

国家级精品课程配套教材

21世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

工程材料

G O N G C H E N G C A I L I A O

主 编◎赵 峰



 中国人民大学出版社

21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

工程材料

主编 赵 峰

中国人民大学出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料/赵峰主编. —北京:中国人民大学出版社, 2011. 6

21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

ISBN 978-7-300-13590-8

I. ①工… II. ①赵… III. ①工程材料-高等职业教育-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 062950 号

21 世纪高职高专规划教材·机械专业基础课系列

工程材料

主 编 赵峰

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京密兴印刷有限公司

规 格 185mm×260mm 16 开本

印 张 23

字 数 552 000

邮政编码 100080

010-62511398 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2011 年 9 月第 1 版

印 次 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价 39.80 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

前言

本书以天津中德职业技术学院的国家级精品课程“工程材料”为基础,结合教育部倡导的职业教育课程教学改革精神及国家级示范性高等职业院校重点专业建设课程建设项目,并根据高职高专机械类、材料类与机电类专业人才的培养要求而编写。

工程材料是一门重要的专业技术基础课,涵盖了机械类、材料类和近机械类等相关部门类的众多专业,而且,它又是一门理论和实践紧密结合的课程,因此要求学生既要掌握材料的一些最基本的理论知识,又要具备一定的实践技能。所以,本教材一方面要阐述工程材料的基本理论;揭示材料的成分、结构、组织、性能和应用之间的变化规律;论述材料强化途径和性能控制的原理及工艺;介绍各种工程材料的特点及应用;总结各种典型机械零件材料的选用。另一方面要使教材中更多的内容源于机械制造、热处理、铸造、焊接等相关岗位工作过程的典型工作任务,以工程材料相关岗位的具体工作过程为导向,以工作任务为引领,并按照相关国家职业标准的能力要求来设计教学内容,以能力为本位构建模块化、弹性化的教学内容。本书遵循“以掌握概念、强化应用、培养技能为重点”的原则,将理论知识进行了精简,增加了项目、任务、课题、案例等实操性内容,编写时注意简化基本理论的叙述,注意联系生产实际,加强应用性内容的介绍;列举大量了实际案例,根据现代工程材料制造技术的发展趋势更新了有关教学内容,力求反映技术发展的新成果;注重贯彻最新国家标准。本书可作为高职高专机械类、材料类与机电类等相关专业的教材,也可作为企业相关技术人员、技师、操作工、管理人员的培训教材和参考书。

全书包含6个学习模块,其中模块1、模块3、模块4及模块2、模块6的部分内容由天津中德职业技术学院赵峰编写;模块6第1节的内容由天津中德的孙学娟老师编写;模块6第三节的内容由天津中德的戴文婷老师编写;模块6的第4节内容由天津中德的张虹老师编写;模块5和模块2的第三节内容由天津中德的骆鸣老师编写。

本书由天津中德职业技术学院《工程材料》国家级精品课程负责人、教育部高职高专材料类专业教学指导委员会工程材料与成形工艺分委员会特聘专家赵峰主编。由中国热处理协会副理事长、天津热处理协会理事长、天津热处理研究所有限公司董事长兼总经理宋宝敬高工主审。

本书在编写过程中得到了天津热处理协会、天津热处理研究所有限公司、天一热处理有限公司、派克特精液压(天津)有限公司热处理部相关领导和专家的鼎力支持和帮助,同时我们参阅了许多相关教材、手册以及材料与热处理方面的一些最新的研究成果,在此对相关专家、学者表示衷心的感谢,也对中国人民大学出版社的积极协助表示由衷的感谢。

由于能力、时间和精力所限,教材在基于工作过程方面还有不完美之处,错误和纰漏也在所难免,希望读者批评指正。

编者

2011年4月

目 录

模块 1 工程材料基础	1
1.1 工程材料概述	1
1.1.1 材料发展简史与人类文明	1
1.1.2 材料的分类和发展	2
1.2 材料的性能	5
1.2.1 材料的物理和化学性能	5
1.2.2 材料的工艺性能	7
1.2.3 材料的力学性能	9
1.3 材料的结构与结晶	22
1.3.1 材料结构概述	22
1.3.2 纯金属的晶体结构与结晶	25
1.3.3 合金的结构与结晶	37
模块 2 材料性能的控制	57
2.1 材料性能的控制途径	57
2.1.1 金属的塑性变形加工	57
2.1.2 金属材料强化的途径	63
2.2 钢的热处理	68
2.2.1 概述	68
2.2.2 钢热处理的基本原理	70
2.2.3 钢的普通热处理	80
2.2.4 钢的表面热处理	94
2.2.5 钢的化学热处理	97
2.2.6 钢的其他热处理工艺简介	104
2.2.7 热处理常见质量缺陷	107
2.3 表面工程技术	112
2.3.1 概述	112
2.3.2 热喷涂技术	113
2.3.3 气相沉积技术	118
2.3.4 电刷镀技术	123
2.3.5 其他表面处理技术	125
模块 3 黑色金属材料	131
3.1 钢铁基础知识	131
3.1.1 钢铁的生产	131

3.1.2 钢的成分	137
3.1.3 钢的分类及牌号表示方法	142
3.2 结构钢	147
3.2.1 碳素结构钢	147
3.2.2 优质碳素结构钢	148
3.2.3 低合金结构钢	151
3.2.4 机械制造用合金结构钢	154
3.3 工具钢	163
3.3.1 碳素工具钢	163
3.3.2 合金刀具钢	165
3.3.3 合金模具钢	171
3.3.4 量具钢	179
3.4 特殊钢	182
3.4.1 不锈钢	182
3.4.2 耐热钢	187
3.4.3 耐磨钢	190
3.5 铸钢与铸铁	191
3.5.1 铸钢	191
3.5.2 铸铁	193
模块4 有色金属材料	205
4.1 轻有色金属材料	205
4.1.1 铝及铝合金	205
4.1.2 钛及钛合金	215
4.1.3 镁及镁合金	218
4.2 重有色金属材料	220
4.2.1 铜及铜合金	220
4.2.2 其他重有色金属材料	229
4.3 专用合金	231
4.3.1 滑动轴承合金	231
4.3.2 铅基轴承合金	234
4.3.3 铜基轴承合金	235
4.3.4 硬质合金	237
4.3.5 硬质合金的种类、牌号和用途	238
模块5 非金属材料	242
5.1 高分子材料	242
5.1.1 高分子材料概述	242
5.1.2 塑料	246
5.2 陶瓷材料	255
5.2.1 陶瓷材料概述	255

5.2.2 普通陶瓷	259
5.2.3 特种陶瓷	261
5.3 复合材料	267
5.3.1 复合材料概述	267
5.3.2 非金属基复合材料	271
5.3.3 金属基复合材料	275
模块6 材料的选用	279
6.1 机械零件的失效与选用	279
6.1.1 机械零件的失效	279
6.1.2 机械零件的选材	283
6.1.3 典型零件的选材及工艺路线分析	289
6.2 刀具的选材	307
6.2.1 刀具概述	307
6.2.2 典型刀具选材	315
6.3 模具的选材	324
6.3.1 模具概述	325
6.3.2 冷作模具选材	329
6.3.3 热作模具选材	340
6.3.4 塑料模具选材	346
6.4 量具的选材	352
6.4.1 量具概述	353
6.4.2 典型量具选材	356
参考文献	360

模块 1 工程材料基础

1.1 工程材料概述

本单元学习目标

★ 材料发展史。

★★ 人类文明。

★★★ 材料的分类和发展。

★★★★ 材料的分类。

注：★了解。★★理解。★★★掌握。★★★★重点掌握。

1.1.1 材料发展简史与人类文明

材料是人类用于制造各种产品的物质。但不是所有物质都可以成为材料，只有当一种物质有可供利用的性质，而且可以被制造成有用的物品时才成为材料。

材料是人类生产和生活所必需的物质基础，材料是人类进步的里程碑，时代的发展需要材料，而材料又推动时代的发展，所以人们把材料视为现代文明的支柱之一。从某种意义上说，材料是一切文明和科学的基础。

自古以来，人类文明的进步都是以材料的发展为标志的。人类已经经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代，而今正跨入人工合成材料的时代。

早在一百万年以前，人类开始用石头作为工具，使人类进入旧石器时代。大约一万年以前，人类开始对石头进行加工，使之成为精致的器皿或工具，从而使人类进入新石器时代。在新石器时代，人类开始用皮毛遮身。8000 年前中国就开始用蚕丝做衣服，4500 年前印度人开始种植棉花，这些都是人类使用材料促进文明进步的标志。

新石器时代，人类已发明了用黏土成形，再火烧固化的陶器。陶器，不但可用作器皿，而且可成为装饰品，是对精神文明的一大促进，其对人类文明的贡献是不可估量的。在烧制陶器的过程中，人类偶然发现了金属铜和锡，进而又生产出色泽鲜艳、又能浇铸成形的青铜，从而使人类进入青铜时代。这是人类较大量利用金属的开始，也是人类文明发展的重要里程碑。中国的青铜器在公元前 2700 年前已经被使用了，到商周（公元前 17 世纪到公元前 3 世纪）进入了鼎盛时期，如河南安阳出土的重达 875kg 的鼎、湖北随县的编钟、西安的青铜车马都充分反映了当时中国冶金技术水平和制造工艺的高超。

公元前 13~14 世纪，人类已开始用铁，人类开始进入铁器时代。中国最早出土的人工冶铁制品约在公元前 9 世纪。到春秋（公元前 700~476 年）末期，生铁技术有了较大突破，遥遥领先于世界其他地区，生铁退火而制成韧性铸铁及生铁炼钢技术的发明，促进了中国生产力的大发展，对战国和秦汉时期的农业、水利和军事的发展起到很大作用。早

在公元 2 世纪中国的钢和丝绸已驰名罗马帝国。生铁技术在公元前 5 世纪即春秋末叶已经在黄河长江流域传播。这些技术于公元 6~7 世纪传入朝鲜半岛、日本和北欧，推动了整个世界文明的进步。

随着世界文明的进步，18 世纪发明了蒸汽机，19 世纪发明了电动机，对钢铁冶金技术产生了更大的推动作用。1854 年和 1864 年先后发明了转炉和平炉炼钢技术，使世界钢产量有了一个飞速提升。如 1850 年世界钢产量为 6 万吨，而 1890 年达到 200 万吨，大大促进了机械制造、铁道交通及纺织工业的发展。从电炉冶炼开始，不同类型的特殊钢相继问世，如 1887 年的高锰钢、1900 年的 18—4—1 (W18Cr4V) 高速钢、1903 年的硅钢及 1910 年的奥氏体铬镍 (Cr18Ni8) 不锈钢等，人类从此进入了现代物质文明。在此前后，铜、铝也得到大量应用，而后镁、钛和很多稀有金属都相继出现，从而金属材料在整个 20 世纪占据了结构材料的主导地位。

随着有机化学的发展，19 世纪末叶西方科学家仿制中国丝绸发明了人造丝，这是人类改造自然材料的又一里程碑。20 世纪初，人工合成有机高分子材料相继问世，如 1909 年的酚醛树脂 (电木)，1920 年的聚苯乙烯，1931 年的聚氯乙烯及 1941 年的尼龙等，它们以其性能优异、资源丰富、建设投资少、收效快而得到迅速发展。目前世界三大有机合成材料 (树脂、纤维和橡胶) 的年产量已逾亿吨。而且随着有机材料的性能不断提高，附加值大幅度增加，特别是特种聚合物正向功能材料的各个领域进军，显示其巨大的潜力。

陶瓷本来用作建筑材料、容器或装饰品等。由于其资源丰富、密度小、模量高、硬度高、耐腐蚀、膨胀系数小、耐高温、耐磨等特点，到了 20 世纪中叶，通过合成及其他制备方法，做出了各种类型的先进陶瓷 (如 Si_3N_4 、 SiC 、 ZrO_2 等)，成为近几十年来材料中非常活跃的研究领域，有人甚至认为“新陶器时代”即将到来。

复合材料是 20 世纪后期发展的另一类材料。但事实上，人类很早就开始制造复合材料，如泥巴中混入碎麻或麦秆用以建造房屋，脆性材料钢筋和韧性材料水泥的复合等。近几十年来，利用树脂和无机非金属材料做成了树脂基复合材料或金属基复合材料。为了改善陶瓷的性能，也制成了陶瓷基复合材料。碳是使用温度最高的材料 (可达 2500°C)，为了克服热振性能差，并提高其力学性能而制出的碳—碳复合材料已广泛用于军工，并扩展到民用。

功能材料自古就受到重视，早在战国时期 (公元前 3 世纪) 已利用天然磁铁矿来制造司南，到宋代将钢针磁化制出了罗盘，为航海的发展提供了关键技术。功能材料是信息技术及自动化的基础，特别是半导体材料出现以后，加速了现代文明的发展。1947 年发明了第一只具有放大作用的晶体管，10 余年后又研制成功集成电路，使以硅材料为主体的计算机的功能不断提高，体积不断缩小，价格不断下降，加之高性能的磁性材料不断涌现，激光材料、光导纤维与纳米材料的问世，使人类社会进入了信息时代。因为硅是微电子技术的材料，所以有人称之为硅器件为代表的“硅材料时代”，这再一次说明材料对人类文明起了关键的作用。

1.1.2 材料的分类和发展

材料除了具有重要性和普遍性以外，还具有多样性。由于其多种多样，分类也就可以从不同角度来进行。

1.1.2.1 按材料用途分类

1. 结构材料

结构材料是指主要利用材料的强度、硬度、韧性、弹性等力学性能，用于制造在不同环境下工作时承受载荷的各种结构件和零部件的一类材料，当然，结构材料对物理或化学性能也有一定要求，如光泽、热导率、抗腐蚀、抗氧化等。这类材料对国民经济各行业如交通运输、机械制造、能源开发、海洋工程、建筑等的发展影响巨大。

2. 功能材料

功能材料是指具有某种优良的电学、磁学、热学、声学、力学、光学、化学和生物学功能及其相互转化功能的高技术材料。如电功能材料、磁功能材料、热功能材料、声功能材料、光功能材料、能源功能材料、化学功能材料、医用功能材料、机械功能材料、核功能材料等。

还有从专业功能来分，如电子材料、航空航天材料、核材料、建筑材料、能源材料、生物材料等。当然有些材料往往既是结构材料又是功能材料，如铁、铜、铝等。

1.1.2.2 按材料使用现状分类

1. 传统材料

传统材料是指那些已经成熟且在工业中已批量生产并大量应用的材料，如钢铁、水泥、塑料等。这类材料由于其用量大、产值高、涉及面广，又是很多支柱产业的基础，所以又称为基础材料。

2. 新型材料

新型材料是指那些正在发展，且具有优异性能和应用前景的一类材料。与传统材料之间并没有明显的界限，传统材料通过采用新技术，提高技术含量，提高性能，大幅度增加附加值可成为新型材料，新型材料在经过长期生产与应用之后也会成为传统材料。传统材料是发展新型材料和高技术的基础，而新型材料又往往能推动传统材料的进一步发展。

1.1.2.3 按材料的物理化学属性分类

1. 金属材料

金属材料是由金属元素或以金属元素为主形成的具有金属特性的材料的统称。包括金属和金属合金，金属间化合物以及金属基复合材料等。金属材料是最重要的工程材料之一，绝大多数为晶体材料。工业上把金属及其合金分为两大部分：

(1) 黑色金属——铁和以铁为基的合金，又称铁类金属。

黑色金属应用最广，以铁为基的合金材料占整个结构材料和工具材料的90%以上，黑色金属的工程性能优越，价格便宜，是应用最广泛的工程材料。其中钢是历史最悠久的材料之一，具有强度高、延展性好、来源丰富和价格低廉等优点，在今后很长一段时期内仍将占据结构材料的主流。另外还包括工业纯铁、铸铁、铸钢等。

(2) 有色金属——黑色金属以外的所有金属及其合金，又称为非铁金属。

按照性能特点，有色金属大致可分为：

轻金属：Al、Be、Mg等；

易熔金属：Zn、Ga、Ge、Cd、In、Sn、Sb、Hg、Pb、Bi；

难熔金属：Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Te、Hf、Ta、W、Re；

贵金属：Cu、Ru、Rh、Pd、Ag、Os、Ir、Pt、Au；

稀土金属：Y、La、镧系（58~71号）；

铀金属：Ac、锕系（90~103号）；

碱金属及碱土金属：Li、Na、K、Rb、Cs、Fr、Ca、Sr、Ba、Ra、Se。

主要的有色金属包括：铝、铜、镍、镁、钛和锌。这六种金属的合金占有色金属总量的90%，每年使用的铝、铜和镁有30%得到了回收利用，这进一步增加了它们的用量。

新金属材料除黑色金属、有色金属外，还包括特殊金属材料，即指那些具有不同用途、结构和功能的金属材料。其中有急冷形成的非晶态、准晶、微晶、纳米晶等金属材料和用于隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等的金属材料。

2. 高分子材料

高分子材料为有机合成材料，又称聚合物材料，它主要指以高分子化合物为基础制得的材料，它由许多相对分子质量特别大的大分子所组成，每个大分子由大量结构相同的单元相互连接而成。它具有良好的塑性、耐蚀性、耐磨性、绝缘性、成形性以及较高的比强度等，是工程材料中发展最迅猛的一类新型材料。高分子材料种类多样，分类复杂，通常根据工程应用中的力学性能和使用状态分为三类：

（1）塑料——以合成树脂和化学改性的天然高分子为主要成分，加入填料、增强剂和其他添加剂，在一定高温和压力下成形的高分子材料。可分热塑性塑料和热固性塑料两种。如按用途可分为通用塑料、工程塑料和特殊塑料。而工程塑料主要指强度、韧性、耐磨性、耐蚀性好的，可用于结构和制造机器零部件的塑料。

（2）合成纤维——由单体聚合而成的，强度很高的，经过机械处理而获得的纤维材料。分天然纤维和化学纤维两种。

（3）橡胶——主要指经过硫化处理，弹性优良的高分子材料，有天然橡胶和合成橡胶之分。橡胶具有良好的物理、力学性能和化学稳定性。

（4）胶黏剂——分树脂型、橡胶型和混合型。

（5）陶瓷材料——是无机非金属材料的统称。它是以某些元素的氧化物、碳化物、氮化物、卤化物、硼化物以及硅酸盐、铝酸盐、磷酸盐、硼酸盐等物质组成的材料。陶瓷是人类应用最早的固体材料，具有硬度高、弹性模量高、化学稳定性和耐热性好、脆性大等特性，可制造工具、用具、耐磨和耐热件等，在一些特殊情况下可作为结构材料。

按组成成分和用途，工业陶瓷材料又可分为：

普通陶瓷（传统陶瓷）——主要为硅、铝氧化物的硅酸盐材料。

特种陶瓷（新型陶瓷）——主要为氧化物、碳化物、氮化物、硼化物等的烧结材料。按用途可分为结构陶瓷材料、功能陶瓷材料和生物陶瓷材料等。

金属陶瓷——是指用陶瓷生产方法制造的金属与碳化物或其他化合物构成的粉末材料，也是一种复合材料。

（6）复合材料——是指由有机高分子、无机非金属或金属等几类不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料。

随着航天航空、交通运输、电子通信等行业的快速发展，单一材料的性能特性已不能满足一些产品对各方面性能的综合需要。就需要将不同性能特性的材料结合起来，扬长避短，优势互补。因此就出现了一种前景广阔的新型材料——复合材料。

可分为非金属复合材料（如树脂基复合材料、橡胶基复合材料、陶瓷基复合材料等）

和金属基复合材料。也可分为结构复合材料、功能复合材料和智能复合材料。

1.1.2.4 新材料的发展

随着空间技术、微电子技术、激光技术、传感器技术、电子信息技术、通信技术、生物医学技术等的发展,材料的开发重点已由结构材料转向了功能材料以及纳米材料等新领域。

(1) 功能材料——是指具有一种或几种特定物理性能或功能的材料。它着重要求具备特殊的声、光、电、磁、热等物理性能或功能。

一般可分为电功能材料、磁功能材料、热功能材料、光功能材料、智能功能材料等;如按材料的来源,功能材料可分为功能金属材料、功能陶瓷材料及功能高分子材料等。

(2) 纳米材料——是指在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围(1~100nm)或由它们作为基本单元构成的材料。纳米材料的诞生为常规各种材料的研究增添了新的内容,目前,纳米材料已在电子、通信、航空航天、军事、生物工程、光电、化工、医学等领域得到应用。

按用途可分为纳米电子材料、纳米生物医用材料、纳米敏感材料、纳米光电子材料、纳米储能材料等。按化学组成可分为纳米金属、纳米晶体、纳米陶瓷、纳米玻璃、纳米高分子材料、纳米复合材料等。

(3) 其他新型材料——还包括电磁屏蔽材料、传感材料、隐形材料、智能材料、液晶材料、梯度材料、敏感材料、示色材料、红外材料等。

本书将按以上分类对各类材料进行介绍,重点介绍目前应用最广的金属材料,因为目前非金属材料在工业中应用的比例不超过8%,金属材料仍然是占主导地位的工程材料。

1.2 材料的性能

本单元学习目标

- ★ 材料的物理和化学性能,材料应用的意义。
- ★★ 金属材料力学性能相关的基本概念。
- ★★★ 拉伸、硬度和冲击实验过程,各种力学性能指标的相关知识。
- ★★★★ 材料的工艺性能,对材料加工的影响和意义。

注:★了解。★★理解。★★★掌握。★★★★重点掌握。

材料的性能是工程材料应用的重要要素之一,它包含工艺性能和使用性能两方面。工艺性能是指材料在制造过程中对加工工艺的适应能力,如铸造性、锻压性、焊接性、切削加工性和热处理工艺性等;使用性能是指材料在一定使用条件下所表现出来的性能,它包括力学性能、物理和化学性能。在制造行业中,力学性能是材料应用过程中最重要的考虑依据。

1.2.1 材料的物理和化学性能

1.2.1.1 材料的物理性能

物理性能是材料固有的一种属性,主要包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀

性、磁性等，它们对材料的应用都有其独特的重要意义。

1. 密度

单位体积物质的质量称为该物质的密度。密度小于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为轻金属，如铝、镁、钛及它们的合金。密度大于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为重金属，如铁、铅、钨等。轻金属多用于需要使用轻型材料的汽车、飞机、航天航空器上。

2. 熔点

熔点是金属从固态向液态转变时的温度，纯金属都有固定的熔点并和凝固点是同一温度。

熔点高的金属称为难熔金属，如钨、钼、钽等，可以用来制造耐高温零件，如在灯丝、火箭、导弹、燃气轮机和喷气飞机等方面得到广泛应用。

熔点低的金属称为易熔金属，如锡、铅等，可用于制造保险丝、钎焊料和防火安全阀件等。

3. 导热性

导热性通常用热导率来衡量。热导率越大，导热性越好。金属的导热性以银为最好，铜、铝次之。合金的导热性比纯金属差。在冷热加工过程中，需要考虑金属材料的导热性，防止材料在加热或冷却过程中形成过大的内应力，避免零件变形或开裂。导热性越好的金属散热也越好，在制造散热装置、热交换器等零件时，可选用导热性好的金属材料。导热性差的材料则可用于保温等方面。

4. 导电性

传导电流的能力称为导电性，用电阻率来衡量。电阻率越小，金属材料的导电性越好，金属导电性以银为最好，铜、铝次之。纯金属导电性比合金好。电阻率小的金属（纯铜、纯铝）适用于制造导电零件和电线，纯度越高导电性越好。电阻率大的金属或合金（如钨、钼、铁、铬）适用于作为电加热元件。而电阻率非常大的材料则可作为绝缘材料。

5. 热膨胀性

金属材料随着温度变化而膨胀、收缩的特性称为热膨胀性。由膨胀系数大的材料制造的零件，在温度变化时，尺寸和形状变化较大。有些零件的装配要根据其膨胀系数来控制其间隙尺寸；在热加工和热处理时也要考虑材料的热膨胀影响，以减少工件的变形和开裂。

6. 磁性

铁磁性材料：在外磁场中能强烈地被磁化，并带有强磁场的材料，如铁、钴等。

软磁材料：具有低矫顽力和高磁导率的磁性材料。软磁材料易于磁化，也易于退磁，广泛用于电工设备和电子设备中。应用最多的软磁材料是铁硅合金（硅钢片）以及各种软磁铁氧体等。可用于制造电机、变压器、继电器等的铁芯、磁头、继电器和扬声器磁导体等。

硬磁材料：硬磁材料是指磁化后不易退磁而能长期保留磁性的一种铁氧体材料，又称永磁材料或恒磁材料。按其成分可分为铁基、钴基、锰基和铁氧基四大类。其典型代表是钡铁氧体 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 。这种材料性能较好，成本较低，广泛用于电子、电气、机械、运输、医疗及生活用品等各个领域。

顺磁性材料：顺磁性是一种弱磁性，在外磁场中只能微弱地被磁化，如锰、铬等。

抗磁性材料：能抗拒或削弱外磁场对材料本身的磁化作用，如铜、锌等。可用于要求避免电磁场干扰的零件和结构材料，如航海罗盘。

铁磁性材料当温度升高到一定数值时，磁畴被破坏，变为顺磁体，这个转变温度称为居里点，如铁的居里点是 770°C

常见金属的物理性能见表 1—1。

表 1—1 常见金属的物理性能

金属	铝	铜	镁	镍	铁	钛	铅	锡	锑
元素符号	Al	Cu	Mg	Ni	Fe	Ti	Pb	Sn	Sb
密度 ($\text{kg}/\text{m}^3 \times 10^3$)	2.70	8.94	1.74	8.9	7.86	4.51	11.34	7.3	6.69
熔点 ($^{\circ}\text{C}$)	660	1083	650	1455	1539	1660	327	232	631
线膨胀系数 ($1/^{\circ}\text{C} \times 10^{-6}$)	23.1	16.6	25.7	13.5	11.7	9.0	29	23	11.4
电导率 (%)	60	95	34	23	16	3	7	14	4
导热系数 ($\text{J}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	2.09	3.85	1.46	0.59	0.84	0.17	—	—	—
磁化率 χ	21	抗磁	12	铁磁	铁磁	182	抗磁	2	—
色泽	银白	玫瑰红	银白	白	灰白	暗灰	苍灰	银白	银白

1.2.1.2 材料的化学性能

材料的化学性能是指材料在常温或高温下抵抗各种化学作用的能力，主要包括耐腐蚀性和抗氧化性。金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性统称为化学稳定性。在高温下的化学稳定性称为热稳定性。

1. 耐腐蚀性

材料在常温下抵抗氧、水蒸气及其他化学介质腐蚀破坏作用的能力称为耐腐蚀性，碳钢、铸铁的耐腐蚀性较差；钛及其合金、不锈钢、塑料、陶瓷的耐腐蚀性好。铝合金和铜合金有较好的耐腐蚀性。在化工、食品、制药、医疗器械等行业，材料的耐腐蚀性有重要的应用价值。

2. 抗氧化性

金属材料在高温下抵抗氧化作用的能力称为抗氧化性。加入 Cr、Si 等元素，可提高钢的抗氧化性。耐热钢、铬镍合金、铁铬合金等抗氧化性好，如 4Cr9Si2 可制造内燃机排气阀及加热炉炉底板、料盘等。在冶金、热加工、航空航天、动力机械等行业，材料的抗氧化性有重要的应用意义。

1.2.2 材料的工艺性能

工艺性能是指材料在制造过程中对加工工艺的适应能力，如铸造性、锻压性、焊接性、切削加工性和热处理工艺性等。

1.2.2.1 铸造性能

铸造性能是指金属或合金用铸造方法获得合格铸件的能力。铸造性包括流动性、收缩性和偏析倾向等。含碳量高的铸铁铸造性好。

流动性是指液态金属充满铸模的能力，流动性越好，越容易铸造细薄精致的铸件。共晶合金流动性好，纯金属差。

收缩性是指浇注后熔融金属冷却凝固至室温时体积和尺寸缩小的特性，收缩率越小则铸件尺寸越精确、组织越致密，收缩率越大则越易产生缩孔、缩松和铸造应力，变形开裂倾向越大。常用金属中灰铸铁和锡青铜的收缩率较小，而铸钢和黄铜的收缩率较大。

偏析是指化学成分不均匀，偏析越严重，铸件各部位的性能越不均匀，铸件的可靠性越小。

1.2.2.2 焊接性能

焊接性能是指材料焊接时接口处获得良好焊缝的难易程度。焊接性一般根据焊接时产生的裂纹敏感性和焊缝区的力学性能的变化来判断，含碳量越高，焊接性越差。钢材的焊接性一般用碳当量法来评定。在钢材的成分中，影响最大的是碳，其次是锰、铬、钒等。通常把钢中合金元素（包括碳）的含量按其作用换算成碳的相当含量，称为碳当量，用符号 CE 来表示。

$$CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

式中化学元素符号表示该元素在钢中质量分数的上限。实践证明，碳当量越大，钢材的焊接性就越差。根据经验，当：

(1) $CE < 0.4\%$ 时，钢材的淬硬倾向小，焊接性良好，焊接这类材料时一般不需预热。只有在工件厚大或低温下焊接时才考虑焊前预热。

(2) $CE = 0.4\% \sim 0.6\%$ 时，钢材的淬硬倾向较大，焊接性较差，需要采用适当的预热、缓冷等工艺措施。

(3) $CE > 0.6\%$ 时，钢材的淬硬倾向严重，焊接性差，需要进行较高温度的预热和采取严格的工艺措施。

1.2.2.3 锻造性能（可锻性）

锻造性能是指金属材料在锻压加工中能承受塑性变形而不破裂的能力。它实际上是金属塑性好坏的一种表现，金属材料塑性越高，变形抗力就越小，则可锻性就越好。锻造性主要决定于金属的化学成分、显微组织、变形温度、变形速度及应力状态等。钢含碳量越高，锻造性越差。低碳钢锻造性较好，合金钢锻造性较差。具有较低的热锻变形抗力，塑性好，锻造温度范围宽，锻裂冷裂及析出网状碳化物倾向低，则锻造性好。

1.2.2.4 切削加工性

切削加工性是指材料被切削加工成合格零件的难易程度。衡量材料切削加工性的好坏可根据刀具耐用度的高低、切削力的大小、切削温度的高低、是否容易获得良好的表面加工质量、是否容易控制切屑的形状或容易断屑来判断。

切削加工性能与金属材料的化学成分、硬度、韧性、金相组织、导热性、加工硬化程度、切削刀具的几何形状、耐磨程度、切削速度等因素都有关系。

对碳钢来说：低碳钢（ $w_c < 0.25\%$ ）：硬度低，塑韧性好，粗加工时不易断屑而影响切削加工过程，精加工时因切屑脱离材料时使已加工表面发生严重撕扯而产生大量细裂纹（鳞刺），又因易形成积屑瘤而严重影响精加工质量，故切削加工性较差；一般可通过正火处理使晶粒细化、硬度提高、韧性下降，来提高切削加工性。中碳钢（ $w_c 0.25\% \sim 0.6\%$ ）：有较好的综合性能，其切削加工性较好；高碳钢（ $w_c > 0.8\%$ ）：性硬而脆，切削时刀具易磨损，故其切削加工性差，一般可通过球化退火来改善其切削加工性。合金钢的切削加工性一般低于含碳量相近的碳素钢。灰铸铁与具有相同基体组织的碳素钢相比，

切削加工性好。铝、镁等有色金属的合金硬度较低，且导热性好，故具有良好的切削加工性。而高锰钢、高强度钢、不锈钢、高温合金、钛合金、高熔点金属及其合金、喷涂（焊）材料、陶瓷等，切削加工性能差，属于难切削加工材料。

1.2.2.5 热处理工艺性

热处理工艺性是指材料被热处理时达到性能等要求的难易程度。主要包含如下几个方面：

淬硬性：钢淬火时获得高硬度的能力。含碳量越高，钢的淬硬性越好。

淬透性：钢接受淬火的能力，钢获得淬硬层深度的能力。与合金元素含量及种类有关。

氧化、脱碳敏感性：高温加热时抗氧化性能好，脱碳速度慢，对加热介质不敏感，产生麻点倾向小。

淬火变形开裂倾向：常规淬火体积变化小，形状翘曲、畸变轻微，异常变形倾向低。常规淬火开裂敏感性低，对淬火温度及工件形状不敏感。

1.2.2.6 其他变形加工性能

冲压性能：金属材料承受冲压变形加工而不破裂的能力。它包括：延性、展性和冷冲压性。延性是指在外力作用下可以被拉伸的性能。展性是指可以被锤击或碾压成薄箔的性能。冷冲压性是指材料在冷态下受冲压成形时，所表现出来的变形能力。含碳量越低，塑性越好，冲压性越好。

顶锻性：顶锻性能是金属材料承受一定程度的锤击而不破裂的能力。

弯曲性：金属材料受弯曲变形作用而不破裂的能力。

1.2.3 材料的力学性能

材料是现代制造业的基础。在机械、工具、工装夹具等的设计、制造中选用材料时，大多以力学性能为主要依据，因此掌握材料的力学性能有重要的实用意义。

材料的力学性能是指材料在外力作用下表现出来的特性，如强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度等。外力的主要形式有：拉力、压力、弯曲力、扭转力和剪切力。根据外力的性质又可分为：静载荷、冲击载荷、交变载荷、均布载荷、集中载荷、循环和振动载荷等。

静载荷——力的大小不变或变化缓慢的载荷。如静拉力、静压力等。

动载荷——力的大小和方向随时间而发生改变的载荷。如冲击载荷、交变载荷、循环载荷等。

变形——金属在外力的作用下尺寸和形状的变化，分“弹性变形”和“塑性变形”。

物体内部单位截面积上承受的力称为应力。由外力作用引起的应力称为工作应力，在无外力作用条件下平衡于物体内部的应力称为内应力。如：组织应力、热应力、加工过程结束后留存下来的残余应力等。

1.2.3.1 强度 (strength)

材料在外力作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度，材料的强度越大，材料所能承受的外力就越大，强度大小通常用应力来表示。

根据载荷作用方式不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗

扭强度等。通过拉伸试验可测定弹性极限、屈服极限和抗拉极限强度指标。

1. 拉伸试验 (参见 GB/T 228—2002)

试验时, 将标准试样 (见图 1—1) 装夹在拉伸试验机上, 以静拉力缓慢进行拉伸, 直到拉断为止。试验机自动记录装置可将整个拉伸过程的拉伸力和伸长量描绘出来。这种在进行拉伸试验时, 载荷 F (拉伸力) 和试样伸长量 Δl 之间的关系曲线叫做力—伸长曲线。图 1—2 是低碳钢的力—伸长曲线, 图中纵坐标表示力 F , 单位为 N; 横坐标表示绝对伸长量 Δl , 单位为 mm。图 1—2 中表现出四个变形阶段:

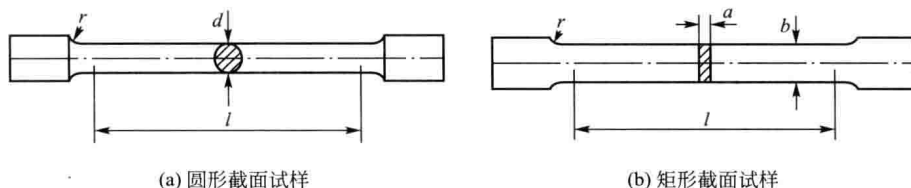


图 1—1 拉伸试样

oe: 弹性变形阶段。此阶段内试样变形完全是弹性的, 卸载后试样即恢复原状。 F_e 是试样保持最大弹性变形的最大拉伸力。

es: 屈服阶段。当载荷超过 F_e 时, 若卸载的话, 试样的伸长只能部分地恢复, 而保留一部分残余变形, 即为塑性变形。当载荷增加到 F_s 时, 图上出现平台或锯齿状, 产生屈服现象。即在载荷不增加或略有减少的情况下, 试样继续发生变形的现象叫做屈服。此时的载荷 F_s 称为屈服载荷。屈服后, 材料将残留较大的塑性变形。

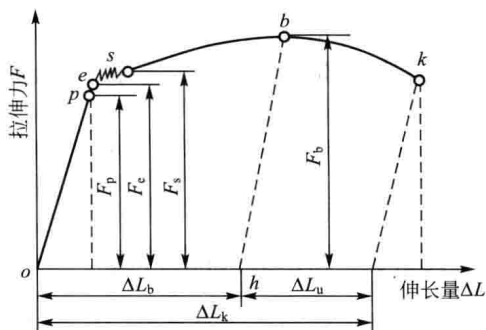


图 1—2 低碳钢拉伸曲线

sb: 强化阶段。在屈服阶段以后, 欲使试样继续伸长, 需不断加载。随着塑性变形增大, 试样变形抗力也逐渐增加, 这种现象称为形变强化。 F_b 为拉伸试验过程中试样所能承受的最大载荷。

bk: 缩颈阶段。当载荷达到最大值 F_b 时, 试样的直径发生局部收缩, 称为缩颈。试样变形所需的载荷也随之降低, 这时伸长主要集中于缩颈部位, 直至断裂。

2. 强度指标

强度一般用拉伸曲线上所对应的某点的应力来表示, 单位为 N/mm^2 (或 MPa 兆帕)。金属材料抵抗拉伸载荷的强度指标一般有屈服强度 (或规定残余延伸强度 $R_{r0.2}$) 和抗拉强度 R_m 等。

(1) 弹性常数。

在万能试验机上, 在弹性范围内采用等量逐级加载方法, 每次递加同样大小的载荷增量 ΔF (可选 $\Delta F = 2\text{kN}$), 在引伸仪上读取相应的变形量。若每次的变形增量大致相等, 则说明载荷与变形成正比关系, 即验证了胡克定律。弹性模量 E 是指金属材料在弹性状态下的应力与应变的比值。工程上将材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。