

高等学校工程专科教材

机械工程材料

(金属工艺学I)

· 机械类专业适用 ·

许德珠 主编

高等教育出版社



高等学校工程专科教材

机 械 工 程 材 料

(金属工艺学 I)

·机械类专业适用·

许德珠 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是根据 1991 年 7 月国家教委审定批准的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》(机械类专业适用)中的“机械工程材料”内容编写的教材。

本书内容包括: 金属力学性能、金属学基本知识、钢的热处理、金属材料、非金属材料、工程材料的选用等。各章后面附有实验和习题。

本书经国家教委高等学校工程专科“金属工艺学课程教材编审组”组织审稿通过, 并推荐作为高等学校工程专科机械类专业的教材; 也可作为电视大学、职工大学、业余大学及中等专业学校(招高中生)教材及有关专业的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料: 金属工艺学 I / 许德珠主编. - 北京:
高等教育出版社, 1992. 9 (1997 重印)
高等学校工程专科教材
ISBN 7-04-003913-3

I. 机… I. 许… II. 机械制造材料-金属材料-工艺学
-高等学校-教材 N. ①TH14②TH142

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 11716 号

高等教育出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
高等教育出版社印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 17 字数 390 000
1992 年 9 月第 1 版 1997 年 12 月第 6 次印刷
印数 34 079-40 588
定价 13.00 元

前 言

本书是根据国家教委1991年7月审定批准的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》(机械类专业适用)中的“机械工程材料”内容编写的。

在编写本书时从以下几方面作了一定努力和考虑:

(1) 为我国高等学校工程专科培养目标服务,偏重于应用理论和应用技术,强调对学生的实践训练,强调理论联系实际。

(2) 为利于学生综合运用知识,以及培养技术经济观点,本教材适当注意了技术经济分析。此外,还增加了简图、原理图及图表等,力求作到插图形象、生动,说理清晰、简明,重点突出,便于自学。

(3) 认真贯彻和使用法定单位,书中插图制图方法、术语、技术条件、材料牌号等均采用最新国家标准。

(4) 为帮助学生思考、复习和巩固所学知识,培养分析和解决实际问题的能力,每章后面均有适当数量的习题,并按授课顺序安排了实验内容。

(5) 以金属材料为主要内容,适当介绍了常用的非金属材料。

(6) 金工实习是在学习本课程之前进行的。实习中所学过的理论知识在本书中不作简单重复。

(7) 为适应不同专业、不同教学计划对本课程的不同要求以及为扩大学生知识面需要,书中带有“*”号的内容,各校可根据各自特点选讲或供学生自学。

本书由哈尔滨机电专科学校许德珠主编(绪论、第一、五、六、七、十章及实验二、三、四、五和附表I、II、III、IV),参加编写的有湘潭机电专科学校朱起凡(第四、八、九、十一章),西南交通大学成都分部张根先(第二、三章及实验一)。朱起凡老师参加了本书的统稿工作。

本书由国家教委高等学校工程专科“金属工艺学课程教材编审”组组织审稿,洛阳建筑材料工业专科学校肖玉珂副教授和哈尔滨科技大学高传树副教授任主审,参加审稿的有康云武副教授、王季琨教授、司乃钧副教授、王运炎副教授和孙雅萍老师等。

在编写过程中得到了哈尔滨机电专科学校吕焯、华北水利水电学院王建民等同志以及有关院校、科研单位、工厂同志的指导与帮助,并提供部分资料,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中不足之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1991年11月

目 录

绪论	1
第一章 金属的力学性能	3
§ 1.1 强度和塑性	3
一、强度	3
二、塑性	5
§ 1.2 硬度	6
一、布氏硬度试验法	6
二、洛氏硬度试验法	8
*三、维氏硬度试验法	9
§ 1.3 冲击韧性	10
一、摆锤式一次冲击试验	10
二、多次冲击试验	12
§ 1.4 疲劳强度	13
* § 1.5 断裂韧性	13
实验一 金属的力学性能	14
I. 硬度试验	14
II. 冲击韧性演示试验	18
习题	19
第二章 金属与合金的晶体结构	21
§ 2.1 金属的晶体结构	21
一、晶体与非晶体	21
二、晶体结构的基本知识	21
三、晶面指数和晶向指数	23
四、晶体的各向异性	25
§ 2.2 金属的实际晶体结构	25
一、多晶体结构与亚晶粒	25
二、晶体缺陷	26
§ 2.3 合金的晶体结构	28
一、基本概念	28
二、合金的相结构	28
习题	31
第三章 纯金属与合金的结晶	33
§ 3.1 纯金属的结晶	33
一、冷却曲线与过冷度	33

二、结晶过程及其基本规律	34
三、金属结晶后的晶粒大小	35
四、铸锭的组织	36
§ 3.2 合金的结晶	38
一、二元合金相图	38
二、二元合金相图的基本类型及合金的冷却过程	40
§ 3.3 合金性能与相图的关系	47
一、合金力学性能与相图的关系	47
二、合金铸造性能与相图的关系	48
习题	49
第四章 金属的塑性变形与再结晶	51
§ 4.1 金属的塑性变形	51
一、单晶体的塑性变形	51
二、多晶体的塑性变形	55
§ 4.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	56
一、晶粒沿变形方向被拉长, 性能趋于各向异性	56
二、晶粒破碎, 位错密度增加, 产生加工硬化	56
三、晶粒择优取向, 形成变形织构	57
四、产生残余应力	58
§ 4.3 塑性变形后的金属在加热时组织和性能的变化	58
一、回复	58
二、再结晶	59
三、晶粒长大	60
四、再结晶后的晶粒大小	60
§ 4.4 金属的热变形加工	61
一、热变形加工的概念	61
二、热变形加工对金属组织和性能的影响	62
习题	63
第五章 铁碳合金相图与碳钢	64

§ 5.1 铁碳合金的基本组织.....64	四、淬透性的实际应用118
一、纯铁的同素异晶转变64	§ 6.7 钢的表面淬火118
二、铁碳合金的基本组织65	一、感应加热淬火119
§ 5.2 铁碳合金相图.....67	二、火焰淬火120
一、Fe-Fe ₃ C 相图分析.....68	§ 6.8 钢的化学热处理.....121
二、典型铁碳合金的冷却过程及其组织.....69	一、钢的渗碳121
三、含碳量对铁碳合金组织和力学性能的影响75	二、钢的渗氮124
四、Fe-Fe ₃ C 相图的应用75	三、钢的碳氮共渗125
§ 5.3 碳钢.....76	§ 6.9 其它热处理工艺简介.....126
一、常存杂质对钢性能的影响76	一、可控气氛热处理126
二、碳钢的分类、牌号、性能和用途77	二、形变热处理126
*实验二 金相显微试样的制备.....84	三、真空热处理127
实验三 铁碳合金平衡组织观察.....88	四、激光热处理128
习题.....90	§ 6.10 热处理零件的结构工艺性128
第六章 钢的热处理.....92	一、常见热处理缺陷128
§ 6.1 钢在加热时的组织转变.....92	二、热处理零件的结构工艺性129
一、奥氏体的形成93	§ 6.11 热处理技术条件及工序位置.....131
二、影响奥氏体化的因素94	一、热处理技术条件的标注131
三、奥氏体晶粒长大及其控制措施95	二、热处理工序位置的安排131
§ 6.2 钢在冷却时的组织转变.....96	三、热处理工艺应用举例132
一、过冷奥氏体的等温转变97	实验四 碳钢的热处理.....133
二、过冷奥氏体的连续冷却转变101	I. 碳钢的热处理工艺133
§ 6.3 钢的退火与正火106	II. 碳钢热处理后的显微组织观察135
一、钢的退火106	习题.....136
二、钢的正火108	第七章 合金钢.....140
§ 6.4 钢的淬火109	§ 7.1 合金钢的分类与编号.....140
一、淬火的目的109	一、合金钢的分类140
二、淬火工艺109	二、合金钢的编号141
三、淬火方法111	§ 7.2 合金元素在钢中的作用.....141
§ 6.5 钢的回火.....112	一、合金元素与铁、碳的相互作用141
一、回火的目的112	二、合金元素对铁碳合金相图的影响143
二、淬火钢回火时的组织转变112	三、合金元素对钢热处理的影响145
三、淬火钢回火时的性能变化114	§ 7.3 低合金结构钢与合金结构钢147
四、回火方法及应用114	一、低合金结构钢147
五、回火脆性115	二、合金结构钢148
§ 6.6 钢的淬透性116	三、其它结构钢简介154
一、淬透性的概念116	§ 7.4 合金弹簧钢与滚动轴承钢.....157
二、淬透性的测定方法116	一、合金弹簧钢157
三、影响淬透性的因素117	二、滚动轴承钢159
	§ 7.5 合金工具钢与高速工具钢.....161

一、合金刀具钢	161	§ 9.4 粉末冶金材料简介	211
二、高速工具钢	162	一、硬质合金	211
三、合金模具钢	165	二、含油轴承材料	214
四、合金量具钢	168	三、铁基结构材料	214
§ 7.6 特殊性能钢	169	习题	214
一、不锈钢	169	第十章 非金属材料	216
二、耐热钢	174	§ 10.1 高分子材料	216
三、耐磨钢	174	一、基本概念	216
*实验五 合金元素对钢淬透性及回火稳定性的影响	175	二、高分子化合物的合成	217
习题	176	三、高分子化合物的结构	218
第八章 铸铁	178	§ 10.2 工程塑料	219
§ 8.1 铸铁的石墨化及其影响因素	178	一、塑料的组成	219
一、铸铁的石墨化	179	二、塑料的分类	220
二、影响石墨化的因素	180	三、塑料的特性	220
§ 8.2 灰铸铁	182	四、塑料的成型方法	221
一、灰铸铁的成分、组织和性能	182	五、常用工程塑料	223
二、灰铸铁的孕育处理	183	§ 10.3 橡胶	225
三、灰铸铁的牌号及用途	183	一、橡胶的组成	225
四、灰铸铁的热处理	184	二、橡胶的性能	226
§ 8.3 球墨铸铁	185	三、常用橡胶材料	226
一、球墨铸铁的成分、组织和性能	185	§ 10.4 陶瓷材料	228
二、球墨铸铁的牌号及用途	186	一、陶瓷的分类	228
三、球墨铸铁的热处理	187	二、陶瓷的性能	228
§ 8.4 其它铸铁简介	189	三、常用工业陶瓷	229
一、蠕墨铸铁	189	§ 10.5 复合材料	230
二、可锻铸铁	190	一、复合材料的分类	230
三、合金铸铁	191	二、复合材料的性能	230
习题	193	三、常用复合材料	231
第九章 有色金属与粉末冶金材料	195	习题	233
§ 9.1 铝及其合金	195	第十一章 工程材料的选用	235
一、纯铝	195	§ 11.1 零件的失效	235
二、铝合金	195	一、失效的概念	235
§ 9.2 铜及其合金	202	二、失效的形式	235
一、纯铜	202	三、零件失效的原因	236
二、铜合金	202	§ 11.2 选材的一般原则、方法和步骤	237
§ 9.3 滑动轴承合金	207	一、选材的一般原则	237
一、滑动轴承的工作条件及对轴承合金的性能要求	207	二、选材的方法和步骤	239
二、常用轴承合金	208	§ 11.3 典型零件与工具材料的选用	241
		一、齿轮类零件的选材	241
		二、轴类零件的选材	246

三、刀具的选材	250	附表 III 常用工具钢退火及正火工艺规范	260
习题	251		
附表 I 金属布氏硬度(HB)数值表	253	附表 IV 常用钢种回火温度与硬度对照表	261
附表 II 常用结构钢退火及正火工艺规范	260	主要参考文献	262

绪 论

材料是人类生产和生活的物质基础,在机械制造、交通运输、国防、科研和生活用品生产等各个部门中都需要使用大量的工程材料。因此,工程材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。

机械工程材料是指用于机械制造的各种材料总称。

生产中用来制作机械工程结构、零件和工具的机械工程固体材料,分为金属材料和非金属材料两大类。

金属材料是最重要的机械工程材料,它包括:黑色金属,通常指铁和以铁为基的合金,例如钢、铸铁和铁合金等;有色金属,即除黑色金属以外的所有金属及其合金,例如铜及其合金、铝及其合金等。黑色金属应用最广,以铁为基的合金材料占整个结构材料、零件材料和工具材料的90%以上。

非金属材料是指除金属材料以外的材料。机械工业生产中常用的有高分子材料、陶瓷材料和复合材料等。非金属材料不但能代替部分金属材料,而且目前已成为一种重要的、独立的新型工程材料。非金属材料具有广泛的发展前景。

近20多年来,在材料中非金属材料发展很快,其中以人工合成高分子材料的发展最快。金属材料与非金属材料相互补充,相互结合,已经组成了一个完整的材料体系。

随着国民经济的高速发展,机械工程材料的使用量愈来愈大。在机械产品的设计和制造过程中,所遇到的有关机械工程材料和热处理方面的问题日益增多。实践证明,生产中往往由于选材不当或热处理不妥,会使机械零件的使用性能达不到规定的技术要求,从而导致零件在使用中因发生过量变形、磨损或断裂等而早期失效。所以,在生产中合理选用工程材料和热处理方法,正确制定工艺路线对充分发挥工程材料本身的性能潜力,保证材料具有良好的加工性能,获得理想的使用性能,提高产品质量,节约材料,降低成本等方面起着重大的作用。

材料学科是在生产实践中发展起来的。我国的金属材料发展史可追溯至史前,早在约4000年前我国就开始使用青铜,例如殷商祭器司母戊大方鼎,其体积庞大,鼎重875kg,花纹精巧,造型精美。这充分说明了远在商代(公元前1562~1066年),我国就有了高度发达的冶铸青铜技术。在春秋时期,我国发明了冶铁技术,开始用铸铁作农具,这比欧洲国家早1800多年。明朝宋应星所著《天工开物》一书,内有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

上述事实说明,我国古代在材料及其加工工艺方面的科学技术曾远远超过同时代的欧洲,在世界上占有过遥遥领先的地位,对世界文明和人类进步作出过巨大贡献。但是,由于封建制度的

长期统治,使我国工农业生产和科学技术在解放前都处于停滞落后状态。

新中国成立后,我国工农业生产和材料工业得到迅速发展,建立了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、航空航天等许多现代工业,为国民经济进一步高速发展奠定了牢固的基础。目前,我国钢铁产品品种繁多,年产量已达7000多万吨,非金属材料的产量也有了很大增长。所有这些成就,都与工程材料及其加工工艺的发展有着密切的关系。

但也应当指出,当今世界各国的科学技术都在迅速发展,我国在工程材料科学方面与先进的工业化国家相比,仍有一定差距。因此,我们必须加倍努力学习,刻苦钻研业务,积极工作,赶超世界先进水平。

“机械工程材料”是高等学校工程专科机械类专业必修的一门技术基础课,其教学目的和任务是:使学生获得常用机械工程材料的基本知识,为学习其它有关课程和将来从事生产技术工作奠定必要的基础。

本课程的内容主要由金属的力学性能(机械性能)、金属学基本知识、钢的热处理、金属材料、非金属材料、工程材料的选用以及实验等部分组成。

学完本课程后应达到下列基本要求:

1. 熟悉常用机械工程材料的成分、组织、结构、加工工艺、性能之间的关系和变化规律。
2. 初步掌握常用机械工程材料的性能与应用,并具有合理选择材料的初步能力。
3. 具有正确选定一般零件的热处理方法及确定热处理工序位置的初步能力。

实验是培养学生独立工作能力和获得一定实验技能的重要教学环节。为此,学生必须认真预习实验内容,在讲课教师和实验教师指导下自己动手做好实验,并写出实验报告。

根据教学内容,应安排适量的课堂讨论和习题,以利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

本课程的实践性和应用性都很强,为保证教学质量,本教材内容应在金工实习以后学习,以达到本课程的教学目的与要求。教材中热处理方法的选择及确定热处理工序位置、工程材料的选用等内容,尚需在有关后续课、课程设计和毕业设计中反复练习、巩固与提高后,才能达到基本掌握与应用的要求。

第一章 金属的力学性能

金属材料是现代工业中最重要的一种工程材料。广泛应用于工农业和国防工业等部门。为了合理的使用金属材料,必须了解和熟悉金属材料的性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能,包括力学性能、物理性能(如电导性、热导性等)、化学性能(如耐蚀性、抗氧化性等);工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能,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能等。通常选用金属材料时是以力学性能(或称机械性能)的指标作为主要依据。力学性能是指金属材料在各种载荷(外力)作用下表现出来的抵抗能力。常用的力学性能有:强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

§ 1.1 强度和塑性

一、强度

金属材料在载荷作用下抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。按载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。通常多以抗拉强度作为基本的强度指标。金属材料的抗拉强度是通过拉伸试验测得的。

试验前,将金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样(拉伸试样),常用的试样截面为圆形,称为圆形拉伸试样(图 1.1),图中 d_0 为试样的原始直径(mm), l_0 为试样的原始标距长度(mm)。根据 GB 6397—86《金属拉伸试验试样》规定,拉伸试样可分为比例试样和定标距试样。比例试样的标距长度 l_0 与直径 d_0 之间有一定的比例关系,通常有长试样 ($l_0=10d_0$) 和短试样 ($l_0=5d_0$) 两种。而定标距试样的 l_0 与 d_0 之间无比例关系, l_0 、 d_0 值应按有关标准执行,一般 l_0 取 100 mm 或 50 mm。

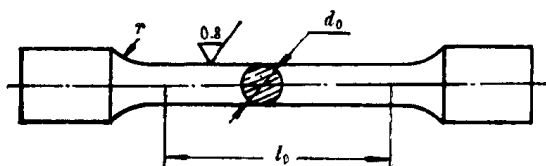


图 1.1 标准拉伸试样

试验时,将标准试样装夹在拉伸试验机上,缓慢加载。随着载荷的不断增加,试样的伸长量也逐渐增大,直至试样拉断为止。然后将所加载荷与试样的相应伸长量画在以载荷 F 为纵坐标、伸长量 Δl 为横坐标的坐标图上,便得到拉伸曲线。

图 1.2 为退火低碳钢的拉伸曲线。由图可见,当载荷 F 为零时,伸长量 Δl 也为零。当载荷由零逐渐增大到 F_e 时,试样的伸长量与载荷成比例增加。此时卸除载荷,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸,即试样处于弹性变形阶段。当载荷超过 F_e 时,试样除产生弹性变形外,还开始出现塑性变形(或称永久变形),即卸除载荷后,试样不能完全恢复到原来的形状和尺寸。当载荷增加到 F_s 时,在曲线上开始出现水平(或锯齿形)线段,即表示载荷不增加,试样却继续伸长,这种现象称为屈服。载荷超过 F_s 后,试样的伸长量又随载荷的增加而增大,此时试样已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,试样开始产生局部截面变小,出现了“缩颈”。此时载荷逐渐减小,到达 K 点时试样被拉断。

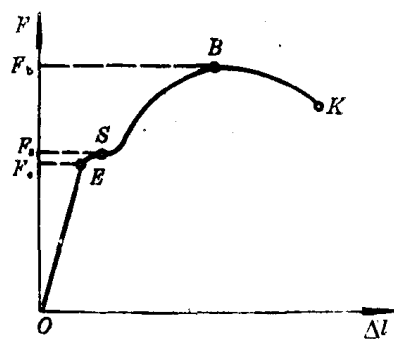


图 1.2 退火低碳钢的拉伸曲线

金属材料受到载荷作用后其内部产生一个与载荷相平衡的抵抗力(即内力),单位横截面积上的内力称为内应力,用 σ 表示。金属材料的强度是用应力来度量的。

常用的强度指标有弹性极限、屈服点和抗拉强度。

1. 弹性极限

材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值,用符号 σ_e 表示,

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 F_e ——试样产生完全弹性变形时的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

2. 屈服点

材料产生屈服现象时的最小应力值,用符号 σ_s 表示,

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 F_s ——屈服时的最小载荷, N。

有些金属材料(如铸铁、高碳钢等)在拉伸试验中没有明显的屈服现象,因此测定 σ_s 很困难。有关国标中规定,此种试样的塑性变形量为试样标距长度的 0.2% 时的应力为屈服点,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示,

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样塑性变形量为标距长度的 0.2% 时的载荷, N。

3. 抗拉强度

材料被拉断前所能承受的最大应力值,用符号 σ_b 表示,

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \text{ MPa}$$

式中 F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷, N。

机械零件在工作中一般不允许产生塑性变形, 所以屈服点是设计零件时的主要依据。抗拉强度是表示材料抵抗均匀塑性变形的最大能力, 它也是设计零件和选材时的主要依据。

应当指出: 有些零件在选材时, 还应考虑材料的弹性模量。所谓弹性模量是指金属材料在弹性变形阶段应力(σ)与应变(ϵ)的比值, 用符号 E 表示, 即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{MPa}$$

工程上常称弹性模量为刚度, 用它来衡量金属材料抵抗弹性变形的难易程度。弹性模量值愈大, 则材料的刚度愈大, 材料抵抗弹性变形的能力就愈强。由于绝大多数机械零件都是在弹性状态下工作, 所以对其刚度都有一定的要求。

二、塑性

金属材料在载荷作用下, 产生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。

金属材料的塑性值也是通过拉伸试验测得的。常用塑性值的指标是伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率

试样被拉断时标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比, 用符号 δ 表示, 即

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

式中 l_0 ——试样原始标距长度, mm;

l_k ——试样被拉断时的标距长度, mm。

长试样的伸长率用符号 δ_{10} 表示, 通常写成 δ ; 短试样的伸长率用符号 δ_5 表示。定标距试样, 譬如 $l_0 = 50$ mm, 则用符号 δ_{50} 表示。同一种材料的比例试样和定标距试样的伸长率是不能比较的。即使同为比例试样, δ_{10} 和 δ_5 的数值也是不相等的。短试样的伸长率大于长试样的伸长率, 即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。因此, 对不同材料进行伸长率比较时, 必须制成同样尺寸的标准试样。

2. 断面收缩率

试样被拉断时, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号 ψ 表示, 即

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_k ——试样被拉断时缩颈处最小横截面积, mm²。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 因此能更可靠地反映材料的塑性。

金属材料塑性的好坏, 对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。塑性好的材料不但容易进行轧制、锻压、冲压等, 而且所制成的零件在使用时, 万一超载, 也能由于塑性变形而避免突然断裂。因此, 大多数机械零件除满足强度要求外, 还必须具有一定的塑性, 这样, 工作时才安全可靠。

§ 1.2 硬 度

硬度是指金属材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力,即抵抗局部塑性变形的能力。

机械制造中所用的量具、刀具、模具等都应有足够的硬度,这样才能保证使用性能和寿命。许多机械零件根据工作条件不同,也常要求硬度在某一规定范围内,以保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。因此,硬度是金属材料的重要力学性能之一。

硬度值是通过硬度试验测得的。这种试验方法是金属力学性能试验中最简便、最迅速的一种方法。它不需要做成专门的试样,可以在工件上直接测定硬度值,且又不损坏工件,因此在生产中得到广泛应用。

目前,生产中应用最广泛的方法是布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法。

一、布氏硬度试验法

布氏硬度试验原理如图 1.3。用一定直径的淬火钢球或硬质合金球做压头,以相应试验力压入被测金属表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,随即在金属表面出现一个压坑(压痕),以压痕单位面积上所承受试验力的大小,确定被测金属材料的硬度值,用符号 HB 表示,

$$HB = \frac{F}{S_K} = \frac{F}{\pi D h} \quad \text{kgf/mm}^2$$

式中 F ——试验力, kgf;

S_K ——压痕表面积, mm^2 ;

h ——压痕深度, mm;

D ——压头直径, mm

当试验力 F 的单位用 N 时

$$HB = 0.102 \frac{F}{\pi D h} \quad \text{kgf/mm}^2$$

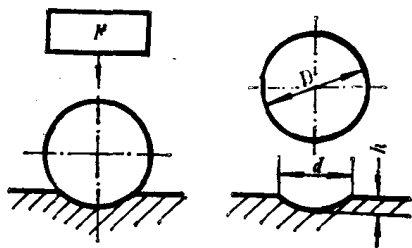


图 1.3 布氏硬度试验原理示意图

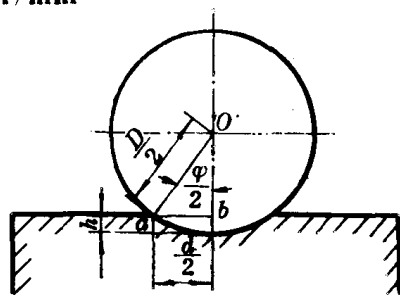


图 1.4 压痕深度与压痕直径的关系

实际试验时,由于压痕深度 h 的测量比较困难,而测量压痕直径 d 比较方便,因此可将上式中 h 换算成压痕直径 d 。从图 1.4 中的直角三角形 Oab 可求出:

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2} \quad \text{mm}$$

因此

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf/mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 的单位为 kgf)}$$

$$HB = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf/mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 的单位为 N)}$$

式中只有 d 是变数。试验时用刻度放大镜测出压痕直径 d 后, 就可以通过计算或查布氏硬度表得出相应的硬度值(见第 253 页附表 I)。

在实际应用中, 布氏硬度值是不标注单位的, 也不需要经过计算。

由于金属材料有软有硬, 工件有薄有厚, 有大有小, 如果只采用一种标准的试验力 F 和钢球直径 D , 就会出现如下现象: 如果对硬的材料适合, 而对软的材料会发生钢球陷入金属内部; 若对厚的材料适合, 而对薄的材料就会产生压透等等。因此, 在生产中进行布氏硬度试验时, 要求能使用不同大小的试验力和不同直径的钢球或硬质合金球。问题在于, 对同一硬度的材料, 当采用不同的 F 和 D 进行试验时, 能否保证得到相同的布氏硬度值。

从图 1.4 中可以看出 d 和压入角 φ 的关系为

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{d/2}{D/2}$$

$$d = D \sin \frac{\varphi}{2}$$

因此, 布氏硬度计算公式又可写成

$$HB = \frac{F}{D^2} \frac{2}{\pi \left(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}}\right)} \quad \text{kgf/mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 的单位为 kgf)}$$

由上式可知, 要保证同一硬度材料的布氏硬度值相同, 必须使压入角 φ 为一常数, 即要求得到几何形状相似的压痕。另外, 还应保证 F/D^2 值为一常数。

实验证明, 当采用不同大小的试验力和不同直径压头进行试验时, 只要能满足 F/D^2 值为一常数, 且压痕直径控制在 $0.25D < d < 0.6D$ 之间, 对于同一硬度的材料都能保证其压入角 φ 不变, 故所测得的布氏硬度值相同, 而对于不同硬度的材料所测得的硬度值可以进行比较。GB 231—84《金属布氏硬度试验方法》规定, F/D^2 的比值有 30、15、10、5、2.5、1.25 和 1 等七种。可根据金属材料种类和布氏硬度范围选择 F/D^2 值, 见表 1.1。

用淬火钢球作压头测得的硬度值以符号 HBS 表示; 用硬质合金球作压头测得的硬度值以符号 HBW 表示。符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值, 符号后面依次用相应数字注明压头球体直径、试验力和试验力保持时间(10~15 s 不标注)。例如 120 HBS 10/1000/30 表示用直径 10 mm 的淬火钢球做压头, 在 1000 kgf (9.807 kN) 试验力作用下保持 30 s 所测得的布氏硬度值为 120。

由于布氏硬度压痕面积较大, 能反映较大范围内金属各组成相综合影响的平均性能, 而不受个别组成相和微小不均匀度的影响, 因此试验结果较准确。HBS 适于测量布氏硬度值小于 450 的材料, HBW 适于测量硬度值小于 650 的材料。布氏硬度不适宜用来检验薄件或成品件。

目前, 布氏硬度计大多数以淬火钢球做压头, 故主要用来测定灰铸铁、有色金属以及经退火、

表 1.1 按材料和布氏硬度范围选择 F/D^2 值

材 料	布氏硬度值	F/D^2
钢和铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及其合金	<35	5
	$35 \sim 130$	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(1.25)
	$35 \sim 80$	10(5或15)
	>80	10
铅、锡		1.25(1)

注：1. 当试验条件允许时，应尽量选用 $\phi 10$ mm 球。

2. 当有关标准中没有明确规定时，应使用无括号的 F/D^2 值。

正火和调质处理的钢材等。

应尽量避免将布氏硬度换算成其它硬度或抗拉强度，如必须换算时，应按有关规定进行。

二、洛氏硬度试验法

洛氏硬度试验与布氏硬度试验一样，也是一种压入硬度试验。但它不是测量压痕面积，而是测量压痕深度，以深度大小表示材料的硬度值。

洛氏硬度试验原理如图 1.5 所示。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作压头，在初载荷与初、主载荷先后作用下，将压头压入试件表面。经规定的保持时间后卸除主载荷，根据压痕深度确定金属硬度值。图中 $0-0$ 为 120° 金刚石压头没有与试件表面接触时的位置； $1-1$ 为加上初载荷 10 kgf (98.07 N) 后并压入试件深度 b 处的位置，该 b 处为测量压痕深度的起点（这样可减少因试件表面不平而引起的误差）； $2-2$ 为压头受到初载荷和主载荷共同作用后使压头压入试件深度至 c 处的位置； $3-3$ 为卸除主载荷后在初载荷作用下由于试件弹性变形的恢复使压头向上回升到 d 处的位置。因此，压头受主载荷作用实际压入试件表面产生塑性变形的压痕深度为 bd ，用 bd 值的大小来衡量材料的软硬程度。压痕深度愈小，材料愈硬；压痕深度愈大，材料愈软。

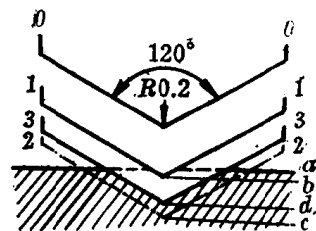


图 1.5 洛氏硬度试验原理示意图

被测金属材料的洛氏硬度值，可在卸除主载荷后直接由硬度计表盘上读出。表盘上的硬度值是这样确定的，即压头端点每移动 0.002 mm，表盘上指针转过一小格。当压头由 b 处移至 d 处时，指针转过的格数应为 $bd/0.002$ 。为了适应习惯上数值愈大，硬度愈高的概念，故用一适当常数 K 减去 $bd/0.002$ 作为硬度值。洛氏硬度用符号 HR 表示，

$$HR = K - \frac{bd}{0.002}$$

式中 K ——常数(金刚石作压头, K 为 100; 淬火钢球作压头, K 为 130)。

为了能够用一种试验计来测定从软到硬金属材料的硬度, 采用了不同压头和载荷组成的几种不同的洛氏硬度标度, 每一种标度用一个字母在 HR 后加以注明, 常用的洛氏硬度是 HRA、HRB 和 HRC 三种。洛氏硬度的试验条件及应用范围, 见表 1.2。

表 1.2 常用洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总载荷 $F_{\Sigma}/\text{kgf(N)}$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	60(588.4)	70~85	硬质合金, 表面淬火, 渗碳钢等
HRB	$\phi 1.588$ mm 钢球	100(980.7)	25~100	有色金属, 退火, 正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	150(1471.1)	20~67	淬火钢, 调质钢等

注: 总载荷 = 初载荷 + 主载荷; 初载荷全为 10 kgf(98.1N)。

洛氏硬度试验操作简便迅速, 可直接从表盘上读出硬度值。它没有单位, 测量范围大, 试件表面压痕小; 可直接测量成品或较薄工件的硬度。但由于压痕较小, 对内部组织和硬度不均匀的材料, 测量结果不够准确, 故需在试件不同部位测定三点取其算术平均值。洛氏硬度各标度之间没有直接的简单对应关系。

*三、维氏硬度试验法

维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度试验原理相同, 也是根据压痕单位面积上所承受的试验力大小来测量硬度值。不同的是, 维氏硬度试验是用两相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石作压头。试验时, 在选定的试验力 F 的作用下, 将压头压入试件表面, 经规定保持时间后卸除试验力, 试件表面压出一个四方锥形的压痕, 测量压痕对角线长度 d_1 与 d_2 (图 1.6), 求其算术平均值 d , 用以计算压痕表面积 S_H , 以单位压痕表面积所承受的试验力大小表示维氏硬度值, 用符号 HV 表示,

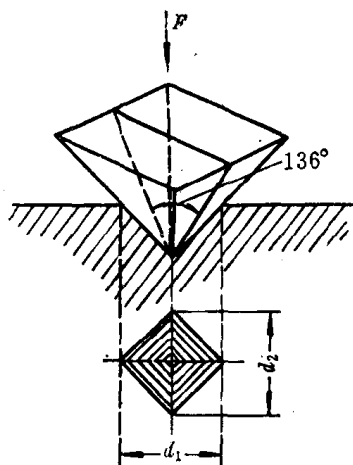


图 1.6 维氏硬度试验原理示意图

$$HV = \frac{F}{S_H} = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad \text{kgf/mm}^2$$

式中 F ——试验力, kgf;

S_H ——压痕表面积, mm^2 ;

d ——压痕两对角线长度的算术平均值, mm。

当试验力 F 的单位用 N 时

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad \text{kgf/mm}^2$$