



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属工艺学

(非机类)

尹传华 主编



机械工业出版社



《金属工艺学》(非机类)一书共九章,包括三大部分的内容,即常用工程材料及性能测定、钢的改性处理、热加工与冷加工。根据新大纲要求,本着少而精、浅而易懂、应用性强、贴近时代的原则,本书较全面地叙述了金属材料的力学性能及其测定方法,常用工程材料的种类、性能和应用;在钢的改性处理中介绍了常规改性处理的基本知识和热处理新技术、新工艺及应用;介绍了铸、锻、焊等热成形工艺的基本知识及新工艺、新技术,钳工基本知识、金属切削机床与切削加工工艺等传统金属冷成形工艺,以及特种加工与数控加工及其新技术、新工艺的应用等。书中材料的牌号、名词术语都采用最新标准编写。

本教材供中等职业技术学校招收初中毕业生三~四年学制非机类各专业学生使用,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学:非机类 / 尹传华主编. —北京:机械工业出版社, 2001.7 (2009.8重印)

中等职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-111-08988-9

I. 金… II. 尹… III. 金属加工-工艺学-专业学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第029820号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 崔占军 版式设计: 张世琴 责任校对: 吴美英
张祖凤

封面设计: 姚毅 责任印制: 李妍

北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2009年8月第1版·第11次印刷

184 mm × 260 mm · 10.5印张 · 257千字

标准书号: ISBN 978-7-111-08988-9

定价: 10.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部职成教司函〔2000〕43号通知颁布的中等职业教育国家规划教材选题立项要求及相应的教学大纲编写的,可作为中等职业学校除机械制造专业以外所有专业、三至四年学制、60学时左右“金属工艺学”课程的教材。

本书包括金属材料的力学性能、常用工程材料、钢的热处理、铸造、锻压、焊接、钳工基础知识、金属切削机床与切削加工、特种加工与数控技术等九章。该书通俗易懂、图文并茂,在强调理论和实践结合的原则下,更加突出职业教育中技能培养的要求,即理论、实验、实习教学三者有机地揉和在一起,使本教材既可作为课堂理论讲授之用,也可在实习现场作为实习教材使用。

作为21世纪首批国家规划非机类《金属工艺学》教材之一,具有思路新、写法新、结构新三大突出特点,内容贴近时代,实用性强。更值得强调的是,本教材的编审人员除具有坚实的理论知识外,还具有多年的生产实践经验和较强的动手能力。在着力培养学生创新精神和实践能力的同时,力求使金工教育“面向现代化,面向世界,面向未来”。

本书编写的人员有:张家界航空学校侯德政,南京铁路运输学校杨昆,北京机械工业学校宋秀孚、刘莎,浙江物资学校孙敏芝,厦门高等技工学校林海岚。由大连工业学校尹传华任主编,大连工业学校田鸣任主审。在编写过程中,得到金工学科组(尤其是组长罗会昌老师)及有关人员的大力支持和帮助,在此深表谢意。

由于职业教育发展形势的需要,编写时间短促,编者水平有限,书中难免有不少的缺点和欠妥之处,希望广大教师和读者批评指正。

编 者

2001年3月

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均做了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001.5

目 录

前言	
绪论	1
第一章 金属材料的力学性能	3
第一节 强度与塑性	3
第二节 硬度	6
第三节 冲击韧性与疲劳强度简介	8
思考题与练习题	9
第二章 常用工程材料	10
第一节 工程材料的分类	10
第二节 钢材	11
第三节 铸铁	20
第四节 有色金属及其合金	25
第五节 非金属材料	28
思考题与练习题	32
第三章 钢的热处理	33
第一节 热处理的概念、目的、分类及应用	33
第二节 钢的退火与正火	35
第三节 钢的淬火与回火	37
第四节 钢的表面热处理	41
第五节 热处理新技术简介	43
思考题与练习题	44
第四章 铸造	45
第一节 概述	45
第二节 砂型铸造	46
第三节 特种铸造简介	51
思考题与练习题	58
第五章 锻压	59
第一节 锻造	59
第二节 锻造基本知识	67
第三节 板料冲压与其它锻压方法	68
思考题与练习题	72
第六章 焊接	74
第一节 焊条电弧焊	74
第二节 熔焊基本知识	80
第三节 其它焊接方法简介	83
思考题与练习题	85
第七章 钳工基础知识	87
第一节 钳工常用设备和工作场地	87
第二节 钳工操作	90
第三节 机械装配	105
思考题与练习题	111
第八章 金属切削机床与切削加工	113
第一节 金属切削机床的分类及型号	113
第二节 金属切削加工基本知识	116
第三节 车削加工	121
第四节 铣削和刨削加工	128
第五节 钻削及镗削加工	133
第六节 磨削加工	136
思考题与练习题	140
第九章 特种加工和数控加工技术简介	142
第一节 特种加工	142
第二节 数控加工技术	149
思考题与练习题	151
附录	152
实验一 低碳钢的拉伸试验	152
实验二 金属材料的硬度试验	155
实验三 铁碳合金平衡组织观察	157
实验四 钢的热处理	159
附表 压痕直径与布氏硬度	160
参考文献	162

绪 论

“金属工艺学”是研究常用金属材料性能和加工工艺的一门综合性技术基础课。在经济全球化、信息社会化、产业知识化的大趋势下，推动金工课程的改革也势在必行。掌握一定的金工知识和操作技能已成为除机械制造专业之外其它各专业学生的必备素质。学生通过该课程的学习，可获得常用工程材料、金属加工和热处理的基本知识，初步具有金属加工的操作技能，为学习后续课程及形成综合职业能力打下必要的基础。

“金属工艺学”和所有其它学科一样，是在生产实践中逐步发展起来的。我国人民在金属工艺方面早就有了卓越的成就。我国是世界上应用铸造技术最早的国家，在春秋时期我国已用铸铁作农具，比欧洲国家早 1800 多年；河南安阳出土的青铜祭器大方鼎，是 3000 多年前商朝冶铸的，重达 875kg，其上雕有精美细致的花纹。我国也是世界上应用焊接技术最早的国家，在河南辉县战国墓中出土的铜器上，其本体、耳、足都是用锡钎焊和银钎焊连接的，比欧洲国家应用钎焊技术早 2000 多年。我国也是世界上应用锻造技术较早的国家，河北藁城出土的商朝铁刃铜钺，说明在 3000 多年前我国就掌握了锻造技术。明朝宋应星所著《天工开物》一书，内载有冶铁、锻铁、铸铁、淬火等各种金属加工方法，是世界上有关金属工艺最早的科学著作之一。

近 200 多年来，金属工艺技术在世界上得到迅速发展。英国人为制造蒸汽机而研制的汽缸镗床的问世，标志着人类用机器代替手工操作时代的开始。而后相继出现了各种机床和刀具，推动了工业社会的发展。

中华人民共和国成立以后，我国的金属工艺技术，不论在理论上还是技术上都得到迅速发展。不但建立了汽车、拖拉机、精密机床、电子仪表、石油、化工、飞机、船舶、重型机械等许多现代化的生产基地，为农业、工业、国防、交通和科研提供了大量的设备和装备，特别是人造地球卫星、洲际弹道导弹的制造和发展，20 世纪末发射成功的“神舟二号”宇宙飞船及纳米材料科研领域取得的一系列有国际影响的创新性研究成果等，都标志着我国科技水平的提高。但与世界发达国家相比，我国在生产水平、管理水平和科学技术等方面仍存在很大的差距，因此，我们更要以经济建设为中心，坚持改革开放，发奋图强，为赶上和超过世界先进水平而贡献我们全部智慧和力量。

“金属工艺学”课程具有实践性和技术性强的特点，在中等职业技术学校开设该课程，更应使其具有较强的职业、专业特色，在强调处理好理论和实践关系一般原则的同时，大力突出技能的培养和实际动手能力的锻炼更为重要。在有条件的学校可以把理论教学的课堂搬到实验室、实习现场进行，边讲边做，将有利于培养学生的实际操作能力。本教材在充分考虑到一般中等职业学校的学生在学习本课程之前均缺少机器生产的实际知识和技能，对机械制造的生产过程了解不多的情况，故在编写过程中，力求做到使理论讲授与实习操作同步进行。根据这一特点，开设本课程时应做到：在教学内容上不论在理论讲授或实践操作中，都应以毛坯和零件的成形和改性作主要内容突出出来，较好地理解掌握各种成形工艺与改性工艺的内在联系、本质区别、主要特点，并掌握一定具体的实际操作技能；在教学方法上要突出实

实际操作技能的培养和锻炼，做到在实践基础上掌握相关的理论，在有关理论的指导下掌握操作技能；注意分析和升华在实践中获得的感性认识，使之上升到理性认识。在教学手段及教学环节上，本课程的开设也可按一般中等职业学校开设该课程的方法，即先安排教学实习，后集中时间课堂教学。在学校有一定规模的实验室和现场实习的条件下，在模块式教学计划指导下也可集中时间理论讲授、实际操作同步进行，一气呵成。例如，可按教材章节顺序开展教学，第一、二章教学可在实验室完成（包括理论讲授、实际操作、考核等），如当讲到金属的力学性能中的拉伸曲线时，就可以在实验室进行实际的拉伸试验，以使分清拉伸的各个阶段及各阶段的意义，就不难理解所得出的结论了；再如讲减速器装配过程时，可以将减速器的实物（或模型）拿到理论课的课堂上（在没有实习场地的条件下），教师拆装后，再让学生自己动手拆装，使理论教学和实习教学同步进行，既活跃了理论课堂，又使学生提高了动手能力。其余各章，可分别在有关生产现场进行，适当配合有关的实验、实习、电化教学、多媒体教学、参观等教学手段，使学生通过整段集中的课程教学，对课程的理论知识和实践技能达到教学要求，并通过考核。

通过本课程的学习，应达到以下一些基本要求：

1) 了解金属材料的一般性能、应用范围和选择原则，对有关材料的一些性能能独立操作测定。

2) 初步掌握毛坯选择和有关机械零件主要加工方法、工艺设计知识和一定的加工操作技能。

3) 初步掌握各种零件的结构工艺性和常用金属材料的性能特点，正确选用材料，施以合适的热处理及机加工工艺，以满足不同使用条件的要求。

本课程的实践性和应用性较强，在学习上要密切联系实际，运用在实习教学、电化教学、多媒体教学中所获得的感性知识和一定的操作技能，加深对教学内容的理解。在学习中还要注意与其它课程的联系，课后要及时复习，认真完成作业，并在后续课程、课程设计、毕业设计等教学环节中反复练习、巩固提高，才能达到本课程的目的要求。

第一章 金属材料的力学性能

机械设备、工程结构、工具等在使用过程中一般都要承受各种外力的作用，从而使它们发生变形甚至遭到破坏。为了保证其正常使用，要求采用的金属材料必须具备一定的力学性能。金属材料的力学性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性，如强度、硬度、塑性、冲击韧度、疲劳强度等。金属材料的力学性能是材料选用、零件设计的重要依据。

金属材料承受外力作用的形式有拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切、冲击及各种外力组合等。材料承受的外力通常称为载荷（也称为负荷），根据其性质不同，载荷可分为静载荷、动载荷两类。静载荷是指外力的大小和方向不变或变动极缓慢的载荷，如拉伸、压缩、扭转、剪切等。动载荷包括冲击载荷和交变载荷，冲击载荷是指突然增加的载荷，交变载荷则是指大小和方向作周期变化的载荷。

金属材料在工作中的受力情况是相当复杂的，要用一个能体现各种工作条件的力学性能指标来反映其力学性能的优劣是不可能的。人们经过长期的实践，通过许多的试验方法，建立了一系列的指标来反映金属材料的力学性能。常用的试验方法有拉伸试验、硬度试验、冲击试验和疲劳试验等。

力学性能与金属材料的选用有密切关系，它是选材的先决条件。只有选用力学性能指标满足使用要求的材料，才能保证其制造的机械零件、工程结构件安全可靠，经久耐用。所以力学性能通常是选材的主要依据，同时也是选择代用材料的依据。采用强度高、性能好的材料对减轻零件或构件的自重、节约材料以及提高设备和工程结构的使用寿命都有重要的意义。

第一节 强度与塑性

一、强度

（一）强度的概念

金属材料在静载荷作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。

金属材料在外部静载荷作用下，内部会同时产生一种抗力（也称内应力），它的数值大小与外力相等。金属材料单位面积上所受的应力简称为应力，通常用符号 σ 表示。其计算式为：

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

式中 F ——试样所受的载荷（N）；

A ——试样的横截面积（ m^2 ）。

在国际单位制中，应力的单位为帕斯卡，简称帕，符号为 Pa， $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ （牛顿/米²）。由于该单位太小，所以工程上常用兆帕（MPa）作应力单位， $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$ 。

（二）强度的分类

根据材料承受载荷的不同，其强度可分为拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切及各种组合强度等。

(三) 拉伸试验与拉伸曲线分析

拉伸试验是最基本、应用最广泛的一种力学性能试验方法，国家标准 GB228—1987 对此试验作了具体规定。

1. 拉伸试样

(1) 试样的形状 试样的形状有圆形、板形和管形等几种，大多使用圆形。拉伸试验过程中用以测量试样伸长的两标记之间的长度，称为标距。试样标距以 l_0 表示，试样直径以 d_0 表示。

(2) 试样的标距长度 试样有长试样和短试样两种。长试样的标距长度有 100mm 和 200mm 两类；短试样的标距长度有 50mm 和 80mm 两类。其中长试样标距为 100mm，短试样标距为 50mm 的两种应用最多。

把一定尺寸和形状的金属试样（如图 1-1 所示）装夹在试验机上，然后对试样逐渐施加载荷（试验力），直至把试样拉断为止。

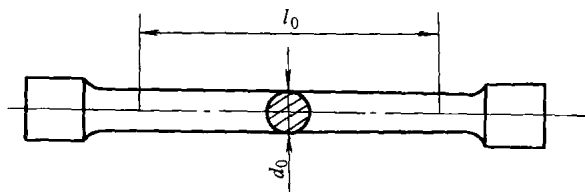


图 1-1 标准拉伸试样

2. 拉伸试验与拉伸曲线

根据试样在拉伸过程中承受试验力的大小和产生变形量之间的关系，可测出该金属的拉伸曲线，并由此测定该金属的强度及塑性。

图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，可分为弹性变形、塑性变形直至断裂三个阶段。

(1) 弹性变形阶段 当试验力不超过 F_p 时，拉伸曲线 Op 为一直线，即试样的伸长量与试验力成正比地增加，完全符合虎克定律，试样处于弹性变形阶段。试验力在 $F_p \sim F_e$ 之间，试样的伸长量与试验力已不再成正比关系，拉伸曲线不成直线，但试样仍处于弹性变形阶段。

(2) 弹塑性变形阶段 试验力在 F_e 后，试样开始有塑性变形产生，当试验力达到 F_s 时，拉伸曲线上出现了水平的或锯齿形的线段，这种现象称为“屈服”。

(3) 断裂 当试验力继续增加到某一最大值 F_b 时，试样的局部截面积缩小，产生所谓“缩颈”现象。由于试样局部截面逐渐减小，故试验力也逐渐降低，当达到拉伸曲线上 k 点时，试样断裂。

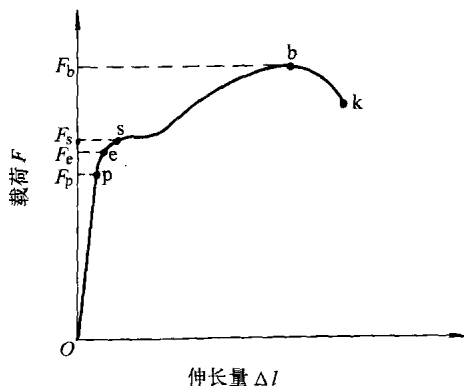


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

材料的断裂有两种形式：脆性断裂和韧性断裂。断裂前没有明显塑性变形的断裂，称为脆性断裂（如铸铁等）；经过大量塑性变形之后才发生断裂的则称为韧性断裂（如低碳钢等）。

3. 屈服点与屈服强度

(1) 屈服点 (σ_s) σ_s 是材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值，即：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-1)$$

式中 σ_s ——屈服点 (MPa)；

F_s ——试样发生屈服时的试验力 (N)；

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

(2) 屈服强度 ($\sigma_{0.2}$) 工业上使用的某些金属材料 (如高碳钢和某些经热处理后的钢等), 在拉伸试验中没有明显的屈服现象发生, 故无法确定其屈服点 σ_s 。按 GB228—1987 规定, 屈服强度为试样标距部分产生 0.2% 残余伸长时的应力值, 即:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0} \quad (1-2)$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——屈服强度 (MPa);

$F_{0.2}$ ——试样标距产生 0.2% 残余伸长时的载荷 (N);

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

通常机械零件的失效形式不仅是断裂, 而是在发生明显塑性变形时, 零件即丧失其应有的功能。因此, 屈服点或屈服强度就成为零件设计时的主要依据, 同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

4. 抗拉强度

抗拉强度 σ_b 是指材料在断裂前所能承受的最大应力值, 即:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-3)$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa);

F_b ——试样在断裂前所能承受的最大试验力 (N);

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

脆性材料在拉伸过程中, 一般不产生缩颈现象。因此, 抗拉强度 σ_b 就是材料的断裂强度, 它是表示材料抵抗断裂的能力。抗拉强度是零件设计时的重要依据, 同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

二、塑性

1. 塑性的概念

塑性是指金属材料在静载荷作用下可产生永久变形而不破坏的能力。

2. 常用的塑性指标

伸长率 (δ) 和断面收缩率 (ψ) 是表示材料塑性好坏的指标。

(1) 伸长率 (δ) 伸长率 是指试样拉断后标距增长量与原始标距之比, 即:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 l_1 ——试样断裂后的标距;

l_0 ——试样原始标距。

材料的伸长率是随标距的增加而减小的, 所以同一材料的短试样要比长试样所测得的伸长率大 20% 左右, 对局部集中变形特别明显的材料, 甚至可大到 50%。因此, 用长、短两种试样求得的伸长率应分别以 δ_{10} (或 δ) 和 δ_5 表示。

(2) 断面收缩率 (ψ) 断面收缩率 是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比, 即:

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 A_1 ——试样断裂处的最小横截面积 (mm^2);

A_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

3. 塑性指标的意义

塑性是工程技术上选用材料的重要依据。选材时除有强度要求外,还要求材料具有一定的塑性。

(1) 生产的需要 塑性是材料进行压力加工的前提条件和决定变形加工量的重要依据。金属材料具有良好的塑性,适合于各种压力加工,如冷冲压、轧制、挤压、拉拔、锻造等。

(2) 安全的需要 金属材料具有一定的塑性,即使在使用过程中超载,也不至于立即发生断裂,可增加用其制成的机械、车辆和构件的安全性。

第二节 硬 度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标。生产中测量硬度的方法很多,最常用的是压入法。它是用一定几何形状的压头,在一定载荷作用下,压入金属材料表面,根据压入程度来测量其硬度值的大小。常用的方法有布氏硬度试验法和洛氏硬度试验法等,都是在相应的专用实验仪器上进行金属材料硬度测定。

一、布氏硬度

1. 试验原理

布氏硬度试验法是用一直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,在规定试验力 F 的作用下压入被测试金属表面(如图 1-3 所示),停留一定时间后卸除试验力,测量被测试金属表面上所形成的压痕直径 d ,由此计算压痕的球缺面积 $A_{\text{球}}$,然后再求出压痕的单位面积所承受的平均压力 ($F/A_{\text{球}}$),以此作为被测试金属的布氏硬度值。

2. 表示方法

用符号 HBS (或 HBW) 表示,使用淬火钢球压头时用符号 HBS,使用硬质合金球压头时用符号 HBW。

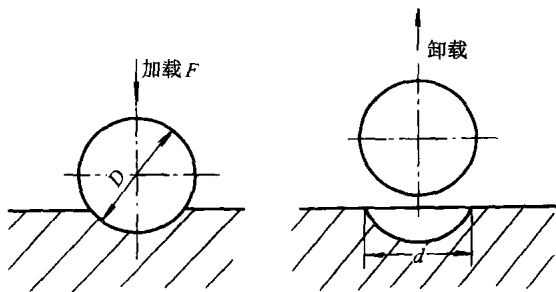


图 1-3 布氏硬度试验原理图

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

式中 F ——试验力 (N);

$A_{\text{球}}$ ——压痕面积 (mm^2)。

3. 试验的具体要求和应用范围

在进行布氏硬度试验时,应根据被测试金属材料的种类和试样厚度,选用不同大小的球体直径 D 、施加试验力 F 和保持时间。按 GB231—1984 规定,球体直径有 10mm、5mm、2.5mm、2mm 和 1mm 计 5 种;试验力与球体直径平方的比值 ($0.102F/D^2$) 有 30、15、10、5、2.5、1.25 和 1 共 7 种。可根据金属材料的种类和布氏硬度范围,按表 1-1 选定 F/D^2 值。试验力的保持时间为:黑色金属 10~15s,有色金属及合金 30s,布氏硬度值小于 35 时为 60s。

表 1-1 布氏硬度试验规范 (GB231—1984)

材料种类	布氏硬度使用范围 HBS (W)	球直径 D/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F/N	试验力保持时间 /s	注
钢、铸件	≥ 140	10	30	29420	10	压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍。 试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后, 试样支撑面应无可见变形痕迹
		5		7355		
		2.5		1839		
	< 140	10	10	9807	10~15	
		5		2452		
		2.5		613		
非铁金属材料	≥ 130	10	30	29420	30	
		5		7355		
		2.5		1839		
	35~130	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
	< 35	10	2.5	2452	60	
		5		613		
		2.5		153		

由式 (1-6) 可见, 钢球直径 D 和试验力 F 选定后, 硬度值只与压痕直径 d 有关。 d 越大, 布氏硬度值越小; 反之, d 越小, 硬度值越大。所以在试验时硬度值不需计算, 只要用读数显微镜测得压痕直径 d , 就可以直接查表得到硬度值 (见附表)。

测量压痕直径时, 使用读数显微镜测出试样压痕上相互垂直的两条直径 d_1 、 d_2 , 并求出平均直径 $d_{\text{平均}}$ 后, 查表得到硬度值, 一般只标出其大小而不注明单位。

$$d_{\text{平均}} = \frac{1}{2} (d_1 + d_2)$$

布氏硬度试验法的压痕面积较大, 可反映出较大范围内被测金属的平均硬度, 故试验结果较精确。但不宜对成品或薄片金属进行测定, 同时受压头 (钢球) 本身强度和硬度所限, 只能用于测量 $\text{HBS} < 450$ 、 $\text{HBW} < 650$ 范围内的材料。

二、洛氏硬度

1. 试验原理

与布氏硬度试验不同, 洛氏硬度试验是以压头压入被测材料表面的压痕深度来表示材料的硬度。鉴于布氏硬度测量存在的缺点, 洛氏硬度的压头分为硬质和软质两种, 即锥顶角为 120° 的金刚石和直径为 1.588mm 的淬火钢球。其具体试验方法是: 用锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球为压头, 先施加初试验力 (98.07N) 压住试样以使压头与试样表面紧密接触后, 再施加主试验力压入试样表面, 如图 1-4 所

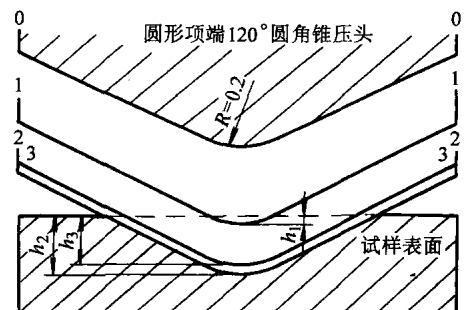


图 1-4 洛氏硬度试验原理

示。压痕深度越深，表明材料硬度越低；反之，压痕深度越浅，材料的硬度越高。

2. 表示方法

为了能使用同一硬度计测量从极软到极硬材料的硬度，可采用不同的压头和载荷，组成了几种不同的硬度标尺，其中最常用的是 A、B、C 三种标尺，用符号 HRA、HRB、HRC 表示，应用最广泛的是 HRC。

洛氏硬度用符号 HR 表示。在试验操作时，从洛氏硬度试验机的刻度盘上直接读出硬度值，洛氏硬度试验规程国家标准有统一规定。

3. 试验的具体要求和应用范围

常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用

标尺	硬度符号	所用压头	总试验力/N	测量范围	应 用 范 围
A	HRA	金刚石圆锥体	588.4	20~88	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢等
B	HRB	φ1.588mm 钢球	980.7	20~100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁等
C	HRC	金刚石圆锥体	1471	20~70	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢等

洛氏硬度试验操作简便、迅速，压痕小，适合于大批量成品件的检验；对于表面质量要求不很高的工件，可直接测量表面硬度而不影响其使用；也可测量较薄材料的硬度。所以洛氏硬度试验应用广泛，但所测量的硬度值精确性较差。

4. 布氏硬度与洛氏硬度的关系

由于各种硬度试验的评定不同，因此相互间没有理论的换算关系。但根据试验结果，可以获得下列粗略的换算公式：

当硬度在 200~600HBS（或 HBW）范围内， $HRC \approx \frac{1}{10}HBS$ （或 HBW）。

目前测量硬度的方法除以上介绍的之外，常用的还有维氏硬度（HV）、肖氏硬度测量法等。维氏硬度的测试原理与布氏硬度测试原理大致相同。但它是用一个相对面夹角为 136°的金刚石正四棱锥体压头，在规定的试验力 F 作用下压入被测金属表面，保持一定时间后卸除试验力的方法。

第三节 冲击韧性与疲劳强度简介

一、冲击韧性

工程上将短时间作用于工件上的载荷称为冲击载荷，将材料承受冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性。对材料冲击韧性的评定也是通过试验方法来进行的，以标准试样在冲击载荷作用下发生断裂所消耗的能量数值来作为衡量材料冲击韧性的指标，以 A_K 表示，称作冲击吸收功，单位为 J。在单位截面上的冲击吸收功称为冲击韧度，以 α_K 表示。冲击韧度主要取决于塑性、硬度，尤其是温度对冲击韧度的影响具有更重要的意义。

工程上把冲击韧度低的材料称为脆性材料，冲击韧度高的材料称为韧性材料。脆性材料在断裂前无明显的塑性变形，断口较平整，有金属光泽；韧性材料在断裂前有明显的塑性变

形，断口呈流线状，无光泽。

冲击韧性也是评价材料力学性能的重要指标之一，目前用冲击试验来检验冶炼、热处理及各种热加工产品的冲击韧性。

二、疲劳强度

工程上把当外力作用使材料内部应力呈周期性变化时的载荷称作交变载荷。材料在多次交变载荷作用下发生断裂被称作疲劳破坏，在达到疲劳破坏前的最大应力称为该材料的疲劳强度。由于材料的疲劳强度远低于其屈服强度，所以对于工程构件而言极具危险性，会造成严重的后果。最典型的疲劳破坏实例是汽车上的钢板弹簧。在工程上约有 80%~90% 的零件是由于疲劳破坏而导致失效的。

疲劳强度用 σ_{-1} 表示。为防止疲劳断裂的产生，必须设法提高零件的疲劳强度。疲劳强度除与选用的材料的本性有关外，还与零件的结构设计、表面粗糙度及表面强化处理有关。

思考题与练习题

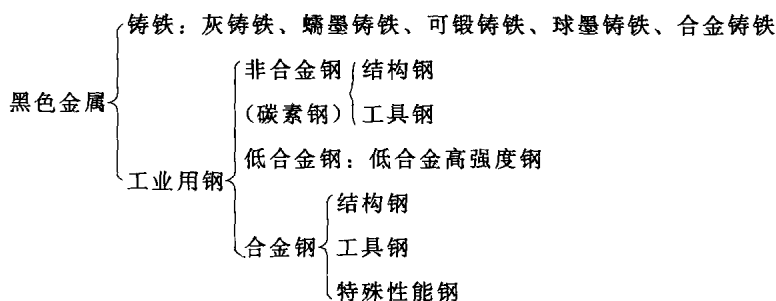
1. 金属材料的强度、硬度、塑性、冲击韧性、疲劳强度各用什么指标衡量？这些指标有何物理意义？
2. 已知两种材料的伸长率分别为 $\delta_{10}=25\%$ ， $\delta_5=25\%$ ，试问这两种材料的塑性是否一样？为什么？
3. 标准规定，15 钢的力学性能应不低于下列数值： $\sigma_b=275\text{MPa}$ ， $\sigma_s=225\text{MPa}$ ， $\delta_5=27\%$ ， $\psi=55\%$ 。现购进的钢材制成 $d_0=10\text{mm}$ 的圆形短试样做拉伸试验，测得下列数据： $F_b=34500\text{N}$ ， $F_s=21100\text{N}$ ， $l_1=65\text{mm}$ ， $d_1=6\text{mm}$ 。试问这批钢材的力学性能是否合格？
4. 在生产实践中，为什么硬度试验比拉伸试验得到更广泛的应用？

第二章 常用工程材料

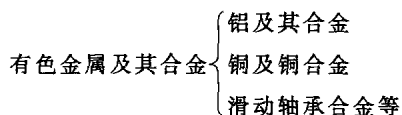
人类的生产和社会活动与材料是密切相关的，对材料的掌握、使用状况不仅是社会文明的标志，也是衡量一个民族和国家科学技术水平的标准。据统计，目前人类所使用的材料已达 40 万余种，每年还在以约 5% 的速率不断涌现一些新型材料，而随着现代科技的发展，这个增长速率还有成倍增长的趋势。材料可以有許多不同的分类方法，如按化学组成、按质量、按组织和性能、按用途等分类，在工程中所使用的材料通常是采用按其化学组成来进行分类的方法。

第一节 工程材料的分类

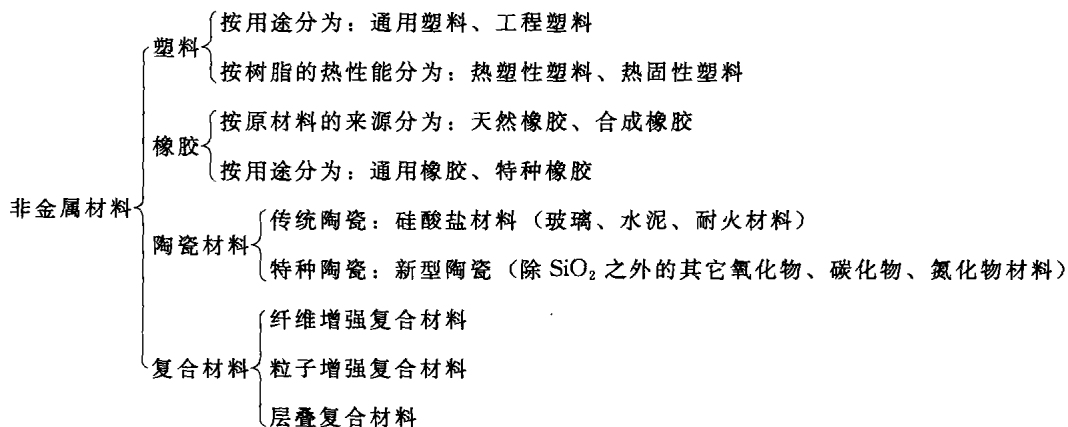
一、黑色金属分类



二、有色金属及其合金分类



三、非金属材料分类



实际工程上所使用的材料种类繁多，但是由于金属材料来源比较充足，并具有许多良好的使用性能和工艺性能，所以在目前仍得以广泛应用。

第二节 钢 材

一、铁碳合金

碳的质量分数 w_C 在 $0.0218\% \sim 2.11\%$ 范围内的铁碳合金称为钢，在 $2.11\% \sim 6.69\%$ 范围内的铁碳合金称为铸铁。

(一) 铁碳合金的基本组织

钢铁材料的性能与其内部组织结构有关。从宏观看，金属是由很多不同方向的微粒堆砌而成，构成这些金属的微粒，称为晶粒（小晶体）。晶粒与晶粒之间的交界称为晶界。从微观看，铁和碳的原子在固态下都按一定次序向各方向重复排列。为了便于分析晶体中原子排列的规律，常用通过各原子中心的一些假想连线把它们在空间的排列形式描绘出来，各连线的交点称为结点，在各结点上的小圆圈表示各原子的位置。把这种表示晶体中原子排列形式的空间格子称为晶格，组成晶格的最基本的独立的单元，称为晶胞，如图 2-1a 所示。

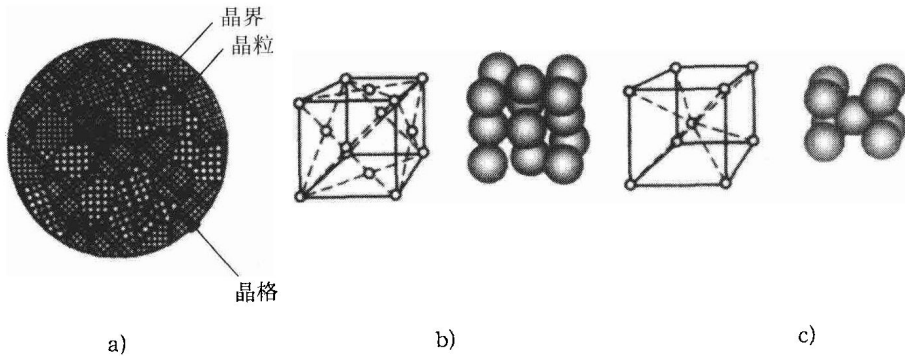


图 2-1 金属的晶体结构

a) 晶格、晶粒、晶界 b) 面心立方晶格、晶胞 c) 体心立方晶格、晶胞

固态下的纯铁，当温度在 $1394 \sim 912^\circ\text{C}$ 时，原子排列成面心立方晶格，如图 2-1b 所示，把具有这种晶格的铁称为 $\gamma\text{-Fe}$ ；当温度为 912°C 以下时，原子排列成体心立方晶格，如图 2-1c 所示，把具有这种晶格的铁称为 $\alpha\text{-Fe}$ 。

铁碳合金中铁和碳的结合方式有：碳溶入 $\gamma\text{-Fe}$ （或溶入 $\alpha\text{-Fe}$ ）形成的固溶体；碳和铁化合形成化合物；固溶体与化合物混合形成机械混合物。

铁碳合金受化学成分和温度等因素变化的影响，可形成铁素体、奥氏体、渗碳体、珠光体和莱氏体等不同组织。

1. 铁素体

碳溶入 $\alpha\text{-Fe}$ 中所形成的固溶体称为铁素体，又称为纯铁体、 α 固溶体，通常以符号“F”表示。

碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度很小，在 727°C 时，溶解度最大 ($w_C = 0.0218\%$)。铁素体的性能与纯铁相似，即具有较好的塑性和韧性， $\delta = 30\% \sim 50\%$ ， $a_K = 160 \sim 200 \text{ J/cm}^2$ ；强度、硬度较低， $\sigma_b = 180 \sim 280 \text{ MPa}$ ，硬度为 $50 \sim 80 \text{ HBS}$ 。铁素体在 770°C 以下具有磁性，在 770°C 以上则失去磁性。

2. 奥氏体

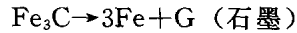
碳溶解在面心立方晶格的 γ -Fe 中所形成的固溶体称为奥氏体，以符号 A 表示。

碳在 γ -Fe 中的溶解度较大，1148°C 时在 γ -Fe 中的溶解度最大 ($w_C=2.11\%$)。随温度下降，溶解量逐渐减少，在 727°C 时，溶碳量为 $w_C=0.77\%$ 。

奥氏体具有良好的塑性， $\delta=40\%\sim 50\%$ ，硬度 170~220HBS，具有较低的变形抗力。一般奥氏体在高温下存在，不具磁性。它是绝大多数钢种在高温下进行压力加工时所需要的组织。

3. 渗碳体

铁与碳的化合物 Fe_3C 称为渗碳体，以符号 Fe_3C 表示。渗碳体中碳的质量分数为 6.69%，熔点为 1227°C，渗碳体硬度很高，强度很低， $\sigma_b=35\text{MPa}$ ，塑性、韧性指标几乎为零，因此脆性很大。 Fe_3C 在钢和铸铁中与其它相共存时，可以片状、颗粒状和网状等形式存在，故其数量、形状、大小及分布状况对钢的性能有很大影响，是钢中的主要强化相，可提高钢的硬度、强度和耐磨性。另外， Fe_3C 在一定的条件下会发生分解，形成自由状的碳即石墨，反应式为



Fe_3C 的这一分解，在铸铁中有实际意义。

4. 珠光体

当碳的质量分数为 0.77% 的奥氏体冷却到稍低于 727°C 时，在固态下就会同时析出铁素体与渗碳体。这种由铁素体与渗碳体组成的机械混合物，由于在金相显微镜下观察，其呈现有贝母般的光泽，故称为珠光体，用符号 P 表示。

珠光体的性能取决于组成相的数量、大小和分布。一般片状珠光体的抗拉强度 $\sigma_b=600\sim 800\text{MPa}$ ，伸长率 $\delta=20\%\sim 25\%$ ，硬度为 170~230HBS，是钢中主要组织之一。

5. 莱氏体

碳的质量分数为 4.3% 的液体铁碳合金冷却到 1148°C 时，将从液体中同时结晶出奥氏体和渗碳体。奥氏体与渗碳体的机械混合物，称为高温莱氏体，用 L_d 表示。这种高温莱氏体中的奥氏体在一定的温度下 (727°C) 将转变成为珠光体。由珠光体与渗碳体组成的机械混合物称为低温莱氏体，用 L_d' 表示。因莱氏体中含有大量的硬而脆的渗碳体，所以硬度很高，而塑性极差。常温下具有莱氏体组织的铁碳合金，称为白口铸铁。

(二) 铁碳合金状态图

状态图是研究铁碳合金成分、温度、组织三者之间关系的图形，它是研究钢和铸铁组织与性能的基础，是选择钢铁材料的依据，对制定铸、锻、焊、热处理等热加工工艺有着重要的指导意义。

1. 简化的铁碳合金状态图

到目前为止，几乎所有的状态图都是在实验室测得的。常用热分析法、硬度法、磁性法等实验方法相互配合而得到。

实际生产中使用的铁碳合金， w_C 一般不超过 5%。因为，当 $w_C>5\%$ 之后，组织中含有大量又硬又脆的渗碳体，无实用价值；但当 $w_C<$

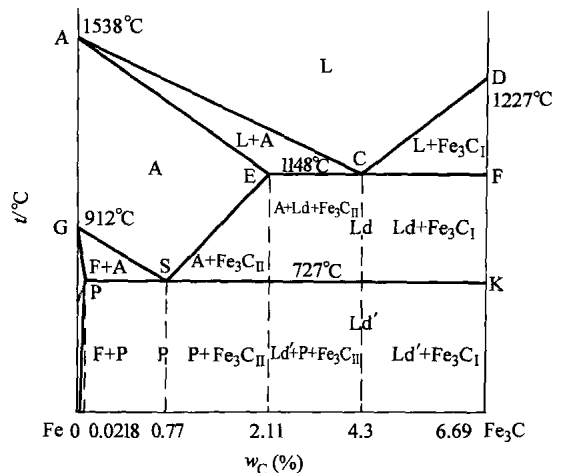


图 2-2 简化 Fe- Fe_3C 合金状态图