

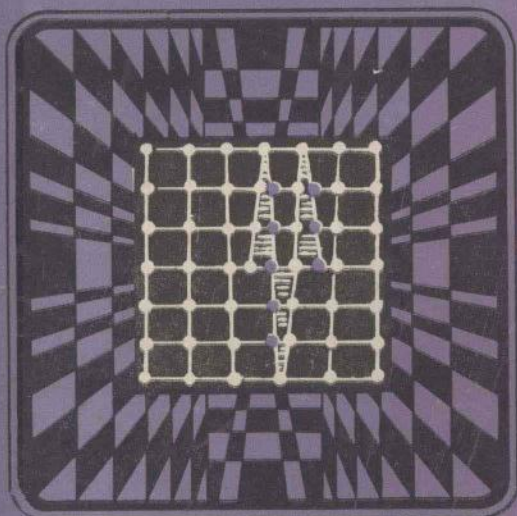
GONGCHENG CAILIAO

J I J I X I E Z H I Z A O J I C H U

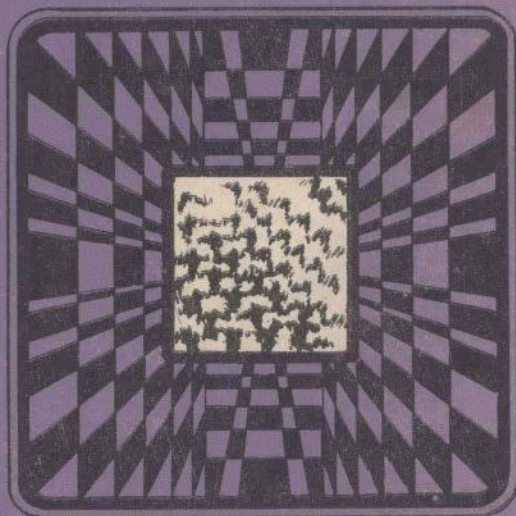
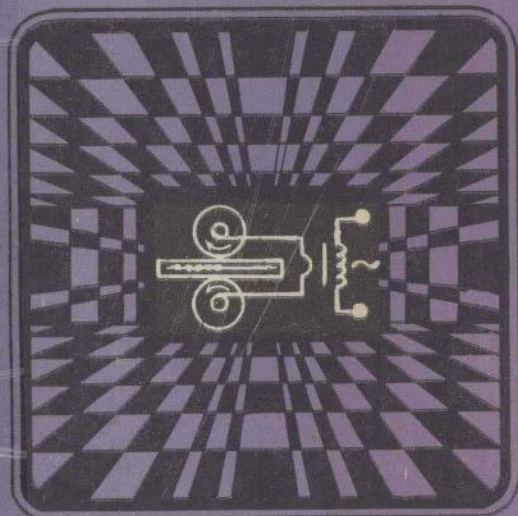
十二院校合编
辽宁科学技术出版社

工程材料及机械制造基础

上册



高等院校试用教材



高等院校试用教材

工程材料及机械制造基础

上册

十二院校 合编

辽宁科学技术出版社

1988年·沈阳

内 容 提 要

本书是按照国家教委工程材料及机械制造基础课程指导小组一九八七年三月颁发的“高等工业学校机械类专业用工程材料及机械制造基础课程基本要求”编写的。力求系统、适用。全书分上下两册出版。上册是工程材料。内容包括：金属材料的主要性能、金属及合金的晶体结构与结晶、铁碳合金、金属的塑性变形、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属、机械零件材料的选择、非金属材料。下册是机械制造基础。其中第一篇热加工工艺，内容包括：铸造、金属压力加工、焊接、毛坯的选择与结构工艺性；第二篇机械加工工艺基础，内容包括：金属切削加工的基本知识、金属切削加工的基本方法及设备、金属切削零件结构的工艺性、机械加工工艺过程、典型零件加工、特种加工。

本书可作为机械类专业的教材。也可做为近机类、设备管理专业、职工大学、职业大学、函授大学、刊授大学的教材。对于有关工程技术人员也有一定的参考价值。

高等院校试用教材

工程材料及机械制造基础（上册）

Gongcheng Cailiao Ji Jixie Zhizao Jichu

十二院校 合编

辽宁科学技术出版社出版（沈阳市南京街6段1里2号）

吉林省工业印刷厂印刷（长春市卫星路1号）

开本：787×1092 1/16 印张：16 字数：364,000

1986年3月第1版 1988年3月第2次印刷

责任编辑：刘绍山

封面设计：鲍红邹君文

印数：3 001—7 500

ISBN 7-5381-0233-7/TG·3

定价：3.95元

前 言

本书是根据国家教委工程材料及机械制造基础课程指导小组一九八七年三月颁发的“高等工业学校机械类专业用工程材料及机械制造基础课程基本要求”编写的。

工程材料及机械制造基础(原金属工艺学)是在进行全面金工实习后开始学习的。所以课程学习的过程是感性认识上升到理性认识的过程,是技能训练转化为智能培养的过程。可见,只有将实习内容同本课程内容充分理解、消化和吸收后,才能获得常用工程材料及零件加工的工艺知识。显然本课程是具有自己特点的。

基于上述情况,为了适应高等工科院校机械类专业的需要,我们以杨俊懿主编的《金属工艺学》为雏型,就系统性方面进行了修订。编写过程中我们注意到以下几个方面:

一、将选择材料、毛坯制造、机械加工做为线条,一穿到底。

二、书中介绍的各种理论知识,尽量做到承前启后,前呼后应,反复运用。

三、通过列举的各种生产实例,使工程材料、毛坯选择、各种加工方法的基本原理及工艺知识融为一体。

希望本书能为培养和训练“工程型”的大学生起到一定作用。

本书内容所占的学时数建议做如下分配:

绪论、工程材料……………54学时左右(含实验)

热加工工艺基础……………36学时左右(含实验)

机械加工工艺基础……………36学时左右(含实验)

本书此次编写修订工作是在江苏省金工研究会大力支持下以及江苏省金工研究会、吉林省金工研究会部分专家参予下进行的。全书分上、下两册出版。考虑到各校在教学时对本课程三个部分的内容与要求有所侧重,每册各设有独立篇章。其中上册第一、三章由大连轻工业学院曲喜庆编写;第二、四章由南京林业大学郝庆恺编写;绪论、第五、六、七、八章由常州技术师范学院杨俊懿编写;第九章由长春大学关乃文编写;第十章由南京化工学院甘孝斋编写。上册由杨俊懿担任主编,郝庆恺担任副主编;长春地质学院邹海、无锡轻工业学院蒋崇德担任主审。下册第一章由长春大学黄景超编写;第二、三章由杨俊懿编写;第四章、第六章第一、二、三、四、五节、第九章第二、三、四节由邹海编写;第五章由华北水电学院李秀文编写;第七章由华东工学院张思生编写;第六章第六节、第八、十章由吉林工交干部管理学院贾万春编写;第九章第一节由松辽水电职工大学骆忆祖编写。下册由杨俊懿担任主编,邹海担任付主编;蒋崇德、吉林工业大学苏玉林担任主审。

本书编写过程中,南京工学院韩克筠、赵教生老师及江苏工学院冀耐丹老师曾提出许多宝贵建议,江苏化工学院、吉林大学材料科学系、长春大学金工教研室曾给予很大帮助,谨此表示衷心感谢。

考虑书中实验数据来源及读者使用方便,书后附有国际单位制(SI),供参考。

编者 一九八八年三月

目 录

前言	
绪论	(1)

工 程 材 料

第一章 金属材料的主要性能	(2)
§1—1 机械零件的失效	(2)
§1—2 金属及合金的机械性能	(4)
§1—3 金属及合金的物理、化学性能	(10)
§1—4 金属及合金的工艺性能	(10)
第二章 金属及合金的晶体结构与结晶	(11)
§2—1 纯金属的晶体结构	(11)
§2—2 金属的实际结构	(16)
§2—3 纯金属的结晶过程	(17)
§2—4 合金的晶体结构	(22)
§2—5 合金的结晶过程	(27)
第三章 铁碳合金	(40)
§3—1 铁碳合金相图	(40)
§3—2 碳素钢	(55)
第四章 金属的塑性变形	(60)
§4—1 金属的塑性变形	(60)
§4—2 金属的热变形	(68)
第五章 钢的热处理	(71)
§5—1 钢在加热时的组织转变	(71)
§5—2 钢在冷却时的组织转变	(77)
§5—3 钢的退火与正火	(89)
§5—4 钢的淬火与回火	(93)
§5—5 钢的表面热处理	(101)
第六章 合金钢	(111)
§6—1 合金元素对钢性能的影响	(111)
§6—2 合金钢的分类与编号	(119)
§6—3 合金结构钢	(120)
§6—4 合金工具钢	(134)

§6—5 特殊性能钢.....	(143)
第七章 铸铁	(153)
§7—1 铸铁的石墨化及影响因素.....	(154)
§7—2 普通灰口铸铁.....	(155)
§7—3 可锻铸铁.....	(160)
§7—4 球墨铸铁.....	(162)
§7—5 合金铸铁.....	(167)
第八章 有色金属	(170)
§8—1 铝与铝合金.....	(170)
§8—2 铜与铜合金.....	(185)
§8—3 钛与钛合金.....	(198)
§8—4 轴承合金.....	(202)
§8—5 粉末合金和硬质合金.....	(206)
第九章 机械零件材料的选用	(210)
§9—1 机械零件选材的一般原则.....	(210)
§9—2 热处理技术条件的标准.....	(220)
§9—3 热处理零件的结构工艺性.....	(221)
§9—4 热处理工序位置的安排.....	(221)
§9—5 典型零件选材及工艺分析.....	(228)
第十章 非金属材料	(234)
§10—1 塑料和橡胶.....	(234)
§10—2 陶瓷材料.....	(246)
§10—3 复合材料.....	(247)
附录 国际单位制 (SI)	(250)

绪 论

工程材料及机械制造基础是研究常用机械零件的制造方法，即选择材料，制造毛坯，直到加工出零件的综合性课程。它是高等工业学校机械类专业必修的技术基础课。

机械零件在设计与制造过程中，如果零件的材料选择不适当，零件的结构和加工方法不合理，将导致制造困难，生产成本增加，质量下降。工程材料及机械制造基础的任务就是使读者熟悉常用工程材料的组织、性能、应用和选用原则；掌握各种主要加工方法的基本原理和工艺特点，具有选择毛坯、零件加工方法以及工艺分析的初步能力；熟悉零件结构设计的工艺性要求；了解各种主要加工方法所用设备的基本工作原理和大致结构；初步了解与本课程有关的新技术新材料、新工艺等，使其获得常用工程材料及零件加工工艺知识，为学习其它有关课程及将来从事涉及机械设计和加工制造方面的工作奠定必要的基础。

本课程的主要内容如下：

“工程材料”（编在上册）。它重点讲述了结构材料（工程上要求强度、韧性、塑性等机械性能的材料）的成分、组织、性能以及应用方面的一般规律和知识。

“机械制造基础”（编在下册）。其中的热加工工艺基础篇，主要讲述了铸造、压力加工（以锻压为主）、焊接等加工方法的基本原理，影响产品质量的因素，毛坯的选择与结构工艺性等基础知识；其中的机械加工工艺基础篇，主要讲述了金属切削加工的基本知识，切削加工的基本方法及其设备，金属切削零件结构的工艺性，机械加工工艺过程，以及典型零件的加工等。

由于本课程内容与生产实际有密切联系，为了达到课程的基本要求，学习本课程前必须进行全面的金工实习。除此之外，还应完成规定的教学实验，认真参加扩展各种加工工艺知识面的有关教学、参观等活动，并需要与有关课程相互配合，以期达到充分理解、消化本课程基本内容的目的。

随着我国经济体制改革的进一步深化，生产部门、科研部门及教育事业所需要的将是“智能型”、“创造型”、“开拓型”优秀人才。实践证明，只有将知识、智力、技能有机结合，才能转为能力，进而转化为强大的生产力和经济效益。工程材料及机械制造基础课程教学内容广泛，教育环节多种多样，理论、实践兼而有之，针对性强，对于能力的培养，具有得天独厚的优越条件和良好环境。希望读者能抓住这一良机，灵活运用本门课程多方面的知识，在课内、课外大力开展智力开发活动，努力提高分析和解决实际问题的能力，以适应生产和科学技术发展的需要。

工 程 材 料

第一章 金属材料的主要性能

金属材料在现代工业、农业、国防、科学技术以及日常生活中均得到广泛的应用，它是机械制造业最主要材料。

金属材料所以能得到广泛应用的原因，是它具有良好的机械性能和物理、化学性能，并且可以用较简单的工艺方法加工成预期的各种零部件。

金属材料是金属及合金的总称。在机械制造业中金属材料以合金为主。所谓合金是以一种金属为基础，加入其它金属或非金属元素，通过熔化或烧结等方法而获得的一种具有金属特性的物质。由于纯金属往往具有良好的导电性、导热性、良好的塑性和具有金属光泽，因此其合金一般也具备这些性质。不仅如此，它还具有比纯金属更好的机械性能、理化性能和工艺性能，如高强度、强磁性、耐蚀性等，并且成本还较纯金属为低。最常用的合金有以铁为基础的铁碳合金，如碳素钢、合金钢、灰口铸铁等；此外还有以铜、铝为基础的铜合金和铝合金等，如青铜、黄铜及硅铝明（一种铸造用的铝硅合金）等。

§1—1 机械零件的失效

各种机械零件和工具由于用途不同，它们所承受的载荷、所处的工作环境、本身的结构形状以及制造所用的材料也各不相同。但是，所有的零件在经历不同的使用期以后，最终都会因发生变形、断裂、表面损伤或者尺寸变化而不能继续使用，这种现象称为失效。

失效是一种不可避免的自然现象。如果机械零件的设计、制造和使用比较正确、合理，质量较高，那么失效即可延缓，零件的寿命便得到延长。

机械零件的失效形式、类型很多，一般可归纳为断裂、过量变形和尺寸变化三类。

一、断 裂

断裂是机械零件失效中最严重和最危险的现象。零件发生断裂的形式和原因很多，但其基本形式常有两种：一种是在经历一段使用时间后，伴随有明显的塑性变形而断裂，这种情况称为韧性断裂；另一种形式是在无明显的变形征兆下而突然断裂，这种情况称为脆性断裂。材料发生断裂的性质及其原因，可以通过观察其断口的形貌加以研究，这种方法称为断口分析。

韧性断裂除外形有明显的塑性变形外，它的断口多呈纤维状，暗灰而无光泽。脆性断裂除无明显的外形变化外，它的断口常呈结晶状或瓷器断口状，断口一般较平齐，有金属光泽。若断裂是在无数次重复交变应力作用下所引起的，称为疲劳断裂。

影响机械零件发生不同形式断裂的因素，可以概括为两个方面：外因——零件的工作条件（包括载荷性质、加载方式和加载速度，工作温度和环境介质等）；内因——主要是零件所用材料的机械性能。当零件的材料相同时，不同性质的载荷和加载方式（静载或动载；拉、压或弯、扭等）等，会使零件的断裂形式不同。例如，杆状的零件在承受纯扭时，一般都是韧断，而在受拉情况下可能发生脆断，这是由于不同加载方式使零件内的应力状态不同所致。有关这个问题可在材料力学中找到详细的分析。从材料的角度来看，如果零件的工作条件完全一致，则零件的断裂形式与材料的机械性能有关。例如，用铸铁制造的零件往往发生脆断，而用钢制造的零件则多为韧断；钢制的零件如果经过热处理提高了强度和硬度，则又有可能在同样的工作条件下发生脆断。因此，机械零件的断裂失效与材料的机械性能有密切关系。

二、过 量 变 形

机械零件受力后总要发生变形。当变形量超过允许限度时，零件之间的结构、配合关系就会受到影响（严重时可使零件最终失效），这种现象称为过量变形。

过量变形有两种情况：一种是零件受力后变形超出了允许的限度，但未超出弹性变形范围，当零件停止工作后仍能恢复原状。例如机床的床身在装卡工件后进行工作时，由于刀具和工件间的切削力以及振动将引起变形，停止工作后又恢复正常。机床存在这种现象会影响加工工件的加工精度，严重时使机床不能工作。这种只有在受力时反映出来的过量变形称为过量弹性变形。不同的机器或同一机器中不同的零件所允许的过量弹性变形是不同的。例如高精度的机床和测量仪器一般只允许在受力时有极微小的变形；对一些结构简单的工具或低速设备，可以允许有较大的变形。零件发生过量弹性变形往往是设计不合理，使零件的刚度偏低所造成的。零件的截面尺寸和形状、材料的弹性变形抗力大小均影响零件的刚度。过量变形的另一种情况是零件受力后发生明显的残余变形，即外力卸除后，原来的形状不能恢复，这种现象称为塑性变形。例如链条受力过大被拉长；齿轮受力过大齿形歪扭；轴发生弯曲；簧弹不能恢复原状等。每种材料本身各有其抵抗塑性变形的能力。当机械零件所承受的应力超过材料的塑性变形抗力时，残余变形就会产生。

三、表面尺寸变化

零件因相互配合运动造成表面磨损，受环境介质的侵蚀和交变接触应力的作用而产生表面损伤现象都属于表面尺寸变化的失效形式。例如机器中的轴在长期运转后，轴径变小并失去了规定的圆度；齿轮的齿部表面和滚动轴承的表面，因受接触压应力的反复作用而产生麻点状的表面剥落现象等。

零件的磨损是一种正常的自然现象，但是过早的磨损和其它表面损伤现象会影响零件之间的配合特性，使机器的精度和功率下降、噪音增加，并因此而产生振动和冲击，严重时造成断裂。通常，材料的机械性能不符合要求，加工质量粗糙是造成零件过早磨损和表面损伤的主要原因。

从上述机械零件的失效分析中可以看出，除零件形状、尺寸、精度、表面粗糙度及

工作条件外，零件的失效将同材料所具备的性能密切相关，因此，有必要介绍一下金属材料的主要性能。

§1—2 金属及合金的机械性能

金属及合金的性能大致可分为两类：使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指机械零部件在正常工作情况下，材料应具备的性能。包括机械性能、物理性能，化学性能等。所谓工艺性能是指在冷、热加工的过程中材料表现的性能。主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

金属材料的使用性能往往是一名设计人员选材、用材首先应当考虑的问题，使用性能当中最重要的一项——机械性能，则应首当其冲。

金属及合金的机械性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的特性。它也称为力学性能。如强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

金属及合金机械性能的好坏，是通过机械性能指标来表示的。而机械性能指标又是通过试验测得的。表征强度、刚度、弹性、塑性的各项指标往往通过拉伸试验来测得。下面介绍拉伸试验。

一、拉伸试验简介

拉伸试验是测定金属材料静态机械性能指标最普通的方法。首先将所用的材料按国家标准规定的形状和尺寸制做试样，如图 1—1 所示。然后将其置于材料试验机上，对两端施加轴向静拉力。随负荷的均匀增加，试样不断地由弹性变形（伸长）过渡到塑性变形（伸长），直到断裂。一般试验机都具有自动记录装置，可以把作用在试样上的静拉力和引起的伸长量，描绘出负荷——伸长曲线，即拉伸图。

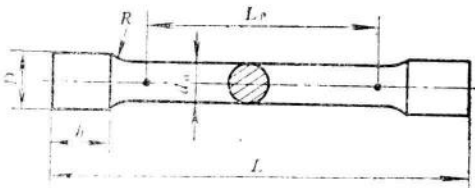


图1—1 标准拉伸试样示意图

图 1—2 是退火低碳钢的拉伸图。图中纵坐标是负荷（P），横坐标是伸长量（ ΔL ）。

当负荷较小时，试样的伸长量跟负荷成正比例地增加（oa段），如果卸除负荷，试样能立刻恢复原来的形状。这是试样的弹性变形阶段，负荷跟伸长量之间保持直线关系，符合虎克定律。a点的负荷定为 P_p ，叫比例极限负荷。

负荷继续增加，试样伸长继续增

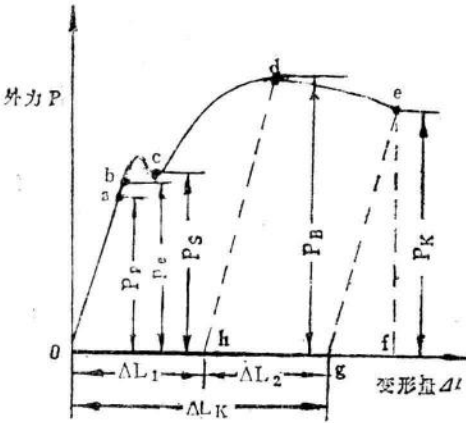


图1—2 退火低碳钢拉伸图

加，直到b点。此时若卸除负荷，试样仍将恢复原有尺寸，b点的负荷定为 p_e ，叫弹性极限负荷。ab段与oa段的区别，是前者不保持直线关系。

当负荷自b点增加到某一定值时（相当图中 p_s 值），负荷指示器（测力刻度盘）的指针停止转动或开始往回转，这表明即使负荷不增加甚至减小的情况下，伸长还在继续增加，此时拉伸图上出现了“平台”，这种现象叫屈服。此时的 p_s 叫做屈服极限负荷。

出现屈服或形成屈服平台以后，负荷继续增加，伸长继续进行（cd段），如果此时不再增加外力，材料的变形将不能进行下去。其中负荷可达到一个最大值 p_B （d）点。 p_B 以后，试样的某一部分截面开始急剧缩小，出现所谓“颈缩”现象，颈缩时试样的状况如图1—3，（a）所示。

由于在d点以后“颈缩”引起试样截面积减小，从而使外加负荷下降，当达到e点时，试样发生断裂，此时的负荷 p_K 叫断裂负荷。

研究图1—2发现，试样断裂前总的变形量（弹性变形+塑性变形）为of。断裂后，弹性变形量gf将消失，则剩下塑性变形量og即 $\Delta L_K = L_K - L_0$ 。（参看图1—1、图1—2、图1—3）。

其中oh（ ΔL_1 ）段为均匀性变形，hg（ ΔL_2 ）为颈缩后产生的不均匀塑性变形。

综上所述，金属在外力作用下，变形过程一般可分为三个阶段：弹性变形、弹塑变形、断裂。

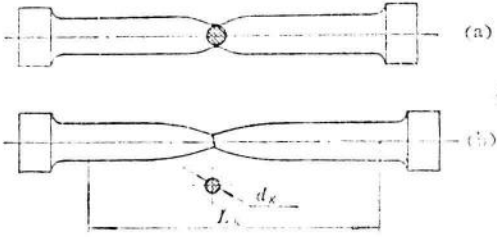


图1—3 拉伸试样颈缩和拉断时的情况
（a）产生颈缩时（b）拉断后

二、强度、刚度

（一）强度

强度是金属材料在外力作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上最常用的金属材料的强度指标是屈服强度和抗拉强度。

1、屈服强度（屈服极限）。系金属材料在外力作用下产生屈服现象时的应力。它可用下式计算

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ MPa}$$

式中 σ_s ——屈服强度（MPa）
 P_s ——屈服极限负荷（MN）
 F_0 ——试样原始横截面积（ m^2 ）

屈服强度很难测定，往往用条件屈服强度（ $\sigma_{0.2}$ ）做为屈服强度的指标。即

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{s0.2}}{F_0} \text{ MPa}$$

式中 $P_{s0.2}$ ——规定屈服极限负荷（MN）。国家标准规定为试样产生0.2%残余伸

长的负荷

2、抗拉强度（强度极限）。指试样在拉断前承受最大载荷时的应力，它可按下式计算

$$\sigma_b = \frac{P_B}{F_0} \text{MPa}$$

式中 σ_b ——抗拉强度（MPa）

P_B ——试样拉断前承受的最大载荷（相当拉伸图d点的载荷）（MN）

F_0 ——试样的原始截面积（ m^2 ）

抗拉强度是表征金属材料在拉伸条件下所能承受的最大应力，是主要的机械性能指标，是设计和选材的主要依据之一。

屈服强度和抗拉强度是金属材料最常用的指标，也是评定金属材料质量的重要机械性能指标。所以一般介绍金属材料机械性能的资料中，都给出屈服强度和抗拉强度的数据。

应当指出，对于脆性材料（一般指塑性差的材料，例灰口铸铁）在拉伸时，由于基本上不发生塑性变形，断裂是突然发生的，所以没有屈服强度，设计时则仅以抗拉强度做依据。

（二）刚度

刚度是指金属材料受力时，抵抗弹性变形的能力。刚度的大小是以材料在弹性变形范围内应力与应变（单位长度的变形量）的比值——弹性模数（E）来表示的。若使试样 $\frac{L_0}{F_0} = 1$ 时，则相当于拉伸曲线（图1—2）直线部分oa的斜率。

不言而喻，金属材料的刚度愈大，则抵抗弹性变形的能力愈大。或者说，在一定应力作用下，那些产生弹性变形很小的材料，刚度是大的，反之刚度是小的。

弹性模数是表征金属原子之间作用力的性能指标，主要取决于原子的本性和晶格类型，与原子之间的距离有关系。弹性模数随着原子半径（即原子之间的距离）增大而减小，过渡族金属（化学元素周期表ⅢB、ⅣB、ⅤB、ⅥB、ⅦB、Ⅷ各族元素）与其它金属相比，具有较高的弹性模数。因此，生产上大量采用弹性模数大的过渡族金属及合金做为构件。

三、塑 性

断裂前金属材料发生塑性变形的能力称为塑性。通常用延伸率做为材料的塑性指标。

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样拉伸前的标距（参看图1—1）

L_k ——试样拉断后的标距长度（参看图1—3，（b））

金属材料的塑性还可由断面收缩率 Ψ 表示，即

$$\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试件原始截面积（参看图1—1）

F_k ——试件拉断后断口处的截面积（参看图 1—3，（b））

δ 或 Ψ 愈大，则材料的塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行压力加工的 必要条件。

四、硬 度

硬度是指金属材料抵抗外物压入的能力。它是衡量材料软硬的一个指标。硬度值可以认为是在金属材料局部体积内抵抗塑性变形能力。一般来说，硬度高的材料，耐磨性较好，强度也比较高，因此，硬度也是衡量金属材料机械性能的重要指标之一，是机械零件设计要求的 技术条件之一。

常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度。

（一）布氏硬度

布氏硬度是在布氏硬度计上测定的。其原理是用载荷 P ，把直径为 D （见图 1—4）的淬火钢球压入试件表面并保持一定时间，而后卸除载荷，测量圆球在试件表面上所压出的压痕直径 d ，计算出压痕面积 F 后，再求出单位面积所受的力 P/F 。用此来表示试件的硬度大小称为布氏硬度值，用符号 HB 表示。即

$$HB = \frac{P}{F}$$

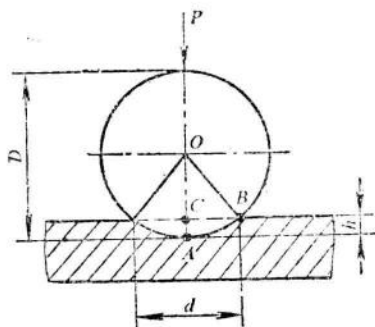


图1—4 布氏硬度试验原理示意图

其中压痕面积可通过

$$F = \pi D h \quad \text{求得} \quad h \text{——压痕深度}$$

由于 h 不易测得，可通过

$$h = OA - OC = \frac{D}{2} - \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2} = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

$$\text{求得。} \therefore HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

外加载荷 P 、淬火钢球直径 D 是试验时预先选定的，只要测得压痕直径 d ，则布氏硬度值即可算出。硬度值仍沿用 kgf/mm^2 作为单位，习惯上不予标出。实测时，查找相应试验条件给定载荷下的压痕直径与布氏硬度的对照表，可免除计算的麻烦。

由于布氏硬度是以淬火“钢球”做压头，当试件的 HB 大于 450 时，此时与钢球的硬度已经接近，钢球可能产生严重变形，使测量结果不准。所以布氏硬度法不宜测定太硬的材料，仅适用于退火、正火、调质钢件及灰口铸铁、有色金属制件的测定。

（二）洛氏硬度

洛氏硬度是在洛氏硬度计上测定的，其原理如图 1—5 所示。此法与布氏硬度法相似，所不同的它不是根据压痕面积大小，而是根据压痕深度来衡量硬度大小。洛氏硬度计的压头常采用顶角为 120° 的金刚石圆锥体。测量时，先加初载荷 10kg ，使压头压入 b 处与试样表面接触良好，并以 b 处做为衡量压痕深度的起点，再加上主载荷使压头压入

到C处，停留一定时间后，将主载荷卸除，由于材料弹性变形的恢复，压头回升到d处，以此时的压痕深度作为测量的硬度值，此数值由硬度计表盘上指针指出。

洛氏硬度法根据它用压头和载荷不同，可以分成三种标度，其符号分别以 HR_A 、 HR_B 和 HR_C 表示。 HR_C 可以测量一般淬火钢件，硬度适用范围是 $HR_C 20-67$ 之间。 HR_A 用来测定更硬的材料或者测量极薄的硬度层（如渗碳层或氮化层）。 HR_B 常用以测量较软的材料，如退火、正火、调质钢件等。

洛氏硬度试验操作简便、迅速，可测定各种金属材料的硬度和较薄工件或表面薄层的硬度。缺点是不如布氏硬度法精确。

各种洛氏硬度值或它与布氏硬度值之间，可以利用特制的表格进行比较和换算。

五、冲击 韧 性

冲击韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗断裂的一种能力。有些机件如锻锤杆、锤头等，由于外力的瞬时冲击作用所引起的变形和应力，比静载荷的作用所引起的变形和应力要大得多，因此，在设计承受冲击载荷零件和工具时，必须考虑所用材料的冲击韧性。

目前工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验测定冲击韧性，其测定原理如图 1—6 所示。将一定尺寸的缺口型式的标准试样放在冲击试验机的支座上，然后将具有一定位能的摆锤释放，冲断试样。用冲断试样所消耗的功 A_K ，除以试样缺口处截面积，即得冲击韧性 a_K 。

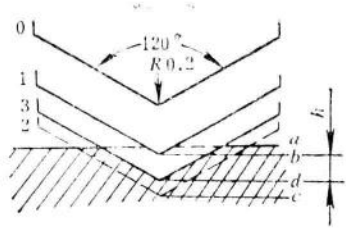


图1-5 洛氏硬度测定原理图

图1-5 洛氏硬度测定原理图

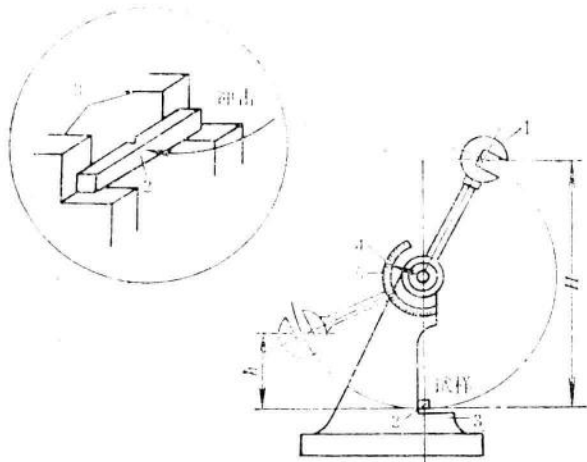


图1-6 摆式冲击试验机

1—摆锤 2—试样 3—支座 4—指针 5—刻度盘

$$a_K = \frac{A_K}{F} \quad \text{J/m}^2$$

式中 A_K ——试样冲断时所消耗的功 (J)

由图 1—6 可得 $A_K = W (H - h)$

其中 W ——摆锤重量

F ——试样缺口处截面积 (m^2)

实际测定过程中, A_K 值可直接由刻度盘读出。

应当指出, a_K 值的大小, 不仅取决于材料本身, 同时还随试样尺寸、形状、试验温度的改变, 在很大范围内变化。不仅如此, 在试验过程中所消耗的冲击能量, 除消耗于试样变形和断裂外, 尚有一部分被从支座上冲掉的试样所带走 (动能), 还有一部分冲击能量消耗试验机本身的振动, 可见 a_K 值并不能正确的表示材料在冲击负荷作用下所吸收的能量。因而, a_K 只是一个近似指标。

长期实践发现, a_K 对材料的微观组织微小变化的反应是很敏感的, 它能够灵敏的反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织的微小变化, 故此性能指标是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理工艺得到的半成品和成品质量的有效方法之一。

对于生产实际中那些工作在小能量多次冲击载荷下的零件, 当冲击能量不太大的情况下, 材料承受多次重复冲击的能力主要取决于强度指标, 而不是取决于一次冲击弯曲试验所测得的冲击韧性指标—— a_K 。这一点应引起设计者的注意。

六、疲 劳 强 度

材料在无数次 (对钢铁来说约 10^6 — 10^7 次) 重复交变应力作用下而不致引起断裂的最大应力称为“疲劳强度”, 它用来衡量材料的抗疲劳性能。

为什么要引入这个机械性能指标呢? 生产实践当中许多零件如轴、齿轮、螺栓、连杆、弹簧等, 均工作在方向、大小反复变化的载荷下, 工作中所承受的应力尽管远远小于材料的强度极限或屈服极限, 但经过较长时间亦会发生断裂。材料或零件在变应力的重复作用下, 在远小于强度极限或屈服极限的应力作用下而发生断裂的现象叫疲劳断裂。

疲劳破坏一般认为是由于材料质量、零件表面缺陷或结构设计不当等因素造成的。上述因素可在零件或试样的局部区域形成应力集中, 从而导致微裂纹 (疲劳裂纹核心) 的产生。疲劳裂纹核心产生后随应力循环次数的增加而逐渐扩展, 零件的有效面积逐渐减小, 致使零件不能承受所加载荷而突然破坏。可见, 疲劳断裂与静应力下的断裂不同, 无论是脆性材料还是韧性材料, 疲劳断裂都是突然发生的, 不会产生明显的塑性变形, 因此具有很大的危险性。

材料的疲劳强度指标 (疲劳极限) 通常是在旋转对称弯曲疲劳试验机上测定, 疲劳极限用 σ_{-1} (MPa) 表示。

§1—3 金属及合金的物理、化学性能

一、物理性能

金属及合金的物理性能主要有比重、热膨胀性、导电性等。由于机器零件的用途不同，对材料物理性能的要求也有所不同。例如制造内燃机的活塞，要求材料具有小的热膨胀系数；电器零件，要求材料具有良好的导电性；飞机零件则往往选用比重小的铝合金来制造。因此，在设计时，应根据零件的不同用途，选用具有所要求的物理特性的合金。

金属材料的一些物理性能，对热加工工艺也有一定的影响，例如因碳钢和高速工具钢的导热性不同，所以在锻造或热处理的加热速度也不同；因铸铁、铸钢和铝合金的熔点各不相同，所以铸造时的熔炼工艺和浇注温度也不同。

二、化学性能

金属及合金的化学性能是指它们在常温或高温时抵抗各种介质的化学侵蚀能力。主要的化学性能有耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

机械零件在腐蚀介质中或在高温下工作时，比在空气中或室温下腐蚀更为强烈，因此，在设计或制造这类零件时，应该选用化学稳定性良好的材料。如化工设备、医疗器械通常选用不锈钢；内燃机排气门和电站设备的某些零件则选用耐热钢。

§1—4 金属及合金的工艺性能

金属及合金的工艺性能是指金属材料能够适应加工工艺要求的能力，是决定它是否能进行加工或如何进行加工的重要因素。例如常常讲到的铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。工艺性能与物理、化学、机械性能有直接关系。

在设计零、部件和选择工艺方法时，不仅要考虑到使用性能，也要注意材料的工艺性能，否则将会给生产带来极大的困难，甚至导致设计失败。例如，灰口铸铁具有良好的铸造性能和切削加工性能，但锻造性能极差，不能进行锻压，焊接性能也较差。因而可制造形状复杂的铸件，不能做锻件；低碳钢的锻造性能和焊接性能好，可用来制造锻件和焊件；高碳钢焊接性能较差，不宜做焊件。

有关金属及合金的工艺性能将在以后有关章节中分别进行讨论。

第二章 金属及合金的 晶体结构与结晶

金属及合金的性能是由它们的内部组织结构决定的。因此，了解金属及合金的内部组织结构对于掌握金属材料性能是非常重要的。

§2—1 纯金属的晶体结构

一、晶体的概念

一切物质都是由原子组成的。固态物质可以分为晶体和非晶体两大类。晶体和非晶体的区别不在其外形，而在其内部的原子排列情况。当内部的原子在三维空间作有规则重复排列时，它就是晶体。图2—1, (a)就是一个简单晶体结构的示例。当固态物质内的原子呈不规则排列时，它就是非晶体。如普通玻璃、松香、塑料等。

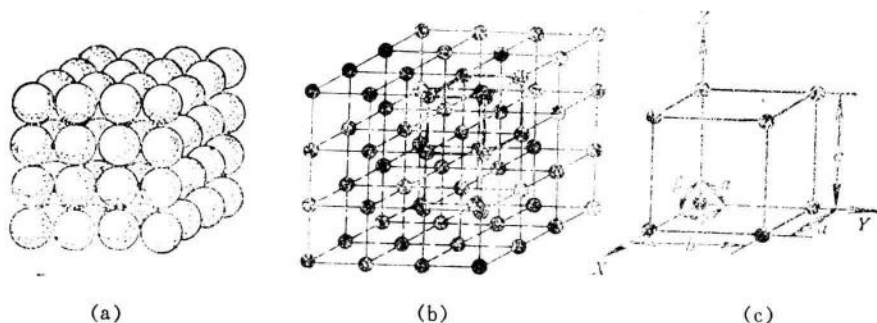


图2—1 简单立方晶体的模型
(a) 钢球模型 (b) 晶格 (c) 晶胞

在自然界中，包括金属在内的绝大多数固体都是晶体，为了研究各种晶体中原子的排列规律，以便于分析晶体的内部结构，人们把原子的中心点，用假想的线条连接起来，便形成一个三维空间格子，如图2—1, (b)所示。我们把这种表示晶体中原子排列形成的空间格子叫做晶格（或称点阵）。晶格中的每个点称为晶格结点。由于晶体原子排列具有规律性，为了研究方便，可以找出代表晶格原子排列规律的最基本的几何单元，它叫晶胞，如图2—1, (c)所示。做为晶胞，至少应该具备这样一个条件，当它在三维空间做周期性扩展时，应该显现出原来的晶格。晶格中各棱边的长度叫做晶格常数（点阵常数）。图2—1, (c)中之 a 、 b 、 c 就是晶格常数。而晶胞各棱边之间的夹角则分别用 α 、 β 、 γ 表示。图2—1, (c)所示的晶胞具有八个结点，并且 $a=b=c$ ， $\alpha=$