

JINSHU GONGYIXUE

职业技术教育规划教材

金属工艺学

铁路金工课程编写组 编

中国铁道出版社

职业技术教育规划教材

金属工艺学

铁路金工课程编写组 编
郑州铁路机械学校李凤翔 主审

中国铁道出版社

2001年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是职业技术教育规划教材,适用于机械类及近机械类专业,也可作为机械类及近机械类的各类专业技术人员的培训教材。

全书共十五章,内容主要有:金属材料及热处理;金属材料加工工艺(包括铸造、金属压力加工、焊接及切削加工);质量检验及零件失效分析;金属防护及非金属材料等。

本教材有与之配套的辅助教材《金属工艺学实验及习题》,供实验及课外作业使用;有试卷库,供教师教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/铁路金工课程编写组编. —北京:中国铁道出版社, 2001
职业技术教育教材

ISBN 7-113-04024-1

I. 金… II. 铁… III. 金属加工-工艺学-技术教育-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 03241 号

书 名: 金属工艺学

作 者: 铁路金工课程编写组 编

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑: 吴桂萍

封面设计: 陈东山

印 刷: 北京市燕山印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.5 字数: 386 千

版 本: 2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000 册

书 号: ISBN 7-113-04024-1/TH·88

定 价: 21.40 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

近年来, 职业技术教育得到了迅猛发展, 职业技术教育教学改革也面临着新的任务。特别是在强调培养学生适应岗位能力方面, 对教学内容、教学方法和教学手段等, 都提出了新的要求。铁路金工课程组为适应教学改革的要求, 于1997年对原国家教育委员会1987年颁布的教学大纲, 结合实际情况进行了修订, 并决定新编《金属工艺学》教材, 成立了教材编写组。编写组成员对编写提纲进行了认真讨论, 由部分成员到有关厂、段召开现场座谈会并进行现场考察, 收集了大量的有关资料。编写中也吸收了各校的教学经验, 采用了国家最新术语及标准, 丰富充实了教材内容。

新编教材试用后, 教材在密切联系现场实际, 内容及文字精练, 采用国家最新标准等方面, 受到各校的充分肯定, 同时对教材也提出了许多宝贵意见。课程组又组织人员对教材进行修订, 使之更加完善。并组织制作与教材配套的多媒体课件, 以满足教学需要。

全书由铁路金工课程编写组编, 由郑州铁路机械学校李凤翔主审。参加本书编写的有: 郑州铁路机械学校夏国贤、兰州铁路机械学校张芙丽(第二、三、四、五、六、十五章及绪论); 广州铁路机械学校李英(第一、七、八、九章); 济南铁路机械学校单洪标(第十、十一、十二章); 株洲铁路机械学校余新萍(第十三、十四章)。教材编写组成员还有: 王英杰、金升、涂嘉、丁克强、丁建平、王守晶、朱安莉、王青、龙雄辉、张锋、庄学功、鲁媛、金燕、左阳春。

由于编写者水平有限, 书中不当之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编 者

2000年10月

目 录

绪 论	1
第一章 金属材料的力学性能	3
第一节 强度和塑性	3
第二节 硬度	6
第三节 冲击韧性	9
第四节 金属的疲劳与蠕变	11
* 第二章 金属的晶体结构与结晶	13
第一节 纯金属的晶体结构与结晶	13
第二节 金属的同素异构转变	17
第三节 合金的相结构与结晶	17
第三章 铁碳合金状态图	22
第一节 铁碳合金的基本组织	22
第二节 铁碳合金状态图	24
第四章 钢的热处理工艺基础	31
第一节 概述	31
第二节 钢在加热、冷却时组织转变	31
第三节 钢的退火与正火	38
第四节 钢的淬火与回火	40
第五节 钢的表面热处理	42
* 第六节 热处理零件结构的工艺性	44
第七节 热处理新工艺简介	45
第五章 工业用钢	46
* 第一节 钢铁冶炼简介	46
* 第二节 杂质元素和合金元素在钢中的作用	47
第三节 钢的分类与牌号	51
第四节 非合金钢	53
第五节 低合金钢	59
第六节 合金结构钢	62
第七节 合金工具钢和高速工具钢	69

第八节 不锈钢、耐热钢及特殊物理性能钢	72
*第九节 典型零件材料的选择及热处理举例	76
第六章 铸 铁	81
第一节 概 述	81
第二节 灰 铸 铁	83
第三节 其他常用铸铁	85
第七章 非铁金属及粉末冶金	90
第一节 铜及铜合金	90
第二节 铝及铝合金	95
第三节 滑动轴承合金	98
*第四节 粉末冶金简介	101
*第八章 金属腐蚀与防护概述	104
第一节 金属腐蚀的分类与实质	104
第二节 金属腐蚀的防护方法	105
第九章 非金属材料简介	108
第一节 工程塑料概述	108
第二节 橡胶、陶瓷及复合材料概述	111
第十章 铸 造	115
第一节 概 述	115
第二节 砂型铸造	115
*第三节 常用合金的铸造性能	121
*第四节 铸件结构工艺性及铸造工艺规程的制订	123
第五节 特种铸造简介	128
第十一章 金属压力加工	132
第一节 概 述	132
*第二节 金属压力加工的基本原理	133
*第三节 金属锻造时的加热与冷却	136
第四节 自 由 锻	138
第五节 模锻简介	147
第六节 冲 压	147
第十二章 焊 接	150
第一节 概 述	150
第二节 焊条电弧焊	150

第三节	金属材料的焊接性能	154
第四节	焊接应力与变形	156
* 第五节	常见焊接缺陷及其产生原因	158
* 第六节	焊接工艺规程制订	159
第七节	其他焊接方法简介	164
第十三章	金属切削加工	169
第一节	金属切削加工基本知识	170
第二节	金属切削刀具	171
* 第三节	金属切削过程中的物理现象	175
* 第四节	提高切削加工质量及经济性的途径	179
第五节	金属切削机床	182
第六节	常用加工方法综述	189
第七节	数控加工与特种加工简介	201
* 第十四章	零件材料和毛坯的选择及零件切削加工工艺的制订	206
第一节	零件材料的选择	206
第二节	零件毛坯分析与选择	210
第三节	零件切削加工工艺	211
第四节	零件结构的切削加工工艺性	214
第五节	零件切削加工方法的选择	216
第六节	热处理工序在加工工艺路线中位置的确定	219
第七节	零件切削加工工艺规程的制订	220
第八节	典型零件切削加工工艺分析与制订	222
* 第十五章	产品质量检验及失效分析	227
第一节	无损检测方法	227
第二节	产品质量检验的环节	231
第三节	产品失效分析	232
	常用符号表	240
	参考文献	241

绪 论

一、金属工艺学在机械产品生产中的地位与作用

在人们的生活中,离不开机械制造行业制造的各种产品,从日常生活用品到高精尖的机械产品,都是用不同种类和性能的材料,通过一定的方法加工成零件,再经过组合装配成为产品,以满足人们生活日益发展的需要。例如,制造一台 SS₆ 型电力机车,根据设计图纸的要求,需要几百种材料,重量近 140 t,经过铸造、锻造、焊接、切削加工和热处理等加工方法制成零件,再经过组装、检验合格后成为一台机车。随着国民经济的迅速发展,我国已形成了产品门类齐全、分布合理的机械工业体系。如汽车、船舶、桥梁、机车、通讯和宇航等行业的各种产品,不仅满足了国内各个生产部门的需要,而且部分产品还远销国外。对金属工艺学的研究,将促进我国机械产品的发展,所以它在国民经济中起着十分重要的作用。

二、金属工艺学发展概况

金属工艺学是在生产实践中发展起来的一门科学,它对人类文明进步起了积极的推动作用。在金属工艺学发展的历史上,我国是使用金属材料最早的国家之一。我国使用铜的历史约有 4 000 余年,从大量出土文物证明,在商代(公元前 1562~1066 年)就有了高度发达的青铜加工技术。例如,河南安阳出土的司母戊大方鼎,重达 875 kg,它不仅体积庞大,而且上面花纹精巧、造型精美。在春秋时期我国就有了大量的铁器使用于农耕。这说明我国的炼铁技术比欧洲早 1 900 余年。战国时期我国已掌握较高的铸造、热处理技术,制出了“干将”“莫邪”等名剑,还可以用白口铁经热处理制造可锻铸铁。从东汉时期我国就掌握了炼钢技术,并流传到欧洲,比其他国家早 1 600 余年。到明朝就有比较完整的文字著作,宋应星所著的《天工开物》一书,内有记载冶铁、炼钢、铸钟、锻铁和淬火等各种金属加工方法,是世界上最早较全面阐述金属工艺科学文献之一。从以上历史事例,可以充分说明我国劳动人民在金属材料及加工工艺方面取得了辉煌的成就,为人类文明进步作出了巨大贡献。到了近代,由于封建社会制度的腐败和外国的侵略,严重阻碍了这门学科的发展,使它长期处于落后停滞状态。

新中国成立后,我国人民在党的领导下,在金属材料、非金属材料及其加工工艺方面有了很大提高,不断出现新材料、新工艺、新技术和新设备,这就标志着金属工艺学的研究与应用在我国历史上达到了新水平,并已跨入世界先进行列。

三、金属工艺学的性质、内容和学习基本要求

金属工艺学是一门实践性较强的综合技术基础课,是研究机械制造与设备维修的基础知识和基本技能,是职业技术教育机械类专业的必修课程。

本课程的内容可概略分为三部分,包括:金属材料及热处理;金属材料加工工艺;金属防护及非金属材料。上述内容在形式上各有独立性,但在机械制造与维修过程中,要因地制宜,合理应用,以获得最好的质量和最大的经济效益。

对本课程学习的基本要求是：

1. 初步掌握常用金属材料的分类、牌号（代号）、性能特点及应用，以及一般选材知识和常用的热处理方法；
2. 了解零件的各种加工方法的基本原理、工艺特点及加工范围，并初步具有选择毛坯和零件加工方法的能力；
3. 通过金工实验和金工实习，初步达到具有动手操作的能力。

第一章 金属材料的力学性能

金属材料的性能包括工艺性能和使用性能。

金属材料的工艺性能是金属材料在制造机械零件和工具的过程中,适应各种冷、热加工的性能,也就是金属材料采用某种加工方法制成成品的难易程度。它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

金属材料的使用性能是金属材料在使用条件下所表现出来的性能,它包括物理性能、化学性能和力学性能。金属材料的物理性能是金属固有的属性,包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。金属材料的化学性能是金属在化学介质作用下所表现出来的性能,包括耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性等。金属材料的力学性能是指金属在力作用下所显示与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能。它包括强度、塑性、硬度、韧性及抗疲劳性等。

表征和判定金属力学性能所用的指标和依据,称为金属力学性能判据。

一般在机械设备及工具的设计、制造过程中,所选用的金属材料大多以力学性能为主要依据,因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

第一节 强度和塑性

一、基本概念

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同,可以分为静载荷、冲击载荷及疲劳载荷三种。

静载荷 静载荷是大小不变或变动很慢的载荷。如机床作用在地面上的载荷。

冲击载荷 冲击载荷是突然增加的载荷。如用铁锤打桩时,桩所受的载荷。

疲劳载荷 疲劳载荷是加于试样或服役构件所经受的周期性或非周期性的动载荷(也称循环载荷)。如车轮运转时,车轮上某一点所受的载荷。

金属受力时其原子的相对位置发生改变,其宏观表现为形状和尺寸的变化称为变形。变形分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是随着外力的消失而消失的变形,如弹簧在正常工作时的拉长与恢复就是弹性变形。塑性变形是随着外力的消失而保留下来的变形,也叫永久变形或残留变形,如将圆钢锻造成齿轮毛坯的变形。

物体受外力作用后所导致物体内部之间的相互作用力称为内力,单位面积上的内力即称为应力,用符号 σ 表示。其计算公式为:

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ (MPa)}$$

式中 F ——外力(N);

S ——横截面积(mm^2)。

由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化称应变,通常以百分数(%)表示。

二、强 度

金属抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。强度大小通常用应力来表示。

根据载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度(σ_b)、抗压强度(σ_{bc})、抗弯强度(σ_{bb})、抗剪强度和抗扭强度(τ_b)等五种。金属材料的抗拉强度和塑性的判据,通过拉伸试验测定。

(一) 拉伸实验

用静拉伸力对试样轴向拉伸,测量力和相应的伸长,一般拉至断裂,测定其力学性能。

1. 拉伸试样 按 GB 6397—86 规定,对棒材(包括方形和六方形等)拉伸试样的形状一般采用圆形试样,如图 1-1 所示。

图中 L_0 为标距长度(原始标距,即试验前的标距。标距是拉伸试验过程中用以测量试样伸长的两个标记间的长度)。 d_0 是试样原始直径。根据 L_0 与 d_0 之间的关系,试样可分为长试样($L_0=10d_0$)和短试样($L_0=5d_0$)。一般无特殊说明,均采用长试样。但是,短试样较长试样节约材料,各国标准中有优先选用短试样的趋势。

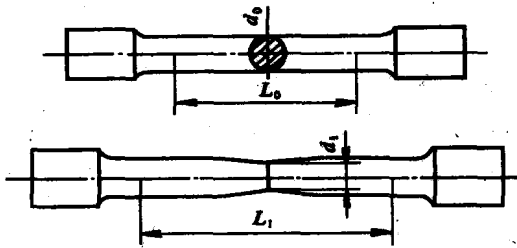


图 1-1 圆形拉伸试样

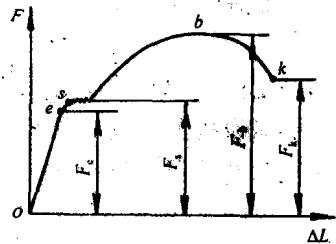


图 1-2 低碳钢力-伸长曲线

2. 力-伸长曲线 拉伸试验中记录的拉伸力对伸长的关系曲线叫做力-伸长曲线,也称拉伸图。图 1-2 是低碳钢的力-伸长曲线,图中纵坐标表示力 F , 单位为 N ; 横坐标表示绝对伸长 ΔL , 单位为 mm 。图中表现出四个变形阶段:

oe ——弹性变形阶段。此阶段内线段近似一条直线,表示受力不大时,试样变形是弹性变形,卸载后试样即恢复原状。 F_e 是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

es ——屈服阶段。当载荷超过 F_e 时,线段出现一段近似水平(或有波动),若此时卸载,试样的伸长只能部分地恢复,而保留一部分残余变形,即为塑性变形。当载荷增加到 F_s 时,图上出现平台或锯齿状,产生屈服现象。即在载荷不增加或略有减少的情况下,试样继续发生变形的现象叫做屈服。此时的载荷 F_s 称为屈服载荷。屈服后,材料将残留较大的塑性变形。

sb ——强化阶段。在屈服阶段以后,欲使试样继续伸长,必须不断加载,直到所加载荷为最大载荷 F_b 。在此过程中,随着塑性变形增大,试样变形抗力也逐渐增加,产生形变强化(或称加工硬化)。此时 F_b 为拉伸试验时试样所能承受的最大载荷。

bk ——缩颈阶段(局部塑性变形阶段)。当载荷达到最大值 F_b 时,试样的直径发生局部收缩,称为缩颈。由于截面变小,试样继续变形所需载荷也随之降低,当载荷达到 F_k 时,试样被拉断。

(二) 强度指标

金属材料抵抗拉伸载荷的强度指标有屈服点、规定残余伸长应力、抗拉强度等。

1. 屈服点和规定残余伸长应力

试样在试验过程中力不增加（保持恒定）仍能继续伸长（变形）时的应力称为屈服点，用符号 σ_s 表示，计算公式如下：

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

式中 F_s ——试样屈服时的载荷(N)；

S_0 ——试样原始横截面积(mm²)。

对塑性很低的金属材料（如一般机床床身），不仅没有明显的屈服现象，而且也不产生缩颈。如图 1-3 所示铸铁的力-伸长曲线。

对于无明显屈服现象的金属材料，一般测定其规定残余伸长应力值用 σ_r 表示。规定残余伸长应力是试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号应附以下角标说明。例如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力，按下列公式计算：

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

式中 $F_{r0.2}$ ——残余伸长率达 0.2% 时的载荷(N)；

S_0 ——试样原始横截面积(mm²)。

图 1-4 为规定残余伸长应力示意图。

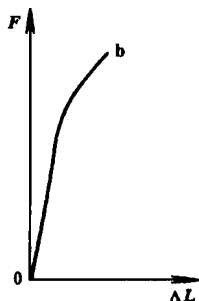


图 1-3 铸铁的力-伸长曲线

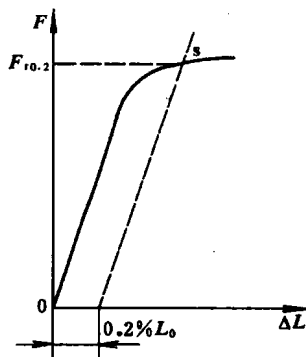


图 1-4 规定残余伸长应力示意图

屈服点和规定残余伸长应力是机械和工程技术上极为重要的力学性能指标之一。因为绝大部分结构件或零件在工作过程中不允许出现塑性变形。如内燃机车上柴油机的缸盖螺栓若产生塑性变形后果将不堪设想。

2. 抗拉强度

试样拉断前承受的最大标称拉应力称为抗拉强度。用符号 σ_b 表示，按下列公式计算：

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

式中 F_b ——试样承受的最大载荷(N)；

S_0 ——试样原始横截面积(mm²)。

σ_s (σ_r)、 σ_b 都是金属材料的主要力学性能指标，也是机械设计选材的主要依据之一。塑性材料一般用 σ_s 值，脆性材料没有屈服现象，一般则用 σ_b 值。

生产上使用的金属材料,把 σ_s/σ_b (或 σ_r/σ_b) 称为屈服比。屈服比小表示材料的可靠性好,即当零件承受载荷万一超过屈服点时,虽然产生塑性变形但还未达到断裂应力,零件不至于断裂,保证安全。但屈服比太小,则材料的利用率低。不同的金属材料对屈服比的要求有所不同,一般非合金钢约为 0.5~0.6;低合金结构钢约为 0.65~0.75;合金结构钢约为 0.7~0.8;弹簧钢约为 0.5~0.6。

三、塑 性

断裂前材料发生永久不可逆变形的能力称为塑性。常用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示塑性指标。如拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率 试样拉断后,标距的伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率。用符号 δ 表示,其计算公式如下:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_1 ——试样拉断后的标距 (mm);

L_0 ——试样的原始标距 (mm)。

长试样断后的伸长率用符号 δ_{10} 表示,通常写成 δ ;短试样的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同一材料的断后伸长率 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的。因此在比较不同材料的断后伸长率时,应尽量采用同样尺寸规格的试样。对同样的材料,一般情况下 $\delta_5 = (1.2 \sim 1.5) \delta_{10}$ 。

2. 断面收缩率 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为断面收缩率,用符号 ψ 表示。其计算公式如下:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样拉断处的最小横截面积 (mm^2)。

断面收缩率 ψ 的大小与试样尺寸因素无关。因此,所得的数值较准确。

金属材料的 δ 和 ψ 数值越大,表示材料的塑性越好。塑性好的金属适用于用压力加工、焊接等加工方法制成形状复杂的零件。例如工业纯铁的 δ 可达 50%, ψ 可达 80%,可以拉成细丝、轧薄板等。而白口铸铁的 δ 和 ψ 几乎为零,不能进行塑性变形加工。

第二节 硬 度

材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。

硬度是各种零件和工具必须具备的性能指标。机械设备中的齿轮,铁路机车车轮和钢轨,生产中使用的刀具、量具和模具等,都应具备足够的硬度,才能保证使用性能。因此硬度是金属材料重要的力学性能之一。

由于测定硬度的试验设备比较简单,操作方便、迅速,损伤很小(属无损检验),硬度值又可以间接地反映金属的强度以及金属在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异,因此硬度在产品的设计、制造及维修过程中应用十分广泛。

硬度试验的方法很多,有压入法(如布氏硬度、洛氏硬度等)、划痕法(莫氏硬度)、回跳法(肖氏硬度)等。生产中常用的是压入硬度试验法。

一、布氏硬度

1. 布氏硬度的测试原理 根据 GB 231—84 规定,是用一定直径的球体(钢球或硬质合金球)以相应的试验力压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,用测量的表面压痕直径计算硬度的一种压痕硬度试验。如图 1-5 所示。

布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示的硬度值。其计算公式如下:

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

式中 HBS (HBW)——用钢球(或硬质合金球)试验时的布氏硬度值;

F ——试验力 (N);

D ——球体直径 (mm);

d ——压痕平均直径 (mm)。

上式布氏硬度计算值一般不标出单位,只写明硬度的数值。

一般规定布氏硬度值小于 450 时,选用淬火钢球压头,硬度符号用 HBS 表示;当布氏硬度值在 450~650 之间时,选用硬质合金球压头,硬度符号用 HBW 表示。

在实际应用中,布氏硬度值一般不用计算,而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 d ,根据压痕直径的大小,再从硬度对照表中查出相应的布氏硬度值(见《金属工艺学实验及习题》附录一)。

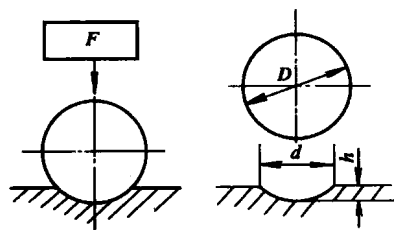


图 1-5 布氏硬度试验原理图

2. 布氏硬度的标注方法 布氏硬度用硬度数值及符号和实验条件表示。符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值,符号后面的数字按球体直径、试验力和保持时间(10~15 s 不标注)的顺序表示试验条件。例如:

120HBS10/1 000/30 表示用直径 10 mm 钢球在 1 000 kgf* (9.807 kN) 试验力作用下,保持 30 s 测得的布氏硬度值为 120。

500HBW5/750 表示用直径 5 mm 硬质合金球在 750 kgf (7.355 kN) 试验力作用下,保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 500。

一般情况,应尽量选用直径为 10 mm 钢球。

3. 布氏硬度的适用范围 布氏硬度的特点是试验时金属材料表面压痕大,能在较大范围内反映材料的平均硬度,测得的硬度值也较准确,数据重复性强。布氏硬度测量法适用于铸铁、非铁金属及其合金、各种退火及调质的钢件,特别适用于软金属,如铝、铅、锡等硬度的测量。但由于有压痕的存在,损伤成品表面。布氏硬度测试法不宜测定太硬、太小、太薄和表面不允许有较大压痕的零件。

布氏硬度值 HBS 与 σ_b 值在一定条件下存在着一定的近似关系,可以近似换算。其经验公式如下:

对于钢: 当 $HBS > 175$ 时 $\sigma_b \approx 3.62 \times HBS$

注: * 原有设备及试验规范力的单位仍使用 kgf。

当 $HBS < 175$ 时 $\sigma_b \approx 3.45 \times HBS$

对于灰铸铁: $\sigma_b \approx \frac{5}{3} (HBS - 40)$

二、洛氏硬度

1. 洛氏硬度测试原理 根据 GB 230—91 规定: 洛氏硬度试验是在初始试验力及主试验力先后作用下, 将压头 (金刚石圆锥体或钢球) 压入试样表面, 经规定保持时间后, 卸除主试验力, 用测量的残余压痕深度增量计算硬度的一种压痕硬度试验。

图 1-6 为用金刚石圆锥体压头进行洛氏硬度试验原理图。

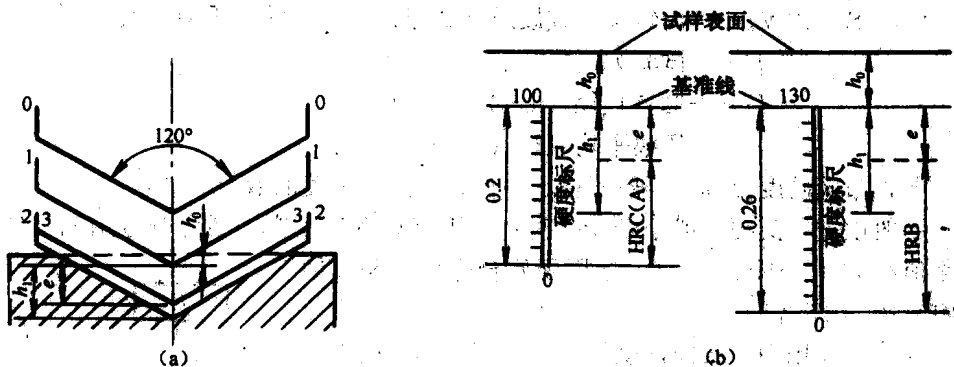


图 1-6 洛氏硬度试验原理

(a) 原理; (b) 标尺与 e 关系。

图中 0-0 位置为金刚石压头还没有和试样接触时的原始位置。当加上初始试验力 F_0 后, 压头压入试样中, 深度为 h_0 , 处于 1-1 位置, 此位置为测量压痕深度的起点, 再加主试验力 F_1 , 使压头又压入试样的深度为 h_1 , 处于 2-2 位置, 然后去除主试验力, 保持初始试验力。压头因材料有弹性恢复到图中 3-3 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 h 。

洛氏硬度值 HR 是用洛氏硬度相应标尺刻度满量程值与残余压痕深度增量之差计算的硬度值。其计算公式为:

$$HR = K - \frac{h}{0.002} = K - e$$

式中 K ——常数, 用金刚石圆锥体压头进行试验时 K 为 100, 用钢球压头进行试验时, K 为 130;

h ——压痕深度;

e ——残余压痕深度增量 (它是指硬度试验中, 在卸除主试验力并保持初始试验力的条件下测量的深度方向塑性变形量), 用 0.002 mm 为单位。

2. 洛氏硬度的表示方法 洛氏硬度的表示方法规定用符号 HR 表示, HR 前面为硬度数, HR 后面写使用的标尺。例如:

50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50;

70HRA 表示用 A 标尺测定的洛氏硬度值为 70。

3. 洛氏硬度的适用范围 测量洛氏硬度常用的标尺有 A、B、C 三种, 则洛氏硬度相应地用 HRA、HRB、HRC 三种表示, 洛氏硬度计可以测定从软到硬不同金属材料的洛氏硬

度，其试验范围如表 1-1 所示。

表 1-1 洛氏硬度试验规范（摘 GB 230—91）

洛氏硬度标尺	硬度符号	压头类型	初始试验力 F_0 (N)	主试验力 F_1 (N)	总试验力 F (N)	洛氏硬度范围	应 用
A	HRA	金刚石圆锥	98.07	490.3	588.4	20~88 HRA	适用测量硬质合金、表面淬火钢或渗碳钢
B	HRB	1.5875 mm 钢球	98.07	882.6	980.7	20~100 HRB	适用测量非铁金属,退火、正火钢等
C	HRC	金刚石圆锥	98.07	1373	1471	20~70 HRC	适用淬火钢、调质钢等

洛氏硬度与布氏硬度相比，其数据重复性差，硬度值的准确性较差。在测量洛氏硬度时，一般至少要选取不同位置的三点测出硬度值，再计算平均值。但洛氏硬度试验压痕小，对试样表面损伤小；试验操作简便，可以直接从试验机上读出硬度值；常可直接检验从很软到很硬，厚度很薄，金属材料的成品或半成品的硬度。

* 三、维氏硬度

1. 维氏硬度测试原理 根据 GB 4340—84 规定，将相对面夹角为136°的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量的压痕对角线长度来计算硬度的一种压痕硬度试验。如图 1-7 所示。

维氏硬度值是用正四棱锥形压痕单位面积上所承受的平均压力表示的硬度值。其计算公式为：

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 HV——维氏硬度值；

F ——试验力 (N)；

d ——压痕两对角线长度算术平均值 (mm)。

在实际工作中，维氏硬度值同布氏硬度一样，不需公式计算，而是根据压痕对角线长度，从专用表中直接查出。

2. 维氏硬度的表示方法 维氏硬度的标注方法规定：用符号 HV 表示，HV 前面为硬度值，HV 后面的数字按顺序用数字表示试验条件。例如：640HV30/20 表示用 30 kgf (294.2 N) 试验力，保持 20 s 测定的维氏硬度值为 640。

3. 维氏硬度的适用范围 维氏硬度试验时对试件表面质量要求较高，测试方法较繁，但因可加的试验力小，压入深度较浅，故可测量较薄或表面硬度值较大的材料的硬度及很软到很硬的各种金属材料的硬度，且连续性好、准确性高。

布氏硬度、洛氏硬度与抗拉强度之间存在着一定的近似关系。由于这些硬度测定的物理意义不同，应尽量避免相互换算。当必须换算时，应按照 GB 1172—74 《黑色金属硬度及强度换算值》规定进行换算（见《金属工艺学实验及习题》附录二）。

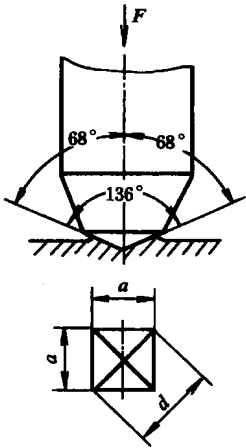


图 1-7 维氏硬度试验原理图

第三节 冲击韧性

许多机械零件在工作中，往往要受到冲击载荷的作用，如铁路车辆的车钩、内燃机车上的活塞销、锻锤的锤杆等。在选用制造这类零件的材料时，用静载荷作用下的力学性能指标

(强度、塑性、硬度)来衡量是不安全的,必须考虑材料在动载荷作用下测量的力学性能,即冲击韧性。冲击韧性的判据常用冲击吸收功来表示,吸收冲击功是规定形状和尺寸的试样在冲击试验力一次作用下折断时吸收的功。目前,常用一次摆锤冲击试验,小能量多次冲击试验来测定金属材料的冲击吸收功。

一、一次摆锤冲击试验

1. 一次摆锤冲击试样 根据规定,常用的冲击试样的形状有 V 形缺口和 U 形缺口试样,其尺寸如图 1-8 所示。

2. 一次摆锤冲击试验 用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的缺口试样进行一次性打击,测量试样折断时的冲击吸收功。

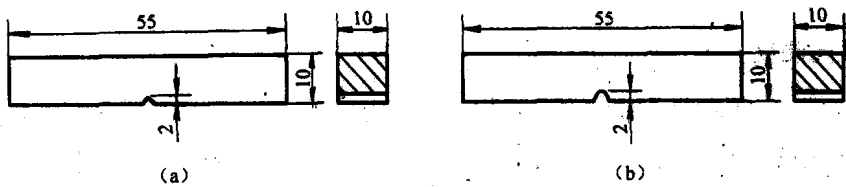


图 1-8 冲击试样
(a) V 型缺口; (b) U 形缺口。

冲击试验的方法:将待测的金属材料加工成标准试样,然后放在试验机的支座上,放置时,试样缺口应背向摆锤的方向,如图 1-9 所示。再将具有一定重力 m_g 的摆锤举至一定的高度 h_1 ,使其获得一定的势能 ($m_g h_1$),

然后使摆锤自由落下,将试样冲断。摆锤的剩余势能为 $m_g h_2$ 。试样破断所吸收的能量即是摆锤冲击试样所作的功,称为冲击吸收功,用符号 A_K 表示,单位为 J。其计算公式如下:

$$A_K = m_g(h_1 - h_2) \quad (J)$$

式中 A_K ——冲击吸收功 (J);

m_g ——重力 (N);

h_1 ——摆锤举起高度 (m);

h_2 ——摆锤落下后回升高度 (m)。

对 V (U) 型试样,冲击吸收功用

A_{KV} (A_{KU}) 表示。

在同一温度,由不同材料做成的相同的冲击试样,冲击吸收功越大,表示材料的韧性越好。

3. 韧脆转变温度 在不同温度、相同材料、相同冲击试样的一系列冲击试验时,随温度的降低,冲击吸收功总的变化趋势是随温度降低而降低。当温度降至某一数值时,冲击吸收功急剧下降,材料由韧性断裂变为脆性断裂,这种现象称为冷脆转变。金属的韧性状态向脆性状态转变的温度称为韧脆转变温度。韧脆转变温度是衡量金属材料冷脆倾向的指标,材料的韧脆转变温度愈低,材料的低温冲击韧性愈好。碳素结构钢的韧脆转变温度为 $-20^{\circ}C$,