



应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

工程材料

王 琨 主 编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

工 程 材 料

主 编 王 琨
副主编 刘恽凡 韩蕾蕾
参 编 (排名不分先后)
张瑞霞 潘红梅
曹 俊 汪 靖

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书重点介绍各类工程材料的成分、组织结构、热处理工艺、性能特点和应用范围,并以实例说明零部件在不同工作条件下的失效方式和如何对零部件进行合理选材,以及机械设计者和制造者必须具备的材料知识和有关的基本理论。全书共分 11 章,包括材料的性能、金属材料的结构与结晶、二元合金相图、铁碳合金、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属、非金属材料及机械零件的失效与选材等内容。

本书可作为本科、高职高专院校相关课程的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料/王 琨 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2012.2
应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材
ISBN 978-7-5609-7528-3

I. 工… II. 王… III. 工程材料-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 245092 号

工程材料

王 琨 主编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:狄宝珠

封面设计:李 嫚

责任校对:周 娟

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉市兴明图文信息有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.5

字 数:307 千字

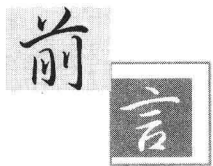
版 次:2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:25.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



材料与我们的生活密切相关。它不仅是人类赖以生存和发展的物质基础,更是人类文明和技术进步的重要标志。人类社会在经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代和钢铁时代之后,迈进了当今的新材料时代。在科学技术飞速进步和生产力水平日益发展的今天,传统的金属材料在机械制造业领域仍占主导地位,同时,高分子合成材料、陶瓷材料以及复合材料的应用也越来越广泛,这对高等院校高水平应用型工程技术人才的培养提出了新的要求。谁掌握了最先进的材料,谁就能在高技术及其产业的发展上占有主动权。

“工程材料”就是一门研究工程材料——金属材料、非金属材料的组织、性能,并教授如何辨别和使用材料的学科。该课程是机械、机电类专业必修的一门基础课程,同时它又是机械、机电类专业学习后续相关专业课程的基础。

本书重点介绍各类工程材料的成分、组织结构、热处理工艺、性能特点和应用范围,并以实例说明零部件在不同工作条件下的失效方式和如何对零部件进行合理选材,以及机械设计和制造者必须具备的材料知识和有关的基本理论。全书共分 11 章,包括材料的性能、金属材料的结构与结晶、二元合金相图、铁碳合金、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属、非金属材料及机械零件的失效与选材等内容。为帮助学生思考、复习、巩固所学知识,各章后均附有复习题,并最后附有课堂讨论内容。本书引用最新国家标准,并力求做到加强基础、突出重点、注重应用和适应面广。

本书由华中科技大学武昌分校王琨担任主编,参加编写的有武汉生物工程学院刘怿凡(第 6 章)、潘红梅(第 4 章),华中科技大学文华学院韩蕾蕾(第 5、10、11 章),武汉理工大学华夏学院张瑞霞(第 1、2 章),江汉大学文理学院曹俊(第 7 章)、武汉工业学院工商学院汪靖(第 8 章),全书由王琨统稿。在本书编写过程中,得到华中科技大学武昌分校机电与自动化学院徐盛林院长、孙立鹏副院长,数控实训创新基地肖书浩、周严主任,以及机电教研室李硕、赵燕、刘海、李平等同事的大力支持;得到了华中科技大学出版社袁冲同志的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

本书在编写中参阅了大量相关文献与资料,在此向有关作者一并表示感谢。

本书虽然经反复推敲和校对,但由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在错误或不足之处,恳请读者批评指正,以便我们及时改进。

编 者

2011 年 10 月



第 0 章 绪论	(1)
0.1 材料与材料科学	(1)
0.2 材料的分类及应用	(1)
0.3 本课程的目的、任务和学习方法.....	(2)
第 1 章 材料的性能	(4)
1.1 材料的力学性能	(4)
1.2 材料的其他性能.....	(10)
习题	(12)
第 2 章 金属材料的结构与结晶	(13)
2.1 金属的晶体结构.....	(13)
2.2 纯金属的结晶.....	(21)
2.3 合金的结构.....	(24)
习题	(28)
第 3 章 二元合金相图	(29)
3.1 二元合金相图的建立.....	(29)
3.2 二元匀晶相图.....	(30)
3.3 二元共晶相图.....	(32)
3.4 二元包晶相图.....	(36)
3.5 其他相图.....	(38)
3.6 合金的性能与相图之间的关系.....	(39)
习题	(40)
第 4 章 铁碳合金	(42)
4.1 纯铁、铁碳合金中的相和基本组织	(42)
4.2 铁碳合金相图.....	(45)
4.3 铁碳合金相图的应用.....	(53)
4.4 碳钢.....	(55)
习题	(61)



第 5 章 金属的塑性变形与再结晶	(62)
5.1 弹性变形与塑性变形	(62)
5.2 金属的塑性变形	(63)
5.3 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	(66)
5.4 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	(68)
5.5 金属的热加工	(70)
习题	(72)
第 6 章 钢的热处理	(73)
6.1 钢的热处理原理	(73)
6.2 钢的普通热处理	(82)
6.3 钢的表面热处理	(89)
6.4 钢的化学热处理	(92)
6.5 热处理新技术和新工艺	(95)
习题	(97)
第 7 章 合金钢	(99)
7.1 概述	(99)
7.2 合金结构钢	(103)
7.3 合金工具钢	(113)
7.4 特殊性能钢	(120)
习题	(128)
第 8 章 铸铁	(130)
8.1 铸铁的石墨化过程	(130)
8.2 常用铸铁	(132)
8.3 合金铸铁	(138)
习题	(139)
第 9 章 有色金属	(141)
9.1 铝及铝合金	(141)
9.2 铜及铜合金	(149)
9.3 钛及钛合金	(154)
9.4 镁及镁合金	(156)
习题	(157)
第 10 章 非金属材料	(158)
10.1 高分子材料	(158)
10.2 粉末冶金材料	(161)
10.3 陶瓷材料	(162)



10.4 复合材料.....	(165)
10.5 其他材料.....	(168)
习题.....	(168)
第 11 章 机械零件的失效与选材	(169)
11.1 机械零件的失效.....	(169)
11.2 机械零件选材的一般原则.....	(172)
11.3 典型零件的选材及热处理工艺的选择.....	(174)
习题.....	(179)
课堂讨论.....	(180)
讨论 1 铁碳相图	(180)
讨论 2 钢的热处理	(181)
讨论 3 合金钢	(182)
附录 A 常用钢种的临界温度	(184)
附录 B 金属材料硬度值换算表	(188)
参考文献.....	(190)

第0章 绪论

0.1 材料与材料科学

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。人类生活和生产都离不开材料,它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要标志。

纵观人类历史,每当一种新材料出现和被利用,都会给社会生产与人类生活带来巨大的变化,把人类文明向前推进。历史学家也是按照人类所使用的材料将人类历史划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代、钢铁时代和当今的新材料时代的。材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的标志。例如,没有耐腐蚀、耐高压材料,就不可能有现在的石油化工行业;没有半导体材料的工业化生产,就不可能有目前的计算机技术;没有耐高温、高强度的结构材料,就不可能有今天的航空工业和航天工业;没有低消耗的光导纤维,也就没有现代的光纤通信。因此,20世纪70年代人们就已经把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。20世纪80年代以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。这都是因为材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关。

材料是早已存在的名词,但材料科学的提出则是在20世纪60年代的事。1957年,前苏联人造地球卫星发射成功之后,美国政府及科技界为之震惊,并认识到先进材料对于科技技术发展的重要性,于是在一些大学相继成立了材料科学研究中心,从此,材料科学这一名词开始被人们广泛地引用。

材料科学就是研究材料的组织结构、性质、生产流程和使用效能,以及它们之间相互关系的科学。材料科学是多学科的交叉与结合的产物,是一门与工程技术密不可分的应用科学。中国的材料科学研究水平位居世界前列,有些领域甚至处于世界领先水平。

0.2 材料的分类及应用

材料除了具有重要性和普遍性以外,还具有多样性。由于材料多种多样,分类方法没有一个统一标准,为了便于认识和应用,学者们从不同角度对其进行了分类。通常按化学成分、生产过程、结构及性能特点将其分为三大类,即金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料。三大材料相互交叉、相互融合。由三大材料中任意两种或两种以上复合而成的材料



称为复合材料。如果把复合材料作为一类,便可称为四大类材料。

金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称。金属材料通常分为钢铁金属、有色金属和特种金属等。钢铁金属包括含铁的质量分数为 90% 以上的工业纯铁、含碳的质量分数为 2%~4% 的铸铁、含碳的质量分数为小于 2% 的碳钢,以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金、精密合金等。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的高,并且电阻大、电阻温度系数小。特种金属包括不同用途的结构金属和功能金属。其中有通过快速凝固工艺获得的非晶态金属,以及准晶、微晶、纳米晶金属等;还有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能合金等。

无机非金属材料主要包括陶瓷、水泥、玻璃及非金属矿物材料。陶瓷是应用历史最悠久、应用范围最广泛的非金属材料。传统的陶瓷材料由黏土、石英、长石等组成,主要作为建筑材料使用。新型陶瓷材料主要以 Al_2O_3 、 SiC 、 Si_3N_4 等为主要组分,已用做航空航天领域中航天飞机的热绝缘涂层、发动机的叶片等,还作为先进的功能材料,用于制做电子元件和敏感元件。

有机高分子材料又称高分子聚合物,按用途可分为塑料、合成纤维和橡胶三大类。塑料通常又分为通用塑料和工程塑料两类。通用塑料主要用来制造薄膜、容器和包装用品,PE 是其代表。工程塑料主要指力学性能较高的聚合物,俗称尼龙的聚酰胺、聚碳酸酯是这类材料的代表,聚碳酸酯有良好的绝缘性,常用做计算机、打印机的外壳,以及电子通信设备中的连接元件、接线板和控制按钮等。最近,功能高分子材料得到了迅速发展,如将取代液晶材料的有机电致发光材料等。

复合材料就是由两种或两种以上不同原材料组成,使原材料的性能得到充分发挥,并通过复合化而得到单一材料所不具备的性能的材料。按基体可分为金属基、有机高分子材料基、无机非金属基复合材料等。按强化相可分为颗粒增强复合材料和纤维增强复合材料等两类。从广义上讲,复合材料已有悠久的历史。远古先人曾用稻草掺入黏土制作土坯,古代人曾用钢铁层压法制成刀剑。近代的复合材料以 1942 年制出的玻璃纤维强化塑料为起点。随后,为了提高纤维的弹性,开发了硼纤维、碳纤维、耐热氧化铝纤维等;为了改善树脂的耐热性,对金属基复合材料也开始进行研究。同时,对陶瓷等无机材料作为复合材料的基体进行了再认识,使其在研究开发的基础上获得了广泛的应用。

0.3 本课程的目的、任务和学习方法

机械工业是材料应用的重要领域。机械工业的发展,对产品的要求越来越高。无论是制造机床,还是建造轮船、石油化工设备,都要求产品技术先进、质量高、寿命长、造价低。因此,在产品设计与制造过程中,会遇到越来越多的材料及材料加工方面的问题。这就要求机械工程技术人员掌握必要的材料科学与材料工程知识,具备正确选择材料和加工方法、合理安排加工工艺路线的能力。“工程材料”课程正是为实现这一目标而设置的。

本课程的具体任务是:①掌握工程材料的基本理论知识及其性能特点,建立材料的化学成分、组织结构、加工工艺与性能之间的关系;②了解常用机械工程材料的性能、应用范围和加工工艺,并初步具备合理选用材料、正确确定加工方法、妥善安排加工工艺路线的能力。



本课程是一门具有较强理论性和实践性的课程,特点是基本概念多,与实际联系密切。因此在学习过程中应注重分析、理解和运用,并注意前后知识的衔接。同时还要注意密切联系生产实际,重视实验环节,认真完成有关的讨论和作业。因本课程与物理、化学、工程力学、金属工艺学等课程及金工实习等教学环节紧密相连,故应安排在这些教学环节之后进行。本课程涉及知识面较广,内容丰富,教师在教学过程中应多采用直观教学、多媒体教学和启发式教学,并培养学生的自学能力,以增加课堂的信息量,并应在后续课程和实践性教学环节中反复练习,巩固提高。

第 1 章 材料的性能

【内容简介】

本章重点介绍材料的力学性能,主要包括弹性、刚度、强度、塑性、硬度和韧度等。同时还简单介绍了材料的其他性能。

【学习目标】

- (1)掌握金属材料的力学性能及其衡量指标。
- (2)了解金属材料的其他性能。

材料的性能是指材料本身所具有的性质及在使用和加工过程中所表现出来的特点,包括使用性能和工艺性能两种。使用性能用来衡量某一材料是否好用,分为力学性能、物理性能和化学性能等;工艺性能用来衡量材料是否容易加工,分为铸造性、锻造性、焊接性及切削加工性等。

使用性能是机械零件材料选材首要考虑的因素。材料用于结构零件时,其力学性能是工程设计、选材的主要依据。

1.1 材料的力学性能

材料在外力或能量作用下表现出来的行为称为力学性能。材料的力学性能不仅取决于材料本身的化学成分,而且还与材料的微观组织结构、表面和内部缺陷等有关,是衡量工程材料性能优劣的主要指标,也是机械设计人员在设计过程中选用材料的主要依据。

材料在加工及使用过程中所受的载荷有静载荷和动载荷等两类。静载荷条件下,材料的力学性能包括强度、塑性、硬度等;动载荷条件下,材料的力学性能包括冲击韧度、疲劳强度等。

金属材料的强度和塑性是通过拉伸试验测定出来的。拉伸试验就是用静拉力对标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量力和试样相应的伸长量,直至试样断裂为止的过程,如图1-1所示。拉伸试验中得出的拉伸力与伸长量的关系曲线称为力-伸长曲线。将力-伸长曲线的纵、横坐标分别除以拉伸试样的原始截面面积 A_0 和原始标距长度 l_0 ,则得到应力-应变曲线(σ - ϵ 曲线),如图1-2所示。因为都是与一常数相除,故曲线形状与力-伸长曲线相同。

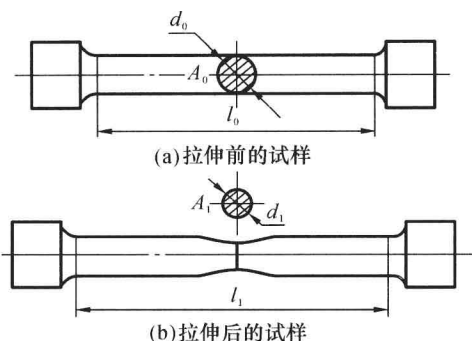
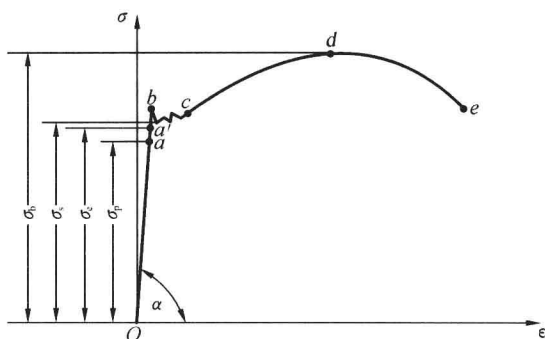


图 1-1 拉伸试验

图 1-2 低碳钢拉伸时的 σ - ϵ 曲线

1.1.1 弹性与刚度

1. 弹性

材料在外力作用下会产生形状或尺寸的变化,去除外力后能够恢复回原始形状的变形称为弹性变形。对于理想的弹性材料,其应力与应变关系如图 1-2 中 Oa 段所示,外力卸载后试样能恢复到原始长度。通常用弹性极限 σ_e 表示材料可以承受最大弹性变形的应力。

2. 刚度

弹性模量 E (又称杨氏模量) 是产生 100% 弹性变形所需应力,即在弹性变形范围内应力与应变的比值,表示材料对弹性变形的抗力,其值越大,则在相同应力下产生的弹性变形就越小。它只与材料的化学成分有关,与组织变化无关,与热处理状态无关。

刚度在工程上是指在弹性变形范围内,构件或零件在受力时抵抗弹性变形的能力,等于材料弹性模量 E 与零件截面面积 A 的乘积。刚度不足会造成构件过量发生弹性变形而失效。要增加零件的刚度,要么选用弹性模量 E 高的材料,要么增大零件的截面面积 A 。

1.1.2 强度与塑性

1. 强度

在图 1-2 所示的 bc 段,当载荷增大到 F_s 时,拉伸曲线呈水平直线状或锯齿状,即试样所承受的载荷几乎不变,但产生了较为明显的塑性变形,材料的这种现象称为屈服现象。屈服强度是指在外力作用下开始产生明显塑性变形的应力,用 σ_s 表示。对于没有明显屈服现象发生的材料,用试样标距长度产生 0.2% 的塑性变形量时的应力值作为其屈服强度,称为条件屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

图 1-2 所示的 cd 段为均匀塑性变形阶段,在这一阶段,应力随应变增加而增加,即产生应变强化。超过 d 点后,试样开始发生局部塑性变形,即出现颈缩现象(见图 1-3),随着应变增加,应力明显下降,并在 e 点断裂。 d 点所对应的应力为材料断裂前所能承受的最大拉应力,表示材料抵抗破断的能

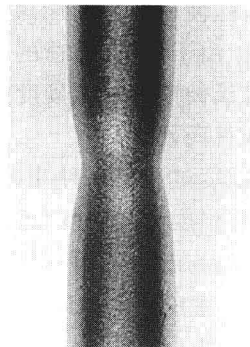


图 1-3 拉伸试样的颈缩现象



力,称为抗拉强度 σ_b 。抗拉强度又称为强度极限,是零件因断裂而失效的主要设计和选材依据之一。与弹性极限和屈服强度相比,抗拉强度具有易于测定的优点,得到广泛应用。

屈服强度和抗拉强度在材料选择和机械设计时有重要意义,金属材料必须在小于其 σ_s 的条件下工作,否则会引起零件的塑性变形;金属材料也不能在超过其 σ_b 的条件下工作,否则会导致零件的毁坏。

2. 塑性

材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力称为材料的塑性,是材料进行塑性加工的必要条件,也是零件安全使用的可靠保证。工程上常用伸长率和断面收缩率作为材料的塑性指标。

伸长率 δ 是指试样拉断后的标距伸长量 l_1-l_0 与原始标距 l_0 之比,即

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

式中, l_0 ——试样原始标距长度;

l_1 ——试样断裂后的标距长度。

必须指出,伸长率的数值与试样尺寸有关,因而试验时应对所选的试样尺寸做出规定,以便进行比较。如 $l_0=10d_0$ 时,用 δ_{10} 或 δ 表示; $l_0=5d_0$ 时,用 δ_5 表示。伸长率 δ 是衡量材料塑性的一个重要指标,一般情况下, $\delta < 2\% \sim 5\%$,属于脆性材料; $5\% < \delta < 10\%$,属于韧性材料; $\delta > 10\%$,属于塑性材料。

断面收缩率 ψ 是指试样拉断处横截面积的收缩量与原始横截面面积之比,即

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, A_0 ——试样原始横截面面积;

A_1 ——颈缩处最小横截面面积。

1.1.3 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,是衡量材料软硬程度的判据。硬度是材料弹性、塑性、强度和韧度等力学性能的综合指标,通常材料的强度越高,硬度也越高。硬度测试应用最广的是压入法,即用一定的载荷把规定的压头缓慢压入被测工件,使材料表面局部发生塑性变形而形成压痕,然后根据压痕面积或压痕深度来确定硬度值。由于压头、载荷的不同,用压入法进行硬度测试的指标主要可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度等。另外还有划痕法测试的硬度(如莫氏硬度)和回跳法测试的硬度(如肖氏硬度)等。

硬度试验是一种非破坏性试验,可以直接在零件上测量,可根据硬度值估计出材料的近似抗拉强度和耐磨性,也可作为选择加工工艺的参考。因此,硬度试验尤其是用压入法进行硬度试验在生产及科研中得到了广泛的应用。

1. 布氏硬度(HB)

如图1-4所示,对直径为 D 的压头施加规定的试验力 F ,使压头压入试样表面,经规定的保持时间后,除去试验力,在试样表面留下球形压痕,测量试样表面的压痕直径 d 。布氏



硬度用试验力除以压痕表面积的商来计算,其计算公式为

$$HB = \frac{0.102F}{A} = \frac{0.204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-3)$$

式中, F ——试验力(N);

D ——硬质合金球直径(mm);

d ——压痕平均直径(mm)。

通常情况下,布氏硬度值不标出单位,它一般用于较软的材料,如有色金属、退火后的钢材等。

当压头为淬火钢球时,用 HBS 表示(适用于布氏硬度值小于 450HBS 的材料,如灰铸铁、非铁合金等);当压头为硬质合金钢球时,用 HBW 表示(适用于布氏硬度值在 450~650HBS 的材料)。布氏硬度的表示方法规定:符号 HBS 或 HBW 之前的数字表示硬度值,符号后面的数字按顺序分别表示球体直径、载荷及载荷保持时间。例如,120HBS10/1000/30 表示直径为 10 mm 的钢球在 9.807 kN 载荷作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 120HBS。

布氏硬度的优点:测量结果准确、数据稳定、重复性强;缺点是压痕大,不适合成品及薄件的检验。

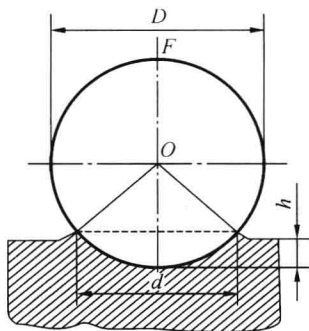


图 1-4 布氏硬度试验原理

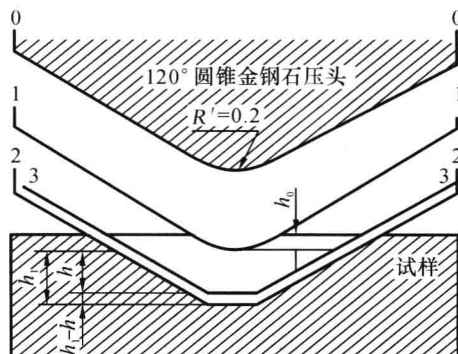


图 1-5 洛氏硬度试验原理

2. 洛氏硬度(HR)

洛氏硬度不是以测定的压痕的面积来计算的,而是以测量压痕深度来表征材料的硬度值。其试验原理如图 1-5 所示,在初始试验力 F_0 及总试验力 $F_0 + F_1$ 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 F_1 ,用保持初始试验力的条件下测量的残余压痕深度增量来计算硬度。但这样直接以压入深度的大小表示硬度,将会出现硬的金属硬度值小,而软的金属硬度值大的现象。为了与习惯上数值越大硬度越高的概念相一致,采用一常数 K 减去 h 的差值表示硬度值。为方便起见,又规定每 0.002 mm 压入深度为一个硬度单位。

洛氏硬度值的计算公式为

$$HR = \frac{K - h}{0.002} \quad (1-4)$$

式中, K ——常数;



h ——卸载主试验力后压痕残留深度。

洛氏硬度的优点是操作迅速、简便,硬度值可从表盘上直接读出;压痕较小,可用于工件表面试验;可测量较薄工件的硬度。缺点是精确性较低,硬度值重复性差、分散度大,通常需要在材料的不同部位测试数次,取其平均值来代表材料的硬度。此外,用不同标尺测得的洛氏硬度值彼此之间没有联系,不能直接用来相互比较。

洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围如表 1-1 所示。

表 1-1 洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120 金刚石圆锥体	588.4	60~85HRA	硬质合金、表面淬火钢等
HRB	$\phi 1/16$ 钢球	980.7	25~100HRB	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	120° 金刚石圆锥体	1471.0	20~67HRC	一般淬火钢件、调质钢

3. 维氏硬度 (HV)

维氏硬度的测定原理基本上与布氏硬度的相同,如图 1-6 所示,也是根据压痕单位面积所承受的试验力来计算硬度值,但使用的压头是锥面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体,压痕是四方锥形,测量压痕两对角线的平均长度 d ,计算压痕面积 A ,计算公式为

$$HV = \frac{0.102F}{A} = \frac{0.204F \sin(136^\circ/2)}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-5)$$

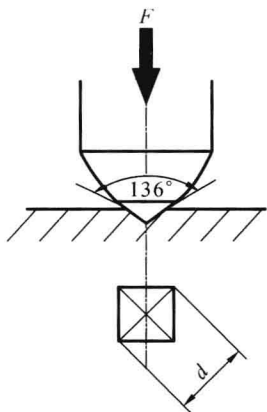


图 1-6 维氏硬度试验原理

式中, F ——载荷(N);

A ——压痕面积(mm^2);

d ——压痕两对角线的平均长度 d (mm)。

维氏硬度所用载荷小,压痕深度浅,硬度测量精确度高于布氏硬度和洛氏硬度,适用于测量较薄的材料或表面硬化层、金属镀层的硬度,特别是极薄零件和渗碳层、渗氮层的硬度,其测得的数值较准确,并且不存在布氏硬度试验那种载荷与压头直径比例关系的约束。由于维氏硬度的压头是金刚石角锥,载荷可调范围大,所以维氏硬度可用于测量从软到硬的各种工程材料,测定范围为 $0 \sim 1000 \text{HV}$ 。缺点是硬度值的测定较为麻烦,工作效率不如洛氏硬度,因此不太适合成批生产的常规检验;压痕小,对工件表面质量要求较高。

为了获得一些特殊性能和特殊形状材料的硬度,可以采用其他的硬度测试方法。如显微硬度法可用于测量薄的镀层、渗层或显微组织中的不同相的硬度;肖氏硬度适合在现场对大型工件(如机床床身、大型齿轮等)进行硬度测量;莫氏硬度用于测量陶瓷和矿物的硬度等。

1.1.4 冲击韧度与疲劳强度

1. 冲击韧度

机械零件或构件在工作时不仅会受到静载荷作用,有时还会受到动载荷的作用。冲击



载荷下材料抵抗变形和断裂的能力称为冲击韧性,它是材料塑性和强度的综合表现。

材料的冲击韧性常用一次摆锤冲击试验法测定,其试验原理如图 1-7 所示。将图 1-8 所示的标准冲击试样以缺口背向摆锤的方式放在冲击试验机上,然后抬起摆锤到高度 H_0 ,令其自由落下将试样一次冲断后,摆锤凭借剩余能量上升至高度 H_1 。冲击韧性计算公式为

$$\alpha_K = \frac{W}{A} \quad (1-6)$$

式中, W ——冲断过程中所消耗的冲击功(J);

A ——试样缺口处的横截面面积(mm^2)。

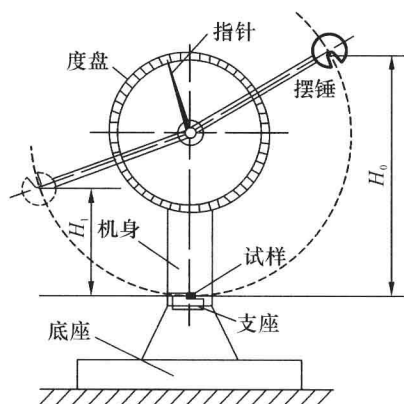


图 1-7 一次摆锤式冲击试验原理图

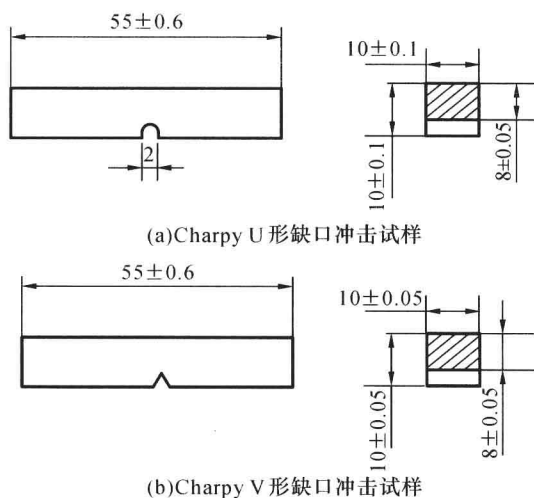


图 1-8 标准冲击试样

冲击韧性表现了结晶颗粒大小和内部金相组织在合金内的影响,如回火脆性、时效等,这些因素对力学性能的影响用静力试验发现不了,因而冲击韧性是控制和稳定产品质量的重要指标。

2. 疲劳强度

材料在交变载荷(大小、方向随时间而变化的一种载荷,见图 1-9)作用下,经过一段时间,在缺陷或应力集中的部位会产生细微的裂纹,裂纹逐渐扩展以致在应力远小于屈服强度或强度极限的情况下突然发生脆性断裂的现象称为疲劳。

材料承受的交变应力与断裂时应力循环次数 N 之间的关系可以用疲劳曲线来描述,如图 1-10 所示。材料所受的交变应力越大,断裂前所受的循环次数越少,当应力低于某一定值后,曲线趋于水平,这说明当应力值低于此值时,材料可经无限次应力循环而不断裂。材料经无数次应力循环后仍不发生断裂的最大应力值称为疲劳强度,用 σ_{-1} 表示。由于疲劳试验时不可能进行无限循环周次,而且有些材料的疲劳曲线上没有水平部分,因此规定一个应力循环基数 N_0 , N_0 所对应的应力作为该材料的疲劳强度,一般钢铁的循环基数为 10^7 ,有色金属和某些超高强度钢的循环基数为 10^8 。工业生产中,钢铁材料的 σ_{-1} 值约为其 σ_b 值的一半,而非金属材料的疲劳强度一般远低于金属材料的疲劳强度。

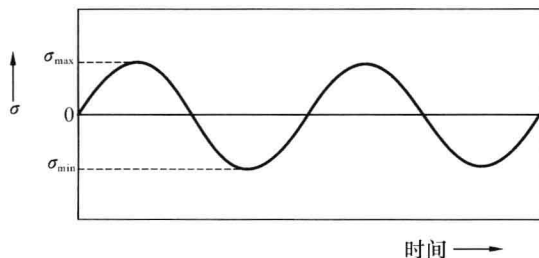


图 1-9 交变载荷示意图

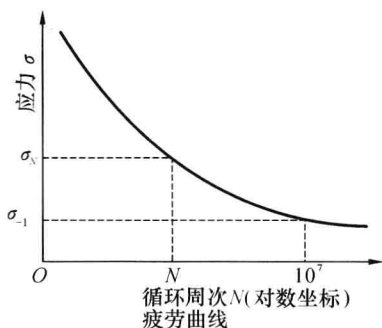


图 1-10 疲劳曲线示意图

疲劳破坏断口一般由疲劳裂纹扩展区和瞬时断裂区组成，断口的疲劳扩展区光亮、细致，有疲劳扩展前沿线，呈贝壳状或海滩状，如图 1-11 所示；瞬时破坏区断口粗糙，塑性材料断口呈纤维状，脆性材料则呈结晶状。

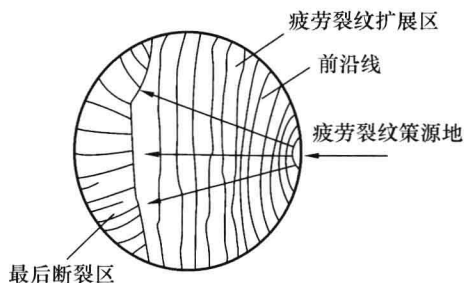


图 1-11 疲劳断裂宏观断口示意图

疲劳断裂在工业生产中占有很大的比例，是常见的一种失效形式。据统计，现代工业中零件的损坏有近 80% 都是由金属疲劳所引起的，如曲轴、连杆、齿轮、弹簧及桥梁等的破坏一般都是由于发生疲劳而引起的。

合理选材；改善材料的结构形状避免应力集中，减小材料和零件的缺陷；降低零件表面粗糙度；表面强化、喷丸处理等是提高材料的疲劳抗力的一般措施。

1.2 材料的其他性能

机器零件的用途不同，对其性能的要求也有所不同。例如，飞机零件通常选用密度较小的铝、镁、钛合金等；电动机、电器元件需要考虑其导电性；化工设备、医疗器械则需要耐蚀性好的材料来制造。因此，进行结构设计的时候除了要考虑材料的力学性能外，我们还需要考虑材料的其他性能。

1.2.1 材料的物理性能和化学性能

材料的物理性能由材料的物理本质所决定，包括材料的密度、热膨胀性、导热性、导电性、磁性、熔点等。材料的化学性能是指材料在一定环境条件下抵抗各种化学介质作用的能力，如抗氧化性、耐腐蚀性等。

1. 材料的物理性能

(1) 密度：某物质单位体积的质量。摩托车、飞机等高速运转的机械产品需要用密度较低的铝合金、钛合金、树脂基复合材料等来制造。

(2) 热性能：包括熔点、热膨胀性和热传导性等。铸型、高速飞机等高温下工作的机械产