

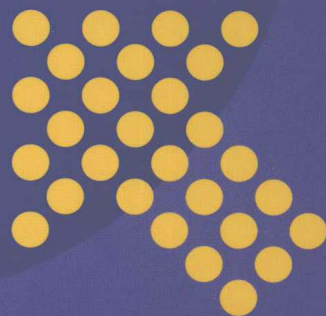
21世纪高等学校规划教材



JIXIE GONGCHENG CAILIAO

机械工程材料

孙步功 主 编
孙 伟 高爱民 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

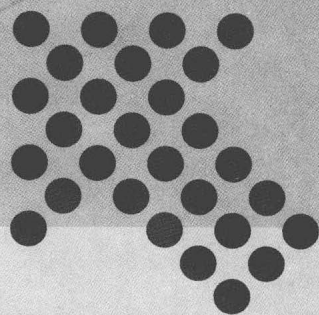
21世纪高等学校规划教材



JIXIE GONGCHENG CAILIAO

机械工程材料

主 编 孙步功
副主编 孙 伟 高爱民
编 写 李茂青 冯瑞成 杨 静
主 审 侯运丰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书主要包括金属材料的种类与性能、金属晶体结构与结晶、相图与铁碳合金、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属与粉末冶金材料、非金属材料、机械零件的选材和机械工程材料实验。每个章节均设有教学提示、教学要求、小结、思考与练习。本书注重对学生获取知识、分析问题与解决问题能力的培养，侧重学生工程素质与创新思维能力的提高。

本书可作为高等工科院校和高等农林院校等机械类、近机械类各专业的教材，也可供高职高专类工科院校师生及材料工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料/孙步功主编. —北京: 中国电力出版社, 2011. 1

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 1288 - 3

I. ①机… II. ①孙… III. ①机械制造材料—高等学校—教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 002786 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 5 月第一版 2011 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.75 印张 280 千字

定价 20.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

本书是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作,富有经验的教师以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写的,能够满足不同类型和层次的教学需要。

“机械工程材料”是机械类、近机类各专业的一门专业基础课程,着重阐述工程材料的组成和基本特性。兼有基础性、实用性、知识性、实践性与创新性等特点,是培养现代复合型人才的重要基础课程之一。本教材的编写既体现了现代材料科学、信息技术的交叉与融合,又体现了工程材料的历史传承和发展趋势。在内容的选择和编写上有以下特点:

- (1) 内容系统丰富、重点突出,每章节既相互联系,又相对独立。
- (2) 考虑到机械类、近机类各专业的需要,内容的选择和安排具有一定的通用性。
- (3) 为加深理解、巩固知识,每章后附有思考与练习,供学生及时复习。
- (4) 将实验指导编写为教材的一部分,体现了理论与实践的统一性。

本书由甘肃农业大学孙步功主编,甘肃农业大学孙伟、高爱民担任副主编。孙步功编写前言和第1~5章;高爱民编写第6章、第7章;孙伟编写第8~10章;兰州交通大学李茂青、兰州理工大学冯瑞成和天水师范学院杨静共同编写第11章和附录。

本书由兰州理工大学侯运丰教授主审,对书稿的编写提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2011年1月

目 录

前言

第 1 章 金属材料的种类与性能	1
1.1 材料的种类	1
1.2 力学性能	3
1.3 物理、化学性能	12
1.4 工艺性能	13
小结	22
思考与练习	22
第 2 章 金属晶体结构与结晶	23
2.1 晶体结构	23
2.2 纯金属结晶	25
2.3 合金结晶	28
小结	31
思考与练习	31
第 3 章 相图与铁碳合金	32
3.1 相图的建立	32
3.2 Fe-Fe ₃ C 相图	33
3.3 典型铁碳合金的结晶度及其组织	41
小结	42
思考与练习	42
第 4 章 金属的塑性变形与再结晶	43
4.1 金属的塑性变形	43
4.2 变形金属在加热时组织和性能的变化	46
4.3 金属的热变形加工	47
小结	48
思考与练习	48
第 5 章 钢的热处理	49
5.1 钢在加热时的组织转变	49
5.2 钢在冷却时的组织转变	53
5.3 常用的退火、正火、淬火和回火工艺	61
5.4 表面淬火和化学热处理工艺	68
5.5 钢的其他热处理	72
小结	73

思考与练习	73
第6章 工业用钢	75
6.1 钢的综述	75
6.2 合金元素在钢中的作用	78
6.3 结构钢	82
6.4 工具钢	94
6.5 特殊性能钢	100
小结	102
思考与练习	103
第7章 铸铁	104
7.1 铸铁的石墨化	104
7.2 灰铸铁	106
7.3 球墨铸铁	108
7.4 可锻铸铁	111
7.5 蠕墨铸铁	112
7.6 合金铸铁	113
小结	115
思考与练习	115
第8章 有色金属与粉末冶金材料	116
8.1 铝合金	116
8.2 铜合金	122
8.3 轴承合金	126
8.4 粉末冶金	128
小结	130
思考与练习	130
第9章 非金属材料	131
9.1 高分子材料	131
9.2 陶瓷材料	143
9.3 复合材料	147
小结	150
思考与练习	150
第10章 机械零件的选材	152
10.1 机械零件的失效分析	152
10.2 机械零件的选材原则	155
10.3 机械零件选材实例	158
小结	164
思考与练习	164
第11章 机械工程材料实验	165
11.1 实验指导	165

实验一 铁碳合金平衡显微组织观察.....	165
实验二 碳素钢的热处理.....	167
实验三 常用金属材料的显微组织观察.....	169
实验四 工程材料综合实验.....	171
11.2 实验报告的要求及书写.....	172
附录 金相试样的制备.....	175
参考文献.....	178

第 1 章 金属材料的种类与性能

教学提示：本章的任务是学习材料的种类、力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能等。

教学要求：了解工程材料的分类、性能及测试方法，重点是工程材料的力学性能指标和测试方法以及各个指标的物理意义。设计零件和材料选择时要考虑零件的工作环境，根据承受的载荷情况重点考虑某些力学性能指标。

人类生活、生产的过程是使用材料和将材料加工成成品的过程。材料使用的能力和水平标志着人类的文明和进步程度。人类发展的历史时代按人类对材料的使用分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等。在当今社会，能源、信息和材料已成为现代化技术的三大支柱，而能源和信息的发展又依托于材料。因此，世界各国都把材料的研究、开发放在突出的地位。

1.1 材料的种类

材料的种类繁多，用途很广，分类的方法也很多。按材料的用途可分为建筑材料、电工材料、结构材料等；按材料的结晶状态可分为单晶体材料、多晶体材料及非晶体材料；按材料的物理性能及物理效应可分为半导体材料，磁性材料，激光材料（这类材料能受激辐射而发出方向恒定、波长范围窄、颜色单纯的激光，如红宝石、钇铝石榴石、含铍玻璃等），热电材料（在温度作用下产生热电效应，由热能直接转变为电能或由电能转变为热能，可用于制造引燃、引爆器件），光电材料（利用光电效应，可将光能直接转变成电能，如用硅、硫化镉等光电材料制作的太阳能电池）等。

值得指出的是，在工程上通常按材料的化学成分、结合键的特点不同将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料等几大类。

1.1.1 金属材料

金属材料是以过渡族金属为基础的纯金属及其含有金属、半金属或非金属的合金。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能，能采用比较简便和经济的加工方法制成零件，因此金属材料是目前应用最广泛的材料。工业上通常把金属材料分为两大类：①黑色金属，指铁、锰、铬及其合金，其中以铁为基的合金——钢和铸铁应用最广，占整个结构和工具材料的 80% 以上；②有色金属，指黑色金属以外的所有金属及其合金。

这两类材料还可进一步细分为图 1-1 所示的系列。

1.1.2 高分子材料

高分子材料是指分子量很大的化合物，它们的分子量可达几千甚至几百万以上。高分子材料包括塑料、橡胶等。因其具有原料丰富、成本低、加工方便等优点，发展极其迅速，目前在工业上得到广泛应用，并将越来越多地被采用，这类材料大体可细分为图 1-2 所示系列。

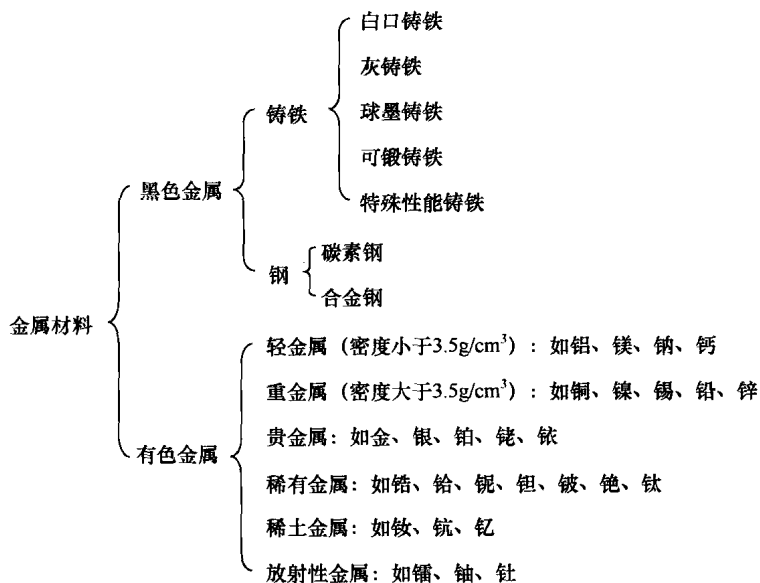


图 1-1 不同系列的金属材料

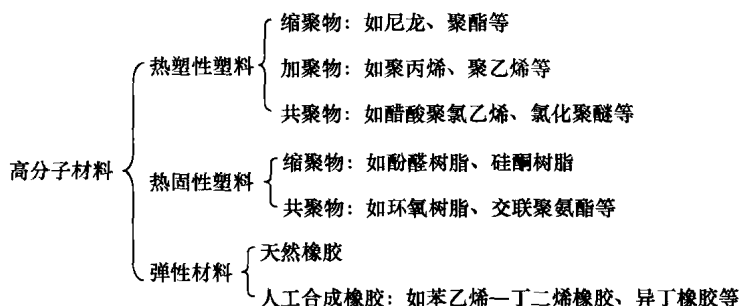


图 1-2 不同系列的高分子材料

1.1.3 陶瓷材料

所谓陶瓷是指以天然硅酸盐（黏土、石英、长石等）或人工合成化合物（氮化物、氧化物、碳化物等）为原料，经粉碎、配制、成型和高温烧结而成的无机非金属材料。

陶瓷材料可以根据原料来源、化学成分、性能特点或用途等不同方法进行分类。一般归纳为工程陶瓷和功能陶瓷两大类。

(1) 按原料来源分类。

1) 普通陶瓷，又称为传统陶瓷，是以天然的硅酸盐矿物（黏土、石英、长石等）为原料，经粉碎、成型和烧结等过程制成。主要用于日用品、建筑、卫生以及工业上的低压和高压电瓷、耐酸和过滤制品等。

2) 特种陶瓷，又称现代陶瓷，是采用纯度较高的人工合成化合物（氮化物、氧化物、碳化物等）为原料，用与普通陶瓷类似的加工工艺制成新型陶瓷，这种陶瓷一般具有各种独特的物理、化学性能或力学性能，主要用于化工、冶金、机械、电子、能源和某些新技术领域中。

(2) 按化学成分分类。

按化学成分分类, 陶瓷可分为如氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷及几种元素化合物复合的陶瓷。

(3) 按性能特点分类。

按性能特点分类, 陶瓷有高强度陶瓷、耐磨陶瓷、高温陶瓷、耐酸陶瓷、压电陶瓷、光学陶瓷等。

(4) 按用途分类。

按用途分类, 陶瓷可分为日用陶瓷、建筑陶瓷、电器绝缘陶瓷、化工耐腐蚀陶瓷以及保温隔热用的多孔陶瓷和过滤用陶瓷等。

1.1.4 复合材料

采用两种或多种物理和化学性能不同的材料制成一种多相固体材料, 称为复合材料。

复合材料是由基体材料(树脂、金属、陶瓷)和增强剂(颗粒、纤维、晶须)复合而成的。它既保持所组成材料的各自特性, 又具有组成后的新特性, 且它的力学性能和功能可以根据使用需要进行设计、制造, 所以自1940年玻璃钢问世以来, 复合材料的应用领域就在迅速扩大, 品种、数量和质量有了飞速发展。目前已经能够应用的复合材料有纤维增强材料、树脂基复合材料、碳硅复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料和夹层结构复合材料等。

1.2 力学性能

1.2.1 强度与塑性

载荷的大小不变或变动很缓慢, 这样的载荷称为静载荷。金属材料的强度、塑性是在静载荷作用下测定的。

(1) 强度。

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形(永久变形)和断裂的能力。抵抗塑性变形和断裂的能力越大, 强度就越高。常用的强度指标是屈服极限和抗拉强度。

强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验是在万能材料试验机上用静拉伸力对标准试样进行轴向拉伸, 测量拉伸力和相应的伸长, 并测其力学性能的试验。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

1) 拉伸试样。试验通常采用圆柱形拉伸试样, 试样尺寸按国家标准制作, 分为短试样($L_0=5d_0$)和长试样($L_0=10d_0$)两种。拉伸试样如图1-3所示, d_0 为标准试样的原始直径, L_0 为标准试样的原始标距长度; d_1 为试样断口处的直径, L_1 为拉断试样对接后测出的标距长度。 L_0 和 d_0 有规定的标准值, 一般 L_0 为100mm或50mm。

2) 拉伸曲线。试验时, 将标准试样装在拉伸试验机的上下夹头上, 开动拉伸试验机, 缓慢加载拉伸, 随着载荷增加, 试样逐渐伸长直至拉断。同时, 记录装置记录拉伸过程中的力—伸长量($F-\Delta L$)曲线, 即拉伸曲线。图1-4为退火低碳钢的拉伸曲线。由拉伸曲线可知, $F=0$ 时 $\Delta L=0$, 载荷增大到 F_p 的过程中, 试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比例关系, 在拉伸曲线图(见图1-4)中为斜直线 Op 。在此范围内卸除载荷, 试样能完全恢复到原来的形状与尺寸, 符合胡克定律, 即试样处于弹性变形阶段。图1-4中 F_p 是试样保

持弹性变形的最大拉伸力。

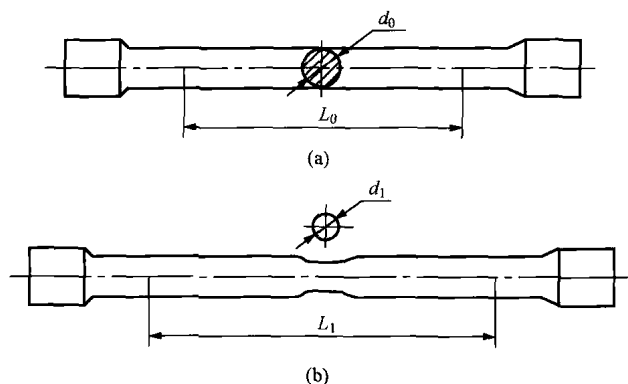


图 1-3 拉伸试样
(a) 拉伸前; (b) 拉伸后

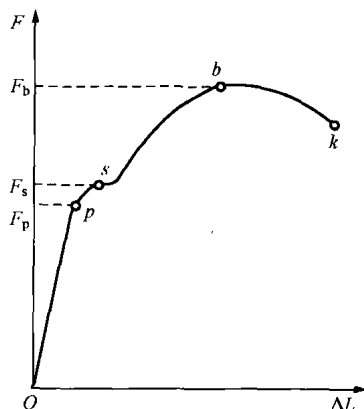


图 1-4 退火低碳钢的拉伸曲线

当载荷不断增加, 超过 F_p 时, 试样将产生塑性变形, 卸载后变形不能完全恢复, 塑性伸长将被保留下来。当载荷继续增加到 F_s 时, 拉伸曲线在 p 点后出现水平或锯齿形线段, 表示在载荷不再增加的情况下, 试样也会继续伸长, 这种现象称为“屈服”, F_s 称为屈服拉伸力。

当载荷超过屈服拉伸力 F_s 后, 试样抵抗变形的能力将会增强, 此现象为冷变形强化, 即抗力增加现象。在拉伸曲线上表现为一段上升曲线, 随着塑性变形量的增大, 试样变形抗力也逐渐增大, 即试样处于冷变形强化阶段。

当载荷增至最大值 F_b 时, 试样伸长且迅速增大而截面迅速减小, 形成“缩颈”现象。由于缩颈处截面的急剧缩小, 单位面积承载大大增加, 最后到 k 点时试样被拉断, 即试样处于缩颈与断裂阶段。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力, 称为极限拉伸力。

(2) 强度指标。

金属材料受外力作用时, 其内部产生与外力相抗衡的内部抗力, 这种内部抗力称为内力, 单位面积上的内力称为应力, 用 σ 表示。金属的强度指标就用应力来度量。常用的强度指标有屈服强度与抗拉强度。

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 σ_e 表示, 有

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中 F_e ——试样产生完全弹性变形时所承受的最大拉伸力, N;

S_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 。

2) 屈服强度。屈服强度是指试样在拉伸试验过程中力不增加(保持恒定)试样仍然能继续伸长(变形)时的应力值。屈服强度也称屈服点, 用符号 σ_s 表示, 单位为 MPa。屈服强度 σ_s 的值可用下式计算

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时的最小拉伸力, N;

S_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 。

工业上使用的一些金属材料,如高碳钢、铸铁等,在进行拉伸试验时屈服现象不明显也不会产生缩颈现象,测定很困难,因此规定一个相当于屈服强度的强度指标。国家标准规定,此类材料以产生0.2%塑性变形量时的应力值为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

金属零件和结构在工作中一般是不允许产生塑性变形的。所以设计零件、结构时屈服强度 σ_s 是重要的设计依据,也是工程技术上极为重要的力学性能指标之一。

3) 抗拉强度。抗拉强度是指试样断裂前能承受的最大应力值,用符号 σ_b 表示,单位为MPa。 σ_b 可用下式计算

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-3)$$

式中 F_b ——试样断裂前能承受的最大拉伸力, N;

S_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 。

σ_b 是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值,也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属来说,拉伸试样在承受最大拉应力之前,变形是均匀一致的。但超过 σ_b 后,金属开始出现缩颈现象,即产生集中变形。

抗拉强度表示材料抵抗塑性变形和断裂的最大能力,测试数据较准确。因此,有关手册和资料提供的设计、选材的强度指标往往是抗拉强度 σ_b 。

(3) 塑性。

金属材料在外力作用下发生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。金属材料的塑性也是通过拉伸试验来测定的。金属的塑性指标用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示,常用断后伸长率和断面收缩率来表示。

1) 断后伸长率。拉伸试样在进行拉伸试验时,在力的作用下产生塑性变形,原始试样中的标距会不断伸长。试样拉断后的标距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。 δ 值可用下式计算

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度, mm;

L_1 ——试样拉断时的标距长度, mm。

试样分为长试样和短试样。使用长试样测定的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示,通常写成 δ ;使用短试样测定的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同一种材料的断后伸长率 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的,一般短试样 δ_5 都大于长试样 δ_{10} 。不同材料进行比较时,必须是相同标准试样测定的数值才有意义。

2) 断面收缩率。断面收缩率是指试样拉断后横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。断面收缩率用符号 ψ 表示。 ψ 值可用下式计算

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 ;

S_1 ——试样断口处的横截面面积, mm^2 。

断后伸长率和断面收缩率的数值大,表示金属材料的塑性变形能力强、塑性好。金属制品进行压力加工时,应选择 δ 与 ψ 值大的金属材料。机械零件工作时突然超载,如

果材料塑性好,就能先产生塑性变形而不会突然断裂破坏。所以,对于大多数机械零件,除要求满足强度要求外,还必须有一定的塑性要求。但是,铸铁、陶瓷等脆性材料,塑性极低,拉伸时几乎不产生明显的塑性变形,超载时会突然断裂,使用时必须注意。

1.2.2 硬度

金属材料抵抗其他更硬物体压入表面的能力称为硬度,硬度是衡量材料软硬程度的判据,它表征材料抵抗表面局部弹性变形、塑性变形或抵抗破坏的能力。材料的硬度越高,其耐磨性就越好。

硬度试验和拉伸试验都是在静态力下测定材料力学性能的方法。硬度测定的设备简单、操作方便,试验基本上不损伤工件,不需要制作专门试样,而且可以直接在工件上进行测试,从而被广泛应用于检验原材料和热处理件的质量,以及鉴定热处理工艺的合理性。硬度是一项综合力学性能指标,从金属表面的局部压痕即可反映出材料的强度和塑性,因此在零件图上常常标注各种硬度指标,以作为技术要求。

常用硬度测定方法有压入法、划痕法、回弹高度法等,其中压入法的应用最为普遍。压入法是在规定的静态试验力作用下,将压头压入金属材料表面层,然后根据压痕的面积大小或深度测定其硬度值。目前,多用压入法测材料硬度,常用的测试方法有布氏硬度 HB、洛氏硬度 HR 和维氏硬度 HV 试验法。

(1) 布氏硬度。

布氏硬度的试验原理如图 1-5 所示。用一定直径的淬火钢球或硬质合金球,以规定的试验力 F 压入试样表面,经规定的保持时间后,去除试验力,测量试样表面的压痕直径 d ,然后根据压痕直径 d 计算其硬度值。

布氏硬度值是指压痕球面积上所产生的平均抗力。选择淬火钢球压头时,用符号 HBS 表示;选择硬质合金球压头时,用符号 HBW 表示。布氏硬度值可用下式计算

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

式中 D ——压头直径, mm;

F ——试验力, N;

d ——压痕平均直径, mm。

式中只有 d 是变数,因此试验时只要测量出压痕直径,就可通过计算或查布氏硬度表

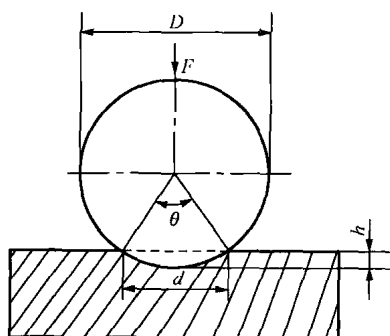


图 1-5 布氏硬度的试验原理

得出 HBS(HBW) 值。布氏硬度计算值一般都不标出单位,只写明硬度的数值。

由于金属材料有硬有软,被测工件有厚有薄,有大有小,如果只采用一种标准的试验力 F 和压头直径 d ,就会出现对某些材料和工件不适应现象。因此,GB/T 231.1—2009《金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》中规定了几种 F 和 D 的选配关系。布氏硬度试验规范见表 1-1。在进行布氏硬度试验时,压头直径 D 、试验力 F 和保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。

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)	$0.102F/D^2$	压头直径 $D(\text{mm})$	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(3000)	12
		4~2		5.0	7.355(750)	
		<2		2.5	1.839(187.5)	
有色金属	<140	>6	10	10.0	9.807(1000)	12
		6~3		5.0	2.452(250)	
		<2		2.5	1.839(187.5)	
	>130	6~3	30	10.0	29.42(3000)	30
		4~2		5.0	7.355(750)	
		<2		2.5	1.839(187.5)	
	36~130	9~3	10	10.0	9.807(1000)	30
		6~3		5.0	2.452(250)	
		>6		2.5	2.452(250)	
	8~35	>6	2.5	10.0	2.452(250)	60

布氏硬度的标注方法是：测定的硬度值应标注在硬度符号的前面，在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。例如，150HBS10/1000/30表示用直径为 10mm 的淬火钢球，在 9.807kN(1000kgf) 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150；500HBW5/750 表示用直径为 5mm 的硬质合金球，在 7.355kN(750kgf) 试验力作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500。若钢球直径 D 为 10mm，试验力为 29.42kN(3000kgf)，保持时间为 10~15s 的试验条件下进行布氏硬度测定，试验条件可以不标明。

由于布氏硬度测定的压痕面积较大，可不受金属内部组成相晶粒不均匀性的影响，测得的硬度值比较准确，数据重复性强。一般材料布氏硬度值小于 450 时选用淬火钢球压头，布氏硬度值在 450~650 时选用硬质合金压头。目前我国布氏硬度试验常用的压头主要是淬火钢球。由于布氏硬度压痕大，对金属表面的损伤也较大，硬度高的材料，薄壁工件和表面要求高的工件，不宜用布氏硬度测试。

(2) 洛氏硬度。

洛氏硬度也是用压入法测定的，洛氏硬度的试验原理如图 1-6 所示，其试验原理是以锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作压头压入试样表面，先加初试验力 F_1 (98N)，再加主试验力 F_2 ，压入试样表面后去除主试验力，在保留初试验力的情况下，根据试样压痕深度来衡量金属的硬度大小。

图 1-6 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；1—1 为加上初试验力 F_1 后压入试样的位置；2—2 为压头受到总试验力 F 后压入试样的位置；经规定的保持时间，卸除主试验力 F_2 ，仍保留初试验力 F_1 ，试样弹性变形的恢复使压头上升至 3—3 位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为 h_1 ，金属

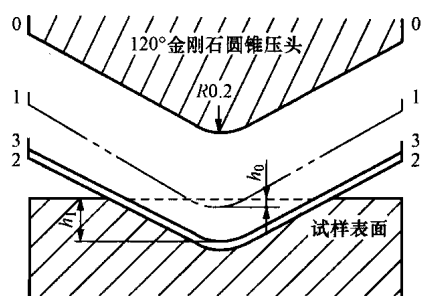


图 1-6 洛氏硬度的试验原理

h_0 —压入深度； h_1 —压痕深度

越硬, h_1 值越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念, 故人为地规定一常数 K 减去压痕深度 h_1 作为洛氏硬度指标, 并规定每一个洛氏硬度试验单位为 0.002mm , 则洛氏硬度值为

$$\text{HRA}(\text{HRB}, \text{HRC}) = \frac{K - h_1}{0.002} \quad (1-7)$$

式中 h_1 ——压痕深度, mm ;

K ——常数, 使用金刚石圆锥体压头时, K 为 0.2 ; 使用淬火钢球压头时, K 是为 0.26 。

由压痕深度可直接得出数值, 所以可从洛氏硬度计表盘上直接读出硬度值, 不用计算。

洛氏硬度根据试验时选用的压头类型和试验力大小的不同分别采用不同的标尺进行标注。常用的标尺有 A、B、C, 试验条件及应用范围见表 1-2。根据 GB/T 230.3—2002《金属洛氏硬度试验 第 3 部分: 标准硬度块 (A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T 标尺) 的标定》规定, 硬度数值写在符号的前面, HR 后面写使用的标尺, 如 52HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 52。

表 1-2 洛氏硬度试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/[\text{N}(\text{kgf})]$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4(60)	60~88	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢等
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球	980.7(100)	25~100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
HRC	120° 金刚石圆锥体	1474.1(150)	20~70	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

注 HRA、HRC 所用刻度为 100, HRB 为 130。

洛氏硬度测定操作简便, 可直接读数, 测量范围大, 压痕小, 对试样表面损伤小, 因此可广泛应用于各种材料的不同工件以及薄、小和表面要求高的工件测定。由于压痕小, 对内部组织和性能不均匀的材料, 测量结果可能不够准确、典型, 所以在测试洛氏硬度时通常都选取不同位置的 3 点测出硬度值, 再计算平均值作为被测金属的硬度值。

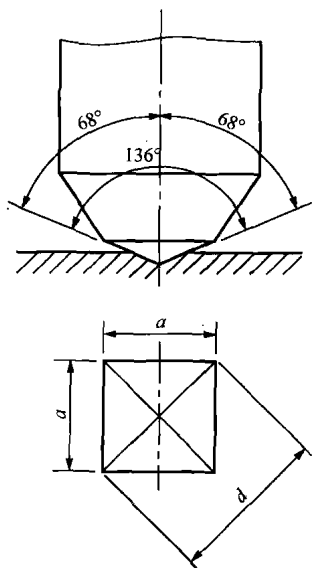


图 1-7 维氏硬度试验原理

(3) 维氏硬度。

维氏硬度的测定原理与布氏硬度基本相似, 也是根据压痕单位面积承受的压力大小来测量的。维氏硬度的试验原理如图 1-7 所示, 将夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头, 以选定的试验力压入试样表面, 经规定保持时间后, 去除试验力, 在试样表面上压出一个正四棱锥形的压痕, 测量压痕两对角线的平均长度, 计算硬度值。维氏硬度是用正四棱锥形压痕单位面积上承受的平均压力表示硬度值, 用符号 HV 表示。维氏硬度值为

$$\text{HV} = 0.102 \frac{F}{S} = 0.189 \frac{F}{d^2} \quad (1-8)$$

式中 F ——试验力, N ;

d ——压痕两条对角线长度算术平均值, mm ;

S ——试样表面压痕面积, mm^2 。

试验时,测出压痕的对角线长度,算出两对角线长度的平均值后,经查表就可得出维氏硬度值。

维氏硬度的标注方法与布氏硬度相同,硬度数值写在符号 HV 的前面,试验条件写在 HV 的后面。对于钢及铸铁,当试验力保持时间为 10~15s 时,可以不标出。例如,600HV30 表示用 30kgf 试验力保持 10~15s 测定的维氏硬度值为 600;640HV30/20 表示用 30kgf 试验力保持 20s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度可测软、硬金属,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。此外,维氏硬度也不存在洛氏硬度那样不同标尺的硬度无法统一的问题,而且比洛氏硬度能更好地测定薄件或薄层的硬度。维氏硬度的缺点是其硬度的测定较为麻烦,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。

1.2.3 冲击韧性

机械零部件在工作过程中不仅受到静载荷和变动载荷的作用,而且还会受到不同程度冲击载荷的作用,如锻锤的锤杆、冲床的冲头、内燃机的活塞销与连杆等。冲击载荷的速度高,作用时间短,易引起材料的局部变形和断裂。因此,对于在冲击载荷条件下工作的机器零件,进行选材或设计时,必须考虑其冲击韧性。评定材料的冲击韧性,应用最普遍的试验方法是夏比冲击试验。

(1) 夏比冲击试验。

夏比冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的,试验原理如图 1-8 所示。

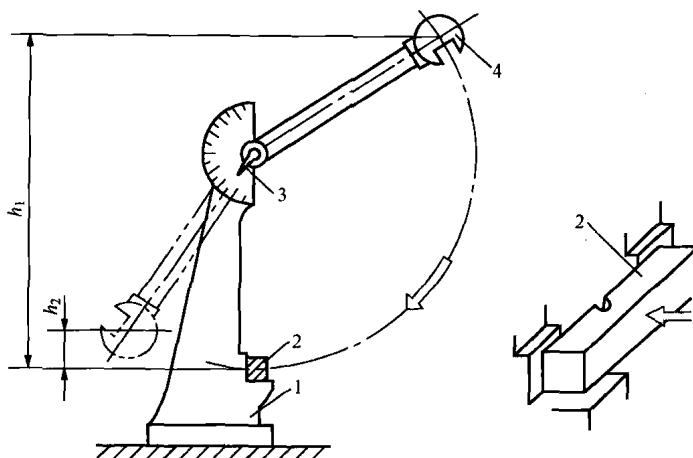


图 1-8 夏比冲击试验原理

1—固定支座; 2—带缺口的试样; 3—指针; 4—摆锤

试验时,将带有缺口的试样放在试验机的机架上,使其缺口位于两固定支座中间,并背向摆锤的冲击方向。将一定质量的摆锤升高到 h_1 ,使摆锤具有一定的势能 A_{KV1} (V 形缺口试样),再使其自由落下,将试样冲断后,摆锤继续升高到 h_2 ,此时摆锤的剩余势能为 A_{KV2} ,则摆锤冲断试样所失去的势能 A_{KV} 为

$$A_{KV} = A_{KV1} - A_{KV2} \quad (J) \quad (1-9)$$

A_{KV} 就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所吸收的功,称为冲击

吸收功。 A_{KV} 可以从试验机的刻度盘上直接读出,则冲击韧度 α_{KV} 为

$$\alpha_{KV} = \frac{A_{KV}}{S_N} \quad (\text{J}/\text{cm}^2) \quad (1-10)$$

式中 A_{KV} ——摆锤冲断试样所失去的势能, J;

S_N ——试样的断口处截面面积, cm^2 。

为使试验结果不受其他因素影响,冲击试样要根据国家标准制作,如图1-9所示。带V形缺口的试样,称为夏比V形缺口试样;带U形缺口的试样,称为夏比U形缺口试样。使用U形缺口试样进行冲击试验时,相应的冲击吸收功用符号 A_{KU} 表示,冲击韧度用 α_{KU} 表示。

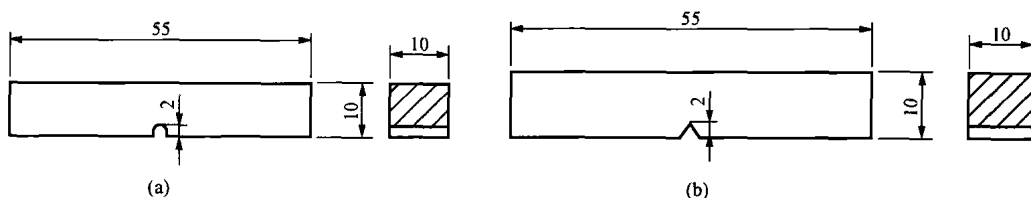


图1-9 标准冲击试样 (单位: mm)

(a) U形缺口; (b) V形缺口

对一般钢材来说,所测冲击吸收功 A_{KV} 越大,表示金属抵抗冲击试验力而不破坏的能力就越强,材料的韧性越好。长期实践证明, A_{KV} 和 α_{KV} 对组织缺陷非常敏感,能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化,因而冲击试验是生产上用来检验冶炼和热加工质量的有效方法之一。

冲击吸收功与试验温度有关,有些金属在室温试验时并不显示脆性,而在较低温度下则可能发生脆断,这种现象称为冷脆现象。为了确定材料由塑性状态向脆性状态变化的规律,可分别在一系列不同温度下进行冲击试验,即可测出金属的脆化趋势和韧脆转变温度。冲击吸收功与温度之间的关系曲线如图1-10所示。

对于具有低温脆性的金属,曲线上具有上平台区、过渡区和下平台区三部分。在进行不同温度的一系列冲击试验时,随试验温度的降低,冲击吸收功总的变化趋势是随温度降低而降低的。当温度降至某一数值时,冲击吸收功急剧下降,金属由韧性断裂变为脆性断裂,这种现象称为冷脆转变。金属由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冷脆倾向的指标。金属的韧脆转变温度愈低,说明金属的低温抗冲击性能就

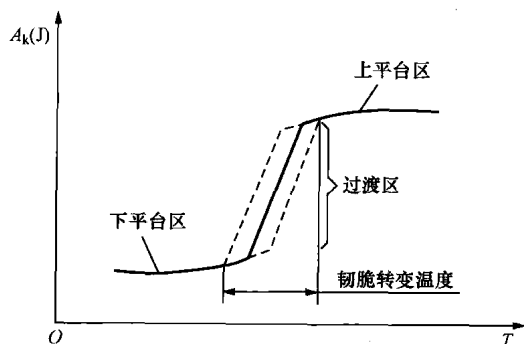


图1-10 冲击吸收功与温度之间的关系曲线

愈好,这对于寒冷地区和低温下工作的机械结构尤为重要。比如非合金钢的韧脆转变温度约为 -20°C ,在较寒冷的(低于 -20°C)地区使用的非合金钢构件,如车辆、桥梁、运输管道等在冬天易发生脆断现象。因此,在选择金属材料时,应考虑其工作条件的最低温度必须高于金属的韧脆转变温度。

(2) 多次冲击试验的概念。

冲击韧度 α_{KV} 是在大能量一次冲断标准试样时所得到的数据。实际上,不少承受冲击的