

中等专业学校教材

电子设备结构材料

李石 谢文和

辽宁科学技术出版社

内 容 提 要

本书为中等专业学校电子设备结构设计专业的专业基础课统编教材。内容包括：金属材料性能、金属学及热处理的基本理论和方法；有关电子设备结构中常用的金属材料、塑料、橡胶、陶瓷、胶粘剂、复合材料、磁性材料、粉末冶金等各种材料的牌号、性能、热处理特点及在电子设备中的应用；材料选用的一般原则、典型零件选材分析；零件表面涂覆的基本原理、方法和常用涂料种类等。

本书除可作为中等专业学校电子设备结构设计专业的专业基础课教材外，还可作为厂、所职工学校教材，并可供从事电子设备结构设计的工程技术人员作参考书。

中等专业学校教材

电子设备结构材料

Dianzi Shebei Jiegou Chailiao

李 石 谢文和

辽宁科学技术出版社 (沈阳市南京街6段1里2号)
电子工业出版社 出版

辽宁省新华书店发行 沈阳新华印刷厂印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 14¹/₂ 字数: 320,000

1989年10月第1版

1989年10月第1次印刷

责任编辑: 刘绍山 责任校对: 沈树东

封面设计: 邹君文

印数: 1—706

ISBN 7-5381-0643-X/TN·21

定价: 2.65元

出 版 说 明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲议中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由中专电子机械类专业教材编审委员会机械制造编审小组征稿,推荐出版,责任编辑周光远同志。

本教材由南京无线电工业学校李石同志担任主编,北京无线电工业学校张文绍同志担任主审。

本课程的参考学时为75学时(含实验14学时),其主要内容共二十章可分为以下几大部分:一至六章为金属学及热处理,主要介绍金属材料的机械性能、电性能和工艺性能及金属材料的内部组织结构,结晶过程,热处理的基本知识等;七至十二章为电子设备中常用的金属材料,主要介绍碳钢、合金钢、铸铁、磁性材料、粉末冶金、有色金属及其合金等各种常用金属材料的牌号、性能、热处理特点及在电子设备中的应用;十三至十八章为电子设备中常用的非金属材料,主要介绍高分子材料(塑料、橡胶、陶瓷、胶粘剂),复合材料等的性能、特点及应用;第十九章主要介绍材料选用的一般原则和电子设备中典型零件的(波导、天线、屏蔽体、轴、齿轮等)选材分析;第二十章简要介绍电子设备结构材料的表面涂覆,包括电镀涂覆、表面化学涂覆、涂料涂覆及各种镀种、涂料性能和应用等。

使用本教材时应注意:在理论教学部分应以铁碳状态图为重点,在充分理解的基础上配合实验和课堂讨论等实践性教学环节,加深理解材料的组织、性能、用途以及改善材料性能的主要工艺方法、热处理的基本方法及在零件制造过程中的位置和作用;本教材中介绍的材料种类较多,学习时应以材料的性能为主,再将成分、组织、用途等有机地加以联系,了解其中的规律,以达到较合理地选用材料。

为便于学生复习,本教材各章后均备有习题与思考题,使用时可灵活掌握,必要时可选用一些实践性较强的典型示例,引导学生进行课堂讨论或制定大型作业。

本教材由李石同志编写绪言、第一至十二和第二十章,谢文和同志编写第十三至十九章,由李石同志统编全稿。参加审阅工作的还有南京无线电工业学校龚维蒸同志。书中所有金相图片均由南京无线电工业学校单振发同志提供。在编写过程中,还得到有关厂、所、校的大力支持,这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1988年8月

目 录

绪言	(1)
第一章 金属材料的性能	(3)
第一节 金属材料的机械性能	(3)
第二节 金属材料的物理、化学及工艺性能	(10)
习题一	(10)
第二章 金属的结构	(12)
第一节 金属的晶体结构	(12)
第二节 金属的实际结构和晶体缺陷	(13)
第三节 金属的结晶和同素异构转变	(15)
习题二	(19)
第三章 金属的塑性变形与再结晶	(20)
第一节 金属的塑性变形	(20)
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	(21)
第三节 回复与再结晶	(23)
第四节 金属的热加工与冷加工	(24)
习题三	(25)
第四章 二元合金	(26)
第一节 合金的相结构	(26)
第二节 二元合金状态图	(28)
第三节 合金的性能与状态图的关系	(33)
习题四	(34)
第五章 铁—碳合金	(35)
第一节 铁—碳状态图分析及典型合金结晶过程	(35)
第二节 铁碳合金成分—组织—性能关系	(43)
第三节 Fe—Fe ₃ C 状态图的应用	(44)
习题五	(44)
第六章 钢的热处理	(46)
第一节 概述	(46)
第二节 钢在加热时的组织转变	(46)
第三节 钢在冷却时的组织转变	(48)
第四节 钢的退火和正火	(55)

第五节 钢的淬火	(57)
第六节 钢的回火	(64)
第七节 钢的淬硬性和淬透性	(67)
第八节 钢的表面热处理和化学热处理	(69)
习题六	(75)
第七章 碳素钢	(76)
第一节 概述	(76)
第二节 碳素结构钢	(77)
习题七	(81)
第八章 合金钢	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 合金元素在钢中的作用	(85)
第三节 合金结构钢	(88)
第四节 合金工具钢	(96)
第五节 不锈钢	(99)
习题八	(102)
第九章 铸铁	(104)
第一节 铸铁的特点和分类	(104)
第二节 铸铁中的石墨化过程及影响因素	(105)
第三节 常用铸铁	(107)
习题九	(113)
第十章 磁性材料	(114)
第一节 磁性和磁化曲线	(114)
第二节 软磁材料	(115)
第三节 铁氧体	(118)
习题十	(119)
第十一章 粉末冶金	(120)
第一节 粉末冶金的特点	(120)
第二节 粉末冶金的工艺过程	(121)
第三节 粉末冶金材料及其应用	(122)
习题十一	(124)
第十二章 有色金属及其合金	(125)
第一节 铝及铝合金	(125)
第二节 铜及铜合金	(134)
第三节 钛及钛合金	(143)
第四节 高熔点金属	(144)
习题十二	(145)

第十三章 高分子材料	(146)
第一节 高分子材料的基础知识.....	(146)
第二节 高聚物的三种物理状态.....	(149)
第三节 高聚物的老化.....	(151)
第四节 高聚物的改性.....	(151)
习题十三.....	(153)
第十四章 塑料	(154)
第一节 概述.....	(154)
第二节 塑料的组成及分类.....	(154)
第三节 塑料的性能.....	(157)
第四节 常用塑料简介.....	(160)
第五节 几种主要类型塑料零件的用材.....	(170)
习题十四.....	(172)
第十五章 橡胶	(173)
第一节 概述.....	(173)
第二节 常用橡胶材料.....	(174)
第三节 橡胶的老化及防老化措施.....	(176)
习题十五.....	(177)
第十六章 陶瓷	(178)
第一节 陶瓷的晶体结构和性能的关系.....	(178)
第二节 陶瓷的性能.....	(179)
第三节 常用电子陶瓷.....	(180)
习题十六.....	(183)
第十七章 复合材料	(184)
第一节 纤维增强复合材料.....	(184)
第二节 层合复合材料.....	(185)
第三节 颗粒复合材料.....	(186)
习题十七.....	(187)
第十八章 胶粘剂	(188)
第一节 概述.....	(188)
第二节 胶粘剂的组成和分类.....	(189)
第三节 常用胶粘剂.....	(190)
习题十八.....	(196)
第十九章 电子设备中结构材料的选用	(197)
第一节 材料选用的一般原则.....	(197)
第二节 电子设备中典型零件的选材分析.....	(200)
习题十九.....	(209)

第二十章 电子结构材料的表面涂覆.....	(210)
第一节 电镀和化学涂覆.....	(210)
第二节 涂料涂覆.....	(216)
习题二十.....	(219)

附录一.....	(219)
附录二.....	(220)
附录三.....	(221)

绪 言

材料是人类生产的物质基础。人类社会的发展史证明，生产中使用的材料性质直接反映了人类社会的文化水平。随着生产技术和社会的进步，新材料的不断发现，促进了生产发展，并改善了人类的物质和文化生活。

20世纪以来，现代科学技术和生产的发展，突飞猛进。材料、能源和信息已成为现代技术的三大支柱。电子工业也不例外，从简单的电子产品：如各种元器件、收音机、录音机、电视机、电子测量仪器仪表到复杂的雷达、广播电视、卫星通讯、电子计算机等，其发展更是迅速。这些电子产品的每个零部件，都是由各种金属材料、非金属材料，经合理的结构设计和适当的工艺制造而成的。金属及非金属材料是制造电子产品的物质基础，任何一种电子产品的性能和质量的优劣，在一定程度上取决于所选用的材料。

近几十年来，由于在电子设备中使用了印制线路、集成电路，使整机结构出现了体积小，重量轻，而且要求在各种恶劣环境条件中能稳定而可靠地工作，这就对电子设备结构材料提出了更高的要求。目前使用的材料，除金属材料外，陶瓷材料、高分子材料、复合材料等在电子产品中也广为采用，其发展相当迅速。这就在很大程度上提高了电子设备的技术性能，并扩大了其使用范围。

由于材料与电子设备的关系密切，因此了解设备所用材料的性能，了解决定和影响材料性能的有关因素（例如生产一个零件，应当选用什么材料，其性能如何，怎样改善其性能以及如何考虑零件的制造工艺等），是每一个电子设备结构设计人员和生产技术人员在从事产品设计和组织加工时必须解决的问题。

《电子设备结构材料》是一门研究电子设备结构中所用材料的成分、组织结构、性能及用途之间关系的课程。其主要内容为：

1. 金属材料学的有关基础知识。主要介绍金属材料的性能、金属的结构与结晶、金属的塑性变形和再结晶原理、铁碳合金以及热处理的基本知识等。
2. 电子设备中常用金属材料（包括碳钢、铸铁、合金钢、磁性材料、粉末冶金材料、有色金属及其合金等）的牌号、性能、热处理特点和用途。
3. 电子设备中常用的非金属材料，尤其是高分子材料（包括塑料、橡胶、陶瓷及复合材料等）的特点、牌号、性能和主要用途。
4. 设计电子设备结构零件时，选用材料的一般原则以及零部件或整机防护、表面处理的一般常识。

通过以上内容的学习，对电子设备结构设计和生产中常见材料的基本组织、性能和用途之间的关系，对合理选用材料以及热处理在零件制造工艺流程中的位置和作用，有一大概的了解，为后续课程的学习和培养合格的结构设计人员打下一定的基础。

《电子设备结构材料学》，是在一定的生产实践基础上发展起来的。既有理论又有实践，而且与其他学科联系广泛，加上牵涉材料的种类较多，因此，短时间内很难记住各种材料的成分、性能和用途。学习时，应以材料的性能为主，将成分、组织和用途加以有机的联系，了解它们之间的规律，从而达到逐步掌握各类材料的主要性能、牌号和用途等目的。为此，在学好基础理论的同时，应重视课堂讨论、现场参观、实验等实践性环节。课后还应及时复习、消化，这样才能使所学知识得以巩固。

第一章 金属材料性能

金属材料是制造电子设备结构零件最主要的材料。由于金属材料具备制造电子设备中许多零部件所需要的条件，如机械性能（强度、硬度、塑性和韧性等）、物理化学性能（导电性、导磁性、导热性及抗蚀性、抗氧化等）和工艺性能（铸造性、锻造性、焊接性、热处理性能及切削加工性能等）。因此，在设计零件时，必须首先了解金属材料的各种主要性能，只有这样，才能根据零件的使用要求合理地选用所需的金属材料。

第一节 金属材料的机械性能

在电子设备结构零件设计中，材料的选用大多是以材料的机械性能指标为主要依据。其机械性能指标的好坏是考核产品质量的一项重要内容。

机械性能是指材料在机械载荷作用下所表现出来的性能。故机械性能又称力学性能，即材料抵抗载荷作用的能力。机械性能主要包括强度、硬度、塑性、韧性、抗疲劳性等。

一、强度、塑性

测定金属材料强度与塑性指标的最基本方法是拉伸试验。即将试样装夹在拉伸试验机上，均匀而缓慢地增加载荷（或称外力），使试样在拉力作用下逐渐发生伸长变形，直至最后拉断。图1—1为碳钢的标准拉伸试样，按国家标准（GB228—86）规定：在拉伸实验过程中，试验机上可自动绘出载荷与变形量之间的关系曲线，称“拉伸曲线”。

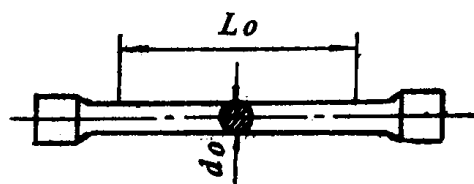


图 1—1 碳钢的圆形标准拉伸试样

图1—2为中碳钢的拉伸曲线。由该曲线可确定碳钢的有关性能指标。

（一）强度

金属材料的强度是指金属材料在载荷作用下抵抗塑性变形和破坏的能力。从图1—2可知，拉伸曲线上 oe 是一条直线。在这一阶段，试样在载荷作用下均匀伸长，伸长量与所加载荷成正比关系，这时如果去掉载荷，试样便恢复原有尺寸，即材料处于弹性变形阶段。超过 e 点后，除弹性变形外，材料开始出现塑性变形。当载荷增加到 P_s 时，图上出现了水平线段，它表明此时载荷保持不变，而材料仍然继续变形（伸长），这种现象叫做屈服，

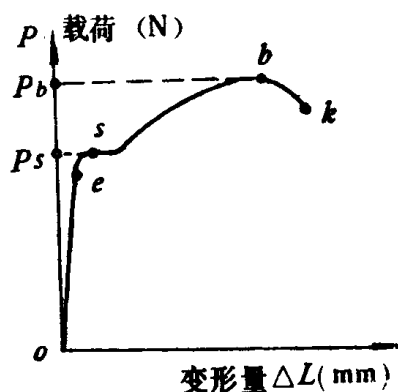


图 1—2 中碳钢拉伸曲线图

s 点称作屈服点。材料开始出现明显塑性变形的应力称为材料的屈服强度（或称屈服极限），用符号 σ_s 表示。其值可用下式计算：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中 P_s —屈服载荷 (N)；

F_0 —试样原始横截面积 (mm^2)。

大多数金属材料没有明显的屈服现象，难以测定 σ_s 值，为了衡量它们的屈服特性，工程技术上一般规定：以产生0.2%塑性变形时的应力作为条件屈服点，或称屈服强度，用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服现象过后，材料的变形又随载荷的增加而逐渐增大，整个试样发生均匀而显著的塑性变形。当载荷达到 P_b 后，在试样标距长度 L_0 内出现局部直径变细，即产生缩颈现象。由于试样缩颈处的直径逐渐变小，所需载荷也开始下降，故 b 点为曲线上最高点，至 k 点时试样被拉断。因此， P_b 是试样能够承受的最大载荷，相对应于此的应力，即为材料的抗拉强度（或称强度极限），以 σ_b 表示。可用下式进行计算：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中 P_b —试样拉断时的最大载荷(N)；

F_0 —试样原始横截面积(mm^2)。

σ_b 值愈大，表示金属材料抵抗断裂的能力愈大，即强度愈高。由于载荷形式不同，强度有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。在强度指标中，屈服强度 σ_s （或 $\sigma_{0.2}$ ）和抗拉强度 σ_b ，是设计机械零件的重要依据，因金属材料不能在超过其 σ_s 和 σ_b 的条件下工作，否则会引起零件的塑性变形或被破坏，降低使用可靠性。

（二）塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。常用的塑性指标是用拉伸试验测得的伸长率和断面收缩率来表示的。

伸长率是试样拉断后标距长度的增加量与原标距长度的百分率，用符号 δ 表示，其值可按式计算：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 l_0 —试样的原始标距长度 (mm)

l_1 —试样拉断后的标距长度 (mm)

由于同一材料不同长度的试样测得的伸长率(δ 值)不同，因此要注明试样的尺寸比例。例如，用长试样($l_0 = 10d_0$ *)测得的伸长率用 δ_{10} 表示（通常直接写成 δ ）；用短试样($l_0 = 5d_0$)时，则用 δ_5 表示。对于同一种材料， $\delta_5 > \delta_{10}$ 。如钢材的 δ_5 值约是 δ_{10} 值的1.2倍。在比较材料的延伸率时，注意应在相同符号试样的延伸率之间进行比较。

断面收缩率是试样拉断处横截面积减小量与原横截面积的百分率，用符号 ψ 表示。

* d_0 ——试样直径。

其值可按式计算:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 F_0 —试样原始横截面积(mm^2);

F_1 —试样拉断后的最小横截面积 (mm^2)。

一般情况下, 金属的伸长率 δ 与断面收缩率 ψ 值愈大, 其塑性就愈好。例如, 纯铁的 δ 值可达到50%, 而普通生铁的 δ 值还不到1%, 故纯铁的塑性要比生铁好得多。

塑性是金属材料机械性能的一个重要指标。 δ 、 ψ 值愈高, 表明材料的塑性愈好。塑性好的材料可以通过多种压力加工方法(如轧制、锻造、挤压等)制成不同结构形式的零件毛坯或成品。

二、硬度

硬度是金属机械性能的一个重要指标。在设计图纸的技术条件中常需规定硬度要求的范围, 检验材料或工艺是否合格, 也常需测量硬度值。

硬度是金属材料抵抗更硬物体压入的能力。测量硬度广泛采用的方法是压入法。压入法就是用硬质材料制成的压头, 在一定载荷下将压头压入零件或材料表层, 使其产生压痕, 然后以压痕单位面积上承受的压力或压坑深度来确定被测物体硬度的方法。生产中, 常用的测量硬度的方法有布氏硬度法和洛氏硬度法。

(一) 布氏硬度(HB)

布氏硬度试验的原理(如图1—3所示)是用一直径为D的钢球或硬质合金球, 以相应的试验力 F 压入试样表面, 经保持规定时间后, 卸除试验力, 以压痕单位球面积上所承受的力的大小作为所测金属材料的硬度值。根据这一试验原理测得的硬度称作布氏硬度, 用HBS和HBW表示。并可用下式计算:

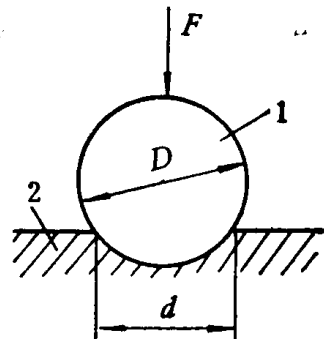
$$\text{HBS(HBW)} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-5)$$

式中 D —球体直径(mm);

F —试验力(N);

d —压痕平均直径(mm)。

当试验力单位用(N)时:



1—钢球 2—试件

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

图1—3 布氏硬度试验原理简图

压头为钢球时, 用HBS表示, 它适用于布氏硬度值在450以下的材料; 压头为硬质合金球时, 用HBW表示, 它适用于布氏硬度值在600以下的材料。

为了避免经常计算压坑面积的麻烦, 可用专门的刻度放大镜测出压痕直径 d , 然后直接查表(见表1—1, 金属布氏硬度数值表)得出HB值。硬度值一般只标出大小而不标注单位。在图上标注布氏硬度值时, 可标出布氏硬度的范围, 习惯标注如

表 1—1 金属布氏硬度(HB)数据表 (参照GB231—84)

钢 球 直 径 D (mm)			F/D^2		
			30	10	2.5
			试验力 F [kgf(kN)]		
10	5	2.5	3000 (29.42)	1000 (9.807)	250 (2.452)
			750 (7.355)	250 (2.452)	62.5 (0.613)
			187.5 (1.839)	62.5 (0.613)	15.625 (0.153)
			120 (1.177)	40 (0.392)	10 (0.098)
			30 (0.294)	10 (0.098)	2.5 (0.024)
压 痕 直 径 d (mm)			布 氏 硬 度 HBS或HBW		
2.80	1.400	0.7000	477	159	39.8
2.85	1.425	0.7125	461	154	38.4
2.90	1.450	0.725	444	148	37
2.95	1.475	0.7375	429	143	35.8
3.00	1.500	0.7500	415	138	34.6
3.05	1.525	0.7625	401	134	33.4
3.10	1.550	0.7750	388	129	32.3
3.15	1.575	0.7875	375	125	31.3
3.20	1.600	0.8000	363	121	30.3
3.25	1.625	0.8125	352	117	29.3
3.30	1.650	0.8250	341	114	28.4
3.35	1.675	0.8375	331	110	27.5
3.40	1.700	0.8500	321	107	26.7
3.45	1.725	0.8625	311	104	25.9
3.50	1.750	0.8750	302	101	25.2
3.55	1.775	0.8875	293	97.7	24.4
3.60	1.800	0.9000	285	95	23.7
3.65	1.825	0.9125	277	92.3	23.1
3.70	1.850	0.9250	269	89.7	22.4
3.75	1.875	0.9375	262	87.2	21.8
3.80	1.900	0.9500	255	84.9	22.2
3.85	1.925	0.9625	248	82.6	20.0
3.90	1.950	0.9750	241	80.4	20.1

HB220~250。

布氏硬度测量误差虽然较小,但由于压痕较大,故不适用于成品或薄壁零件及小零件的检验,通常用于零件毛坯或原材料的检验。

大量试验实践表明,硬度是金属材料机械性能的一个综合指标。一般情况,材料的硬度愈高,耐磨性就愈好,强度也愈大。硬度和强度之间有一定的内在联系,可由其硬度值估算出抗拉强度的大小,两者之间的关系为:抗拉强度约等于0.35倍的硬度(即

$\sigma_s = 0.35HB$).

(二) 洛氏硬度(HR)

按(GB230—84)规定的试验方法,洛氏硬度的测量原理与布氏硬度的测量原理相同,都是压入法(如图1—4所示)。所不同的是:洛氏硬度不是测定压痕的大小,而是根据压痕的塑性变形深度来衡量硬度。洛氏法常用顶角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头。

试验时,先加初载荷 $10\text{kgf}(98.07\text{N})$,使压头紧密接触试件 a ,并压至 b 处,以 b 处作为衡量压痕深度的起点,再加上主载荷,使压头压到 c 处,然后去掉主载荷,由于被试金属弹性变形的恢复,压头向上回升到 d 处。于是,深度 $\overline{bd}$ 就是压头在主载荷作用下压入金属表面的塑性变形深度。此深度愈大,金属的硬度愈低,反之,硬度愈高。被试金属的洛氏硬度数值,在去掉主载荷后,直接由硬度计表盘上的指针指出。

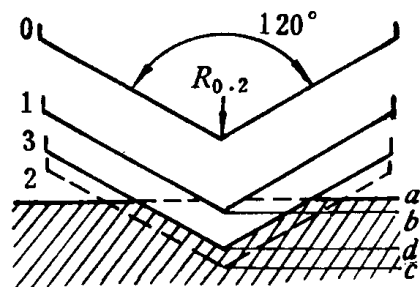


图1—4 洛氏硬度试验原理简图

为了扩大洛氏硬度计的使用范围,根据被试材料的不同,洛氏硬度试验法可采用不同的压头和载荷,常用三种洛氏硬度符号表示,其试验条件和应用列于表1—2中。

表1—2 常用洛氏硬度符号及试验条件和应用举例

硬度符号	压头类型	总载荷(kgf)	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120° 金刚石圆锥体	150(1471N)	HRC20~67(相当于HB225以上)	一般淬火钢件
HRB	$\phi 1.588$ 毫米钢球	100(980N)	HRB25~100(相当于HB60~230)	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120° 金刚石圆锥体	60(588N)	HRA>70(相当于HB360以上)	硬质合金、表面淬火钢等

以上三种洛氏硬度中,HRC应用最多,一般经过淬火处理的钢制零件都用它测试硬度。洛氏硬度无单位,但要标明硬度符号,如HRC62、HRB85、HRA90等。硬度值应在有效范围内(如HRC为20~67)方为有效。

由于洛氏硬度测量法操作简便、压痕小,可直接对零件进行硬度测量,因而应用比较广泛。它适用于成批生产和测试壁厚较薄的零件。但需指出的是,因为压痕小,对内部组织和硬度不均匀的材料,硬度值波动较大,一般同一试件应测试三点以上,然后取平均值作为该材料的洛氏硬度值。

(三) 维氏硬度(HV)

维氏硬度的测量原理是用相对面的夹角为 136° 的金刚石正四棱锥作为压头,在一定载荷 P 的作用下压入试件表面(如图1—5所示),以单位压痕表

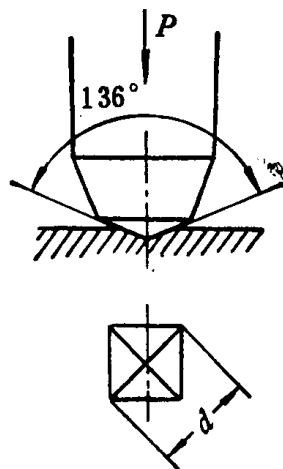


图1—5 维氏硬度试验原理简图

面积所承受的载荷作为其硬度值。维氏硬度试验因载荷小（常用5kgf约50N或10 kgf 约100N），压痕浅，故广泛用于测量工件表面薄的硬化层或金属镀层及薄片金属零件的硬度值。

硬度测量除了上述三种方法外，还有显微硬度测量法(HM)，肖氏硬度测量法(HS)等。各种硬度测试所得的硬度值不能直接比较，必须通过专门的硬度换算表换算成同一硬度值后才能比较其大小（见附录1）。

三、冲击韧性

前面介绍的几种金属材料的机械性能指标，都是在缓慢加载（即静载荷）条件下测定的性能指标。它们不能反映材料在受突然载荷（即冲击载荷）时的性能。但是许多机械零件在实际工作过程中往往要承受冲击载荷的作用，例如，电子设备在使用或运输过程中往往会因动力环境的影响而受到一定的冲击，因此有必要测定材料在受冲击载荷时的性能。

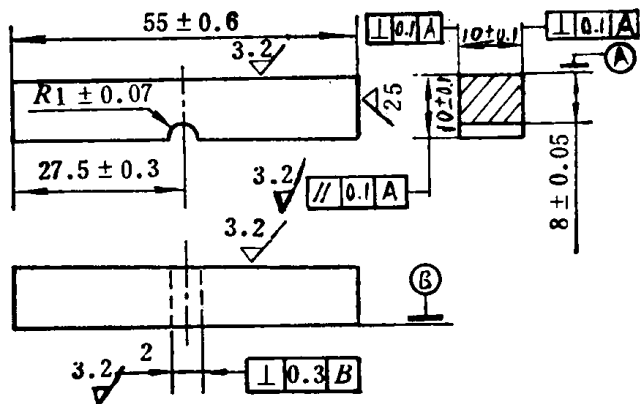


图1—6 冲击标准试样

金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力，称作金属材料的韧性。韧性的好坏可通过冲击试验测定，目前应用最普遍的方法是摆锤式一次冲击试验法。摆锤式一次冲击试验是将尺寸和缺口形式一定的标准试样按GB229—84的规定，将试样（如图1—6所示）置于冲击试验机支座上，把质量为 m 的摆锤安放在规定的高度 H ，然后下降，将试样冲断，并摆过支点升高到某一高度 h （如图1—7所示）。

摆锤打断试样所作的冲击功为 A_k ，根据功能原理可知：

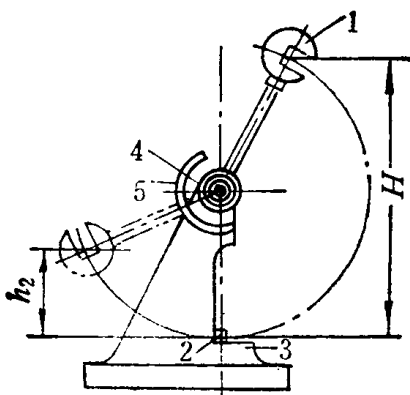
$$A_k = Pmg(H - h) \quad (\text{J}) \quad (1-6)$$

在实际实验时，冲击试验机的指针4，直接在刻度盘5上将冲击功 A_k 值指出，无需计算。一般习惯将冲击功 A_k 除以试样缺口处的横断面积 F ，得到冲击值（冲击韧性），用符号 a_k 表示，即：

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (\text{J/cm}^2) \quad (1-7)$$

冲击值 a_k 愈大，表示材料的韧性愈好。

材料的冲击韧性值(a_k)不仅与材料的成分及内部组织有关，而且还与试验条件（如：试件的形状、尺寸、试验温度等因素）有关。但不同试验条件下测得的 a_k 值，无法进行换算，所以也就无法进行比



1—摆锤 2—试样 3—支承面
4—指针 5—刻度盘

图1—7 冲击试验机简图

较。

此外，冲击值 a_k 与试验温度有关，有些材料在室温(20°C左右)试验时，并不显示脆性，而在较低温度下则发生脆断。因此，为了确定金属材料(特别是低温用材料)由韧性状态向脆性状态变化的倾向，可在不同温度下测定冲击值 a_k ，然后将实验结果绘成曲线图(如图1—8所示)。由图可见 a_k 值随温度的降低而减小，在某一温度范围时， a_k 显著降低而呈脆性，这个温度范围称为“脆性转变温度范围”。脆性转变温度愈低，材料转变为脆性状态的可能性愈小，低温冲击性能则愈好，结构零件工作时的可靠性就愈大。

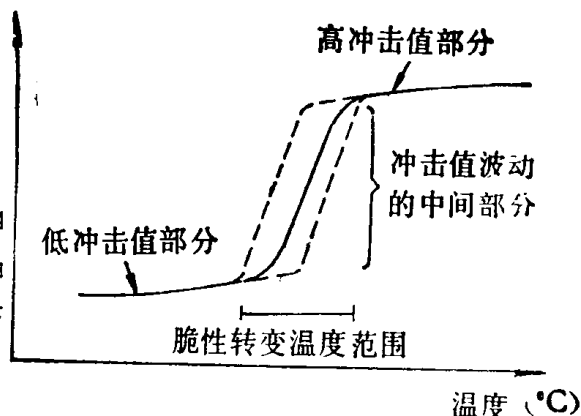


图1—8 温度对冲击韧性 a_k 的影响(<20°C时)

应该指出的是：在常温下测定的冲击值不能用来判断负温下的冲击韧性。对于那些在较低温度下使用的零件，当计算温度为-20°C或-20°C以下时，还需具有-20°C时负温冲击的附加保证。所以有时不得不在各种温度下进行试验，以确定材料真实的冲击韧性值。

此外，材料的 a_k 值不能直接用于零件的设计计算，但对承受不同载荷的零件，选材时又要注意必须具有一定的 a_k 值要求，以保证零件使用的安全性，避免发生断裂和脆断事故。根据实验，在室温下使用时，受冲击载荷的重要零件， a_k 值要求要高一些。比如，电子设备中的传动齿轮、蜗轮、蜗杆等零件，其 a_k 值通常要求80~100(J/cm²)，对一般零件， a_k 值通常要求30~50(J/cm²)。

四、疲劳强度(σ_{-1})

许多机械零件，如轴、弹簧、齿轮等，是在重复或交变应力作用下工作的。重复和交变应力，是指应力大小、方向均随时间作周期变化。在多次重复或交变应力作用下，金属会在远小于抗拉强度 σ_b ，甚至小于屈服强度 σ_s 的应力下断裂，这种现象称为金属的疲劳。据统计，约有80%的零件失效，都源于疲劳破坏。

金属材料在无数次重复交变载荷作用下而不引起断裂的最大应力，称作疲劳强度，用符号 σ_{-1} 表示。材料的疲劳强度由疲劳试验来测定，各种金属材料均有一定的循环基数。钢铁材料把循环基数为 10^7 周次而不断裂的最大应力作为钢铁的疲劳极限；有色金属和某些高强度钢则采用 10^8 周次而不断裂的最大应力作为它们的疲劳强度。

影响零件疲劳寿命的因素很多，除了材料成分及内部组织外，零件表面状态及形状也有重要影响。若零件应力集中，有划痕、损伤、腐蚀斑点等都会使零件抗疲劳的寿命大大降低。为了提高零件的疲劳强度，设计零件时应避免锐角连接，减小应力集中，同时降低表面粗糙度，还可对零件进行化学热处理、喷丸处理等强化表面的工艺措施。