



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

(非机械类)

主编 罗会昌 王俊山



高等教育出版社

内容简介

本书是根据 2000 年 8 月教育部颁布的《中等职业学校金属工艺学教学大纲(试行)》编写的。全书包括理论教学环节,即金属材料及热处理、非金属材料,计 24 学时;实践教学环节,即金工实验,计 6 学时;金工实习可满足安排四周左右实习内容的需要。

本书供中等职业学校(3、4 年制)工科非机械类专业作为课堂教学和金工实验、金工实习用教材,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/罗会昌,王俊山主编. —北京:高等教育出版社,2001(2007 重印)

ISBN 978-7-04-009877-8

I. 金… II. ①罗…②王… III. 金属加工-工艺-专业学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 044389 号

金属工艺学(非机械类)

主编 罗会昌 王俊山

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京外文印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 12.75
字 数 300 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2001 年 8 月第 1 版
印 次 2007 年 5 月第 4 次印刷
定 价 12.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 9877-00

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作了一些新的尝试。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 年 5 月

前 言

本书是根据教育部 2000 年 8 月颁布的《中等职业学校金属工艺学教学大纲(试行)》的要求,并在调查的基础上编写的。

本书汲取中等职业学校(4 年制)工科非机械类专业通用罗会昌主编的《金属工艺学》和王俊山主编的《金工实习》教材的编写经验,结合非机械类专业中有一部分专业只讲“金属材料及热处理”和有相当一部分专业仅安排四周左右的金工实习,而不开设金属工艺学课程的实际,将“金属材料及热处理”、“非金属材料”计 24 课时作为课堂教学内容,其余部分按金工实习教材和金工实验指导书形式编写,这是一次把课堂教学内容、金工实习和金工实验编成为一本书的尝试。

本书具有下列特点:

(1) 将课堂理论教学、金工实习教学和金工实验有机地融为一体,并使其配合得紧密、合理,力求具有“宽、精、新”的特色。

(2) 教材中淡化了理论知识。例如,删除了热处理基本原理、高分子化合物的分子链结构,简化了合金元素在钢中的作用以及有关不锈钢和耐热钢等部分内容,并强调理论联系实际,突出应用性、工艺性和操作性,力求贯彻“以能力为本位”的教育思想。

(3) 编写中力求文字表述通俗易懂,简明扼要,图文对照,以便于教学,易于自学。

(4) 每章后均附有复习思考题,不但能巩固所学知识,而且通过对问题的分析和解决,启发学生积极思维,加深对知识的理解。

(5) 尽量采用最新的国家标准、部颁标准和行业标准,书中计量单位采用法定计量单位。

(6) 倡导采用先进的教学方法,增强直观性,提高教学质量。

本书供中等职业学校(3、4 年制)工科非机械类专业作为课堂教学、金工实验和金工实习用教材。相当一部分只进行“金工实习”的专业,也能使用本书,课堂教学内容可供学生自学用。本书也可供其他有关专业作教学用书及有关工程技术人员参考。

本书由南京化工学校罗会昌(绪论,第四、五、六、八章)、泸州化工学校欧阳熙(第一、二、三、七章)、山西轻工业学校王俊山(第十、十一章)、陕西省咸阳纺织工业学校苏生荣(第十二、十三、十四章)、兰州石化职业技术学院王琳(第九章、附录)共同编写,由罗会昌、王俊山主编。高等教育出版社聘请钢铁研究总院教授级高工马燕文和九江职业技术学院副教授郁兆昌担任本书主审。编写过程中,得到全国中等专业学校金属工艺学课程组、兄弟院校、科研单位和工厂有关同志的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

本书由全国中等职业教育教材审定委员会审定通过,赵国景教授任责任主审,张连凯、张勤副教授审稿。他们对提高书稿质量起了重要作用,在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者和教师批评指正。

编 者

2001 年 1 月

目 录

绪论	1	第四节 可锻铸铁、蠕墨铸铁和合金铸铁	
第一章 金属的力学性能	3	简介	57
第一节 强度和塑性	3	复习思考题	60
第二节 硬度	5	第七章 有色金属及其合金	61
第三节 韧性	7	第一节 铝及铝合金	61
第四节 疲劳	8	第二节 铜及铜合金	65
复习思考题	8	第三节 轴承合金	68
第二章 铁碳合金状态图	10	复习思考题	70
第一节 合金的基本概念	10	第八章 非金属材料	71
第二节 Fe-Fe ₃ C 状态图	12	第一节 塑料	71
复习思考题	15	第二节 复合材料	73
第三章 非合金钢	16	第三节 橡胶与陶瓷简介	75
第一节 碳素钢的分类	16	复习思考题	76
第二节 碳素钢的牌号、性能和用途	17	第九章 常用量具	77
复习思考题	21	第一节 游标卡尺与千分尺	77
第四章 钢的热处理	22	第二节 其他常用量具简介	79
第一节 钢的整体热处理	22	复习思考题	80
第二节 钢的表面热处理和化学热处理	27	第十章 钳工加工	81
第三节 热处理新技术简介	30	第一节 概述	81
复习思考题	32	第二节 划线	82
第五章 低合金钢和合金钢	33	第三节 鑿削	87
第一节 合金元素对钢的组织 and 性能的影响	33	第四节 锯削	90
第二节 低合金钢分类和低合金高强度结构钢	34	第五节 锉削	93
第三节 合金钢的分类和牌号表示方法	37	第六节 钻孔	97
第四节 合金结构钢	39	第七节 攻螺纹与套螺纹	102
第五节 合金工具钢和高速工具钢	42	第八节 钳工操作示例	104
第六节 其他合金钢	44	复习思考题	108
复习思考题	50	第十一章 机械加工	109
第六章 铸铁	51	第一节 概述	109
第一节 铸铁的分类、石墨化及其影响因素	51	第二节 车削加工	115
第二节 灰铸铁	53	第三节 铣削加工	129
第三节 球墨铸铁	56	第四节 刨削加工	138
		第五节 磨削加工	143
		第六节 数控机床与机械制造新技术简介	148
		复习思考题	149

第十二章 铸造	151	第十四章 焊接	177
第一节 概述	151	第一节 概述	177
第二节 砂型铸造	152	第二节 焊条电弧焊	178
第三节 特种铸造与铸造新技术简介	164	第三节 其他焊接方法简介	184
复习思考题	165	复习思考题	188
第十三章 锻压	167	附录 实验	189
第一节 概述	167	实验一 金属力学性能实验	189
第二节 自由锻	169	实验二 铁碳合金平衡组织观察	192
第三节 板料冲压与锻压新技术简介	174	实验三 钢的热处理实验	192
复习思考题	176	主要参考文献	194

绪 论

“金属工艺学”是研究工程上常用材料性能和加工工艺的一门综合性的技术基础课。

工程材料及其加工工艺与人类进步有着密切的联系，如石器时代、青铜器时代和铁器时代。一切工业生产，都离不开工程材料及其加工工艺，它们已成为现代工业和科学技术的基础，只有工程材料及其加工工艺的发展，才会促进工业的发展和科学技术的进步。它们在人们的日常生活中，在国家安全中都有着不可低估的作用。因此，研究工程材料及其加工工艺是非常重要的。

工程材料及其加工工艺是在生产实践中发展起来的。我国远在四千多年前就开始使用铜，1939年在河南省安阳武官村出土的司母戊大方鼎，相传是商王文丁为祭祀其母亲“戊”而铸的青铜祭器，鼎重 875 kg，并铸有精美的花纹。

早在公元前 513 年，晋国就已铸成了有刑书的大铁鼎，称为铸刑鼎，这是关于我国铸铁技术较早的记载。与铸刑鼎仅差数十年，出现了可锻铸铁铲，这是世界上较早的可锻铸铁件。而在欧洲，直至公元 13 世纪末至 14 世纪初才出现生铁，这比我国要晚一千九百多年。

1965 年 12 月，在湖北省出土的越王勾践青铜剑，虽然在地下深埋了二千四百多年，这把剑却没有一点锈斑，出土时完好如初，寒光逼人。在战国时，有“以冶铁致富而富甲全国者”，那时制出的干将与莫邪两把名剑，“用之切玉，如切泥焉”，说明当时已掌握了炼钢、锻造和热处理技术。

在唐朝(约公元 7 世纪)时，我国已应用锡焊和银焊，而欧洲直到 17 世纪才有这种钎焊方法。

根据文字记载，公元 1668 年，我国切削加工已发展到使用直径近 6.6 m 的镶片铣刀，由牲畜带动旋转，来铣制天文仪上的铜环了。

明朝宋应星所著《天工开物》一书，内载冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等多种金属加工方法，它是世界上有关金属工艺最早的著作之一。

在非金属材料方面，马王堆汉墓出土文物，反映了我国汉代的染料、油漆和丝绸已具有很高的水平。至于我国古代的陶瓷和丝绸，在世界文明史上更占有光辉的一页。

以上事实说明，我国古代的科学技术在很多方面一直处于领先的地位，远远超过同时代的欧洲。但由于长期的封建制度，特别是一百多年的外国侵略，阻碍了科学技术的发展，造成了我国现代科学技术落后的局面。

新中国成立后，我国科学技术得到了迅猛的发展，不但建立了机械制造、冶金、矿山、交通运输、石油、化工、电子仪表、轻纺等许多现代化工业，而且研制和成功地发射了人造地球卫星、实用通信卫星、导航试验卫星等。在工程材料及其加工工艺方面的某些领域已接近或达到了世界先进水平。例如，纳米材料的科研成果，制造出 52 万吨尿素合成塔($\phi 2\ 800\text{ mm}$)，用爆炸焊接技术复合出新型材料，用青铜铸造出香港高 26.4 m 的“天坛大佛”、无锡马山高 88 m 的“灵山大佛”以及迄今世界最巨大的青铜器——高 6.68 m、口径 5.58 m、重 16 t 的“九龙宝鼎”等。

新中国成立 50 年来，我国取得的成就是巨大的，但与世界上发达国家相比，还存在着一定的差距。这就激发我们要奋发图强，为把我国建设成为富强、民主、文明的社会主义现代化国家而贡献出我们全部智慧和力量。

本课程主要讲授下列内容：

(1) 常用机械工程材料和钢的热处理基础部分主要讲授金属材料的成分、性能与组织的关系；常用金属材料的主要性能和用途；常用非金属材料的种类、特性和用途；钢的热处理基础知识。

(2) 金工实验和金工实习部分主要讲授实验基本知识、观察示范操作并进行实验；讲授冷热加工的入门知识和有关加工方法的初步操作技能、观察示范操作并进行实习。

本课程教学目标是：

(1) 了解常用机械工程材料的类别和用途，初步具有正确使用常用金属材料的能力。

(2) 了解金属加工的工艺特点和应用范围，金属毛坯和零件的常用加工方法。

(3) 了解毛坯生产和零件加工的主要设备，通过实习初步具有钳工、车工、焊接等其中一种(或一种以上)的操作技能，为形成综合职业能力打下基础。

(4) 了解实验基本原理和设备，通过实验具有一定的实验操作技能和正确分析实验结果的能力，培养严谨的工作作风。

(5) 培养学生热爱劳动、文明生产、环境保护和质量与效益的意识。

本课程具有较强的实践性和应用性，在学习过程中要密切联系实际，运用金工实验和金工实习获得的感性知识以及一定的基本操作技能，加深对教学内容的理解。进行实验和实习时，要仔细观察示范操作，深刻领会所学内容；操作时要善于观察分析，学会一种基本操作技能。教学过程中最好采取电化教学、多媒体教学、现场参观等方法，充分利用图书资料、实验和实习的设备，并注意与其他课程的联系，培养学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。这样，才能达到本课程的教学目标。

第一章 金属的力学性能

众多的金属材料之所以获得广泛的应用,是因为它们具有许多可贵的性能。这些性能可分为两类:一类叫使用性能,反映材料在使用过程中所表现出来的特性,如力学性能(强度、硬度、塑性、韧性等)、物理性能(导电性、导热性、热膨胀性等)和化学性能(如抗氧化性、耐腐蚀性)等;另一类叫工艺性能,反映材料在加工制造过程中所表现出来的特性,即热处理性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能和切削加工性能等。只有全面地了解金属的各种性能,才可能做到正确、经济、合理地选用金属材料。

金属在加工制造和使用时会受到外力的作用,因此,金属在外力作用下所表现出来的特性就显得格外重要。在外力作用下固态金属会发生形状的变化,这种变化叫做变形。但在外力不大的范围内,一旦除去外力,变形即随之消失。金属在外力作用下改变其形状和尺寸,当外力卸除后金属又恢复其原始形状和尺寸的这种特性称为弹性。如果这种变化在外力卸去之后仍然长久保持,则金属产生永久变形,表现出非弹性。金属在力作用下所显示与弹性和非弹性反应相关或涉及力-应变关系的性能,叫做金属力学性能(以往称为机械性能)。

衡量金属力学性能的指标,是评定金属材料质量的主要判据,也是金属制件设计时选材和计算的重要依据。

第一节 强度和塑性

将金属材料按规定的形状和尺寸制成标准试样装在拉伸试验机上,对试样(以低碳钢为例)缓慢施加拉力(即静态力),使之不断产生变形,直到拉断试样为止(试验方法详见 GB/T 228—1987《金属拉伸试验法》)。根据拉伸试验过程中拉伸试验力和伸长量关系,画出金属的力-伸长曲线(拉伸图),可由此图(见图 1-1)确定出金属的强度和塑性。

一、强度

金属抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。常用的强度判据是屈服点、抗拉强度等。

金属材料受外力作用后所导致其内部之间的相互作用力称为内力,其大小和外力相等,方向相反。金属材料单位面积上的内力叫做应力。

1. 屈服点

由图 1-1 可知,当试验力增加到 F_s 时,如果

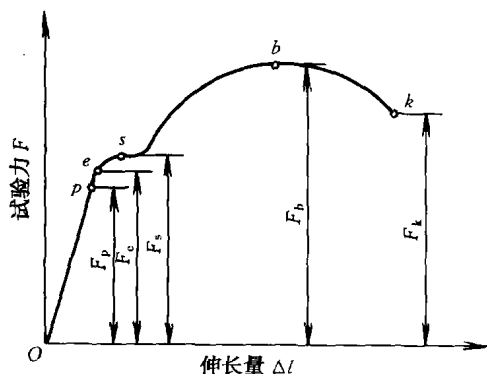


图 1-1 低碳钢的力-伸长曲线

不再继续增加试验力，而试样仍能继续伸长，这种现象叫做屈服。试样在试验过程中力不增加（保持恒定），仍能继续伸长（变形）时的应力称为屈服点（又称屈服强度），以符号 σ_s 表示。 σ_s 可由下式计算：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad \text{MPa}$$

式中： F_s ——试样发生屈服现象时的试验力，N；

S_0 ——试样的原始横截面面积， mm^2 。

屈服点表示金属材料对开始产生塑性变形的抗力，它是工程中塑性材料零件设计的主要依据。多数工程构件是不允许出现塑性变形的。例如，为了保证气缸盖和气缸体之间的密封性，缸盖螺栓是不允许发生塑性变形的。因而设计缸盖螺栓时就以屈服点作为计算依据。

有些金属没有明显的屈服现象，很难用 σ_s 表示，这时，国标规定，用试样卸除拉伸力后其标距部分的残余伸长量达到规定的原始标距 0.2% 时的应力值来表示，称为规定残余伸长应力，如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率达 0.2% 时的应力，如图 1-2 所示。

2. 抗拉强度

试样拉断前承受的最大标称拉应力称为抗拉强度，以符号 σ_b 表示。 σ_b 可由下式计算：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad \text{MPa}$$

式中： F_b ——试样在拉断前的最大拉伸试验力，N；

S_0 ——试样的原始横截面面积， mm^2 。

抗拉强度表示金属材料对最大均匀塑性变形的抗力，它是工程中脆性材料零件设计的主要依据。

工程上所用的材料，不仅希望具有较高的 σ_s ，还希望具有一定的屈强比（ σ_s 与 σ_b 的比值）。屈强比愈小，结构零件的可靠性愈高，万一超载，也能由于塑性变形而使材料的强度提高，不致立刻断裂。如果屈强比太小，则材料强度的有效利用率太低，因此一般希望屈强比大些，但不可过大。不同的材料有不同的屈强比，例如碳素钢一般为 0.6 左右，低合金钢一般为 0.65 ~ 0.75，合金结构钢一般为 0.85。

二、塑性

断裂前金属材料发生不可逆永久变形的能力称为塑性。常用的塑性判据是断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

试样拉断后标距的伸长量与原始标距长度的百分比称为断后伸长率，以符号 δ 表示。 δ 可由下式计算：

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

式中： l_0 ——试样原始标距长度，mm；

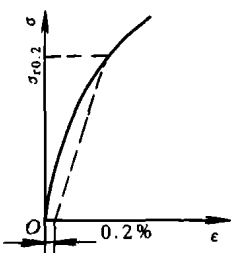


图 1-2 灰铸铁的应力-应变曲线

l_1 ——试样拉断后的标距长度，mm。

断后伸长率大小与试样尺寸有关。按长径比，试样有长试样($l_0 = 10d_0$; d_0 ——试样原始直径)和短试样($l_0 = 5d_0$)两种。长试样的断后伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示；短试样的断后伸长率以 δ_5 表示。

工程上一般规定： $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料； $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料。而当 δ 值达百分之几百甚至百分之几千时，则材料表现出极高的塑性，这种现象称为超塑性。

2. 断面收缩率

试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，以符号 ψ 表示。 ψ 可由下式计算：

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中： S_0 ——试样原始横截面面积， mm^2 ；

S_1 ——试样拉断后缩颈处横截面面积， mm^2 。

材料的塑性是工程界、科学界都十分重视的一个问题。材料塑性的好坏，对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。例如，低碳钢的塑性较好，可进行压力加工；灰铸铁的塑性很差，不能进行压力加工，但能进行铸造。同时，由于材料具有一定的塑性，能保证不致因稍有超载而突然破断，这就增加了材料使用的安全可靠。因此，对于材料的塑性指标是有一定要求的。

表 1-1 列出了几种金属材料在常温、静力下的强度与塑性判据的数值。

表 1-1 几种金属材料的 σ_b 与 δ 值

材 料 名 称	抗拉强度 σ_b/MPa	伸长率 $\delta_s/\%$
优质中碳素结构钢	450 ~ 675	12 ~ 13
常用合金调质钢	800 ~ 1 470	9 ~ 15
铬不锈钢(如 2Cr13)	635	20
灰铸铁	100 ~ 350	< 1 (δ_{10})
铁素体球墨铸铁	400 ~ 450	10 ~ 18 (δ_{10})
常用硬铝	300 ~ 420	15 ~ 24 (δ_{10})

第二节 硬 度

金属抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。它是衡量金属软硬的判据。由于测定硬度的试验设备比较简单，操作方便、迅速等原因，在生产上和科研中应用十分广泛。

一、布氏硬度

布氏硬度值由布氏硬度试验确定。布氏硬度试验是用一定直径的球体(钢球或硬质合金球)，以相应的试验力压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量的表面压痕直径来

计算硬度(图 1-3)。使用钢球压头时布氏硬度用符号“HBS”表示；使用硬质合金球时布氏硬度用符号“HBW”表示。即：

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

式中：HBS (HBW)——用钢球(硬质合金球)试验时的布氏硬度值；

D ——球体直径，mm；

F ——试验力，N；

d ——压痕平均直径，mm。

试验时测量出压痕平均直径 d ，经计算或查金属布氏硬度数值表即可求得布氏硬度值。

布氏硬度试验数据准确、稳定、重复性好。但压痕较大，不宜用于成品与表面薄层的硬度测试，测试也较麻烦。HBS 用于布氏硬度值在 450 以下的材料；HBW 用于布氏硬度值为 650 以下的材料。布氏硬度常用于测定退火、正火、调质钢件，以及铸铁、有色金属等材料的硬度。

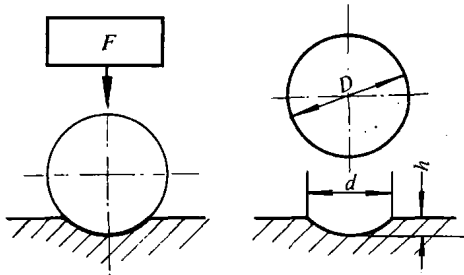


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

二、洛氏硬度

洛氏硬度值由洛氏硬度试验测定。洛氏硬度试验

是在初始试验力 F_0 及主试验力 F_1 先后作用下(初始试验力与主试验力合成总试验力 F)，将压头(金刚石圆锥或钢球)压入试样表面，经规定保持时间后卸除主试验力，用测量的残余压痕深度增量来计算硬度(图 1-4)。

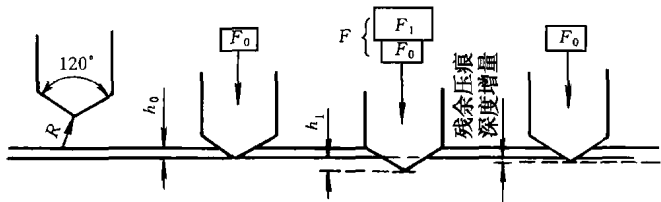


图 1-4 洛氏硬度试验示意图

实际测定时，试件的洛氏硬度值由硬度计的表盘上直接读出。材料愈硬则表盘上示值愈大。

为了便于用洛氏硬度计测定从软到硬较大范围的材料硬度，可采用各种类型压头、试验力及硬度公式的不同组合所表征的洛氏硬度，如 HRA、HRB、HRC 等。其中 HRA 与 HRC 是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头，采用的总试验力分别为 588.4 N 与 1 471 N；而 HRB 值的测定则采用直径 1.588 mm 的钢球作为压头，总试验力为 980.7 N。

洛氏硬度测量简便、迅速、压痕小，对被测试件损伤小，硬度值的测量范围较大，可直接测量成品或较薄工件。但因其压痕较小，准确性不如布氏硬度高，所测硬度值的重复性差，受材料内部组织不均匀的影响较大。洛氏硬度用于测定钢铁、有色金属、硬质合金等的硬度。

三、维氏硬度

维氏硬度也是根据压痕单位面积上的试验力来计量硬度值的。维氏硬度的试验压头是一个顶角为 136° 的金刚石正四棱锥体。试验时，在规定试验力 (49.03 ~ 980.7 N) 作用下压入试件表面，保持一定时间后卸除试验力，然后根据压痕对角线长度来确定试件的硬度。维氏硬度用符号 HV 表示。

维氏硬度试验时由于试验力能在很大范围内选择而不影响其硬度值的大小，因此可以测试从极软到极硬的各种金属材料的硬度，且所测硬度值的误差较小。但维氏硬度试验的生产率不如洛氏硬度的高，故不宜用于成批生产的常规检验。维氏硬度适于测试零件表面硬化层、金属镀层以及薄片金属的硬度。

表 1-2 是一些金属材料的硬度值。

表 1-2 几种金属材料的硬度值

材 料	硬度值 (HBS)
优质中碳碳素结构钢	170 ~ 255 (热轧)
高速钢 (W18Cr4V)	> 63HRC
灰铸铁	143 ~ 269
常用硬铝	70 ~ 100

第三节 韧 性

金属在断裂前吸收变形能量的能力称为韧性。金属的韧性通常随加载速度提高、温度降低、应力集中程度加剧而变差。其判据有冲击韧度和多冲抗力。

一、冲击韧度

以很快的速度作用于零件上的载荷称为冲击载荷。许多机器零件在工作时会经受冲击载荷，如火车在开车、刹车或改变速度时，车辆间的挂钩、连杆以及曲轴等都将受到冲击。另外，还有一些机械本身就是利用冲击载荷工作的，如锻锤、冲床、凿岩机、铆钉枪等。因此，其中一些零件必然要受到冲击。对于承受冲击载荷的零件的力学性能就不能只以强度和硬度指标来衡量了，这是因为一些强度较高的金属，在冲击载荷的作用下也往往会发生脆断。因此，对于这种承受冲击载荷的零件，还要求具有一定的冲击韧度。

冲击韧度就是冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功。材料的冲击韧度值越大，其韧性就越好。金属材料的冲击韧度是设计选材时重要的参考依据。

冲击韧度值是在冲击试验机上测定的。进行试验时选择标准的带缺口 (V 型或 U 型) 试样，由试验机摆锤对缺口试样进行一次性打击，测量试样折断时所消耗的冲击功，再除以试样缺口底部的横截面积，其商即为冲击韧度，以符号 a_{KU} (用 U 型试样时) 表示，其值可由下式计算：

$$a_{KU} = \frac{A_{KU}}{S} \quad \text{J/cm}^2$$

式中： A_{KU} ——U 型试样折断时所消耗的冲击功，J；

S ——试样缺口底部横截面面积， cm^2 。

金属材料的冲击韧度值与温度有关。随着温度的降低，材料的冲击韧度值也逐渐减小；在低于某一温度区域时，材料的 a_{KU} 会骤然变得很小，材料由韧性状态转变为脆性状态。这种由于低温使材料变脆的现象称为“冷脆”。该温度区域的温度称为“韧脆转变温度”，其数值愈低，表示材料的低温冲击韧度愈好，这对于在低温下工作的零件具有重要意义。

二、多冲抗力

实际上，生产中的许多机件一般总在多次 ($> 10^3$) 冲击之后才会断裂，且所承受的冲击能量也远小于一次冲击断裂的能量，故将这种冲击叫做小能量多次冲击。金属材料抵抗小能量多次冲击的能力叫做多冲抗力。

多冲抗力可用一定冲击能量下冲断时的周次 N 表示。大量试验证明，材料的多冲抗力主要取决于它的强度，但需要具有一定的塑性。随着冲击能量的提高，需具有的塑性相应也愈高。

第四节 疲 劳

许多机械零件，如各种轴、齿轮、弹簧等，经常受到大小不同和方向变化的交变载荷循环作用。这种交变载荷常常会使金属材料在小于其屈服点，甚至小于其弹性极限的情况下，经多次循环后，并无显著的外观变形却会发生断裂。材料在循环应力和应变作用下，在一处或几处产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程叫做金属的疲劳(疲劳断裂)。疲劳断裂与静态力下断裂不同，无论在静态力下显示脆性还是塑性的材料，在疲劳断裂时，事先都不产生明显的塑性变形，断裂往往是突然发生的，因此具有很大的危险性，常常造成严重事故。

金属疲劳的判据是疲劳极限，又称疲劳强度 $\sigma_{R(N)}$ (R ——最小应力与最大应力之比， N ——循环次数)，它是指一定循环基数下的最大循环应力值。循环基数一般取 10^7 或更高一些。金属疲劳极限值是在专门的疲劳试验机上测定的。

金属的疲劳极限同很多因素有关，如实际构件的外形、表面加工状况或所处的周围环境、介质等，都将影响金属的疲劳极限。人们可通过改善零件结构形状、避免应力集中、改善表面粗糙度和进行表面热处理等措施来提高材料的疲劳极限。

复习思考题

1-1 什么叫金属的力学性能？常用的测定力学性能的方法有几种？

1-2 强度和塑性的含义是什么？

1-3 测定某种钢的力学性能时，已知试棒的直径是 10 mm，其标距长度是直径的 5 倍， $F_s = 38 \text{ kN}$ ， $F_b = 77 \text{ kN}$ ，拉断后的标距长度是 65 mm，试求此钢的 σ_s 、 σ_b 及 δ 值各是多少？

1-4 说明布氏硬度与洛氏硬度试验的原理，并比较其优缺点。

1-5 冲击韧度和疲劳在工程上有何意义？

第二章 铁碳合金状态图

现代科学技术、生产及生活中大量使用的金属材料仍然是铁碳合金。铁碳合金状态图是人类经过长期生产实践并进行大量科学实验后总结出来的，它是学习和研究铁碳合金的基础，对于铁碳合金的应用以及热加工工艺的制定具有重要的指导意义。本章在简要叙述合金的基本概念之后着重介绍简化的 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 状态图。

第一节 合金的基本概念

一、合金

合金是指由两种或两种以上化学元素(其中至少有一种是金属元素)组成的具有金属特性的物质。例如，铁元素与碳元素熔合在一起就组成铁碳合金；普通黄铜是铜与锌组成的合金。合金除具备纯金属的基本特性外，兼有优良的力学性能与特殊的物理、化学性能。同时，组成合金的各元素比例能在很大范围内变化，可借此调节合金的性能以满足工业上的不同需求。

二、组元

组成合金最基本的、独立的物质称为组元。例如，铁碳合金中的铁和碳是组元；铜锌合金中的铜和锌是组元。合金中的组元可以是化学元素，如铁、碳、铜及锌等；也可以是稳定的化合物，如 Fe_3C 等。

三、合金系

由若干给定组元按不同比例所配制的一系列合金的集合称为合金系。它可以由构成组元命名，如铁碳合金；也可由组元个数命名，如两组元的称为二元系，三组元的称做三元系，依此类推。

四、相

相是指纯金属或合金中具有同一化学成分、同一聚集和组织状态，并有明显界面与其他部分分开的均匀组成部分。如均匀的液态合金是一个相(也称单相)；而纯金属结晶时，固态与液态并存是两个相(也称双相)。合金中有两类基本相：固溶体和金属化合物。

固溶体是在固态下，溶质原子溶入金属溶剂中所组成的合金相。根据溶质原子在溶剂中所占据的位置不同，固溶体又分为置换固溶体和间隙固溶体两类。见图 2-1 和图 2-2。由于溶质原子溶入溶剂晶格中，使固溶体的强度和硬度提高，这种现象称为固溶强化。固溶强化是金属强化的一种重要形式，工业上广泛利用固溶强化的作用来提高金属材料的强度。在工程上常

用的金属材料中，固溶体占有非常重要的地位，它们可以是合金中惟一的相，也可以是合金中的基本相。

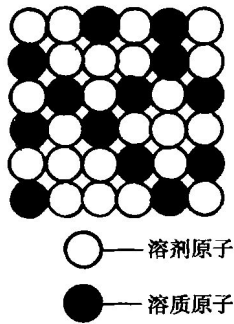


图 2-1 置换固溶体
原子分布示意图

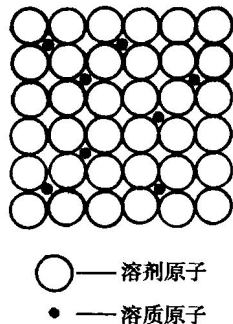


图 2-2 间隙固溶体
原子分布示意图

金属化合物是合金组元相互作用而形成的晶格类型和性能不同于组元的新相，通常它可用一个化学式来表示，一般熔点较高，硬度高，脆性大。合金中含有金属化合物时，强度、硬度和耐磨性提高，但塑性和韧性降低。金属化合物是许多合金的重要组成相。

五、组织

通常把具有独特性能和某种形貌或形态特征的组成部分总称为组织。组织由数量、形态、大小和分布方式不同的各种相所组成。用肉眼(或放大镜)观察到的组织称为低倍组织。用光学或电子显微镜观察到的组织称为显微组织。由一个相组成的组织称为单相组织；几个相复合组成的组织叫多相组织。金属材料的组织不同，其性能也就不同。

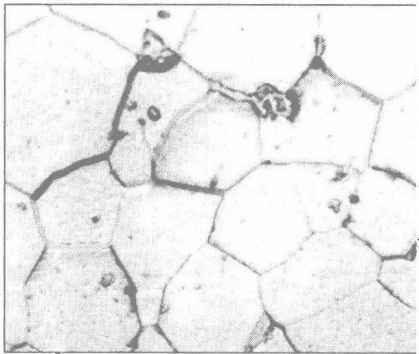


图 2-3 工业纯铁的显微组织(铁素体)

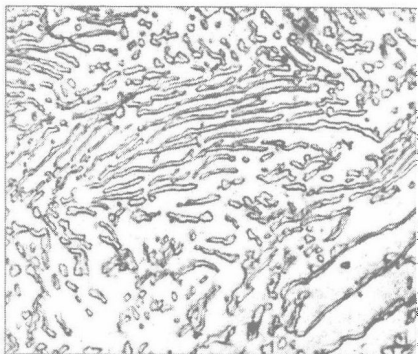


图 2-4 共析钢的显微组织(珠光体)

铁碳合金室温时的基本组织有铁素体(见图 2-3)、珠光体(见图 2-4)和渗碳体(图 2-4 中的凸条块)等。铁碳合金基本组织的力学性能见表 2-1。