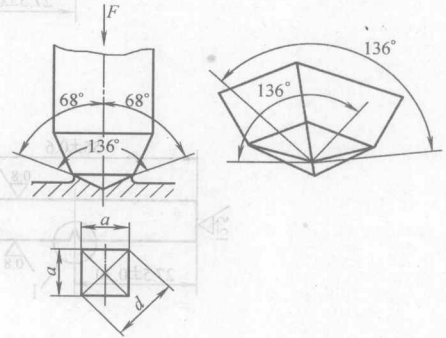


图 1-5 维氏硬度试验原理

HV 值的单位为 MPa，但习惯上只写出硬度值而不标出单位。

2. 常用试验力及其适用范围

维氏硬度试验所用试验力视其试样大小、薄厚及其他条件，可在 $49.03 \sim 980.7\text{N}$ 的范围内选择。常用的试验力有 49.03N 、 98.07N 、 196.1N 、 294.2N 、 490.3N 、 980.7N 。

HV 符号前面的数字为硬度值，HV 后面依次用相应数字注明试验力和试验力保持时间 ($10 \sim 15\text{s}$ 不标注)。例如 $640\text{HV}_{30/20}$ 表示试验力 294.2N ，保持 20s 测得的维氏硬度值为 640 。

维氏硬度试验适用范围宽，尤其适用于测定金属镀层、薄片金属及化学热处理的表面层 (渗碳层、渗氮层等) 硬度，其结果精确可靠。

3. 试验的优缺点

与布氏、洛氏硬度试验比较，维氏硬度试验不存在试验力与压头直径有一定比例关系的约束，也不存在压头变形问题，压痕轮廓清晰，采用对角线长度计量，精确可靠，硬度值误差较小。其缺点是硬度值的测定比较麻烦，效率不如洛氏硬度试验高。

第三节 冲击韧度

前面讨论的都是静载荷条件下测得的力学性能指标，实际上大多数机器零件，如内燃机活塞销与连杆、锻锤的锤杆、冲床的冲头等，由于冲击载荷的加载速度高，作用时间短，使金属在受冲击时，应力分布与变形很不均匀，因此对承受冲击载荷的零件来说，仅仅具有足够的静载荷强度指标是不够的，还必须具有足够抵抗冲击载荷的能力。

目前最常用的冲击试验方法是摆锤式一次冲击弯曲试验。

一、冲击试验方法与原理

一次冲击弯曲试验通常在摆锤式冲击试验机上进行。试样必须标准化，按 GB/T 229—1994 规定。冲击试样有夏比 V 型缺口试样和夏比 U 型缺口试样两种。两种试样的尺寸及加工要求如图 1-6 所示。

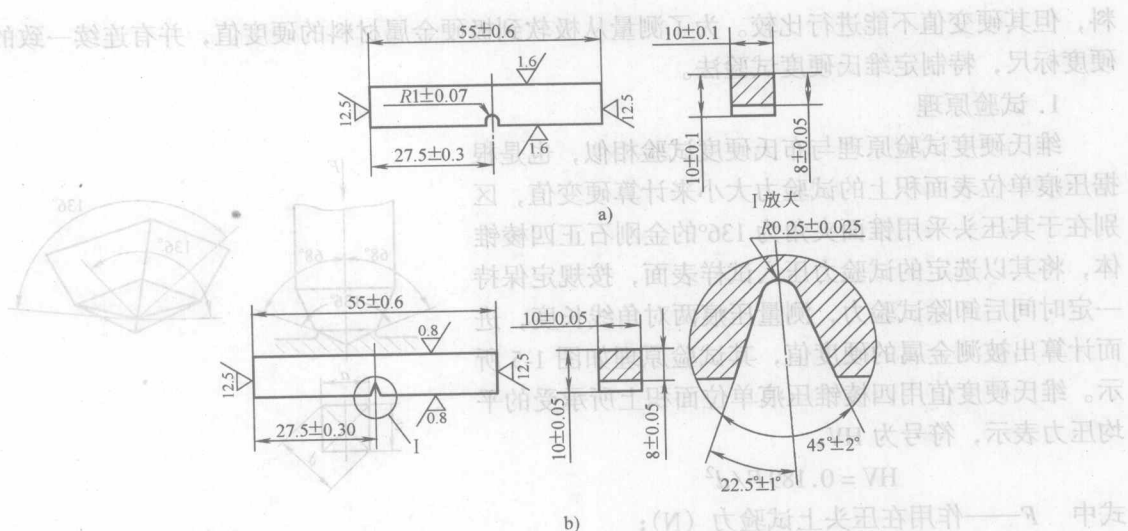


图 1-6 冲击试样

a) V型缺口 b) U型缺口

试验时, 将试样放在试验机两支座上, 如图 1-7 所示。把质量为 m 的摆锤抬到 H 高度, 使摆锤具有位能为 mHg 。摆锤落下冲断试样后升至 h 高度, 具有位能为 mhg , 故摆锤冲断试样推动的位能为 $mHg - mhg$, 这就是试样变形和断裂所消耗的功, 称为冲击吸收功 A_K , 即

$$A_K = mg(H - h)$$

用试样的断口处截面积 S_N (cm^2) 去除 A_K (J) 即得到冲击韧度, 用 α_K 表示, 单位为 J/cm^2 。其计算公式为

$$\alpha_K = A_K / S_N$$

冲击吸收功的值可从试验机的刻度盘上直接读得。 A_K 值的大小, 代表了材料的冲击韧度的高低。一般把冲击吸收功值低的材料称为脆性材料; 值高的材料称为韧性材料。脆性材料在断裂前无明显的塑性变形, 断口较平整, 呈晶状或瓷状, 有金属光泽; 韧性材料在断裂前有明显的塑性变形, 断口呈纤维状, 无金属光泽。

二、冲击试验的实际意义

1. 韧脆转变温度

冲击吸收功的大小与试验温度有关, 有些材料在室温 20°C 左右试验时并不显示脆性, 但在较低温度下, 则可能发生脆性断裂。温度对冲击吸收功的影响如图 1-8 所示。由图可以看出, 冲击吸收功的值随着试验温度下降而减小。材料在低于某温度时, A_K 值急剧下降, 使试样的断口由韧性断口过渡为脆性断口。因此, 这个温度范围称为韧脆转变温度范围。

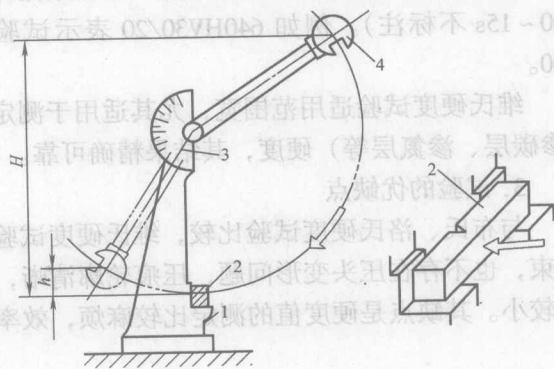


图 1-7 夏比冲击试验原理图

1—支座 2—试样 3—指针 4—摆锤