



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属工艺学

(工程技术类)

主编 郁兆昌



高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材,是根据 2000 年 8 月教育部颁发的《中等职业学校金属工艺学教学大纲(试行)》编写的。

全书内容包括机械工程材料、金属热加工基础、金属切削加工基础三部分,共二十章。各章后面编有练习与思考题,书后面附有实验指导书。由郁兆昌主编的《金属工艺学实习》教材与本书配套使用,亦同时出版。本书可作为中等职业学校(3 年制)工程技术类相关专业的教材,也可作为有关技术人员、管理人员和技术工人的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学 / 郁兆昌主编. —北京:高等教育出版社,
2001.7 (2004 重印)

ISBN 7-04-009804-0

I. 金... II. 郁... III. 金属加工-工艺-专业学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 045664 号

金属工艺学(工程技术类)

主编 郁兆昌

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010-58581000

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 16

字 数 380 000

版 次 2001 年 7 月第 1 版

印 次 2004 年 12 月第 9 次印刷

定 价 16.00 元

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:9804-00

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 5 月

前 言

本书是根据 2000 年 8 月教育部颁发的《中等职业学校金属工艺学教学大纲(试行)》编写的,内容由机械工程材料、金属热加工基础、金属切削加工基础三部分组成。主要包括金属的力学性能、金属学基本知识、钢的热处理、金属材料、非金属材料、金属表面处理技术、工程材料的选用,铸造、锻压、焊接、毛坯的选择,金属切削基础知识、切削机床、切削加工、精密加工与特种加工、零件生产工艺分析等内容。

编者在广泛调查的基础上,为适应中等职业教育教学改革的新形势,贯彻以素质教育为基础、以能力为本位的教学指导思想,突出职业教育特色,在编写本书时注重考虑了以下几方面:

(1) 体现中等职业学校培养目标即培养中初级专门人才和高素质劳动者的要求,教学内容侧重于应用。例如,降低了金属学、热处理、金属材料、冷热加工等教学内容的原理部分的深度和难度。

(2) 根据培养目标和现代企业的需要,紧密结合生产实践,拓宽了知识面。例如,增加了质量与成本分析、新技术应用等方面的知识。

(3) 加强实用性,注重培养学生动手能力、分析问题和解决问题的能力。例如,编入了钢材火花鉴别、涂色标记,常用材料数据表格等内容;并结合讲课、实验、课堂讨论、习题课、综合作业的需要,精选了每章的练习与思考题。

(4) 介绍了一些新技术、新工艺及其发展趋势,开阔学生思路。例如,对热处理、金属表面处理、粉末冶金、铸造、锻压、焊接、切削加工等方面的新发展作了简介;书中名词术语、图表资料采用最新国家标准和法定计量单位。

(5) 课堂教学和实验、实习教学的有机结合,书后附有实验,与本书配套使用的《金属工艺学实习》教材由同一批编者编写,实践性教材主要讲述实验和工艺操作,理论教材主要讲述基本原理、工艺分析、结构设计和加工方法的选择等,两者互相配合与衔接。

(6) 文字简练,图文并茂,形象直观,通俗易懂。

(7) 遵循新大纲规定的内容和学时要求,进行模块组合。全书按内容分为 3 个大模块、20 个小模块;各模块又按基础模块(必学内容 50 学时)、提高模块(选修内容 42 学时)分成若干子模块,供不同学校、专业和学生作弹性选择,有一定的灵活性,较广泛的适用性。

全书按总课时 92 学时编写,带 * 的部分为选修内容。有关学时安排见下表(供参考)。

本书由郁兆昌(绪论、第一至十二章、实验)、姜敏凤(第十三、十六章)、武凤志(第十四、十五章)、官成立(第十七章,第十八章第一、二节)、郑光华(第十八章第三节,第十九、二十章)共同编写。郁兆昌任主编。姜敏凤、官成立参加了部分章节的统稿。

高等教育出版社聘请罗会昌、李世维担任本书主审,由教育部全国中等专业学校金属工艺学课程组组织审稿并通过。参加审稿会的有刘志刚、刘凤歧、郑刚、王希平、余新萍等。

章次	名称	学时	章次	名称	学时
	绪论	1	*第十一章	金属表面处理技术简介	2
第一篇	机械工程材料		*第十二章	零件材料的选用及热处理	4
第一章	金属的力学性能	5	第二篇	金属热加工基础	
*第二章	金属的结构与结晶	3	第十三章	铸造	8
第三章	铁碳合金状态图	7	第十四章	锻压	7
第四章	非合金钢(碳钢)	2	第十五章	焊接	6
第五章	钢的热处理	10	*第十六章	毛坯生产方法的选择	3
第六章	低合金钢和合金钢	4	第三篇	金属切削加工基础	
第七章	铸铁	3	第十七章	金属切削基础知识	6
第八章	有色金属及其合金	3	第十八章	金属切削机床及其加工	6
*第九章	粉末冶金材料	2	*第十九章	精密加工与特种加工简介	2
第十章	非金属材料	2	*第二十章	零件生产工艺过程的基本知识	6

本书编写过程中,得到了司乃钧、许德珠、马中全、宋维哲等,以及一些学校和工厂的有关人员的帮助与指导,并为本书提供了资料,在此一并表示衷心感谢。

本书由全国中等职业教育教材审定委员会审定通过,赵国景教授任责任主审,张连凯、张勤副教授审稿。他们对提高书稿质量起到了重要作用,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中的错误和问题,恳请批评指正。

编者
2000年11月

目 录

绪论	1	第一节 合金元素对钢性能的影响	55
第一篇 机械工程材料		第二节 低合金钢	56
第一章 金属的力学性能	3	第三节 合金钢的分类与编号	58
第一节 强度与塑性	3	第四节 合金结构钢	59
第二节 硬度	5	第五节 合金工具钢与高速工具钢	64
第三节 韧性与疲劳强度	7	第六节 不锈钢与耐热钢	68
练习与思考题	10	* 第七节 钢材的火花鉴别及涂色标记	71
* 第二章 金属的结构与结晶	11	练习与思考题	74
第一节 金属的晶体结构	11	第七章 铸铁	75
第二节 纯金属的结晶	13	第一节 概述	75
第三节 合金的结构与结晶	15	第二节 灰铸铁	76
练习与思考题	17	第三节 球墨铸铁	77
第三章 铁碳合金状态图	19	第四节 其他铸铁简介	79
第一节 铁碳合金的基本组织	19	练习与思考题	81
第二节 铁碳合金状态图分析	20	第八章 有色金属及其合金	82
* 第三节 铁碳合金状态图的应用	25	第一节 铝及铝合金	82
练习与思考题	26	第二节 铜及铜合金	86
第四章 非合金钢(碳钢)	27	* 第三节 钛及钛合金简介	88
第一节 常存杂质元素对碳钢性能的影响	27	第四节 轴承合金简介	90
第二节 碳钢的分类	27	练习与思考题	92
第三节 碳钢的牌号、性能及用途	28	* 第九章 粉末冶金材料	93
练习与思考题	35	第一节 粉末冶金的特点与工艺	93
第五章 钢的热处理	36	第二节 硬质合金	94
* 第一节 钢的加热	36	第三节 其他粉末冶金材料	96
* 第二节 钢的冷却	38	练习与思考题	96
第三节 钢的退火与正火	42	第十章 非金属材料	97
第四节 钢的淬火	44	第一节 高分子材料	97
第五节 钢的回火	46	第二节 陶瓷	100
第六节 钢的表面热处理	48	第三节 复合材料	101
第七节 钢的化学热处理简介	49	练习与思考题	102
* 第八节 热处理技术发展简介	51	* 第十一章 金属表面处理技术简介	103
练习与思考题	52	第一节 金属表面强化处理	103
第六章 低合金钢和合金钢	55	第二节 金属表面防腐处理	104
		第三节 金属表面装饰处理	105
		第四节 金属表面处理新技术	106
		练习与思考题	106

* 第十二章 零件材料的选用及热处理	107	* 第六节 焊接技术发展简介	173
第一节 选材的原则、方法与步骤	107	练习与思考题	174
第二节 热处理技术条件的标注及工序位置	109	* 第十六章 毛坯生产方法的选择	176
第三节 典型零件的选材及热处理工艺分析	110	第一节 毛坯质量与经济性及对比分析	176
练习与思考题	113	第二节 毛坯生产方法的选择原则	177
		第三节 典型零件毛坯选择分析	178
		练习与思考题	182
第二篇 金属热加工基础		第三篇 金属切削加工基础	
第十三章 铸造	114	第十七章 金属切削基础知识	184
第一节 砂型铸造	114	第一节 切削运动与切削要素	184
* 第二节 金属的铸造性能	118	第二节 刀具几何形状与刀具材料	186
* 第三节 砂型铸造工艺设计简介	119	* 第三节 金属切削过程中的物理现象	190
* 第四节 铸件的结构工艺性	125	* 第四节 工件材料的切削加工性	194
第五节 特种铸造	128	练习与思考题	195
* 第六节 铸件质量与成本分析	131	第十八章 金属切削机床及其加工	197
* 第七节 铸造技术发展简介	133	第一节 金属切削机床的分类与型号编制	197
练习与思考题	135	第二节 车床及其加工	199
第十四章 锻压	137	第三节 其他常用机床及其加工	207
* 第一节 金属塑性成形原理简介	137	练习与思考题	217
* 第二节 金属锻造的加热与冷却	139	* 第十九章 精密加工与特种加工简介	219
第三节 自由锻	140	第一节 精密加工	219
第四节 模锻及胎模锻简介	148	第二节 特种加工	220
* 第五节 锻件质量与成本分析	151	练习与思考题	222
第六节 板料冲压	152	* 第二十章 零件生产工艺过程的基本知识	223
* 第七节 锻压技术发展简介	155	第一节 概述	223
练习与思考题	156	第二节 典型表面加工方法	225
第十五章 焊接	158	第三节 典型零件加工工艺分析	230
第一节 焊条电弧焊	158	第四节 切削加工技术发展简介	234
第二节 焊接应力与变形	164	练习与思考题	236
第三节 其他焊接方法简介	166	附录 金属工艺学实验	237
* 第四节 常用金属材料的焊接	169	主要参考文献	246
* 第五节 焊接质量与成本分析	170		

绪 论

金属工艺学是一门以机械制造工艺为主的综合性技术基础课。其内容主要由机械工程材料、金属热加工基础、金属切削加工基础三部分组成。

金属工艺学是在长期生产实践中发展起来的,我国古代在金属加工方面取得的卓越成就就是对世界文明的巨大贡献。我国的青铜冶炼在夏朝以前就开始了;1939年河南安阳出土的商代司母戊大鼎,重875 kg,造型精美,花纹精巧,是迄今世界上最古老的大型青铜器;到春秋战国时期,青铜冶炼和使用达到了当时的世界高峰。我国的冶铁技术比欧洲早1800多年;从西汉到明朝的1500多年间,我国的钢铁生产技术远远超过世界各国。1972年河北藁城出土的商代铁刃铜钺,证明我国在3000年前就掌握了锻造技术。河南辉县战国墓中出土的殉葬铜器,证明我国应用钎焊比欧洲国家早2000多年。北宋时期沈括的《梦溪笔谈》是关于金属制取和加工的重要历史文献。明朝宋应星的《天工开物》内有大量采矿、冶炼和金属加工方法的论述,是世界上有关金属工艺最早的科学著作之一。

新中国成立50多年来,我国在金属加工方面取得了巨大成就。我国已建成产品门类比较齐全,布局比较合理的机械工业体系,为国民经济和国防建设提供了大量自行研制和生产的机械设备。例如,我国研制生产出世界上第一台125 MW双水内冷汽轮发电机组、自行设计制造出120 MN自由锻水压机、300 MN模锻水压机、年产量20 Mt级露天矿开采等大型成套设备。我国原子弹、氢弹、洲际弹道导弹的发射成功,核动力潜艇的研制与生产,人造地球卫星、载人航天试验飞船的发射与准确回收等,都与金属加工的发展密切相关,这些为国民经济高速发展与国防现代化奠定了牢固的基础。

世界上科学技术日新月异,金属加工技术不断发展,金属和非金属新材料不断涌现。现代精密铸造、精密锻造和粉末冶金技术,使零件加工可以无切削,少切削。热加工毛坯生产向优质、精化、高效、低耗、无害等技术方向发展。随着计算机技术的发展,各种特种加工、计算机数控技术(CNC)、柔性加工系统(FMS)、计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)、计算机集成制造系统(CIMS)应运而生,创造着人类文明新的辉煌。但我国的金属加工技术与当今世界先进水平相比,还有较大的差距,还须加倍努力,勤奋学习,刻苦钻研,为祖国的现代化建设和赶超世界先进水平贡献力量。

本书的主要内容是:

(1) 金属的力学性能、金属学基本知识、钢的热处理、金属材料、非金属材料、金属表面处理技术、工程材料的选用等。

(2) 铸造、锻压、焊接、毛坯生产方法的选择等。

(3) 金属切削基础知识、金属切削机床及其加工、精密加工与特种加工、零件生产的基本知识及加工方法的综合分析等。

学完本书后应达到的基本要求是:

(1) 了解常用机械工程材料的类别和用途,初步具有正确使用常用金属材料的能力。

· (2) 了解金属的常用热处理，主要冷、热加工方法的基本原理，工艺特点和应用范围，金属毛坯和零件的常用加工方法，初步具有选用热处理、使用毛坯和确定机械加工工艺路线的能力。

(3) 了解机械产品制造过程、加工设备及工艺过程。

(4) 了解与本课程有关的新材料、新工艺、新技术、新设备及其发展趋势。

金属工艺学是实践性和应用性很强的课程，一般应结合实习进行有关理论教学。教学中应把课堂教学、实验、金工实习结合起来，紧密联系生产实践，突出重点与应用。如工程材料的教学，要了解材料宏观性能与材料成分、内部组织结构的关系，突出材料的类别和用途，学会正确使用材料。加工工艺的教学，要了解加工方法与工件材料、结构形状、使用性能、生产批量、加工难易及成本的关系，既能分析技术问题，又会分析经济成本，加深对金属加工工艺特点和应用范围的了解。教学中应安排一定的现场参观、电化教学、课堂讨论、习题课等教学环节，增强直观性，以利启发学生思维，培养学生理论联系实际、分析问题和解决问题的能力。

第一篇 机械工程材料

第一章 金属的力学性能

金属材料获得广泛应用是由于它有优良的性能。金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是金属在使用时所表现出的性能,它包括力学性能、物理性能(如导电性、导热性、热膨胀性等)和化学性能(如耐腐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是指金属在各种加工(如铸造、锻压、焊接、热处理、切削加工等)中所表现出的性能。

在机械制造中,最常用的使用性能是力学性能,又称机械性能。力学性能是材料在力作用下所显示的性能(又指金属在力作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能),主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

第一节 强度与塑性

一、强度

强度是指金属抵抗永久变形(塑性变形)和断裂的能力。常用的强度判据是屈服点和抗拉强度。

测定强度判据的方法是拉伸试验。将金属材料制成规定形状和尺寸的标准试样,常用的圆形拉伸试样见图 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)。按国家标准,拉伸试样有长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)两种。将试样装在拉伸试验机上,对试样缓慢增加拉伸力,使之不断产生变形,直至试样被拉断。试验机自动记录拉伸过程中的拉伸力与伸长量,得到拉伸力和伸长量的关系曲线,称为力-伸长曲线(拉伸曲线),见图 1-2。

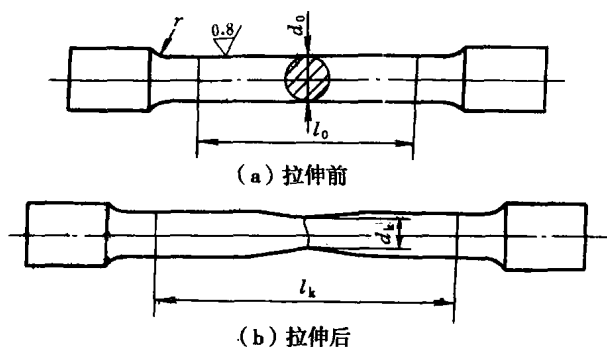


图 1-1 圆形拉伸试样简图

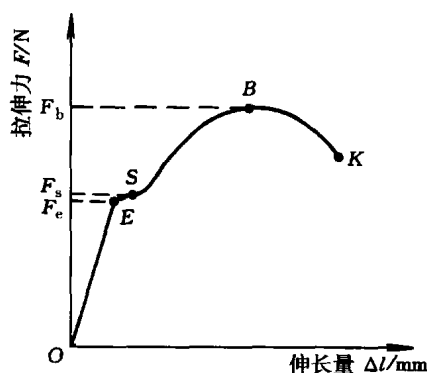


图 1-2 低碳钢的力-伸长曲线

由图 1-2 可知, OE 为一斜直线, 表示随拉伸力增加试样均匀地伸长, 若此时去掉拉伸力, 试样能完全恢复到原来的形状和尺寸, 材料处于弹性变形阶段。当拉伸力超过 F_e 后。若此时去掉拉伸力, 试样不能恢复到原来的形状, 会保留部分塑性变形。当拉伸力达到 F_s 时, 此时拉伸力不增加, 变形量却继续增加, 这种现象称为屈服现象。拉伸力超过 F_s 后, 试样又随拉伸力的增加而伸长, 产生大量塑性变形。当拉伸力达到 F_b 时, 试样某处横截面开始出现局部收缩, 称为缩颈。此后, 试样变形局限在缩颈部位, 由于截面缩小, 所能承受的拉伸力迅速减小, 直至 K 点在缩颈处断裂。

材料受外力作用后, 导致其内部之间的相互作用力称为内力, 其大小和外力相等, 方向相反。单位面积上的内力称为应力。拉伸时的应力用符号 σ 表示。

1. 弹性极限

弹性极限是指试样产生完全弹性变形时所能承受的最大拉应力, 用符号 σ_e 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad \text{MPa}$$

式中 F_e ——试样产生完全弹性变形时所能承受的最大拉伸力, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

2. 屈服点

屈服点是指试样在试验过程中力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力, 用符号 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad \text{MPa}$$

式中 F_s ——产生屈服现象时的拉伸力, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

有些金属材料(如铸铁、高碳钢等)拉伸时没有明显的屈服现象。按 GB/T 10623—1989 规定, 用试样卸除拉伸力后, 其标距部分残余伸长量达到 $0.2\% l_0$ 时的应力作为规定残余伸长应力, 用符号 $\sigma_{r0.2}$ 表示。

3. 抗拉强度

抗拉强度是指试样拉断前所能承受的最大拉应力, 用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad \text{MPa}$$

式中 F_b ——试样拉断前的最大拉伸力, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

工程上用的材料, 除要求有较高的 σ_b , 还希望有一定的屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比越小, 零件可靠性越高, 使用中若超载不会立即断裂。但屈强比太小, 则材料强度的有效利用率降低。

二、塑性

塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。塑性判据是断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后标距的伸长与原始标距的百分比，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 ——试样拉断后的标距长度，mm。

断后伸长率大小与试样尺寸有关。长试样的断后伸长率用 δ_{10} 或 δ 表示，短试样的断后伸长率用 δ_5 表示，同一材料的 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后，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

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

式中 A_0 ——试样原始横截面积，mm²；

A_k ——试样拉断后缩颈处最小横截面积，mm²。

材料的 δ 与 ψ 的数值越大，表示材料塑性越好，可用锻压等压力加工方法成形；若零件使用中稍有超载，也会因其塑性变形而不致突然断裂，增加了材料使用的安全可靠。

第二节 硬 度

硬度是指材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。它是衡量材料软硬的判据。由于硬度试验设备简单、操作方便、迅速、不损坏被测工件，因此应用很广。最常用的硬度试验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

布氏硬度试验原理见图 1-3。用直径 D 的淬火钢球或硬质合金球作压头，以相应的试验力 F 压入试件表面，经规定的保持时间后，卸除试验力，得到一直径为 d 的压痕。用试验力除以压痕表面积，所得值即为布氏硬度值，符号用 HBS（用淬火钢球压头）或 HBW（用硬质合金压头）表示，即

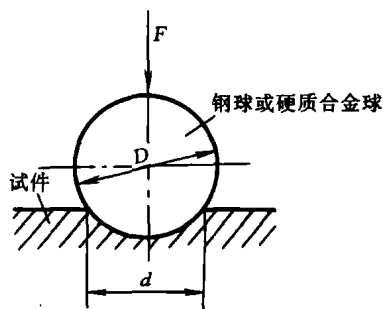


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

$$\text{HBS (HBW)} = \frac{F}{A_{\text{压}}} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{kgf/mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 单位用 kgf)}$$

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

式中 $A_{\text{压}}$ ——压痕球形表面积，mm²；

D ——压头直径，mm；

d ——压痕平均直径，mm。

试验时只要测出 d 值，通过计算或查布氏硬度数值表即可求得布氏硬度值。

按 GB/T 231—1984 规定，压头球径 D 分为五种：10 mm、5 mm、2.5 mm、2 mm、1 mm。

实践证明，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 $(0.24 \sim 0.6)D$ 之间，则同一硬度的材料所测得的布氏硬度值就会相同，不同硬度的材料所测得的硬度值就可以进行比较， F/D^2 的比值按规定分为七种：30、15、10、5、2.5、1.25 和 1。布氏硬度试验规范见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度值范围 HBS (HBW)	试样厚度/mm	$0.102 F/D^2$	球直径 D /mm	试验力/kN (kgf)	试验力保持时间/s
黑色金属	140 ~ 150	6 ~ 3	30	10.0	29.42 (3 000)	12
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750)	
		< 2		2.5	1.839 (187.5)	
	< 140	> 6 6 ~ 3	10	10.0 5.0	9.807 (1 000) 2.452 (250)	12
有色金属	> 130	6 ~ 3	30	10.0	29.42 (3 000)	30
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750)	
		< 2		2.5	1.839 (187.5)	
	36 ~ 130	9 ~ 3	10	10.0	9.807 (1 000)	30
		6 ~ 3		5.0	2.452 (250)	
	8 ~ 35	> 6	2.5	10.0	2.452 (250)	60

布氏硬度表示方法：硬度值一般不标单位，在符号 HBS 或 HBW 之前写出硬度值，符号后用相应数字依次表示压头直径、试验力及其保持时间（10 ~ 15 s 不标）。例如 140HBS10/1 000/30 表示用直径 10 mm 的淬火钢球作压头，在 1 000 kgf (9.80 kN) 试验力作用下保持 30 s 所测得的布氏硬度值为 140。一般在零件图或工艺文件上标注材料要求的布氏硬度值时，不规定试验条件，只需标出要求的硬度值范围和硬度符号，例如 200 ~ 230HBS。

布氏硬度试验数据准确、稳定，但测试较麻烦；因压痕大，不宜测试薄件或成品件；因球形压头会发生变形或损坏，不宜测试硬度高的材料。HBS 用于测量硬度值小于 450 的材料，HBW 用于测量硬度值在 450 ~ 650 范围的材料。布氏硬度主要用来测定铸铁、有色金属以及经退火、正火和调质处理的钢材等的硬度。

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验原理见图 1-4。采用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作压头，1 为在初始试验力作用下，压头从试件表面 a 压入到 b 处；2 为在初试验力和主试验力共同作用下，压头压入到 c 处，保持规定的时间；3 为卸除主试验力（仍保持初试验力）后，压头向上回升到 d 处。深度 bd 就是在主试验力作用下压头压入试件表面的残余压痕深度增量，用以计算硬度。通过用一常数 K 减去 bd 作为硬度值（每 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位），可由硬度计表盘上直接

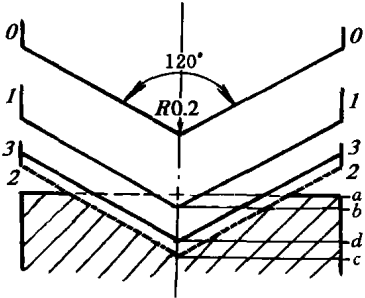


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

读数。材料越硬硬度值越大。洛氏硬度用符号 HR 表示：

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

当压头为金刚石圆锥时，K 为 100；压头为淬火钢球时，K 为 130。

为测试不同硬度范围的试件，洛氏硬度可采用不同的压头和试验力，具有不同的标尺。按 GB/T 230—1991 规定有九种标尺，常用的有 HRA、HRB 和 HRC 三种，其中 HRC 应用最广。常用洛氏硬度试验规范见表 1-2。洛氏硬度无单位，须标明硬度标尺符号，在符号前面写出硬度值，如 60HRC、80HRA。洛氏硬度各标尺间没有对应关系。

表 1-2 常用洛氏硬度试验规范

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/\text{kgf (N)}$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	60 (588.4)	60 ~ 88	硬质合金, 表面淬火、渗碳钢等
HRB	φ1.588 mm 钢球	100 (980.7)	20 ~ 100	有色金属, 退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥	150 (1 471.1)	20 ~ 70	淬火钢, 调质钢等

注：总试验力 = 初试验力 + 主试验力；初试验力为 10 kgf (98.07 N)。

洛氏硬度试验操作简便、迅速、压痕小、可测试成品表面及较硬、较薄的工件。因压痕小，对于组织和硬度不均匀的材料，硬度值波动较大，准确性不如布氏硬度高。洛氏硬度用于测定钢铁、有色金属、硬质合金等的硬度。

* 三、维氏硬度

维氏硬度与布氏硬度相似，也是根据压痕单位面积上的试验力来计量硬度值。不同的是，压头采用相对两面间夹角为 136°的正四棱锥金刚石。试验时，在规定的试验力 F 作用下，压头压入试件表面，保持一定时间后卸除试验力，测出压痕对角线的平均长度 d ，根据 d 值查 GB/T 4340—1984 中的维氏硬度数值表即可得出硬度值，用符号 HV 表示。维氏硬度值一般不标单位，在符号 HV 前写出硬度值。维氏硬度试验因试验力小(常用 49.03 N)，压痕浅、轮廓清晰，数值准确、试验力选择范围大(49.03 ~ 980.7 N)，所以可测量从很软到很硬材料的硬度，其硬度值能直接进行比较。常用来测试薄片材料、金属镀层及零件表面硬化层的硬度。但维氏硬度测试较麻烦，不宜用于成批生产的常规检验。

各种硬度试验法测得的硬度值不能进行直接比较，必须通过硬度换算表换算成同一种硬度值后，方能比较硬度高低，见附表 2。

第三节 韧性与疲劳强度

生产中有些零件在冲击力作用下工作，如连杆、曲轴、锻杆、模具等，不仅要满足强度、塑性、硬度等性能判据，还应有足够的韧性。

一、韧性

韧性是指金属在断裂前吸收变形能量的能力。韧性的判据通过冲击试验来测定。

1. 摆锤式一次冲击试验

按 GB/T 229—1994 规定，将材料制成(U 型或 V 型)标准冲击试样，V 型试样见图 1-5。

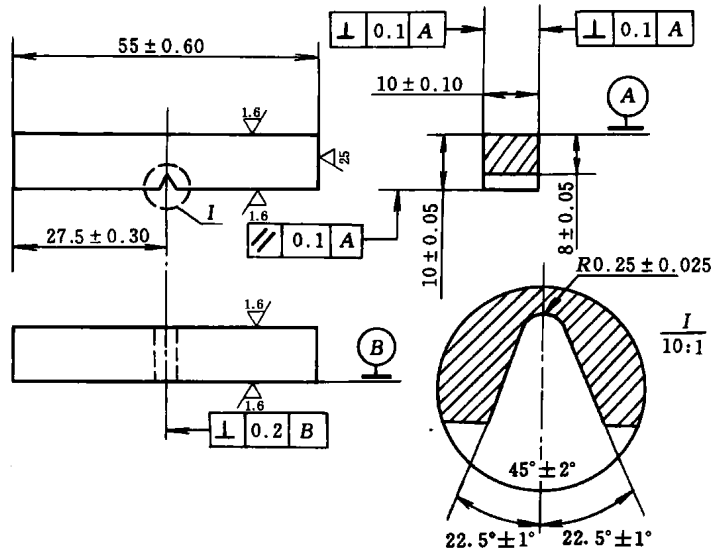


图 1-5 夏比 V 型缺口冲击试样

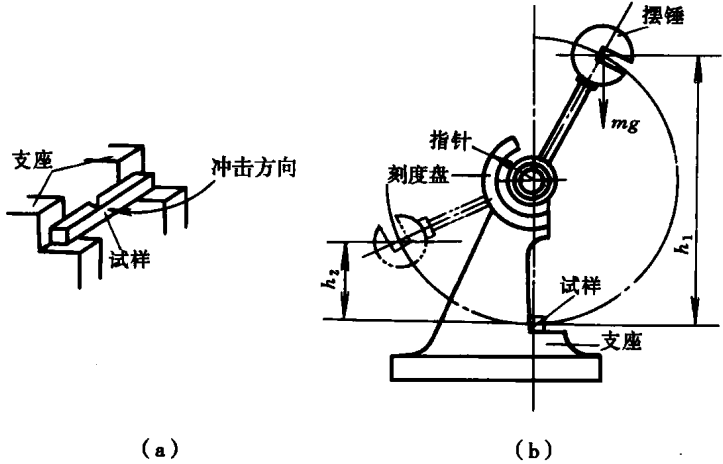


图 1-6 摆锤式一次冲击试验示意图

试验时，将试样缺口背向摆锤冲击方向放在冲击试验机支座上，见图 1-6。将摆锤举至 h_1 高度，具有位能 mgh_1 ，然后摆锤自由落下冲断试样，并反向摆至高度 h_2 ，此时摆锤的位能为 mgh_2 。摆锤冲断试样所消耗的能量，即试样在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功，称为冲击吸收功，用 A_K 表示(选 V 型缺口试样用 A_{KV} 表示,选 U 型缺口试样用 A_{KU} 表示)。

$$A_K = mgh_1 - mgh_2 = mg(h_1 - h_2) \quad J$$

A_K 值可从试验机刻度盘上直接读出。冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功，称为冲击韧度，用符号 a_K 表示：

$$a_K = \frac{A_K}{A} \quad J/cm^2$$

式中 A ——试样缺口底部横截面积, cm^2 。

国家标准现已规定采用 A_K 作为韧性判据。 A_K 越大, 材料韧性越好。

冲击吸收功 A_K 与温度有关。见图 1-7, A_K 随温度降低而减小, 在某一温度区域, A_K 急剧变化, 此温度区域称为韧脆转变温度。韧脆转变温度越低, 材料的低温抗冲击性能越好。

* 2. 小能量多次冲击试验简介

机械零件在实际使用中, 很少受一次大能量冲击而破坏, 一般是受多次小能量重复冲击后才破坏的。金属材料抵抗小能量多次冲击的能力叫做多冲抗力。多冲抗力可用一定冲击能量下冲断周次 N 表示。试验证明, 材料的多冲抗力取决于材料强度与韧性的综合力学性能, 冲击能量高时, 主要决定于材料的韧性; 冲击能量低时, 主要决定于强度。

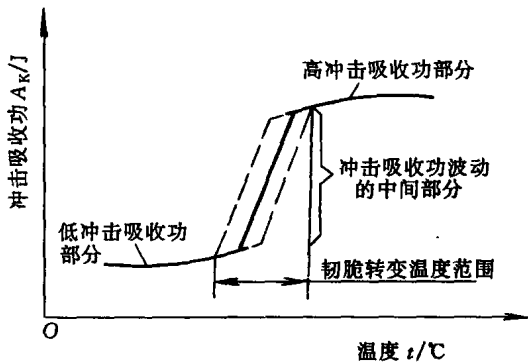


图 1-7 温度对冲击吸收功的影响

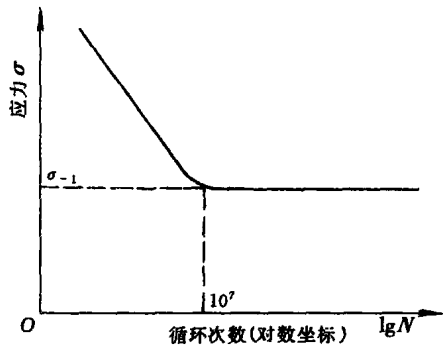


图 1-8 疲劳曲线示意图

二、疲劳强度

许多零件如轴、齿轮、弹簧等, 是在大小和方向变化的交变应力循环作用下工作的。零件在循环应力作用下, 常在远小于该材料的 σ_b , 甚至小于 σ_s 的情况下发生断裂。零件在循环应力作用下, 在一处或几处产生局部永久性累积损伤, 经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程, 称为金属疲劳。金属疲劳的判据是疲劳强度。由于疲劳断裂前无明显的塑性变形, 断裂是突然发生的, 危险性很大。

试验证明, 材料能承受的交变应力 σ 与断裂前应力循环次数 N 之间的关系见图 1-8, $\sigma-N$ 关系曲线称为疲劳曲线。由图可知, 当 σ 低于某一数值时, 曲线与横坐标平行, 表示材料可经无数次循环应力作用而不断裂, 这一应力称为疲劳强度, 光滑试样对称弯曲疲劳强度用 σ_{-1} 表示。在工程上, 疲劳强度是指在一定的应力循环次数下不发生断裂的最大应力。一般规定, 钢铁材料的应力循环次数取 10^7 , 有色金属取 10^8 。疲劳强度是在专门的疲劳试验机上测定的。

金属疲劳强度的影响因素很多, 如零件外形、表面质量、受力状态与周围介质等。合理设计零件结构、避免应力集中、降低表面粗糙度值、进行表面滚压、喷丸处理、表面热处理等, 可以提高工件的疲劳强度。

练习与思考题

1-1 什么是金属的力学性能？金属的力学性能主要有哪些？它们常用的判据是什么？

1-2 机械零件在工作时受到外力作用，强度高的材料不会变形，强度低的材料会发生变形，这种说法是否正确？你认为该怎样说？

1-3 某厂购进一批 15 钢，为进行入厂验收，制成 $d_0 = 10 \text{ mm}$ 的圆形截面短试样，经拉伸试验后，测得 $F_b = 33.81 \text{ kN}$ 、 $F_s = 20.68 \text{ kN}$ 、 $l_k = 65 \text{ mm}$ 、 $d_k = 6 \text{ mm}$ 。按 GB/T 699—1999 规定，15 钢的力学性能判据应符合下列条件： $\sigma_b \geq 375 \text{ MPa}$ 、 $\sigma_s \geq 225 \text{ MPa}$ 、 $\delta_5 \geq 27\%$ 、 $\psi \geq 55\%$ 。试问这批 15 钢的力学性能是否合格？

1-4 GB/T 700—1988 规定，Q235 钢的 $\sigma_b = 420 \text{ MPa}$ ， $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$ 。现用它制造圆截面拉杆，承受 1 000 kg 外力，试确定在以下工作条件下，拉杆截面积的极限值：

(1) 拉杆作为机械的保险零件，当外力 $> 1\,000 \text{ kg}$ 时发生断裂；(2) 外力去除后，拉杆能完全恢复到受力前的尺寸和形状。

1-5 现有标准圆形截面长短试样各一根，经拉力试验测得其断后伸长率 δ_{10} 、 δ_5 均为 25%，求两试样拉断时的标距长度？两试样中哪一根塑性好？为什么？

1-6 有一紧固螺栓使用后发现有塑性变形(伸长)，试分析材料的哪些性能判据没有达到要求。

1-7 起重机桁架、吊钩、传动链为什么多选用低碳钢制造？

1-8 用 45 钢制成的一种轴，图纸要求热处理后达到 220 ~ 250HBS，热处理车间将此零件处理后测得硬度为 22HRC，是否符合图纸要求？

1-9 在有关零件的图纸上，出现以下几种硬度技术条件的标注方法，问这些标注是否正确？为什么？

(1) 600 ~ 650HBS；(2) HBW = 200 ~ 250 kgf/mm²；(3) 10 ~ 15HRC；(4) 70 ~ 75HRC；(5) HRC45 ~ 50；(6) HRC = 50 ~ 60 kgf/mm²。

1-10 下列工件应采用何种硬度试验法测定硬度？写出硬度值符号。

(1) 铸铁机座毛坯；(2) 黄铜轴套；(3) 刨刀；(4) 硬质合金刀片；(5) 耐磨工件的表面硬化层。

1-11 什么是金属疲劳？金属的疲劳断裂是怎样发生的？如何提高零件的疲劳强度？