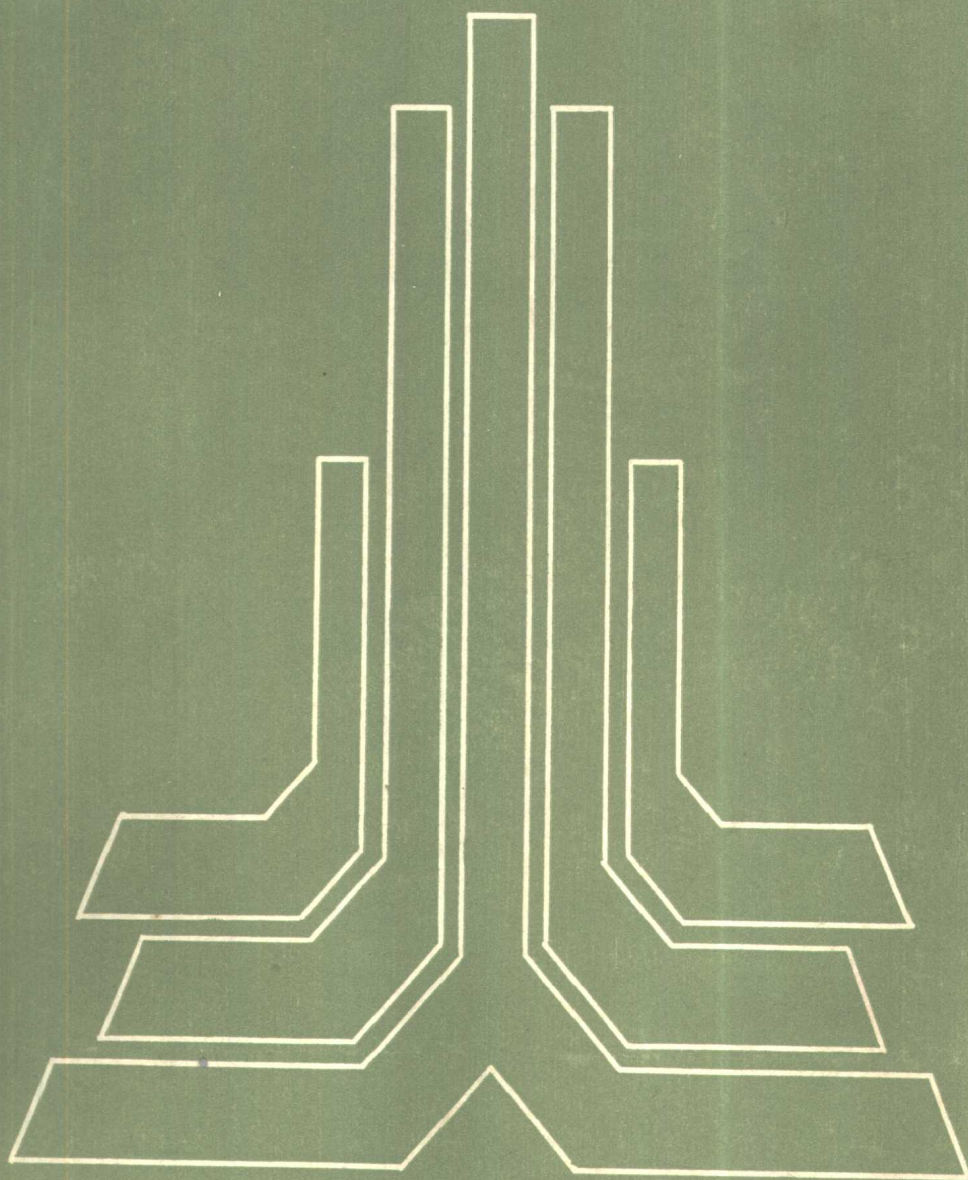


工程材料及工艺学

成都大学等九院校 合 编

张 命 荣 王 孝 达 主 编



四川科学技术出版社

工程材料及工艺学

成都大学等九院校 合编

张命荣 王孝达 主编

四川科学技术出版社

一九八六年·成都

责任编辑：赵 健 李世勋

封面设计：李 勤

版面设计：杨璐璐

工程材料及工艺学

成都大学等九院校 合编

张命荣 王孝达 主编

出版：四川科学技术出版社

印刷：自贡新华印刷厂

发行：四川省新华书店

开本：787×1092毫米 1/16

印张：18.5 插页：4

字数：467千

印数：1—3,000

版次：1986年6月第一版

印次：1986年6月第一次印刷

书号：15298·244

定价：3.80元

前 言

根据当前大专院校企业管理专业急需适用于本专业的工程材料及工业生产工艺方面的教材这一现状，成都大学等九所大专院校企管类专业的部分教师，按照本专业的培养目标，共同拟订了《工程材料及工艺学》教学大纲及教材编写提纲，分工编写了这本书。

《工程材料及工艺学》以现代工业生产中广泛应用的工程材料及加工工艺为代表，精选了教学内容，注意了各类专业知识的衔接及科学的系统性和实用性，并力求确立与专业培养目标相适应的学科体系、教学内容和教学环节，知识覆盖面宽，深度适当。内容包括概论、金属材料、金属加工工艺、非金属材料及工艺。课堂教学为120学时左右，各校在使用时可根据情况作适当调整。

本书除可供高等学校企管类专业教学使用外，还可供其它非机类工科专业、经济类专业、职工大学，在职职工培训班等教学使用，并可供企业管理干部及工程技术人员阅读参考。

参加本书编写工作的同志有：成都大学陈尚策、张命荣、王孝达、漆道真，渝州大学韩公绰、刘世焕，西安大学高秀峰，攀枝花大学王重生，新都机械厂工学院张小军，宝鸡大学腾展文，昆明大学陈世平，四平职业大学张广兴。负责修改审稿的同志有：张命荣、陈尚策（负责1~6章），韩公绰、刘世焕（负责7~11章），王孝达、高秀峰（负责12~15章）。张命荣、王孝达二同志担任主编，陈尚策、漆道真二同志参加了文字和图表的校核工作。

长沙大学张皓同志、西安大学任可明同志参加了本书初稿的讨论，特此说明，并致谢忱。

由于我们水平有限，书中难免存在不少错误和缺点，恳请读者批评指正。

编 者

1985年7月15日

FB/JP

目 录

第一章 概 论		§ 4 轧 钢	103
§ 1 《工程材料及工艺学》的任务	1	§ 5 有色冶金和粉末冶金	105
§ 2 工程材料的主要性能	3	§ 6 金属材料的检验	108
§ 3 工程材料的结构特征及分类	13	第二篇 金属加工工艺	
第一篇 金属材料		第七章 铸造生产	
第二章 金属及合金的基础知识		§ 1 砂型铸造	111
§ 1 金属的结构和结晶	18	§ 2 特种铸造	120
§ 2 合金的结构及状态图	22	§ 3 常用合金铸造生产的特点	124
§ 3 铁碳合金状态图	26	第八章 锻压生产	
§ 4 金属的塑性变形与再结晶	32	§ 1 锻 造	130
第三章 钢的热处理		§ 2 板料冲压	137
§ 1 钢的热处理原理	37	§ 3 压力加工新工艺	141
§ 2 钢的普通热处理	42	第九章 金属的焊接与切割	
§ 3 钢的表面热处理	45	§ 1 熔化焊	144
§ 4 热处理新工艺	48	§ 2 压力焊和钎焊	153
第四章 常用金属材料		§ 3 常用金属材料的焊接特点	155
§ 1 碳 钢	50	§ 4 金属的切割	156
§ 2 合金钢	52	第十章 金属的切削加工	
§ 3 铸 铁	60	§ 1 金属切削加工基本知识	159
§ 4 有色金属及其合金	63	§ 2 车削加工	168
§ 5 粉末合金及磁性材料	69	§ 3 铣削加工	173
§ 6 金属材料的选用	71	§ 4 钻、镗加工	177
第五章 金属材料的腐蚀与防护		§ 5 刨削、插削和拉削加工	180
§ 1 金属腐蚀的原理	77	§ 6 磨削加工	183
§ 2 金属的表面覆盖处理	82	§ 7 特种加工	188
§ 3 腐蚀介质处理和电化学保护	88	第十一章 零件加工的工艺过程	
第六章 金属材料的生产及验收		§ 1 概 述	191
§ 1 概 述	91	§ 2 工艺规程的编制	192
§ 2 生铁冶炼	91	§ 3 典型零件的工艺路线	204
§ 3 炼 钢	96	§ 4 工艺过程的技术经济分析	207

第三篇 非金属材料及工艺

第十二章 高分子材料

§ 1 高分子材料的基本知识	218
§ 2 塑 料	228
§ 3 橡 胶	233
§ 4 化学纤维	236
§ 5 胶粘材料	239
§ 6 涂 料	242

第十三章 硅酸盐材料

§ 1 陶 瓷	247
§ 2 水 泥	252
§ 3 玻 璃	260

§ 4 耐火材料	263
----------	-----

§ 5 硅酸盐材料的验收和保管	266
-----------------	-----

第十四章 石油产品

§ 1 石油的组成和性质	269
§ 2 石油燃料	272
§ 3 润滑油脂	274

第十五章 新型工程材料

§ 1 新型陶瓷材料	278
§ 2 光导纤维	281
§ 3 复合材料	285
§ 4 其它新型工程材料	289

第一章 概 论

§1 《工程材料及工艺学》的任务

一、材料工艺与人类文明

从事物质生产活动是人类生存和社会发展的基本条件。不论是制造生产工具,还是利用生产工具进行生产活动,都离不开原材料及其加工的工艺技术。人类文明发展的进程和材料及其加工工艺结下了不解之缘。

利用天然石料经过简单的打磨制成石器工具从事生产活动,是人类脱离动物群,步入人类文明的重要标志。学会从矿石中提炼金属,并利用它制成高效、耐用的生产工具,极大地推动了社会生产力的发展,对人类文明的进程具有划时代的意义。人类的生产方式和生活习性从此大为改观,摆脱了原始状态,进入文明发展的新时期。材料的开发利用,生产工具的制造和从事生产活动的工艺水平,是人类社会发展的物质技术基础,也是人类认识和改造自然能力的综合表现。这就不难理解为什么所有社会学家都毫无例外地以制造生产工具材料的演进作为社会发展的标志,把人类社会划分为石器、青铜器、铁器几个发展时期。

当代科学技术正孕育着新的重大突破,人类面临着一场新的技术革命。材料科学及其工程是这场革命的重要内容之一,它将为这场革命提供重要的物质基础。没有优良的半导体材料及其精细的加工工艺,大规模集成电路的高效电算机就不可能问世;没有优良的贮能、换能材料,新能源的开发也不可能进行。现代化的作业系统、重要的科研项目都和材料及其加工工艺密切相关。因此,材料工程已成为各国科学技术领域的重大攻关课题。各种新材料和新工艺的出现,必将推动新技术革命的发展,加速人类文明的进程。

材料及其加工工艺在自然界和人类生产、生活活动中,总是不停地循环往复运行着,其过程如图1—1所示。据统计,目前每年参加这一循环过程物料的流量在150亿吨以上。随着人类开发利用自然资源能力的提高,参加这一循环运行的物料流量还会进一步增大。

我国是世界文明的摇篮之一,在材料工艺方面为人类文明作出了杰出的贡献。陶瓷烧制、熔模铸造、生铁熔炼、炒钢灌钢、钢的淬火强化,以及齿轮、连杆机构的加工制造等技术,不仅是我们祖先最先发明的,而且在相当长的时期内处于世界领先地位,对于近代材料工艺的发展有重大影响,某些方面至今仍不失其使用价值。

但是,自明代中期以来,腐朽没落的封建制度,严重地阻碍了生产力和科学技术的发展与进步,我国材料工艺技术因此停滞不前、逐渐落在西方国家的后面。

中华人民共和国的诞生,为改变这种状态提供了优越的社会条件。建国三十多年来,我国国民经济的发展速度很快,一个独立的、门类比较完整的工业体系已基本建成,主要原材

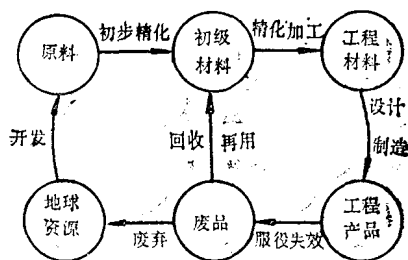


图1—1 材料在自然界循环过程示意图

料和工业品都有大幅度的增长（见表1—1）。钢、石油、煤、水泥、棉布等重要产品的产量已跃居世界前列，工作母机和各种机电设备都十倍、百倍地增长。不少产品已进入国际市场，有的还达到或接近世界先进水平。原子弹、氢弹爆炸成功，卫星和运载火箭的发射与回收，葛洲坝水电站的建设和投产，不仅是我国科学技术巨大进步的象征，而且也是我国材料开发利用和加工工艺成就的综合表现。在历史上曾经长期处于世界领先地位的我国材料与工艺技术，随着社会主义现代化建设的顺利进行，一定会以前所未有的速度向前发展，在不远的将来赶上世界先进水平，再次跃居世界的前列。

表1—1 1952年、1984年我国主要工业品的产量

品 名	单 位	1952年	1984年	品 名	单 位	1952年	1984年
钢	万 吨	135	4337	切削机床	万 台	1.37	13.11
煤	亿 吨	0.6	7.3	汽 车	万 辆	—	31.5
石 油	万 吨	44	11453	发电设备	万千瓦	0.6	465
木 材	万立方米	1233	5500	矿山设备	万 吨	0.18	32
水 泥	万 吨	286	12108	铁路机车	台	20	653
塑 料	万 吨	0.2	116	布	亿 米	38.3	131
平板玻璃	万标准箱	213	4737	自 行 车	万 辆	6.6	2857

注：资料来源于1985年《中国经济年鉴》及《关于1984年国民经济和社会发展统计公报》

二、课程的任务

《工程材料及工艺学》是为工业企业管理专业和经济类专业开设的一门技术基础课。

所谓工业生产，就是利用一定的原材料，经过适当的加工工艺，得到有使用价值的产品的过程。在这个过程中，产品的开发设计，材料的应用，加工方法、设备的选择，工艺路线和工艺文件的拟定，生产的组织管理等，都直接关系到企业的经济效益，管理人员对此负有重大责任。正因为如此，了解、熟悉这些环节及其内在联系，就成为组织正常生产、及时分析企业的经济活动、准确进行经营决策的重要条件。

在科学技术迅速发展，产品结构更新换代周期大为缩短、市场竞争十分激烈的今天，只有及时发现并预测企业生产和经营活动中已经或将要出现的问题，根据市场需求情况的变化和企业的实际情况正确决策，不失时机地采用新材料、新工艺，开发新产品，才能不断地给企业的经济活动注入新的活力。显然，一个缺乏材料及其加工工艺基础知识的人，决不可能成为一个合格的企业管理人员，更谈不上成为承担经营决策、开创企业经济活动新局面的带头人。只有既具有现代管理科学知识，又具有现代工业生产技术知识的人才能充当此任。

《工程材料及工艺学》正是为适应这种需要而设置的。通过这门课程的学习，未来的企业管理工作者将能够了解、熟悉现代工业生产中常用的工程材料及其加工工艺方面的基础知识，为学习有关专业课及今后从事企业管理工作打下必要的基础。

工业部门之间差别很大，工程材料及其产品的品种繁多，它们的加工工艺更是变化万千，在此不可能，也没有必要一一介绍。本课程只能介绍那些最重要、应用最广泛或具有代表性的工程材料及其加工工艺，它包括以下几个方面的主要内容：

1. 工程材料的基础知识 材料的性能取决于它的组织结构,而组织结构又取决于化学成分和加工工艺,因而各种材料及工程产品的性能指标及其与组织结构、化学成分和加工工艺之间的关系是贯穿全课程的中心线索,也是学习这门课程的基础。

2. 金属材料 金属材料尤其是钢铁材料是当代应用最广泛、最重要的工程材料,因而是本书最主要的内容之一。在学习有关金属材料基本知识的基础上,我们将介绍金属材料生产、热处理和表面防护处理的原理及工艺方法,使读者了解常用金属材料的分类、编号、验收的方法原则,性能特征和主要用途。

3. 金属加工工艺 金属零部件及其加工工艺涉及面广、工序多、流程长,堪称工程产品及其加工工艺的典型。因此,本书将以一定篇幅介绍金属构件的毛坯制备、表面加工方法和工艺过程,并以此为代表,阐述产品选材及工艺路线、工艺文件拟定的一般原则和依据,介绍对工件选材和工艺方案进行综合评价的初步知识,从而使读者对生产工艺过程的全貌有一个基本的了解。

4. 非金属材料及工艺 本书主要介绍目前应用较广的合成高分子材料和硅酸盐材料及制品加工工艺,使读者了解这些材料的分类、性能和用途。

5. 新材料和新工艺 为了适应新技术革命发展的要求,面向未来,课程中还介绍了一些有代表性的新型工程材料和新工艺,以便使未来的企业管理人员了解这方面的发展动向,不失时机地应用当代科学技术的最新成果。

如上所述,《工程材料及工艺学》是一门知识覆盖面很宽的技术基础课。它涉及的专业、名词、术语、概念多,实践性和各部分内容的相对独立性强,初学时会有一些困难。但是,只要严格各个教学环节,注意培养对比、归纳和系统化、条理化的能力,正确处理知识的广度与深度、重点与一般之间的关系,学习上的困难是不难克服的。

§ 2 工程材料的主要性能

工程材料的性能直接关系到工程产品的质量、服役寿命和加工成本,是产品选材和拟定加工工艺方案的重要依据。工程材料的性能包括以下几个方面。

一、力学性能

材料的力学性能是指在外力作用下所表现出的变形和抗变形的能力,又称机械性能。力学性能指标是工程结构材料的主要性能指标。由于作用力的性质和变形条件不同,材料的变形和抗变形能力即强度具有不相同的特征:变形有弹性变形、塑性变形、蠕滑变形之分,而强度则有拉伸强度、压缩强度、冲击强度、硬度、疲劳强度、蠕变强度之分。材料变形和强度指标是在专门的材料试验机上按规定条件测试的。下面简要介绍一些主要力学性能指标及其测试方法。

(一) 静力强度

在缓慢加载条件下测得的材料抗变形和断裂的能力,称为静力强度。拉伸、压缩等强度指标皆属静力强度,这里首先介绍应用最广的拉伸强度及其测试方法,然后再简要介绍压缩强度的概念及其应用。

1. 拉伸强度及塑性

材料的拉伸强度,通常用标准试件在万能材料试验机上进行拉伸试验测定。把试件装夹

在试验机的夹头上，缓慢加载（拉力），使其变形伸长直至断裂。拉伸过程中，试验机能自动记录每一瞬间的拉力 P 和相应的伸长量 Δl ，绘出 Δl 随 P 变化的关系曲线，即拉伸曲线。图1—2是低碳钢的拉伸曲线，根据这条曲线和试件拉伸前后的尺寸，可以确定有关拉伸强度和塑性指标。

1) 弹性极限 图1—2中曲线上的OE段，表明拉力小于 P_e 时，试样随拉力增大而均匀伸长，变形量与外力成线性关系；外力去除，试样能迅速恢复原来的形状和尺寸。这个阶段的变形，通常称为弹性变形。材料在弹性变形范围内所能承受的最大应力，称为弹性极限，按下式计算：

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中： σ_e ——材料的弹性极限（MPa）；

P_e ——弹性极限载荷（MN）；

F_0 ——试样原始横截面积（m²）。

弹性极限与弹性应变（单位长度的弹性变形量）的比值，称为弹性模量，用 E 表示：

$$E = \frac{\sigma_e}{\varepsilon_e} \quad (\text{MPa})$$

这里，弹性应变

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_e}{l_0}, \quad \text{其中 } l_0 \text{ 为试件的原始长度，} \Delta l_e \text{ 为试件的弹性伸长量。}$$

σ_e 、 E 值越大，材料抗弹性变形的能力越大。在一定载荷作用下，材料发生的弹性变形量愈小，刚度越大。一些要求高精度的构件，为了把弹性变形量控制在一定限度内，应选用刚度大的材料。

2) 屈服极限 当拉力超过 P_e 后，试样除发生弹性变形外，还发生部分不能恢复的永久变形，即塑性变形。如果拉力达到 P_s ，在拉伸曲线上出现水平台阶，表明不再加大拉力，试样仍能继续变形长。材料的这种明显塑性变形的现象，称为屈服，使材料屈服的应力伸叫屈服极限或屈服强度，按下式计算：

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

式中： P_s ——屈服载荷（MN）；

σ_s ——屈服极限（MPa）。

有些材料，如高碳钢、淬火钢没有明显的屈服现象，通常规定以产生永久变形量0.2%的应力为屈服极限，又叫名义屈服极限，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服极限是塑性材料的一个重要力学性能指标。大多数构件，为了防止因明显塑性变形造成失效，应以屈服极限 σ_s （或 $\sigma_{0.2}$ ）作为强度设计的依据。

3) 强度极限 拉力超过 P_s 后，随着拉力增大，整个试样发生大量均匀的塑性变形。当拉力达 P_b 时，试样局部变细形成“缩颈”，变形速度迅速增大，拉力开始下降，变形集中

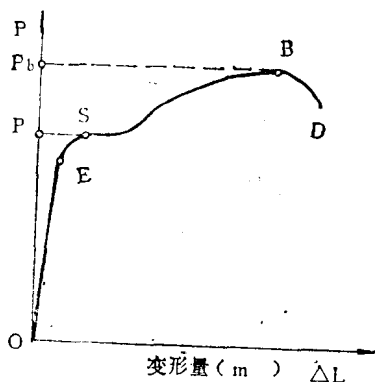
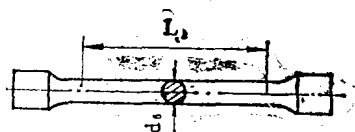


图1—2 低碳钢的拉伸曲线

于缩颈部分，直至在缩颈处断裂。材料拉断前所能承受的最大应力称为强度极限，或称抗拉强度，用 σ_b 表示。

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

抗拉强度是材料抗断裂破坏能力的一个重要指标。对于要求不发生断裂失效的构件，应以材料的抗拉强度 σ_b 进行强度计算。

4) 塑性 材料在外力作用下不发生破坏而能产生的最大永久变形量称为塑性，通常以拉伸试验中的延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 两个指标表示：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中： l_0 ——试件的原始长度（m）；

l_1 ——试件拉断后的长度（m）；

F_1 ——试件拉断后断口处的截面积（ m^2 ）。

材料的延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 越大，说明在压力加工中材料可能产生的塑性变形量越大。因而凡是要进行压力加工的构件，应选用 δ 或 ψ 较大的材料。

应当指出，一些脆性材料，如铸铁、陶瓷、玻璃钢、混凝土等，由于其塑性极低，拉伸中不可能产生明显的塑性变形，因此这类材料的拉伸曲线近似一条直线。从弹性阶段一直延续至断裂，材料的拉伸强度只有一个，即强度极限 σ_L 。

2. 抗压强度

材料在压缩状态下抵抗破坏的能力，或者说材料所能承受的最大压应力，称为抗压强度，以 σ_b 表示。抗压强度是许多脆性材料如水泥、石料、陶瓷、玻璃的重要力学性能指标，也是划分这些材料标号的主要依据。

材料抗压强度，通常用标准试块在万能材料试验机或专门的压力试验机上进行测定。

（二）冲击强度（冲击韧性）

材料抵抗冲击载荷作用而不发生破坏的能力称为冲击强度，又叫冲击韧性，以 α_k 表示。冲击韧性一般以带缺口的标准试样在摆锤式冲击试验机上进行测试，以材料受冲击破坏时单位面积上消耗的功来衡量冲击韧性的多少。

如图1—3所示，被测试件放置在冲击试验机上，把重量为 G 的摆锤举起一定的高度 H_1 ，让其下落冲断试样，测出摆锤反向扬起的高度 H_2 ，即可算出冲断试样所消耗的冲击功 A_k 和冲击韧性 α_k 。

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} = \frac{G(H_1 - H_2)}{F} \quad (\text{NM/cm}^2)$$

式中， F 为试件承受冲击的有效截面积（ cm^2 ）。

冲击韧性 α_k 是材料重要的力学性能指标之一。一些承受冲击载荷的构件，如内燃机连杆、火车轮箍、汽轮机转子，以及重要的传动齿轮、联接螺栓等，都必须选用 α_k 值高的材料。

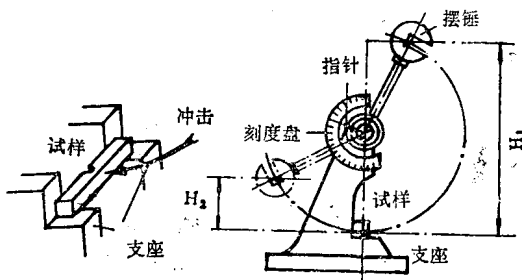


图1—3 摆锤式冲击试验示意图

料。

(三) 硬 度

材料抵抗更硬外物压入表面的能力称为硬度。硬度测定的设备简单, 操作方便、迅速, 对构件的损害极小, 是材料和构件一项重要而适用性很强的力学性能指标。无论在生产还是在科研上, 硬度值的测定和应用都十分广泛。

测定材料硬度的方法很多, 其中以压入法最为重要。这类方法以静载压力把一定的压头压入材料或构件的表面, 然后测量压痕的面积或深度, 从而确定被测金属材料的硬度。按所用压头和加载压力的不同, 常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度几种。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验: 如图1—4所示, 以直径为D的淬火钢球, 在压力P的作用下压入被测材料的表面, 保持一定时间, 然后去除载荷, 测量压痕面积, 算出单位压痕面积所受的力, 即为布氏硬度值, 用HB表示。计算公式为:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中: F——压痕面积 (mm^2);

d——压痕直径 (mm)。

实际测定时, 只需用放大镜测出压痕的直径d, 再从有关换算表直接查得相应的硬度值, 无庸进行计算。布氏硬度一般不标出单位, 只用其数值表示硬度的高低, 数值越大, 意味着材料的硬度越高。

布氏硬度试验测定的数据准确、稳定、重现性好, 适合于测定中低硬度 ($H_B < 450$) 材料, 如铸铁、有色金属、中低碳结构钢的硬度。由于淬火钢球硬度的限制, 不能用于测定高硬度材料的硬度。又因压痕较大, 所以也不能用来测定薄壁零件的硬度。

2. 洛氏硬度

用硬质压头压入材料表面深度来表示的材料的硬度, 称为洛氏硬度。洛氏硬度试验的原理如图1—5所示, 所用压头分硬质和软质两种。硬质压头是顶角为120°的金刚石圆锥体, 用于测量高硬度材料; 软质压头为1.588毫米直径 ($1/16$ 英寸) 的淬火钢球, 用于测量低硬度材料。在规定载荷下, 压头压入的深度越小, 表示材料的硬度越高。被测金属材料的硬度值可以从洛氏硬度计的刻度盘上直接读出。

按使用的压头材质和所加载荷的不同, 洛氏硬度值分为三种, 以HRA、HRB、HRC表示。三种洛氏硬度值的测试条件、测定硬度的范围及应用见表1—2。由表可见, 从很低硬度至很高硬度的材料, 都可在洛氏硬度计上进行测试。

洛氏硬度试验方法简便、迅速, 压痕小, 测量硬度值的范围大, 应用很广。缺点是测量精度和重现性较差。

3. 维氏硬度

维氏硬度测定原理与布氏硬度相同, 只是它使用的压印头是锥面夹角为136°的四方角金刚石锥体。试验时测出正方形压痕两对角线的平均长度, 可通过计算或查表得到单位压痕面

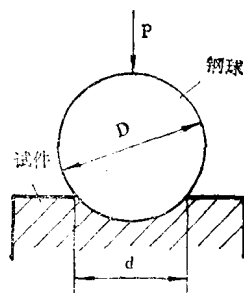


图1—4 布氏硬度试验原理示意图

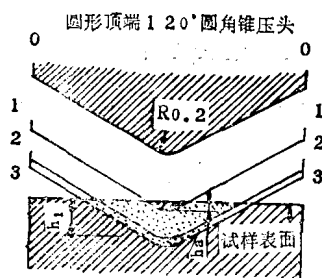


图1—5 洛氏硬度试验原理图

表1—2 洛氏硬度的测试条件及应用范围

代号	压印头类型	总载荷(kgf)	测定硬度的范围	应用
HRC	120°的金刚石圆锥	150	HRC 20~67 (HB225~700)	淬火及回火钢、白口铁、粉末铁基结构材料
HRB	φ1.588mm的淬火钢球	100	HRB 25~100 (HR60~230)	软钢、有色金属、工程塑料、退火钢
HRA	120°的金刚石圆锥	60	HRA >70 (HB >350)	硬质合金、陶瓷、表面淬火、渗碳层及薄件

积上的压力，即维氏硬度值，其代号为HV。维氏硬度测量范围大，精确度高，适合于测量软、硬金属，尤其适合测量极薄零件和渗碳、渗氮层的硬度。

布氏、洛氏和维氏硬度之间没有直接换算公式。需要进行换算时，可以从表1—3对照数据中查出。

(四) 疲劳强度

工程上的许多零部件，如轴、弹簧、齿轮、连杆等，都在大小、方向呈周期性变化的交变载荷下工作。在交变载荷作用下的构件会发生“疲劳”，造成低应力（低于屈服极限）疲劳断裂，这是大多数机器零部件过早失效的主要形式。正因为如此，研究和预防构件疲劳失效具有极其重要的意义。

材料或构件在无数次重复交变载荷作用下，不发生疲劳断裂所能承受的最大应力，称为疲劳极限或疲劳强度，以 σ_{-1} 表示。材料的疲劳强度是在疲劳试验机上测定的。实际测试时不可能进行无数次交变循环试验。按国家规定，钢经受 $10^6 \sim 10^7$ 次，有色金属经受 $10^7 \sim 10^8$ 次循环不发生疲劳断裂的最大应力，即为该材料的疲劳强度。金属材料的疲劳强度和抗拉强度之间存在着以下近似关系：

$$\text{碳素钢} \quad \sigma_{-1} \approx (0.4 \sim 0.55) \sigma_b$$

$$\text{灰口铸铁} \quad \sigma_{-1} \approx 0.4 \sigma_b$$

$$\text{有色金属} \quad \sigma_{-1} \approx (0.3 \sim 0.4) \sigma_b$$

材料及其构件的疲劳强度受许多因素的影响，除化学组成和组织结构外，还和表面状态有关。提高表面的光洁度、硬度和强度，能够显著地提高材料的疲劳强度。

(五) 蠕变强度

材料在长期不变的外力作用下，变形随时间的延长而不断增加的现象，称为蠕滑变形，简称蠕变或徐变。蠕变是缓慢而又不可恢复的塑性变形。工作于高温条件下的金属构件，许多存在着类似粘稠态流动的非晶态物质都会发生蠕变。

材料的蠕变强度是指在某一温度下，单位截面积上引起某一给定变形速度的应力。所谓某一给定变形速度，通常是以规定时间内产生规定的变形量来衡量的。如某一材料在700℃的温度条件下，经过10000小时，总的变形量为1%，相应的应力为60MPa，材料的蠕变强度值可以表示成 $\sigma^{700} 1/10000 = 60 \text{MPa}$ 。

二、物理、化学性能

材料的物理、化学性能是多方面的，这里主要介绍与工程上关系较密切的基本物理性

表1—3 洛氏硬度HRC与其它硬度换算表

布氏硬度 HB	洛氏硬度			维氏硬度	肖氏硬度	碳钢抗拉强度
	HRA	HRB	HRC	HV	HS	σ_s (MPa)
—	85.6	—	68.0	940	97	—
—	85.3	—	67.5	920	96	—
—	85.0	—	67.0	900	95	—
707	84.7	—	66.4	880	93	—
757	84.4	—	65.9	860	92	—
745	84.1	—	65.3	840	91	—
733	83.8	—	64.7	820	90	—
722	83.1	—	64.0	800	88	—
710	83.0	—	63.3	780	87	—
698	82.6	—	62.5	760	86	—
684	82.2	—	61.8	740	—	—
682	82.2	—	61.7	737	84	—
670	81.8	—	61.0	720	83	—
656	81.3	—	60.1	700	—	—
653	81.2	—	60.0	697	81	—
647	81.1	—	59.7	690	—	—
638	80.8	—	59.2	680	80	2310
630	80.6	—	58.8	670	—	2280
627	80.5	—	58.7	667	—	2270
620	80.3	—	58.3	660	79	2240
601	79.8	—	57.3	640	77	2170
578	79.1	—	56.0	615	75	2090
—	78.8	—	55.6	607	—	2060
555	78.4	—	54.7	591	73	2000
—	78.0	—	54.0	579	—	1960
534	77.8	—	53.5	569	71	1930
—	77.1	—	52.5	553	—	1870
514	76.9	—	52.1	547	70	1850
—	76.7	—	51.6	539	—	1820
—	76.4	—	51.1	530	—	1790
495	76.3	—	51.0	528	68	1780
—	75.9	—	50.3	516	—	1740
477	75.6	—	49.6	508	66	1710
—	75.1	—	48.8	495	—	1670
461	74.9	—	48.5	491	65	1650
—	74.3	—	47.2	474	—	1590
444	74.2	—	47.1	472	63	1580
429	73.4	—	45.7	455	61	1530
415	72.8	—	44.5	440	59	1480
401	72.0	—	43.1	425	58	1420
388	71.4	—	41.8	410	53	1370
375	70.6	—	40.4	396	54	1320

续表1—3

布氏硬度 HB	洛氏硬度			维氏硬度	肖氏硬度	碳钢抗拉强度
	HRA	HRB	HRC	HV	HS	σ_b (MPa)
363	70.0	—	39.1	383	52	1280
352	69.3	—	37.9	372	51	1240
341	68.7	—	36.6	360	50	1200
331	68.1	—	35.5	350	48	1170
321	67.5	—	34.3	339	47	1120
311	66.9	—	33.1	328	46	1090
302	66.3	—	32.1	319	45	1050
293	65.7	—	30.9	309	43	1020
285	65.3	—	29.9	301	—	990
277	64.6	—	28.8	292	41	960
269	64.1	—	27.6	284	40	940
262	63.6	—	26.6	276	39	910
255	63.0	—	25.4	269	38	890
248	62.5	—	24.2	261	37	860
241	61.8	100.0	22.8	253	36	830
235	61.4	99.0	21.7	247	35	810
229	60.8	98.2	20.5	241	34	780
223	—	97.3	—	234	—	—
217	—	96.4	—	228	33	740
212	—	95.5	—	222	—	720
207	—	94.6	—	218	32	700
201	—	93.8	—	212	31	690
197	—	92.8	—	207	30	670
192	—	91.9	—	202	29	650
187	—	90.7	—	196	—	630
183	—	90.0	—	192	28	620
179	—	89.0	—	188	27	610
174	—	87.8	—	182	—	600
170	—	86.8	—	178	26	580
167	—	86.0	—	175	—	570
163	—	85.0	—	171	25	560
156	—	82.9	—	163	—	530
149	—	80.8	—	156	23	510
143	—	78.7	—	150	22	500
137	—	76.4	—	143	21	470
131	—	74.0	—	137	—	460
126	—	72.0	—	132	20	440
121	—	69.8	—	127	19	420
116	—	67.6	—	122	18	410
111	—	65.7	—	117	15	390

能, 与水相关的性能, 以及耐热、耐蚀性能。

(一) 材料的基本物理性能

1. 比重、容重和孔隙

比重是指材料在绝对密实条件下单位体积的重量, 以 γ 表示:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{kg/m}^3)$$

式中: G ——材料在绝对干燥状态下的重量 (g 或 kg);

V ——材料的绝对密实体积 (cm^3 或 m^3)。

容重是指材料在自然状态下, 包括孔隙或空隙在内的单位体积的重量, 以 γ_0 表示:

$$\gamma_0 = \frac{G}{V_0} \quad (\text{g/cm}^3 \text{ 或 } \text{kg/m}^3)$$

式中, V_0 为材料在自然状态下的体积 (cm^3 或 m^3)。

材料的孔隙是指其内部的空隙, 有开口孔隙和封闭孔隙两种。孔隙通常以密实度 D 和孔隙率 P 来衡量, 它们和材料比重、容重之间存在着如下关系:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\gamma_0}{\gamma} \times 100\%,$$

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 = \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma}\right) \times 100\%.$$

2. 胀缩性

材料因大气温度、湿度变化或其它介质作用会引起体积胀缩, 致使材料及制品变形、开裂。在没有外力作用时, 材料有湿胀干缩、热胀冷缩和碳化收缩等体积胀缩现象。

材料含有机械水和结晶水时, 因环境温度、湿度的变化, 其所含水分也有变化, 从而引起湿胀和干缩。由于水分减少而形成的干缩, 危害较大。干缩又分气干收缩和绝干收缩两种。气干收缩是指材料所含水分与大气湿度平衡时产生的收缩; 绝干收缩是指材料烘至绝对干燥时产生的收缩。

材料因气温变化而产生热胀冷缩, 一般用材料受热时的线膨胀系数 β 表示:

$$\beta = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (\text{mm/}^\circ\text{C} \cdot \text{mm})$$

式中: l ——材料的长度 (mm);

Δl ——材料受热的伸长量 (mm);

Δt ——温度的变化 ($^\circ\text{C}$)。

某些含有硅酸盐的材料, 与大气中的二氧化碳作用, 被碳化引起体积收缩的现象, 称为碳化收缩。碳化收缩使材料表面形成微裂纹, 甚至破坏, 因而碳化收缩是硅酸盐材料及其制品的重要性能指标之一。

大气中二氧化碳的含量只有0.3%左右, 碳化作用很缓慢, 直接在大气中测定材料及其制品的碳化收缩需要较长的时间。通常是把试件置于含高浓度二氧化碳的恒温、恒湿碳化箱中进行碳化, 然后测定碳化收缩值。

3. 导热性

材料把热量从这一部分传导至另一部分的能力称导热性, 一般用导热系数 λ 来表示。

$$\lambda = \frac{Q \cdot D}{\Delta t \cdot Z \cdot F} \quad (\text{kcal/m} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h})$$

式中: Q ——通过材料的热量 (kcal);

D ——传导距离 (m);

Δt ——导热方向上两端面温差 ($^{\circ}\text{C}$);

Z ——导热时间 (h);

F ——导热材料面积 (m^2)。

材料的容重或比重大, 导热系数也大。材料结构也影响导热系数, 如纤维材料顺纤维方向比横向导热系数要大, 晶体材料导热系数比非晶体大。

保温隔热材料导热性越小越好, 常用热阻 R 来衡量。

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{kcal})$$

式中: d ——材料厚度 (m);

λ ——导热系数 ($\text{kcal}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$)。

4. 电、磁性能

材料的电性能常用电阻率、介电常数两个指标表示, 而磁性能则以导磁率来衡量。

(1) 电阻率 一定温度下, 单位长度的材料单位面积上的电阻称电阻率, 它与电阻 R 之间的关系为:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (\Omega)$$

式中: ρ ——材料电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);

S ——材料的截面积 (m^2);

l ——材料的长度 (m)。

可见材料的电阻率越高, 截面积越小, 长度越大, 它的电阻值越大, 导电性能越差。通常把 ρ 值小于 10^{-11} 数量级的材料称为导体, ρ 值在 $10^{-7} \sim 10^3$ 范围内的材料称为半导体, ρ 值大于 $10^9 \sim 10^{17}$ 数量级的材料则称为绝缘体。

(2) 介电常数 用某种材料代替真空作为电容器的介质时, 电容器电容增加的倍数称该材料的介电常数, 用 ϵ 表示:

$$\epsilon = \frac{C_1}{C_2}$$

式中: C_1 ——以材料为介质时电容器的电容, 单位为法拉 (F);

C_2 ——真空电容器的电容, 单位为法拉 (F)。

介电常数 ϵ 越小, 说明材料介电性能越好, 在电场中被击穿导电所施加的电压越高, 作电气绝缘、隔离元件的可靠性越大。

(3) 导磁率 在磁场中穿过材料单位面积上的磁通量, 即磁感应强度可以表示成:

$$B = \mu H$$

式中: B ——磁感应强度, 单位为高斯, 以Gs表示;

H ——磁场强度, 单位为奥斯特, 以Oe表示;

μ ——导磁率, 单位为Gs/Oe。

导磁率代表了材料密集磁力线的能力, 或被磁化的倾向。按导磁率的大小可以把材料分为顺磁物质 (μ 略大于1)、反磁物质 (μ 略小于1) 和铁磁物质 (μ 远远大于1) 三大类。铁磁物质的导磁率可达数万至数十万, 在磁场中极易被磁化。铁、钴、镍是典型的铁磁性物质, 在