

21 世纪高校规划教材

机械制造基础

主编 龚建国

江西高校出版社

21 世纪高校规划教材

机械制造基础

主 编 龚建国
副主编 杨 安 谢惊涛
文红民 宋志良

江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/龚建国主编. —南昌:江西高校出版社, 2005.1

ISBN 7-81075-617-6

I. 机… II. 龚… III. 机械制造-高等学校:技术学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004) 第 142976 号

内容简介

本书介绍了各种工程材料的结构与性能;金属热处理方法;金属材料铸、锻、焊等热加工工艺;机械零件制造时的选材与工艺路线分析;互换性与技术测量这几方面的内容。

全书共十六章。第一章主要介绍金属及其合金主要性能;第二章主要介绍金属晶体结构与结晶过程;第三章主要介绍铁碳合金类型及其性能;第四章主要介绍各类金属热处理方法;第五章主要介绍有色金属与应用;第六章主要介绍非金属材料基本类型与应用;第七章主要介绍铸造生产工艺;第八章主要介绍锻压生产工艺;第九章主要介绍焊接生产工艺;第十章主要介绍机械零件选材与工艺路线分析;第十一章主要介绍互换性与技术测量基本概念;第十二章主要介绍极限与配合;第十三章主要介绍技术测量知识;第十四章主要介绍形位公差;第十五章主要介绍表面粗糙度;第十六章主要介绍典型零件公差与配合。

本书为高职高专院校机电类专业规划教材,也可作为机械类专业工程技术人员的培训教材或参考书。参考教学时数为 86~96 课时。

江西高校出版社出版发行

(江西省南昌市洪都北大道 96 号)

邮编:330046 电话:(0791)8592235, 8504319

江西太元科技有限公司照排部照排

江西教育印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 20.75 印张 516 千字

印数:1~1500 册

定价:31.00 元

(江西高校版图书如有印刷、装订错误,请随时向承印厂调换)

前言

本书是根据教育部规划教材编委会的教学大纲,并结合我们多年来教学实践的经验编写而成的。可供高等职业技术学院与高等专科学校机械、机电、模具类专业作教材,也可供相关工程技术人员作培训教材及参考书之用。

本书从培养职业技术人才的目的出发,介绍了工程材料、金属材料热处理、热加工工艺、机械零件选材与基本工艺路线分析、互换性与技术测量等机械制造基础知识,并在金属材料性能特点与应用特性、热处理方法与操作步骤、热加工工艺过程操作方法、互换性技术应用方法等方面作了重点阐述,目的是为了使学生掌握工程材料选用方法、金属材料热处理方法、热加工工艺方法和技术特点、互换性技术条件选用与标注等机械制造基本技能。

随着教学改革的深入,为了能更便于教学,我们在编写本书时做到了理论上坚持以应用为目的,以必需、够用为度。注意对相关知识内容进行整合、提炼与更新,并适当介绍新材料、新工艺和新技术。本书语言简炼透彻、通俗易懂,讲解深入浅出。书中采用了大量实际插图图解技术,直观、真实、具体,实现了图文并茂。本书实用性强,书中除了有针对性地列举了足够的与机械专业有关的生产实例外,在实践性较强的章节后面都配有适量的相应实践实验课题,确保学生在掌握基本技术知识基础上得到充分的实践训练。为了适应不同学校或不同专业教学需要,书中还增设了一些选学内容,以满足不同的教学要求。本书举例丰富,并每章都附有习题,供教学参考。

本书由江西现代职业技术学院龚建国副教授任主编,江西旅游商贸学院杨安老师、九江职业技术学院谢惊涛老师、南昌工程学院文红民老师、江西应用技术职业学院宋志良老师任副主编。江西旅游商贸学院贺新彬老师编写了第一、二章;江西应用技术职业学院宋志良老师编写了第三、四章;杨安老师编写了第五、六章;九江职业技术学院干秦湘老师编写了第七章;九江职业技术学院谢惊涛老师编写了第八、十二章;文红民老师编写了第九、十章;龚建国老师编写了第十一章、十六章;江西工业贸易职业技术学院周中民老师编写了第十四章;江西现代职业技术学院刘建春老师编写了第十三、十五章。全书由华东交通大学刘志方教授主审,江西现代职业技术学院李斌艳、洪流老师参审。江西现代职业技术学院蒋三生、李莹老师进行绘图和录入工作。

由于水平有限,经验不足,书中错误难免,望读者指正。

编者

2004年8月

目 录

第一章 金属及合金的主要性能	1
第一节 金属及合金的机械性能	1
第二节 金属及合金工艺性能	8
习题一	9
第二章 晶体结构与结晶	10
第一节 金属晶体结构	10
第二节 金属的冷却和结晶过程	13
第三节 合金的结构	16
第四节 二元合金状态图的概念	17
习题二	20
第三章 铁碳合金	21
第一节 铁碳合金的基本组织	21
第二节 铁碳合金相图	22
第三节 铸铁的分类和应用	28
第四节 钢的分类和应用	34
习题三	43
实验一 金相试样的制备	44
实验二 铁碳合金平衡显微组织观察与分析	46
实验三 典型合金、铸铁、有色金属显微组织分析比较	49
实验四 金属材料成分火花鉴别法	51
第四章 钢的热处理	55
第一节 热处理过程中钢的组织转变	55
第二节 钢的热处理及应用	60
第三节 常用铸铁、合金钢的热处理	66
习题四	70
实验一 钢铁硬度测试	71
实验二 钢铁热处理操作	74
第五章 有色金属及其应用	77
第一节 铝及其合金的应用	77
第二节 铜及铜合金的应用	81
第三节 轴承合金及其应用	84
第四节 钛及钛合金的应用	85
第五节 粉末冶金材料	86
习题五	87
第六章 非金属材料及其应用	88

第一节 高分子合成材料	88
第二节 陶瓷材料及其应用	97
第三节 复合材料的应用	98
* 第四节 其他工程材料简介	101
习题六	104
第七章 铸造生产	105
第一节 铸造生产的特点及应用	105
第二节 铸造生产的基本原理	106
第三节 砂型铸造	110
第四节 铸件的结构工艺性	114
第五节 特种铸造简介	117
习题七	119
第八章 锻压生产	120
第一节 金属的塑性变形	121
第二节 常用的锻造方法	124
第三节 板料冲压	134
第四节 其他锻压方法简介	139
习题八	141
第九章 焊接生产	143
第一节 概述	143
第二节 焊接生产的特点及其应用	144
第三节 常用的焊接方法	145
第四节 其他焊接方法	159
第五节 常用金属的可焊性	164
第六节 焊接结构的工艺性	167
习题九	172
实验一 焊接接头组织和性能实验	173
第十章 机械零件选材与工艺分析	175
第一节 机械零件材料及毛坯选择的一般原则	175
第二节 典型零件材料和毛坯的选择及加工工艺分析	180
第三节 热处理技术条件标注	186
习题十	189
第十一章 互换性概述	190
第一节 互换性的基本概念	190
第二节 标准化	192
习题十一	193
第十二章 极限与配合	194
第一节 极限与配合的基本术语及其定义	194
第二节 极限与配合标准的主要内容	201
第三节 极限与配合选择的主要内容	215

第四节 一般公差(GB1804 - 92)	220
习题十二	221
第十三章 技术测量基础	222
第一节 测量的基本概念	222
第二节 长度单位 长度基准和尺寸传递系统	223
第三节 测量器具与测量方法的分类	226
第四节 测量误差及数据处理	230
习题十三	237
实验一 用内径指示表测量孔径	238
实验二 光滑极限量规应用	240
第十四章 形位公差	245
第一节 概述	245
第二节 形状公差	247
第三节 位置公差	250
第四节 形位公差的选用	255
习题十四	259
实验一 基本形状误差测量	259
实验二 基本位置误差测量	262
第十五章 表面粗糙度	264
第一节 表面粗糙度基本概念	264
第二节 表面粗糙度的评定	265
第三节 表面粗糙度的参数及其选用	267
第四节 表面粗糙度符号、代号及其注法	272
习题十五	275
实验一 表面粗糙度的测量	275
第十六章 典型零件的公差与配合简介	280
第一节 滚动轴承的公差与配合	280
第二节 键、花键的公差与配合	290
第三节 螺纹的公差与配合	297
第四节 渐开线圆柱齿轮齿轮副的公差与配合	307
习题十六	320
实验一 齿轮公法线长度的测量	321
参考文献	324

第一章 金属及合金的主要性能

目前工农业生产中所使用的各种机械,绝大部分是由金属材料制定的。金属材料能得到广泛的应用,除了由于金属材料的种类很多外,主要是由于金属材料本身具有优良的性能,可满足各种机械的加工和使用要求。

金属材料的性能,是指用来表征材料在给定外界条件下的行为参量。当外界条件发生变化时,同一种材料的某些性能也会随之变化。通常所指金属材料的性能包括以下两个方面:

1. 使用性能 即为了保证零件、工程构件或工具等的正常工作,材料所应具备的性能,它包括力学、物理、化学等方面的性能。金属材料的使用性能决定了其应用范围、安全可靠性和使用寿命等。

2. 工艺性能 即反映金属材料在被制成各种零件、构件和工具的过程中,材料适应各种冷、热加工的性能,主要包括铸造、压力加工、焊接、切削加工、热处理等方面的性能。工程技术上不但要求金属材料具有良好的使用性能,而且要求具有良好工艺性能。这里仅简单介绍金属材料的机械、物理、化学及工艺性能。

第一节 金属及合金的机械性能

金属及合金的机械性能是指在外加载荷(外力或能量)作用下,或载荷与环境因素(温度、介质和加载速率)联合作用下,金属及合金抵抗载荷引起变形和断裂的能力。亦称材料的力学性能。它主要包括强度、刚度、硬度、塑性和韧性等。

根据载荷性质,零件受力情况可分为静载荷和动载荷两类。静载荷是指逐渐而缓慢地作用在构件上的力,如机床床头箱对床身的压力、钢索的拉力、梁的弯矩、轴的扭矩和剪切力等。动载荷包括冲击载荷和交变载荷等,如空气锤锤杆所受的是冲击载荷;齿轮、曲轴、弹簧等零件所承受力的大小与方向是随时间而变化的交变载荷等。

无论何种固体材料,其内部原子之间都存在相互平衡的原子结合力的相互作用。当工件材料受外力作用时,原来的平衡状态受到破坏,材料中任何一个小单元与其邻近的各小单元之间就诱发了新的力,称为内力。在单位截面上的内力,称为应力,以 σ 或 τ 表示。材料在外力作用下引起形状和尺寸改变,称为变形,包括弹性变形(卸载后可恢复原来形状和尺寸)和塑性变形(卸载后不能完全恢复原来形状和尺寸)。

一、强度和塑性

1. 强度 金属抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。

根据载荷作用形式的不同,强度可分为抗拉、抗压、抗弯、剪切、抗扭强度等。在机械制造中常用屈服点和抗拉强度作为金属材料强度的主要判据, σ_s 和 σ_b 表示。

(1) 拉伸试验 常用的强度判断测定方法是拉伸试验。拉伸试验是将标准的拉伸试样装在拉伸试验机上,用静拉伸力对试样进行轴向拉伸,测量力和相应的伸长,一般拉至断裂,测定其力学性能。

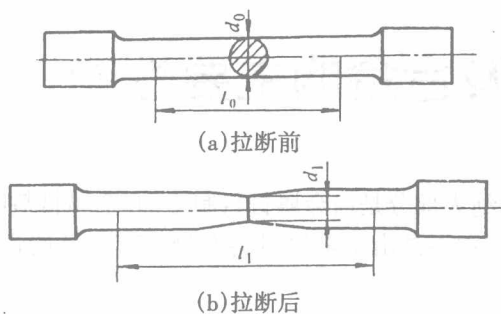


图 1-1 钢的标准拉伸试样板

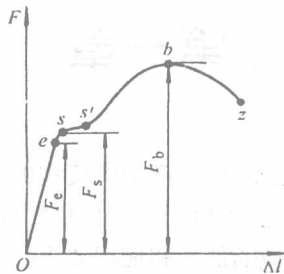


图 1-2 退火低碳钢的拉伸图

1) 拉伸试样 在国家标准(GB397—86)中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确规定。图 1-1 为标准圆形拉伸试样。

根据标距长度与直径之间关系,试样可分为长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)两种。一般工厂采用的试样直径为 $d_0 = 10\text{mm}$ 。

2) 力-伸长曲线 拉伸试验中记录的拉伸力与伸长的关系曲线叫做力-伸长曲线,如图 1-2 所示。图中纵坐标为拉伸力 F ,单位为 N;横坐标表示绝对伸长量,即在某一拉伸力时试样长度与原始标距长度的差值,即 $\Delta l = l_1 - l_0$ 。

从力-伸长曲线图 1-2 可见,韧性材料试样(如低碳钢、不锈钢等)随拉伸力增加,经历了几个特性阶段,由此可以确定拉伸时的几个强度判据。

图 1-2 中的 Oe 段,为弹性变形阶段。当拉伸力在 $O - F_e$ 范围内时,随载荷的增加,试样产生变形而伸长,如去除拉伸力,变形则完全消失,即产生弹性变形。而 e 点所对应的变形量是弹性变形的最大限度。

图 1-2 中的 es 段,为微量塑性阶段。当拉伸力超过 F_e 时,若卸载,试样不能完全恢复到原来的长度,而保留一部分变形。 ss' 段,为屈服阶段。当拉伸力超过 F_s 时,即时不再增加载荷,试样仍继续变形,这种在拉伸力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, F_s 称为屈服载荷。

图 1-2 中的 ss' 与 bz 段,为材料的强化缩颈阶段。在 $s'b$ 段,欲使试样继续变形,则必须增加拉伸力。随着塑性变形的增加,材料变形抗力也渐增加,这种现象称为变形强化(或称为加工硬化)。 F_b 为试样拉伸试验时的最大拉伸力。当拉伸力达到 F_b 以后,试样的直径发生局部收缩,称为“缩径”。试样变形所需的拉伸力也随之降低。变形集中在缩颈部位,直至断裂。

(2) 强度判据

1) 屈服点 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 σ_s 表示:

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-1)$$

式中: σ_s ——屈服点(MPa);

F_s ——屈服时的拉伸力(N);

A_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

对于屈服现象不明显的材料,如高碳钢、铸铁等,如图 1-3 所示,测定 σ_s 很困难。规定以试样长度方向产生 0.2% l_0 塑性变形量时的应力作为试样的“规定残余伸长应力”,用 $\sigma_{r0.2}$ 表示:

$$\sigma_{r0.2} = F_{r0.2} / A_0 \quad (1-2)$$

式中: $\sigma_{r0.2}$ ——规定残余伸长应力(MPa);

$F_{r0.2}$ ——残余伸长量为试样原始标距长度0.2%时的拉伸力(N);

A_0 ——试样原始横截面积(mm²)。

2) 抗拉强度(σ_b) 试样拉断前承受的最大拉应力,称为抗拉强度,用 σ_b 表示,即

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-3)$$

式中: σ_b ——抗拉强度(MPa);

F_b ——试样断裂前承受的最大拉伸力(N);

A_0 ——试样原始横截面积(mm²);

屈服点和抗拉强度均为设计和使用金属材料的重要依据。机械零件与工具的使用应力必须小于材料的屈服点,若超过其屈服点则会引起明显的变形,导致机械零件和工具的损坏;若大于抗拉强度,则会发生断裂,造成事故。

在工程上,把 σ_s/σ_b 的比值称为屈服比。其值高,则材料强度的有效利用率高,但过高也不好,一般以 0.75 左右为宜。

2. 塑性 断裂前材料产生不可恢复的永久变形的能力,称为塑性。常用的塑性判据有断裂后伸长率和断面收缩率,它们都是通过拉伸试验求得的。

(1) 断后伸长率 试样在拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比,称为断后伸长率,用符号 δ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: l_0 ——试样原标距长度(mm);

l_1 ——拉断后试样的标长度(mm)(图 1-1);

δ ——断后伸长率(%)。

在材料手册中常常可以看到 δ_5 和 δ_{10} 两种符号,它分别表示用 $l_0 = 5d$ 和 $l_0 = 10d$ (d 为试样直径) 不同长度试样测定的伸长率。 L_1 是试样的均匀伸长和产生缩颈后伸长的总和。很明显,断试样中缩颈的伸长量所占的比例大,故同一材料所测得的 δ_5 和 δ_{10} 值是不同的, δ_5 的值较大,而 δ_{10} 值较小,例如钢材的 δ_5 大约为 δ_{10} 的 1.2 倍。所以相同符号的伸长率才能进行相互比较。

(2) 断面收缩率 Ψ 断面收缩率用下式求得:

$$\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: A_0 ——试样原来的截面;

A_1 ——试样拉断后缩颈处的截面积(图 1-1)。

断面收缩率不受试样标距长度的影响,因此能更可靠地反映材料的塑性。

断后伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 是金属材料的两个重要塑性判据,它反映金属材料塑性变形能力的大小。 δ 、 Ψ 的值越大,金属材料的塑性越好。反之,塑性越差,脆性越大。变形量要求较大的零件或产品的加工,特别是深冲加工,则要求材料必须具有足够高的断后伸长率和断面收缩率。

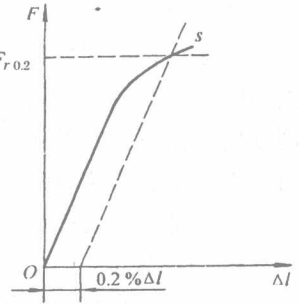


图 1-3 高碳钢拉伸图

二、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,是衡量金属软硬的判据。其试验方法简便、迅速,不需要破坏试件,设备也比较简单,而且对大多数金属材料,可以从硬度值中估算出它的抗拉强度,因此在设计图样的技术条件中大多规定材料的硬度值。检验材料或工艺是否合格有时也需用硬度。因此,硬度试验在生产中广泛应用。

硬度是通过硬度试验来测定的,最常用的硬度试验方法有布氏、洛氏、维氏硬度试验法。

1. 布氏硬度

(1) 布氏硬度试验原理 布氏硬度试验方法是把规定直径的淬钢球或硬质合金球以一定的试验力压入所测材料表面(图 1-4),保持规定时间后,测量表面压痕直径(图 1-5),然后按下式计算硬度:

$$\text{HBS}(\text{HBW}) = F/A = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-6)$$

式中: HBS(HBW)——S 表示用淬钢球(W 表示硬质合金球)试验时的布氏硬度值;

F ——试验力(N);

A ——压痕表面积(mm^2);

D ——球体直径(mm);

d ——压痕平均直径(mm)。

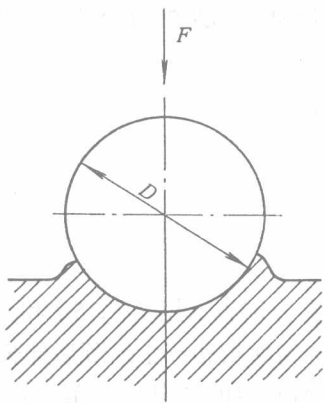


图 1-4 布氏硬度测量示意图

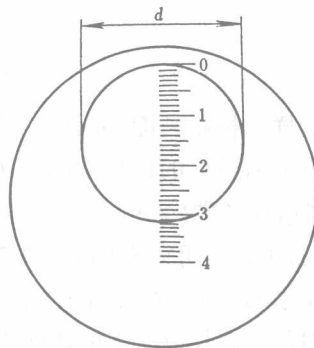


图 1-5 用读数显微镜测量

由布氏硬度计算公式可见,当外加试验力、压头直径一定时,布氏硬度值的大小只与压痕直径 d 有关, d 越小,则硬度值越大,金属材料越硬;反之, d 越大,则硬度值越小,金属材料越软。所以在实际测量时,用读数显微镜测出压痕的直径 d (见图 1-5),根据压头球体直径及施加的载荷,查阅已计算好硬度表即可得到布氏硬度值。

(2) 布氏硬度值表示方法 当试验压头为钢球时,其硬度符号用 HBS 表示,适于检测布氏硬度值小于 450 的材料;当试验压头为硬质合金时,其硬度符号用 HBW 表示,适于检测布氏硬度值小于 650 的材料。一般硬度值写在布氏硬度符号 HBS(HBW) 之前,符号之后的数字表示检测条件,依次为压头直径、试验力、试验保持时间(保持时间为 10 ~ 15s 时,可省略不标)。如 255HBS10/3000/30,则表示用直径 10mm 的淬硬钢球,外加试验力 29 420N(3 000kgf),加载保持时间为 30s,测出的布氏硬度值为 255。530HBW5/750,表示用直径 5mm 的硬质合金球,在 7355N(750kgf) 的试验力作用下,保持 10 ~ 15s 时测得的布氏硬度值为 530。

目前,布氏硬度主要用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的钢材。

2. 洛氏硬度

当被测金属材料硬度较高时,可用洛氏硬度试验来测定其硬度值。它是采用直接测量压痕深度来确定硬度值的。

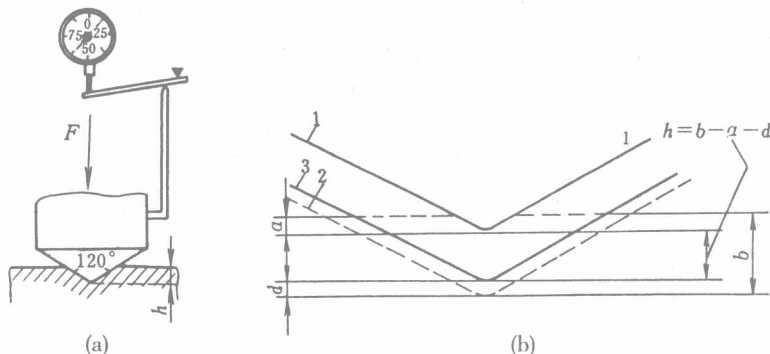


图 1-6 洛氏硬度实验原理

(1) 洛氏硬度试验原理 洛氏硬度试验原理如图 1-6 所示。它是用顶角为 120° 金钢石圆锥体或直径为 1.5875mm ($1/16$ 英寸) 的淬火钢球作压头,先施加的初始试验力 F_1 (98N),再加上主试验力 F_2 ,其总试验力为 $F = F_1 + F_2$ (数值有三种: 588.4N 、 980.7N 、 1471N)。图 1-6 中 1 为压头受到初始试验力 F_1 后压入试样的位置;2 为压头受到总试验力 F 后压入试样的位置且经规定的时间,卸除主试验力 F_2 ,仍保留初始试验力 F_1 ,试样弹性变形的恢复使压头上升到 3 的位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为 h ,即 1 位置至 3 的位置深度。金属越硬, h 值越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念,故人为规定一常数 K 减去压痕深度 h 的值作为洛氏硬度指标,并规定每 0.002mm 为一个洛氏硬度单位,用符号 HR 表示。则洛氏硬度值为:

$$\text{HR} = \frac{K - h}{0.002} \quad (1-7)$$

由此可见,洛氏硬度值是一个无量纲的材料性能指标,使用金刚石压头时,常数 K 为 0.2 ;使用钢球压头时,常数 K 为 0.26 。

(2) 洛氏硬度值表示方法 洛氏硬度是以压头压入材料表面的深度来确定其硬度值的,它可直接从硬度计的刻度盘上读数。根据压头类型和总试验力的不同,有 A、B、C 三种常用标尺,分别写作 HRA、HRB、HRC。洛氏硬度值的表示方法为数字写在硬度符号前面,如 45HRC,则表示用金刚石压头,总实验力为 1471N ,测得的洛氏硬度值为 45。表 1-1 为洛氏硬度试验及硬度范围。

表 1-1 洛氏硬度试验及硬度范围

硬度符号	压头类型	总试验力 /N	硬度范围	应用举例
HRA	金刚石圆锥	588.4	20 ~ 88HRA	硬质合金、表面淬火钢等
HRB	1.5875mm 钢球	980.7	20 ~ 100HRB	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	金刚石圆锥	1471	20 ~ 70HRC	一般淬火钢件

洛氏硬度试验法的优点是操作简单迅速,用不同的洛氏硬度标尺可测量很软到很硬的材料;压痕较小,可测量尺寸较小的零件及成品零件。但测定的硬度值不如布氏硬度值准确、稳

定,数据重复性较差,故需在试样表面上不同部位测试三点,取其算术平均值,作为所测洛氏硬度值。

3. 维氏硬度

维氏硬度的试验原理与布氏硬度相同,也是根据压痕单位面积所承受载荷来计算硬度值的。所不同的是维氏硬度试验所用的压头不是球体,而是两相对面间夹角 α 为 136° 的金刚石四棱锥体。其试验原理如图1-7所示。压头在载荷 $F(\text{N})$ 作用下,将试样表面压出一个四方锥形的压痕,经规定保持时间后,卸除载荷,测量压痕对角线长度 $d(\text{mm})$,以下式求出硬度值:

$$\text{HV} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-8)$$

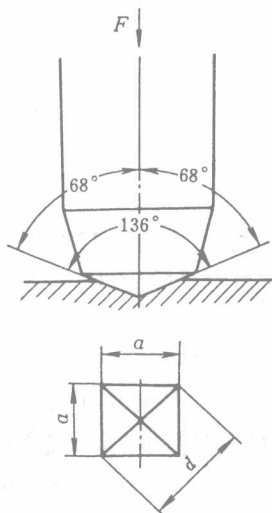
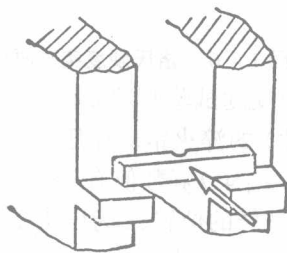
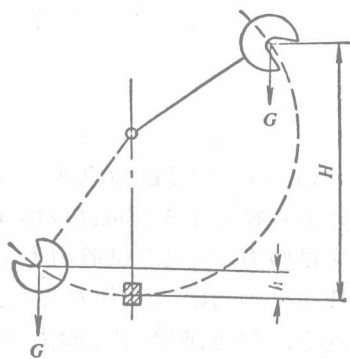


图1-7 维氏硬度试验原理及压痕示意图



(a) 试样安放位置



(b) 冲击试验原理图

图1-8 冲击试验原理图

维氏硬度的表示方法是:HV 前面为硬度值,HV 后面按以下顺序用数字表示试验条件: a . 试验力; b . 试验力保持时间(10 ~ 15s 不标注)。例如:640HV30表示用294.2N试验力保持10 ~ 15s测定的维氏硬度值为640。

维氏硬度试验因所加载荷小,压入深度浅,故适用测试零件表面为淬硬层及化学热处理的表面层(如渗碳层、渗氮层等);同时维氏硬度是一个连续一致的标尺,试验时载荷可任意选择,而不影响其硬度值大小,因此可以测定从极软到极硬的各种金属材料的硬度。

三、冲击韧性

以很大速度作用于机件上的载荷称为冲击载荷。许多机器零件和工具在工作过程中,往往受冲击载荷的作用,如冲床的冲头、锻锤的锻杆、内燃机的活塞销与连杆、风动工具等。由于冲击载荷的加荷速度高,作用时间短,使金属在受冲击时应力分布与变形很不均匀。故对承受冲击载荷零件的性能要求,仅具有足够的静载荷指标是不够的,还必须具有足够抵抗冲击载荷的能力。

1. 冲击韧性 金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力叫冲击韧性。为了评定金属材料的冲击韧性,需进行一次冲击试验。将标准冲击试样按图1-8(a)所示置于试验机支座上,使其缺口背向摆锤的冲击方向,然后使具有一定质量 m 的摆锤自高度 H 自由落下,冲断试样,摆锤又升至高度 h 。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。

$$A_K = G(H - h) \quad (1-9)$$

式中: A_K ——冲击吸收功(J);

G ——摆锤的重力(N), $G = mg$;

H ——摆锤举起的高度(m);

h ——冲击试样后,摆锤回升的高度(m)

冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功,称为冲击韧性,用 a_K 表示。

$$a_K = A_K/A_0 \quad (1-10)$$

式中: a_K ——冲击韧性(J/cm²);

A_K ——冲击吸收功(J);

A_0 ——试样缺口底部横截面积(cm²)。

a_K 值越高,材料的韧性越好,反之,越低。

2. 多次冲击试验的概念 冲击韧性是在大能量一次冲击条件下测得的,但在实际工作中,绝大多数零件所承受的冲击载荷属于小能量多次冲击,零件的折断是由多次冲击造成的累积损伤所致。研究表明:材料的多次冲击抗力主要取决于强度和塑性的综合性能判据。冲击能量小时,材料的多次冲击抗力主要取决于材料的强度;冲击能量大时,则主要取决于材料的塑性。

3. 韧脆转变温度 实践表明, A_K 随温度降低而减少;在某一温度范围,材料的 A_K 值急剧下降,表明材料由韧性状态向脆性状态转变,见图 1-9,此时的温度称为韧脆转变温度。根据不同的钢材及使用条件,其韧脆转变温度的确定有冲击吸收功、脆性断面率、侧膨胀值等不同的评定方法。

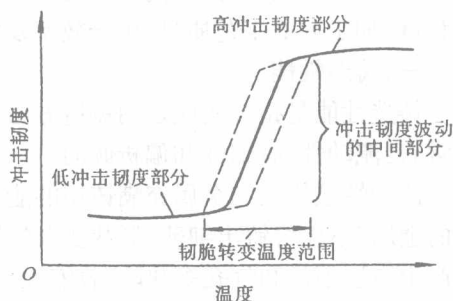


图 1-9 韧脆转变曲线示意图

四、疲劳强度

1. 疲劳的概念 前面所讨论的强度、塑性、硬度都是金属在静载荷作用下的机械性能指标。实际上,许多机器零件都是在循环载荷下工作的,如各种发动机的曲轴、机床主轴、齿轮、弹簧、各种滚动轴承等等。在工作过程中,零件往往在工作应力低于其屈服强度的情况下,仍然会发生断裂,这种现象称为疲劳。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计,在机械零件失效中大约有 60% ~ 70% 属于疲劳破坏,而且疲劳破坏前没有明显的变形就突然断裂,所以,往往会造成重大事故。因此在设计零件和选择材料时,要考虑材料对疲劳断裂的抗力。

2. 疲劳曲线和疲劳强度 疲劳曲线是反映循环应力和循环次数关系的曲线,如图 1-10 所示。曲线表明,金属材料承受的最大循环应力越大,则断裂时的循环次数(N) 越少,反之,则 N 越多。但当

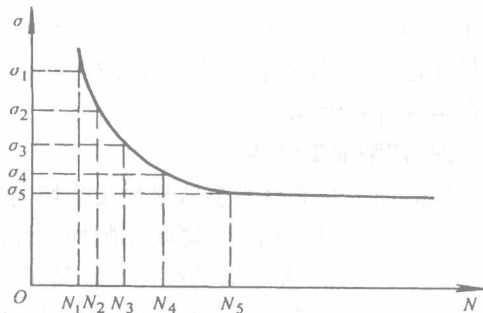


图 1-10 疲劳曲线示意图

循环应力低于某一数值时,如图 1-10 上所示 σ_s ,试样可以经受无数次循环而不破坏,此应力值称为材料的疲劳强度。常用 σ_{-1} 表示。

实际上,金属材料不可能做无限次循环载荷试验,一般规定黑色金属的应力循环次数为 $10^6 \sim 10^7$ 次;有色金属、不锈钢等的应力循环次数为 $10^7 \sim 10^8$ 次。

影响疲劳强度的因素很多,如工作条件、表面状态、材料的化学成份、残余内应力等。所以改善零件的结构形状、降低零件表粗糙度以及采取各种表面强化的方法,都能提高零件的疲劳强度。

第二节 金属及合金工艺性能

金属材料的工艺性能是指金属材料对不同加工工艺方法的适应能力。它包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能。工艺性能的好坏直接影响材料的加工难易程度、加工后的工艺质量、生产效率及加工成本。

一、铸造性能

铸造性能是指金属能否用铸造方法获得合格铸件的能力。衡量金属材料铸造性能的指标通常有:流动性、收缩性和偏析倾向。

流动性是指液态金属充满铸型的能力,它主要受金属化学成份和浇注温度的影响。流动性好的金属,不仅可铸出细薄、形状复杂的铸件,而且可减少铸造缺陷;如果流动性不好,铸件就易产生浇注不足和气孔等缺陷。收缩性是金属由液态向固态凝固后体积收缩的程度。金属的收缩不仅铸件的体积缩小,还会引起铸件产生缩孔、疏松、变形、开裂等缺陷,它对铸件的质量有较大影响,因此一般都希望金属的收缩率愈小愈好。偏析性是指金属凝固后内部产生化学成份和组织上的不均匀现象。金属偏析会使铸件各处产生性能上的差异,降低工件质量,这是大型铸件上尤其不容忽视的问题。

二、压力加工性能

压力加工性能是指金属材料在压力加工(锻造、轧制等)下成形的难易程度,它主要与材料的塑性和强度有关。塑性好、强度低材料,压力加工性能好。如钢的压力加工性能好,而铸铁不能压力加工;低碳钢的压力加工性能比高碳钢好;黄铜和铝合金的压力加工性能比钢好。

三、焊接性能

焊接性能是指金属材料是否容易用焊接的方法焊成优良接头的性能。焊接性好的金属易于用一般的焊接方法和工艺施工,焊接时不易形成裂纹、气孔、夹渣等缺陷,焊接后接头强度与母材相近。在金属材料中以低碳钢的焊接性为最好,中碳钢次之,高碳钢、高合金钢、铸铁和铜、铝合金的焊接性均较差。

四、切削加工性能

切削加工性能是指金属材料接受切削加工的难易程度。切削加工性能好的金属材料表面粗糙度值低,刀具磨损少。影响切削加工性能的主要因素是材料的硬度。一般认为,金属材料具有 170 ~ 230HBS 和足够的脆性时较易切削。所以,铸铁、铜合金、铝合金及一般的碳素钢均有较好的切削加工性能。一些高合金钢的切削加工性能较差。

五、热处理性能

热处理性能是指金属材料通过热处理后改变或改善其性能的能力。钢制零件通过热处理,

可改善其切削加工性能,提高力学性能,延长使用寿命。具体内容将在后面章节中介绍。

金属材料的工艺性能不是一成不变的,可以通过调整材料的化学成分、改变工艺规范、改进设备、变更热处理工艺等,使金属材料的工艺性能得到改善。

习题一

1. 金属材料的性能包括哪两个方面?

2. 在进行拉伸试验、硬度试验、冲击试验和疲劳试验时,材料所受的载荷分别属于哪种类型的载荷?

3. 常用的硬度试验方法有几种?其应用范围如何?这些方法测出的硬度值能否进行比较?

4. 下列硬度值的表示法是否正确?为什么?

(1) HRC10 - 15;

(2) HRC40 - 45kgf/mm;

(3) HBS620 - 650;

(4) 70HBA。

5. 下列几种情况该用什么方法测定硬度?为什么?

(1) 检验车刀、钻头的硬度;

(2) 检验入库钢材的硬度;

(3) 检验很薄的工件或表面有很薄硬化层工件的硬度。

6. 按规定,某号钢出厂时各项力学性能判据应不低于下列数值: $\sigma_b = 380\text{MPa}$; $\sigma_s = 230\text{MPa}$; $\delta_5 = 27\%$; $\Psi = 55\%$ 。现将制成 $d_0 = 10\text{mm}$ 的圆形短试样做拉伸试验,得到下列数据: $F_b = 34\text{kN}$; $F_s = 21\text{kN}$; $l_1 = 65\text{mm}$; $d_1 = 6\text{mm}$ 。试问这批钢的力学性能判据是否合格?列出其判据的计算过程。

7. 下列说法是否正确?如不正确请更正:

(1) 机械在运行中各零件都承受外加载荷;材料强度高的不会变形,材料强度低的一定会变形。

(2) 材料的强度高,其硬度就高。

(3) 强度高的材料,塑性都低。

(4) 弹性极限高的材料,所产生的弹性变形大。

8. 金属的工艺性能包括哪几方面?各种工艺性能的定义是什么?

第二章 晶体结构与结晶

从上一章我们了解到金属材料是非常重要的工程材料,不同的金属材料具有不同的力学性能,即使是同一种材料,在不同的条件下,其力学性能也是不同的。金属力学性能的这种差异是由其化学成分和组织结构所决定的。要了解金属材料的特性,必须首先了解金属的内部结构。

第一节 金属晶体结构

一、晶体的概念

1. 晶体与非晶体 自然界中的所有固体物质或以晶体形态存在,或以非晶体形态存在。所谓晶体是指原子在三维空间按一定规律作周期性排列的固体。所有的晶体都具有固定的熔点。例如纯铁的熔点是 1539°C 。所谓非晶体是指内部原子散乱分布,最多只有些局部的短程规则排列的固体。如普通玻璃、松香、沥青、石蜡等。

晶体可分为单晶体和多晶体两类。若是物质的原子按统一的规律排列成一个大晶体,叫做单晶体。水晶、食盐等是单晶体。如果物质是由许多取向杂乱无章的小晶粒构成的,这时尽管每个晶粒虽然都有规则的外形,但整个物体却没有规则的几何外形,这种晶体叫做多晶体。常见的固态金属都是多晶体。

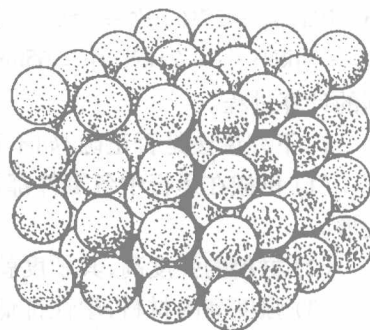


图 2-1 晶体中原子排列示意图

2. 晶格与晶胞 晶体内部原子在三维空间按一定规则做周期性排列。为了便于研究原子的排列规律,我们把原子看成是一个小球,晶体就是由这些小球有规则地堆积而成的。图 2-1 为这种原子的堆积模型。为了清楚的表明原子在空间排列的规律性,将小球简化成一个点,用假想的连线将这些点连接起来,就构成了有明显规律性的空间格架。这种用以描述晶体中原子排列规律的空间格架称为晶格,见图 2-2(a)。晶格中的连结点称为结点,原子就在结点位置做热运动。

根据晶格中原子排列具有周期性的特点,为了简便起见,可以从晶格中选取一个能够完全反映晶格特征的最小几何单位,用于分析晶体中原子排列规律性。这个能够完整反映晶格特征的最小几何单元称为晶胞。晶胞的棱边长度称为晶格常数,见图 2-2(b)。

二、常见金属晶体的晶格

化学元素周期表中所列的金属有 80 多种,工业上使用的金属也不下三四十种。这些金属除少数具有复杂的晶体结构外,大多数金属具有比较简单的对称性晶体结构。最常见的有三种,即体心立方晶格、面心立方晶格、密排六方晶格。

1. 体心立方晶格 它的晶胞是一个立方体,立方体的八个顶角上和立方体中心各有一个原子,见图 2-3(a)。如 α -铁(α -Fe)、铬(Cr)、钒(V)、钼(Mo)、钨(W)等。