

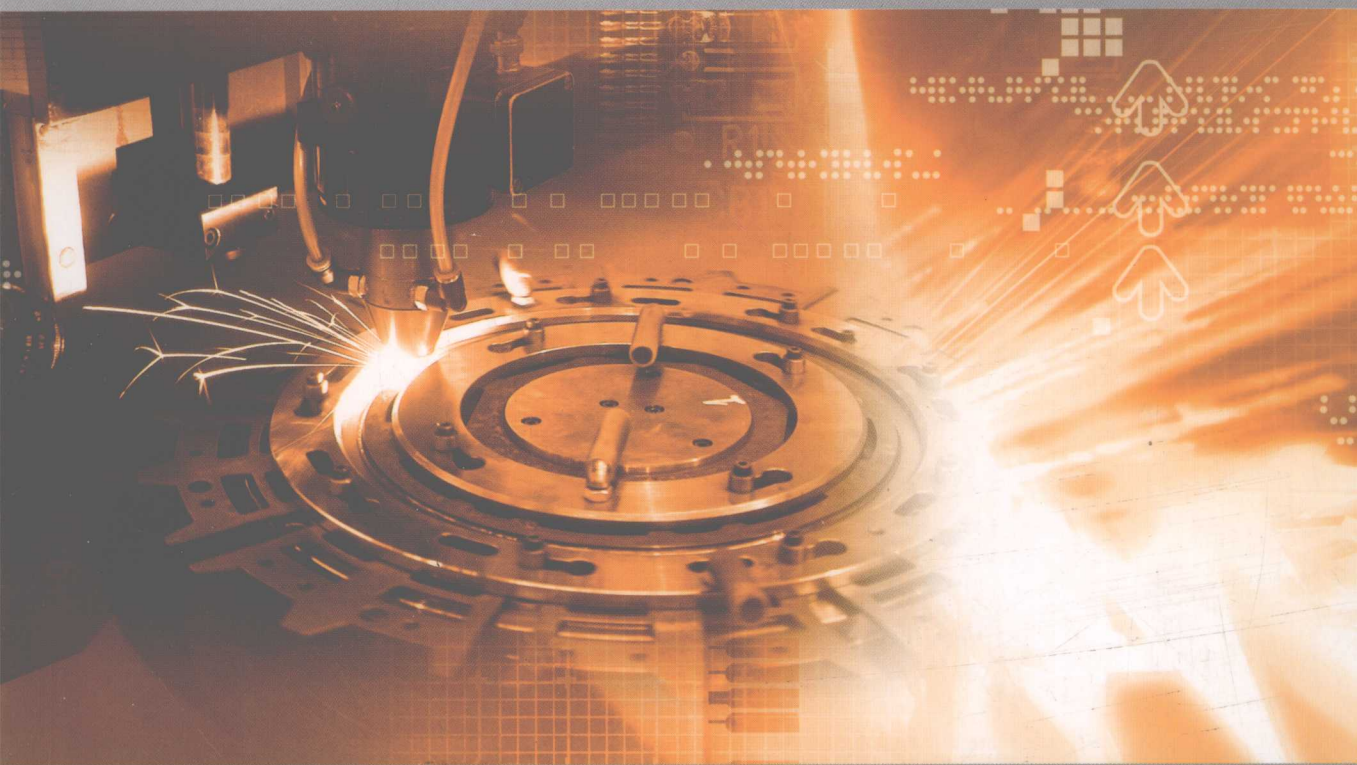
职业教育实用教材

ZHIYE JIAOYU SHIYONG JIAOCAI

金属材料与热处理

JINSHU CAILIAO YU RECHULI

周 飞 贾秀颖 主 编
张 谦 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

职业教育实用教材

内容简介

金属材料与热处理

周 飞 贾秀颖 主 编
张 谦 副主编

半
传
后
通
邮

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

ISBN 7-131-09021-1
北京海淀区万寿路173信箱 邮编 100039
本 787×1092 1/16 印张 9
字 数 219 千字
印 次 2007年8月第1次印刷
定 价 13.80元

内 容 简 介

本书主要介绍金属的性能,包括金属的力学性能和工艺性能;金属的基础知识,包括金属的晶体结构、结晶和塑性变形,铁碳合金及其相图;钢的热处理,包括热处理的原理和热处理工艺;常用金属材料,包括碳素钢、合金钢、铸造铁、有色金属及硬质合金的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途等。

本书的内容简洁,语言通俗易懂具有较强的可读性。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/周飞,贾秀颖主编. —北京:电子工业出版社,2007.8
ISBN 978-7-121-04754-1

I. 金… II. ①周…②贾… III. ①金属材料②热处理 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 111918 号

责任编辑:李 影

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:9 字数:219 千字

印 次:2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价:12.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店缺货,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可,复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为;歪曲、篡改、剽窃本作品的行为,均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人应承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序,保护权利人的合法权益,我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为,本社将奖励举报有功人员,并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话:(010) 88254396; (010) 88258888

传 真:(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址:北京市万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编:100036

前 言

近年来随着教育的不断深入,职业教育迅速发展。为了满足职业学校的教学需求和学生的就业需要,职业教育规划教材编写组组织相关专家编写了这本教材。本教材的编写紧密结合职业学校教学实际和职业学生的特点,深入贯彻职业教育“应知应会、够用为度”的原则。内容的选取广泛,并注重重点内容的深入讲解。其特点主要体现以下几个方面:

- (1)注重在理论知识、素质、能力、技能等方面对学生进行全面的培养;
- (2)注重吸取相关教材的优点,充实新技术、新工艺等内容;
- (3)语言文字叙述精练,通俗易懂;
- (4)每章最后配有适量习题,便于学生对所学的知识进行练习和巩固。

全书共分10章,分别介绍金属材料与热处理、金属的结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金、碳素钢、钢的热处理、合金钢、有色金属和硬质合金、铸铁以及非金属材料等内容。

本书由周飞和贾秀颖主编。其中1、2、3、4、5、6章由贾秀颖编写;7、8、9、10章及实验部分由周飞编写。在编写过程中,参考了大量相关文献和最新研究成果,在此谨向有关参考资料的作者和帮助出版的人员、单位表示最真挚的谢意。

由于编写时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请广大专家、读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	1
第 1 章 金属材料的性能	3
第 1 节 金属材料的力学性能	3
第 2 节 金属材料的工艺性能	12
本章习题	13
第 2 章 金属的晶体结构和结晶	14
第 1 节 金属的晶体结构	14
第 2 节 纯金属的结晶	16
第 3 节 金属的同素异构转变	21
本章习题	22
第 3 章 金属的塑性变形与再结晶	23
第 1 节 金属的塑性变形	23
第 2 节 冷塑性变形对金属性能与组织的影响	25
第 3 节 回复与再结晶	28
第 4 节 金属材料的热加工与冷加工	29
本章习题	31
第 4 章 铁碳合金	32
第 1 节 合金的组织	32
第 2 节 二元合金相图	35
第 3 节 铁碳合金相图	38
本章习题	49
第 5 章 碳素钢	50
第 1 节 杂质元素对钢性能的影响	50
第 2 节 碳素钢的分类	51
第 3 节 碳素钢的牌号和用途	51
第 4 节 钢的火花鉴别及涂色标记	55
本章习题	59
第 6 章 钢的热处理	60
第 1 节 钢在加热时的组织转变	60
第 2 节 钢在冷却时的转变	63
第 3 节 钢的退火和正火	68
第 4 节 钢的淬火	69

第5节	钢的回火	73
第6节	钢的表面热处理	75
第7节	热处理新工艺简介	78
第8节	零件的热处理分析	79
	本章习题	81
第7章	合金钢	82
第1节	合金元素在钢中的主要作用	82
第2节	合金钢的分类和牌号	84
第3节	合金结构钢	85
第4节	合金工具钢	90
第5节	特殊性能钢	93
	本章习题	96
第8章	铸铁	97
第1节	铸铁的石墨化	97
第2节	灰铸铁	98
第3节	可锻铸铁	101
第4节	球墨铸铁	103
第5节	蠕墨铸铁	105
	本章习题	105
第9章	有色金属及硬质合金	106
第1节	铜及铜合金	106
第2节	铝及铝合金	109
第3节	钛及钛合金	113
第4节	轴承合金	114
第5节	硬质合金	116
	本章习题	117
第10章	非金属材料	118
第1节	高分子材料	118
第2节	陶瓷材料	122
第3节	复合材料	124
	本章习题	126
实验1	铁碳合金的金相组织观察实验	127
实验2	钢的热处理	128
附录		130

绪 论

材料是人类用来制造各种产品的物质,是人类生活和生产的物质基础。材料无处不在,是人类改造自然的有力工具,伴随人类社会生产力的发展材料不断丰富,性能不断提高。从石头、木头、兽皮等天然材料,发展到青铜、铁、陶瓷等人造材料。材料与能源、信息并列成为现代社会技术发展的三大支柱。

金属材料的产生使人类文明进入新的时代。继石器时代之后出现的青铜器时代、铁器时代,均以金属材料的应用为其显著标志。工业文明的昌盛使得金属材料成为最重要的工程材料,可以说是现代人类社会发展的重要物质基础。

金属材料是目前使用最广的材料。以机械制造业为例,在生产机械制造业(如农业机械、电气设备、化工和纺织机械等)中,钢铁材料约占90%,有色金属约占5%;在汽车制造业中,钢铁材料约占60%~75%(其中15%~20%为低合金高强度钢),铝合金约占5%~10%,塑料约占10%~20%,还有少量其他材料。可见,金属材料特别是钢铁材料是机械制造业中使用最广泛的材料。

材料发展的动力源于我们对它所制造的产品的优异的使用性能和低廉的制造成本的追求。金属材料的性能取决于材料的内部结构和组织,而结构和组织又取决于材料的成分和加工工艺。正确地选择材料,确定合理的加工工艺,得到理想的组织,获得优良的使用性能,是决定机械制造中产品性能的重要环节。

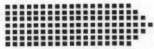
中国早在公元前16世纪的殷商时代,已大量使用青铜,并已具有高超的冶铸技术和精湛的艺术造诣;公元前4世纪的春秋战国时期出现了铁器,铸铁的生产比欧洲约早一千年。

中国古代就有了退火、淬火和渗碳等热处理工艺。退火的组织最早见于四千年前的齐家文化遗物,殷墟出土的金箔也经过退火处理。自战国时代,铸铁退火制造可锻铸铁成为普遍的工艺。明代《天工开物》就有钢锉“久用乖平,入火退去健性,再用鑿划”的记载。秦汉以后淬火技术变得普遍。辽阳三道壕出土的西汉钢剑、满城汉墓的刀剑等器物都经过淬火处理。《史记·天官书》记载:“水与火合为淬。”《汉书·王褒传》也有“巧冶铸干将之朴,清水淬其锋”的记载。而且古人也已经知道不同淬火介质对材料性能的影响。中国古代对渗碳技术的掌握已相当娴熟。西汉刘胜的佩剑就经过表面渗碳处理,获得心部韧性表面硬化的良好使用性能。

中华民族为金属材料的使用和发展做出巨大的贡献。中华人民共和国成立以后,材料工业作为重点发展领域之一迅速发展。1996年我国的钢产量突破一亿吨,达到世界第一。同时,我国已按实际情况制定和完善钢铁新标准,建立符合我国资源特点的合金钢系统,新钢种正在日益发展。我国已能生产所有的有色金属,非金属材料的研制和发展也很迅速。

今天,我们应当在唤起民族自豪感的同时,认识到和发达国家之间制造业水平的差距,努力学习和掌握先进的材料加工制造技术,为中国材料工业的腾飞乃至综合国力的提高做出贡献。

万丈高楼平地起,本课程是一门技术基础课,希望学生通过本课程的学习,掌握金属材料



与热处理的基本知识和原理,了解金属材料的应用以及如何在生产实际中运用热处理工艺合理安排零件加工工艺路线,为学习专业理论、掌握专业技术打好基础。

本课程的主要内容包括:金属的性能,包括金属的力学性能和工艺性能;金属学基础知识,包括金属的晶体结构、结晶和塑性变形,铁碳合金及其相图;钢的热处理,包括热处理的原理(钢在加热、保温、冷却时的组织转变)和热处理工艺(“四把火”和表面热处理等);常用金属材料,包括碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途;简单介绍目前在机械工业中应用日益广泛的非金属材料。

金属材料与热处理是机械类专业的一门专业基础课,也是从事机械工作的工程技术人员必须掌握的一门专业基础知识。本课程主要介绍金属材料的基本性能、金属材料的热处理工艺、常用金属材料的应用等。本课程的教学目的是使学生掌握金属材料的基本性能、金属材料的热处理工艺、常用金属材料的应用等知识,为从事机械工作打下良好的基础。

第1章 金属材料的性能

金属材料是最重要的工程材料,包括金属和以金属为基础的合金。最简单的金属材料是纯金属,而合金的种类繁多,应用最广。那么,什么是金属呢?

金属是具有光泽和延展性,并具有良好的导热和导电性等特性的物质。其导电能力随温度的增高而减小,内部原子具有规律性的排列。狭义上,金属为单质。我们常说的合金是由两种或两种以上金属或金属与非金属组成的具有金属特性的物质。

金属具有下列特性:

(1)良好的导电性和导热性。金属中存在大量自由电子,外加电场时电子可以定向地流动,使金属具有良好的导电性。金属能通过自由电子的运动和金属离子的振动作用来导热,具有良好的导热性。

(2)正的电阻温度系数。随温度升高电阻增大。

(3)不透明并呈现特有的金属光泽。这是因为,金属中大量的自由电子能吸收并随后辐射出大部分投射到表面的光能。

(4)良好的塑性变形能力。金属材料的强韧性好。

工业上把金属及其合金分为两大类,即黑色金属和有色金属。广义的黑色金属包括铁和以铁为基础的合金,如含铁90%以上的工业纯铁,含碳2%~4%的铸铁,含碳小于2%的碳钢,以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金钢及精密合金钢等;还包括铬、锰及其合金。狭义的黑色金属又称钢铁材料,应用广泛,占整个结构材料和工具材料的90%以上。有色金属是指除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金,通常分为轻金属、重金属、贵金属、半金属、稀有金属和稀土金属等。有色合金的强度和硬度一般比纯金属高,并且电阻大、电阻温度系数小,它们是重要的特殊用途材料。

第1节 金属材料的力学性能

金属材料的性能包含使用性能和工艺性能两方面。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能,包括物理性能(如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性及磁性等)、化学性能(如耐腐蚀性、抗氧化性等)和力学性能(强度、塑性、硬度、冲击韧性及疲劳强度等)。工艺性能是指制造工艺过程中材料适应加工的性能。

一、基本概念

1. 载荷与变形

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。

根据作用形式不同,载荷可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等,如图1-1所示。

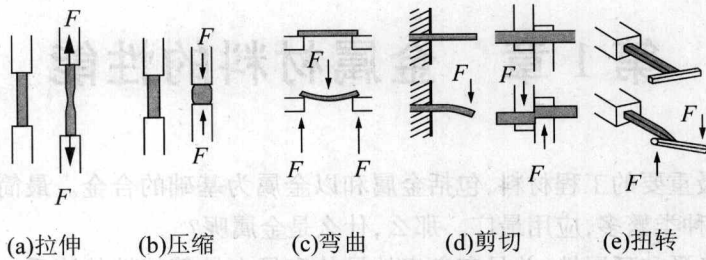
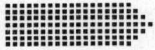


图 1-1 载荷的作用形式

根据载荷作用性质的不同,可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷等 3 种。

静载荷是指大小不变或变化过程缓慢的载荷;冲击载荷是指在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷;交变载荷是大小和方向随时间发生周期性变化的载荷。

材料受外力作用时,由于变形其内部质点发生相对位移而产生的相互作用力叫做内力。单位面积上的内力称为应力。工程上,其截面上的应力按下式计算:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中, σ 为应力,Pa(1Pa = 1N/m²),工程上多采用 MPa(1MPa = 1N/mm² = 10⁶Pa); F 为外力,N; S 为横截面积,m²。

材料受到载荷作用产生的几何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两种。弹性变形是物体卸去载荷后完全消失的变形,塑性变形则是指卸去载荷后不能消失而残留下来的那部分变形。

2. 拉伸试验

将拉伸试样在材料试验机上进行拉伸,连续测量静拉力和相应的位移(伸长量),直至试样断裂。测得试验数据可以分析材料的力学性能。

拉伸试样的形状、尺寸及加工要求必须符合国家标准。图 1-2 是圆形拉伸试样拉伸前后的形态。 d_0 为试样原始直径, l_0 为原始标距长度。拉伸后试样标距长度 l_1 和 l_0 之差即为伸长量 Δl 。 $l_0 = 10d_0$ 称为长试样; $l_0 = 5d_0$ 称为短试样。

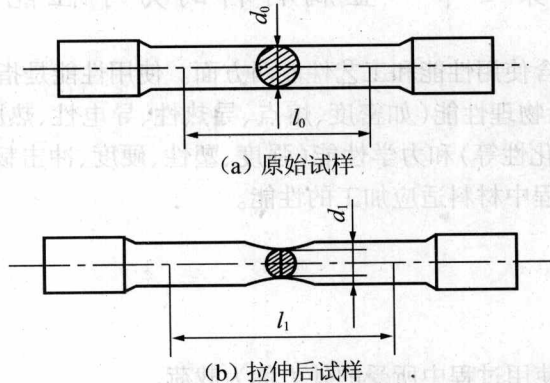
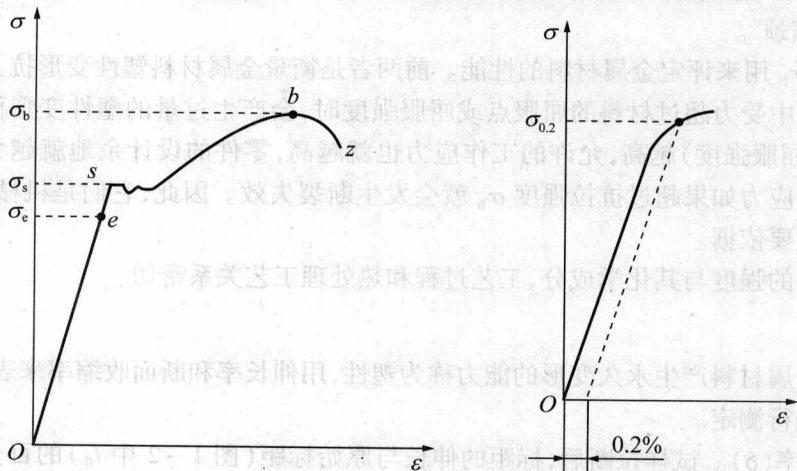


图 1-2 圆形拉伸试样

伸长量除以原始长度就得到应变 ε , 即

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

将拉伸试验中测定的拉力和伸长量换算成应力和应变, 这样能消除试样尺寸的影响, 绘制应力 - 应变曲线(图 1-3 也称为 $\sigma - \varepsilon$ 曲线)就能直接反映材料的性能。



(a) 低碳钢

(b) 铸铁

图 1-3 低碳钢和铸铁的拉伸应力 - 应变曲线

二、金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在外力作用时表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等, 需要在标准试验中测定。根据试验中载荷性质的不同, 强度、塑性和硬度属于静态力学性能, 韧性和疲劳强度是动态力学性能。

1. 强度

金属材料在静载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度的大小一般用应力值来表示。根据载荷的不同分为抗拉强度(σ_e)、抗压强度(σ_{bc})、抗弯强度(σ_{bb})、抗剪强度(τ_b)和抗扭强度(τ_t)等。一般情况下, 抗拉强度作为评价指标较为普遍。

抗拉强度可在拉伸试验中测得。观察图 1-3 发现, 试样表现出以下几个变形阶段, 根据其变形特点定义了几个金属材料的强度指标:

(1) oe 为弹性变形阶段。试样的变形是弹性变形, 变形量与外加载荷成正比。 σ_e 为不产生永久变形的最大应力, 叫做弹性极限。它是弹性零件的设计依据。

(2) es 为屈服阶段。此时不仅有弹性变形, 而且发生了塑性变形。载荷继续增加至 s , 出现平台或锯齿状, 意味着载荷不增加或略有减小的情况下, 试样还能继续伸长。这种现象叫做屈服。屈服后, 材料开始出现明显的塑性变形。

屈服点 σ_s 表示金属开始发生明显塑性变形的抗力。对于没有明显屈服现象的材料, 则用规定残余伸长应力 $\sigma_{0.2}$ 来表示, 即产生 0.2% 残余应变时的应力值, 也称屈服强度。

(3) sb 为强化阶段。此阶段中, 若使试样继续伸长, 必须不断加载。随塑性变形的逐渐增大, 试样的变形抗力也在逐渐增加, 此种现象称为形变强化, 此阶段试样变形是均匀发生的。

σ_b 为试样拉伸试验时的最大载荷。金属材料受拉时所能承受的最大应力叫做抗拉强度,用 σ_b 表示,即试样拉断前承受的最大载荷与试样原始横截面积的比值。

(4) b_z 为缩颈阶段。当载荷达到最大值后,试样直径发生局部收缩,称为“缩颈”。由于试样横截面积减小,其变形所需载荷降低。这时伸长主要集中在缩颈部位,直至断裂(图 1-3 中 z 点)。

工程上应用的金属材料大多没有明显的屈服现象。有些脆性材料如铸铁没有屈服现象,锻炼时也不产生“缩颈”。

σ_s 、 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 用来评定金属材料的性能。前两者是衡量金属材料塑性变形抗力的指标。零件如果在工作中受力超过材料的屈服点或屈服强度时,会产生过量的塑性变形而失效。材料的屈服点(或屈服强度)越高,允许的工作应力也就越高,零件的设计余地就越大。零件在工作中所承受的应力如果超过抗拉强度 σ_b 就会发生断裂失效。因此,它们是机械零件、构件设计和选材的主要依据。

金属材料的强度与其化学成分、工艺过程和热处理工艺关系密切。

2. 塑性

断裂前金属材料产生永久变形的能力称为塑性,用伸长率和断面收缩率来表示。同样,可用拉伸试验进行测定。

(1) 伸长率(δ)。试样拉断后,标距的伸长与原始标距(图 1-2 中 l_0)的百分比称为伸长率,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 为试样拉断后的标距,mm; l_0 为试样的原始标距,mm; δ 为伸长率,%。

长试样和短试样测得的伸长率分别记作 δ_{10} (常简写为 δ)和 δ_5 ,因为同一材料不同长短的试样测得的伸长率略有不同。

(2) 断面收缩率(ψ)。试样拉断后,缩颈处截面积的最大缩减量与原横截面积的百分比称为断面收缩率。用 ψ 符号表示。其计算公式如下:

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

式中, S_0 为试样原始横截面积,mm²; S_1 为试样拉断后缩颈处最小横截面积,mm²; ψ 为断面收缩率,%。

金属材料的伸长率和断面收缩率数值越大,表示材料的塑性越好。塑性好的金属可以发生大量塑性变形而不被破坏,易于通过各种塑性变形加工获得复杂形状的零件,而且在受力过大时能先产生塑性变形而不致发生突然断裂,所以比较安全。

铜、铝和铁的塑性很好。工业纯铁的 δ 可达 50%, ψ 可达 80%,可以拉成细丝、轧制薄板、进行冲压成型等。而铸铁的塑性很差, δ 、 ψ 几乎为零,不能进行塑性变形加工。

下面举例说明强度和塑性的计算方法。

例 1-1 有一个直径 $d_0 = 10\text{mm}$ 的低碳钢长试样,拉伸试验得到开始屈服时的载荷 F_s 为 18kN,最大载荷 $F_b = 27.5\text{kN}$,拉断后直径 $d_1 = 5.32\text{mm}$,标距长度 $l_1 = 134\text{mm}$ 。求此试样的强度和塑性指标。

解 长试样原始标距长度: $l_0 = 10d_0 = 10 \times 10 = 100\text{mm}$

$$\text{原始横截面积: } S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{拉断后缩颈处横截面积: } S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3.14 \times 5.32^2}{4} = 22.2 \text{ mm}^2$$

$$\text{屈服点: } \sigma_s = \frac{F_s}{S_0} = \frac{18 \times 10^3}{78.5} = 229.3 \text{ MPa}$$

$$\text{抗拉强度: } \sigma_b = \frac{F_b}{S_0} = \frac{27.5 \times 10^3}{78.5} = 350.3 \text{ MPa}$$

$$\text{伸长率: } \delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{134 - 100}{100} \times 100\% = 34\%$$

$$\text{断面收缩率: } \psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% = \frac{78.5 - 22.2}{78.5} \times 100\% = 71.7\%$$

3. 硬度

材料抵抗另一硬物体压入其内的能力叫做硬度。硬度可以看做受压时抵抗局部塑性变形的能力。硬度通过硬度试验测定。不同的试验方法,硬度的表示方法也不同,最常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(1) 布氏硬度(HB)。图 1-4 为布氏硬度测量原理图。一定直径的球体(钢球或硬质合金球),在一定载荷作用下压入试样表面,保持一定时间后卸除载荷,测量其压痕直径,计算硬度值。布氏硬度值用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示,可按下式计算。用符号 HBS(当用钢球压头时)或 HBW(当用硬质合金球时)来表示。即:

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

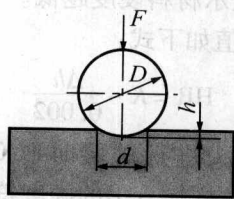


图 1-4 布氏硬度试验

式中, F 为载荷, N; D 为球体直径, mm; d 为压痕平均直径, mm。

实际测量时不用计算,用专用刻度放大镜测出压痕直径,查压痕平均直径与布氏硬度对照表就可得到相应的硬度值。

通常布氏硬度不标单位。HBS 或 HBW 前的数字为硬度值,后面依次注明球体直径(mm)、试验力(kg)、试验力保持时间(s)等实验条件。

例 布氏硬度记做 200HBS10/1000/30,表示直径为 10mm 的钢球在 1000N 的试验力下保持 30s 时测得的布氏硬度值为 200。若保持时间是 10s,就可简单表示为 200HBS10/1000。

常见的压头球体直径 D 有 1、2、2.5、5 和 10mm 5 种,试验力 F 在 9807N 至 29.42kN 之间;试验力保持时间,一般黑色金属为 10~15s,有色金属为 30s,布氏硬度值小于 35 时为 60s。

做布氏硬度试验时,须要根据材料种类、硬度值范围及试样厚度来选择试验条件(表 1-1)。

表 1-1 根据材料种类、硬度值范围及试样厚度与试验条件的关系

材料	布氏硬度	F/D^2
钢及铸铁	< 140	10
	≥ 140	30
铜及其合金	< 35	5
	35 ~ 130	10
	> 130	30
轻金属及其合金	< 35	2.5(1.25)
	35 ~ 80	10(5 或 15)
	> 80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

①当试验条件允许时,应尽量选用直径为 10mm 的钢球;

②当有关标准没有明确规定时,应使用无括号的 F/D^2 值。

布氏硬度主要用于铸铁、有色金属、各种软钢等硬度不是很高的材料。压痕直径大,能较准确地反映出金属材料的平均性能,并与其他力学性能(如抗拉强度)间存在一定近似关系,因而在工程上应用广泛。

但是,布氏硬度的测量压痕较大,不宜测量成品及薄件;在进行高硬度材料试验时,球体本身产生的变形会使测量结果不准确。因此,用钢球压头测量时要求材料硬度值小于 450;用硬质合金压头时,材料硬度值必须小于 650。

(2)洛氏硬度(HR)。图 1-5 为洛氏硬度测量原理图。将金刚石压头(或钢球压头)在先后施加两个载荷(预载荷 F_0 和主载荷 F)的作用下压入金属表面。总载荷 F 为预载荷 F_0 和主载荷 F_1 之和。卸去主载荷 F_1 后,测量其残余压入深度 h , h 与 h_0 之差 Δh 就是由主载荷引起的塑性变形的压痕深度。 Δh 越大,表示材料硬度越低。

洛氏硬度用符号 HR 表示。硬度值如下式:

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

式中,常数 K 在用金刚石圆锥体压头进行试验时取 0.2mm;用钢球压头进行试验时取 0.26mm。0.002 是压痕深度的单位,这样换算出的硬度符合人们的习惯,并且没有单位。

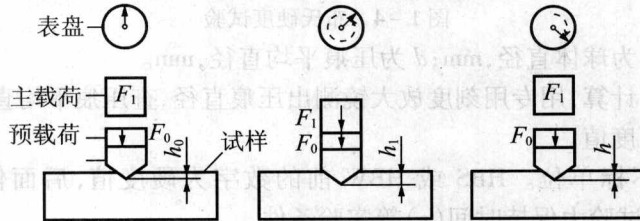


图 1-5 洛氏硬度测量原理图

实际测量时硬度可直接从洛氏硬度计表盘上读得。载荷和压头大小的组合(标尺)不同,洛氏硬度表示方法不同,常用的标尺是 A, B, C 3 种,其中 B 标尺应用最为广泛(表 1-2)。测得的硬度需要在 HR 后标出标尺的符号,不同标尺下的硬度值之间可通过查表的方法进行换算,但不能直接进行比较。

洛氏硬度试验用于各种钢铁原材料、有色金属、经淬火后工件、表面热处理工件及硬质合金等。

洛氏硬度试验压痕小,可以测定成品和较薄零件,硬度值范围大,被测材料软硬均可,因此,应用最广泛。当材料组织不均匀时,测量数据波动较大,通常需要在不同位置测试数次取平均值来代表金属材料的硬度。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

硬度标尺	压头类型	总载荷/N	表盘刻度线颜色	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	588.4	黑	70 ~ 85	碳化物、硬质合金、表面硬化工件
HRB	φ1.588mm 钢球	980.7	红	25 ~ 100	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	120°金刚石圆锥	1471.0	黑	20 ~ 67	淬火钢、调质钢等

(3) 维氏硬度(HV)。维氏硬度试验基本原理和布氏硬度试验相同。只不过将压头换作相对面夹角为 136°的正四棱金钢石锥体。测量卸载后压痕的对角线的长度来计算硬度值,用符号 HV 表示。其计算公式如下:

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

式中, F 为载荷, N; d 为压痕两对角线的算术平均值, mm。

与布氏硬度相似,维氏硬度也无须计算,根据 d 值查表得到。表示方法也与布氏硬度相同。例如 640HV30 表示用 294.2N 的载荷保持 10 ~ 15s,测得维氏硬度值是 640。

维氏硬度试验所加载荷小,常用载荷在 49.03 ~ 980.7N 之间,小负荷维氏硬度试验的载荷范围是 1.96 ~ 49.03N,显微硬度试验载荷范围是 $9.807 \times 10^{-2} \sim 1.96N$ 。

维氏硬度试验压入深度较浅,适合测量较薄的试样,以及表面渗氮、渗碳层的硬度。它的测定范围也很宽,具有连续性(10 ~ 1000HV),且准确性高,但对试件表面质量要求较高。

4. 韧性

(1) 冲击韧性(α_k)。许多机械零件和工具在工作中,往往要受到冲击载荷的作用,如活塞销、锤杆、冲模和锻模等。评价制造此类零件所用的材料不仅要用静载荷下的性能指标,还必须考虑其抵抗动载荷的能力。材料抵抗冲击载荷作用的能力称为冲击韧性。

冲击韧性用摆锤冲击弯曲试验来测定。冲击试验原理如图 1-6 所示,将待测的金属材料加工成标准试样(图 1-7),试样缺口背向摆锤的冲击方向放在试验机的支座上。再将具有一定重量 mg 的摆锤升至一定高度 H ,然后使其自然落下,将试样冲断,记下冲断后摆锤回升的高度 h 。试样被冲断过程中吸收的能量,叫做冲击吸收功,用符号 A_k 表示。根据能量守恒定理, A_k 就等于摆锤冲击试样前后的势能差,即:

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

用冲击吸收功除以试样缺口处截面积 S_0 ,即得到材料的冲击韧度 α_k 。因此,冲击韧度就是冲击试样缺口处单位横截面积上的冲击吸收功。

A_k 值越大,或 α_k 值越大,则材料的韧性越好。标准试样有 U 形缺口和 V 形缺口两种(图 1-7),进行试验时,其冲击吸收功应分别标为 A_{ku} 或 A_{kv} ,冲击韧度则标为 α_{ku} 和 α_{kv} 。

韧性与材料的组织有密切关系,铸铁的冲击韧性很低。

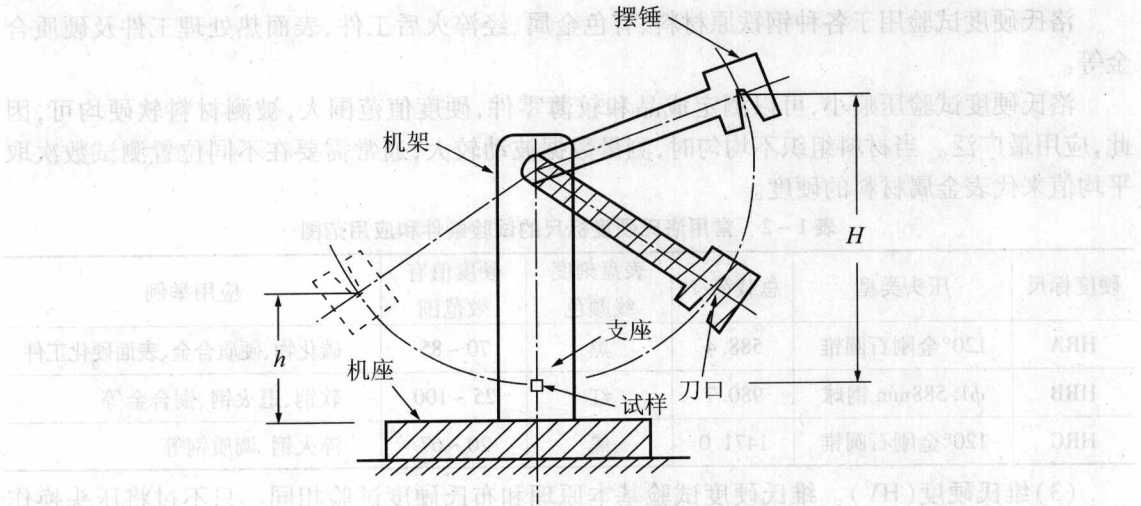


图 1-6 摆锤冲击试验简图

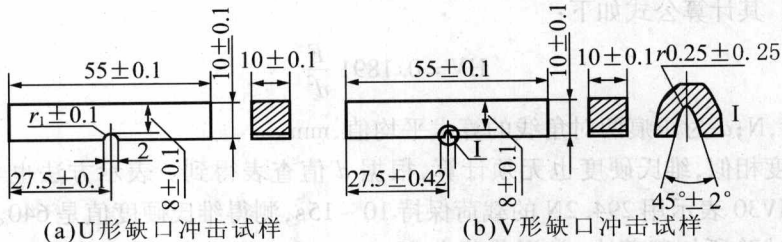


图 1-7 标准冲击试样

(2) 多次冲击抗力。实际生产中,承受冲击载荷的零件很少因一次大的冲击而遭到破坏。小能量的多次冲击损伤的累积导致裂纹产生和扩展才是大部分零件破坏的原因。因此,对于这种工作条件下的零件,用基于一次冲击的破坏过程的冲击韧性指标作为选材和设计依据是不合适的。需要采用小能量多次冲击试验来检验这类材料的抗冲击性能,以试样在冲头多次冲击下断裂时经受的冲击次数 N 来代表。

一次冲击韧度高的材料,小能量多次冲击抗力不一定高,反之同样如此。

金属材料受大能量冲击载荷作用时,其冲击抗力主要取决于冲击韧度 α_k 的大小,在小能量多次冲击条件下,其冲击抗力主要取决于材料的强度和塑性。

5. 疲劳强度

轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等零件,在工作过程中各点的应力随时间作周期性的变化,这种随时间做周期性变化的应力称为交变应力(也称循环应力)。

在交变应力作用下,虽然零件所承受的应力低于材料的屈服点,但经过较长时间的工作而产生裂纹或突然发生完全断裂的过程称为金属的疲劳。

疲劳破坏是零件失效的主要原因之一。由于疲劳断裂等没有明显的宏观塑性变形,会在没有征兆下突然破坏;而引起疲劳断裂的应力很低,常常低于材料的屈服点。因此,疲劳破坏容易让人放松防备而造成破坏。

机械零件产生疲劳断裂是由于材料表面或内部有夹杂、划痕、显微裂纹等缺陷,这些缺陷