

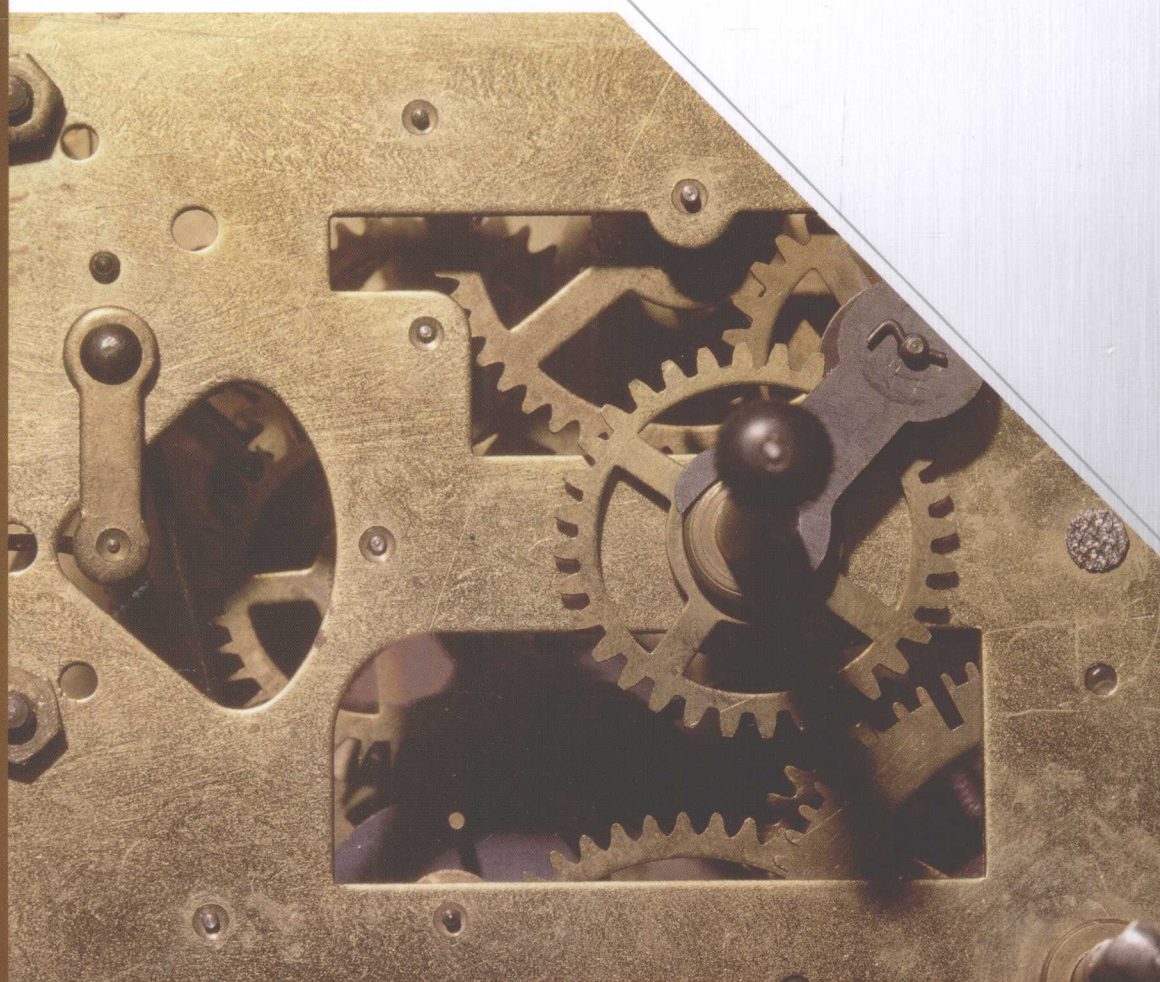


高职高专“十一五”规划教材

金属工艺学

JINSHU 安少云 主编
GONGYIXUE

陈文娟 刘翔宇 副主编
蔡广新 主 审



化学工业出版社



高职高专“十一五”规划教材

金属工艺学

安少云 主编

陈文娟 刘翔宇 副主编

蔡广新 主审

JINSHU
GONGYIXUE



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以金属材料与加工工艺为主线,将金属学、金属材料及热处理工艺、金属材料冷热加工成形工艺等有机地结合起来,形成了新的教学内容体系,注重培养学生的全面素质和综合职业能力。本书是在各院校课程综合化教学改革成功经验的基础上编写的一本专业教材,共分11章,重点介绍金属材料的基本知识和机械行业实用原则、机械零部件制造工艺的基本知识和基本理论、新型功能材料的开发与应用、典型机械零件的加工工艺的基本知识和方法等。

本教材主要供高职高专机械设计与制造、汽车与汽贸、热能工程、数控技术等机械类专业使用,也可供其他机械类专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/安少云主编. —北京:化学工业出版社,
2010.6

高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-08139-1

I. 金… II. 安… III. 金属加工-工艺学-高等学校:
技术学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第056126号

责任编辑:于 卉
责任校对:吴 静

文字编辑:张绪瑞
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张14 字数372千字 2010年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

随着社会的进步和科学技术的快速发展,社会大生产对人才的要求发生了较大的变化,特别是加入 WTO 后,我国要建立新型工业化社会,成为世界制造中心,培养高级技能型应用型专门人才已成为高职高专教育重要而紧迫的任务。教育部根据社会急需的生产、经营与管理的高级技能型应用型专门人才的要求,聘请教育专家和学者,结合国内外人才培养的先进经验和高职高专教育的目前实际状况,在教育部机械职业教育教学指导委员会的配合下,制订了高职高专机械类专业人才培养的教学方案,并开发了教学计划与教学大纲。本教材就是依据该方案和教学计划及大纲,在教育部机械职业教育教学指导委员会帮助与指导下,编写的机械类专业技术基础课程的专用教材,供本科机械类专业及高职高专机械类各个专业使用,也可供机械类专业技术人员参考。

本教材坚持以服务为宗旨,以就业为导向的指导思想,以能力为本位,以培养学生的创新精神和实践能力为核心,坚持以人为本,始终贯彻“实际、实用、实效”的原则,依据机械类专业的培养目标,将机械制造的主干课程进行了有机的综合,打破了传统的学科性的课程体系,并且每章配有相应的思考题与习题,使学生每学完一章后,都能对所学知识进行总结和应用,对分析问题和解决问题能力培养进行综合训练,从而突出了综合能力的培养,以适应社会新形势对高等技能型应用性专门人才的需要。

本书具有以下特点:

(1) 综合性 对机械加工知识和能力培养的课程进行了有机的综合化处理,体现了多方位知识的相互交叉和融合,突出综合职业能力的培养。

(2) 实用性 本教材以各个机械类应用型专业面向的岗位和岗位群职业能力的要求为依据,确定课程的结构和内容,所涵盖的知识具有现实的应用性。

(3) 先进性 教材更多地吸收了当前新知识、新技术、新工艺的内容,有效地拓展了学生的知识空间。

(4) 创造性 教材每章后面设有思考题和习题,激发学生的学习兴趣,开拓学生思路,从而培养学生的实践能力和创新精神。

(5) 广泛性 本教材涵盖了金属材料与各种机械加工工艺所涉及的全部内容,具有实用性和实效性,因此,适用于机械加工领域的各种人员进行参考。

本教材共分 11 章,重点介绍了金属材料基本知识与实际生产中的选材原则,机械和建筑工程以及机械零件的材料及加工工艺基本知识和基本理论以及先进加工的方法等。

本教材由承德石油高等专科学校安少云任主编,陈文娟与刘翔宇任副主编,蔡广新任主审。参加编写的有安少云(前言,绪论,第 1 章,第 4 章,第 6 章,第 11 章),陈文娟(第 2 章,第 3 章,第 5 章,第 10 章),刘翔宇(第 7~9 章)。刘艳军、王雍军也参与了部分编写工作。

本教材在编写过程中得到了我校各级部门的大力支持和帮助,并提出了很好的意见和建议,在此一并表示谢意!

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以便今后加以修改与提高。

编者

2010 年 2 月

目 录

CONTENTS

绪论	1
第 1 章 金属材料的力学性能	3
1.1 强度、刚度和塑性	3
1.2 硬度	6
1.3 冲击韧性	7
1.4 疲劳	8
思考题与习题	9
第 2 章 金属的微观结构	10
2.1 材料的结合方式	10
2.2 金属材料的晶体结构	11
2.3 材料的凝固	16
思考题与习题	17
第 3 章 铁碳合金相图	18
3.1 二元合金相图的建立	18
3.2 铁碳合金相图	19
思考题与习题	26
第 4 章 钢的热处理工艺	27
4.1 钢在加热时的转变	27
4.2 钢在冷却时的转变	29
4.3 钢的热处理工艺	33
4.4 表面热处理	37
思考题与习题	41
第 5 章 金属材料	42
5.1 合金元素在钢中的作用	42
5.2 非合金钢	44
5.3 合金钢	49
5.4 铸铁	60

5.5 有色金属材料.....	66
思考题与习题	72

第6章 新型金属材料功能及应用 73

6.1 磁性材料.....	74
6.2 纳米材料.....	76
6.3 形状记忆合金.....	77
6.4 高温合金.....	80
6.5 防振合金.....	82
6.6 功能材料在未来的应用.....	83
思考题与习题	85

第7章 金属的铸造成型 86

7.1 铸造工艺基础.....	86
7.2 常用铸造合金.....	93
7.3 砂型铸造工艺.....	96
7.4 特种铸造	103
7.5 常用铸造工艺方法比较	108
7.6 铸件结构工艺性	109
7.7 型芯设计	112
7.8 浇注系统设计	113
7.9 冒口和冷铁设计	116
7.10 典型铸件的铸造工艺设计举例.....	116
思考题与习题.....	119

第8章 金属的锻压成形 121

8.1 锻压工艺基础	121
8.2 自由锻	126
8.3 模型锻造	133
8.4 板料冲压	139
8.5 其他压力加工方法	147
8.6 压力加工新工艺	149
思考题与习题.....	151

第9章 金属的焊接成形 153

9.1 概述	153
9.2 焊接成形基础	155
9.3 电弧焊基本知识	160
9.4 焊条电弧焊	161

9.5 埋弧焊	165
9.6 气体保护电弧焊	170
9.7 压力焊	175
9.8 钎焊	178
9.9 其他焊接方法	179
9.10 焊接结构及工艺性	180
9.11 焊接应力与变形	183
思考题与习题	186

第 10 章 金属的冷加工工艺 187

10.1 切削加工基本知识	187
10.2 车削加工	190
10.3 铣削、刨削与磨削加工	196
思考题与习题	201

第 11 章 典型零件的加工工艺分析及热处理工艺设计 202

11.1 金属材料成为机器的制造过程简述	202
11.2 金属零件选材的一般原则	206
11.3 机械加工工艺过程的制订简介	209
11.4 热处理零件的结构工艺性	211
11.5 典型零件的选材及加工工艺与热处理工艺分析	212
思考题与习题	215

参考文献 216

绪论

金属工艺学是研究常用金属材料的性质及其加工方法的热处理和金属加工工艺基础两部分的一门学科。

金属材料部分主要内容分为金属材料、非金属材料、各种新型材料及复合材料。金属材料指钢铁、有色金属等材料；非金属材料有无机高分子材料（陶瓷、水泥、木材等），有机高分子材料（如塑料、橡胶）；复合材料有玻璃钢、碳纤维复合材料、硼纤维材料；新材料有纳米材料、功能性材料。目前，世界上的四大材料是钢铁、木材、塑料、水泥。

热处理部分主要是研究常用热处理方法来进一步改变金属材料的组织和性能。

金属加工工艺基础部分主要包括有铸造、锻造、焊接、切削加工以及钳工工艺基础等。因此金属工艺学是一门综合性的实用科学。

中国是世界上文明古国之一，早在原始社会末期人们已经开始使用简单的铜器，到商代和西周达到了极盛时期。在我国材料发展概括为：①石器时代，材料有天然石，兽骨，树枝；②陶器时代，材料有泥巴（日晒→原始陶器，火烧→瓷器用具）；③铜器时代，著名的司母戊鼎（公元前 11 世纪至公元前 16 世纪） $1330 \times 780 \times 1100$ ，为商代晚期器物，重达 875kg；④铁器时代，有沧州的铁狮子（公元 953 年），重 50t，长 5.3m，宽 3m。

当时能铸造这样精美的铜鼎和铁器，必须解决一系列技术问题，可见，我国古代的冶炼和铸造技术已达到非常卓越的地步。

春秋战国初期创造的生铁柔化处理技术使硬和脆的白口铁变为延展性的铸铁（相当于当今可锻铸铁），而西方在 2300 年之后才有此项技术。春秋战国时代的越王勾践剑，历经千百年尚且保存完好，说明我国很早就掌握炼钢、锻造、热处理和防腐蚀等工艺技术。

《考工记》是我国最早的一部工艺著作，大约成书于春秋战国之际，是齐国人记录手工业技术的官书，作者不详。此书在战国时期已广为流传。西汉时河间献王刘德整理先秦古籍，因《周官》缺《冬官》篇，便以《考工记》补入。后《周官》改名《周礼》，遂成为《周礼》之一篇，也称作《周礼·考工记》。在“考工记”中曾有“金之六齐”一段记载（金就是铜，齐就是合金），这是关于青铜合金成分配比规律最早的阐述。明朝科学家宋应星所著《天工开物》一书叙述冶铁、炼钢、铸铁、锻铁、淬火等金属加工方法，是世界上最早有关金属工艺的科学著作之一，书中记载了我国劳动人民在金属工艺方面的卓越成就。唐代应用的锡焊、锻焊也比欧洲早用一千余年。

从以上看出，我国不仅使用金属的历史悠久，而且积累了丰富的科学知识。但是，人类虽早在公元前已了解金、银、铜、汞、锡、铁、铅等多种金属，但由于采矿和冶炼技术的限制，在相当长的历史时期内，很多器械仍用木材制造或采用铁木混合结构。直到 1856 年英国人 H. 贝塞麦发明转炉炼钢法，1856~1864 年英国人 K. W. 西门子和法国人 P. 马丁发明平炉炼钢以后，大规模炼钢工业兴起，钢铁才成为最主要的机械工程材料。

第二次世界大战后，科学技术的进步促进了新型材料的发展，球墨铸铁、合金铸铁、合金钢、耐热钢、不锈钢、镍合金、钛合金和硬质合金等相继形成系列并扩大应用。同时，随着石油化学工业的发展，促进了合成材料的兴起，工程塑料、合成橡胶和胶黏剂等机械工程材料中的比重逐步提高。另外，宝石、玻璃和特种陶瓷材料等也逐步扩大在机械工程中的应用。

自新中国成立以来，机械制造业获得了迅猛发展，已建立起汽车、造船、航空、重型机械、精密轴承、精密机床等现代工业，人造卫星、洲际导弹发射成功都与机械制造工艺发展水平有关，可见现代化建设离不开机械制造工艺的进步。

在机械制造与发展方面,机械产品的可靠性和先进性,除设计因素外,在很大程度上取决于所选用材料的质量和性能。新型材料的发展是发展新型产品和提高产品质量的物质基础。各种高强度材料的发展,为发展大型结构件和逐步提高材料的使用强度等级,减轻产品自重提供了条件;高性能的高温材料、耐腐蚀材料为开发和利用新能源开辟了新的途径。现代发展起来的新型材料有新型纤维材料、功能性高分子材料、非晶质材料、单晶体材料、精细陶瓷和新合金材料等,对于研制新一代的机械产品有重要意义。如碳纤维比玻璃纤维强度和弹性更高,用于制造飞机和汽车等结构件,能显著减轻自重而节约能源。精细陶瓷如热压氮化硅和部分稳定结晶氧化锆,有足够的强度,比合金材料有更高的耐热性,能大幅度提高热机的效率,是绝热发动机的关键材料。还有不少与能源利用和转换密切有关的功能材料的突破,将会引起机电产品的巨大变革。

随着科学技术的发展,尤其是材料测试分析技术的不断提高,如电子显微技术、微区成分分析技术等的应用,材料的内部结构和性能间的关系不断被揭示,对于材料的认识也从宏观领域进入微观领域。在认识各种材料的共性基本规律的基础上,正在探索按指定性能来设计新材料的途径。

金属材料是现代工业的基础,学习本课程的目的,是使学生了解常用金属材料的成分、组织和性能之间的关系以及改善金属材料性能的方法,从而达到能够正确地选择和使用同时又可使学生在设计机械零件时,有一定的工艺基础知识,锻炼学生选择材料及加工方法的能力。

金属工艺学是劳动人民在长期实践中创造和发展起来的,学习这门课程必须理论联系实际,除了学习书本知识,掌握必要的理论基础外,还要向有实践经验的工人、工程技术人员学习,逐步培养分析问题和解决问题的能力。

金属工艺学的特点是实践性强,内容广博,是工艺入门课。因此必须通过实习与现场参观获得感性知识,熟悉金属材料的常用加工方法、所用设备和工具的一般原理,并掌握一定的操作技能,在此基础上再进行理论讲课。

为此要求学生:

① 掌握各种主要加工方法的特点、基本原理,常用设备大致结构和加工范围,并有选用材料,选择毛坯、拟订零件加工方案,以及初步的工艺分析能力。

② 熟悉零件结构工艺性对结构设计的要求。

金属工艺学内容十分丰富,各种工艺方法各具特色。为了掌握其规律性,应联系实际,完成综合性作业,切实达到本课程的要求。

在机械类专业教育改革中,金属工艺学教学应在提高学生的综合素质,特别是培养设计和创造能力以及工程实践能力等方面积极进行探索,发挥重要的不可替代的作用。

第1章 金属材料的力学性能

学习目的

本章主要介绍金属材料的力学性能以及测定性能的试验方法，学完本章以后，学生应做到：在机械制造行业中，能在大量的金属材料中进行准确的选材与设计。

重点和难点

重点是金属材料强度与硬度的测定及应用。难点是金属材料的冲击韧性指标与材料实际性能之间的对应关系。

学习指导

学习时要注意理解和掌握四大性能指标在实际设计和选材中如何恰当应用，将各种典型的金属材料性能与实际零部件的应用完美结合，以便加深学生理解与掌握。

金属是制造机器的基本材料。为了合理选用金属材料并把它加工成零件，必须掌握金属材料的使用性能和工艺性能。使用性能是指材料适应工作条件所必须具备的性能，包括力学性能、物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性等）和化学性能（如耐蚀性、耐热性等）。工艺性能是指材料在加工过程中所表现的性能，包括铸造性能、可锻性、可焊性和切削加工性能。

金属材料包括纯金属和合金两大类。合金是在一种金属元素基础上，加入其他元素，组成具有金属特性的新材料。例如，钢铁是以铁为基础的铁碳合金，黄铜是以铜为基础的铜锌合金等。合金往往比纯金属具有更好的力学性能和工艺性能，成本较低，故制造机械零件大都选用合金而很少采用纯金属。

机械零件在使用过程中，往往受到各种外力的作用。金属材料在外力作用下所表现出的性能称为力学性能。它是设计零件时选择材料的重要依据。

金属材料的力学性能主要有强度、刚度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

1.1 强度、刚度和塑性

1.1.1 拉伸试验

材料的强度、刚度和塑性指标可以通过拉伸试验加以测定。

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验前，先将金属材料制成标准拉伸试样，如图1-1所示。图中 d_0 为试样直径， l_0 为测定试样伸长用的标距长度。试验时，把试样夹持在拉伸试验机的两个夹头上缓慢加载，随着载荷的不断增加，试样不断被拉长，直到拉断为止。图1-2所示为用低碳铜试样做拉伸试验时测得的拉力（ F ）和伸长量（ Δl ）的关系曲线，称为低碳钢拉伸曲线。

从图中可知，在开始的 oe 阶段，试样的伸长量随拉力成正比例增长。若去除外力后，试样恢复原状这种变形称为弹性变形。超过 e 点后若去除外力，试样不能完全恢复原状，尚有一部分伸长量被保留下来。这种在外力消除后仍存在的永久变形，称为塑性变形。当外力增加到 F_s 时，拉伸曲线在 s 点后出现水平线段，即表示外力不增加而试样继续伸长，这种

现象称为屈服。当屈服现象过后，试样又随外力增加而逐渐伸长。在拉伸曲线 b 点时，外力为 F_b ，试样出现局部变细的缩颈现象。由于试样截面缩小，所需外力开始下降，变形主要集中于颈部。当达到 k 点时，试样在缩颈处分裂。因此，试样在整个拉伸过程中，先后经历了弹性变形、弹-塑性变形和断裂三个阶段。

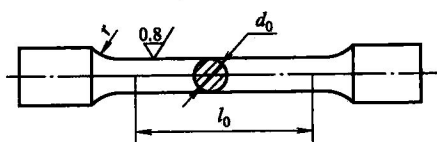


图 1-1 标准拉伸试样

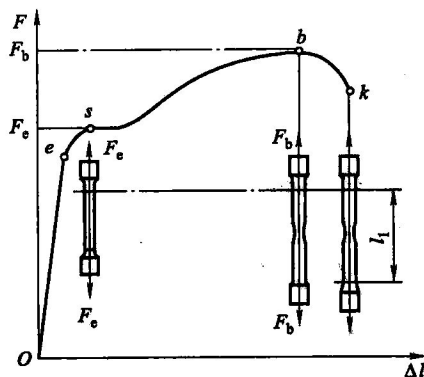


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

1.1.2 强度指标

强度是指金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。

当材料受外力作用而未引起破坏时，其内部产生与外力相平衡的内力。单位面积上的内力为应力。强度的高、低是以材料所能承受的应力数值大小来表示的。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

1.1.2.1 弹性极限

在弹性阶段内，卸力后而不产生塑性变形的最大应力为材料的弹性伸长应力，通常称为弹性极限，以 σ_e 表示。弹性极限是理论上的概念，难以用实验直接测定。弹性极限是材料产生弹性变形时的最大应力值。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

1.1.2.2 屈服强度

屈服强度是材料产生屈服现象时的应力，用符号 σ_s 表示，即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时的拉力，N；

A_0 ——试样原来的横截面积， mm^2 。

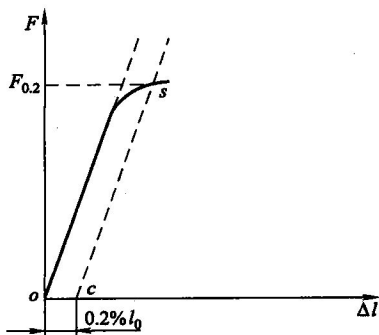


图 1-3 条件屈服强度的测定

我们遇到的多数金属材料特别是那些脆性的材料，如铸铁、高碳钢等，它们没有明显的屈服现象，很难测定其屈服强度，为了进行工程设计方便，规定产生 0.2% 的塑性变形时的应力，称为该材料的条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 的确定方法如图 1-3 所示。

在拉伸曲线坐标上截取 c 点，使 $oc = 0.2\% l_0$ ，过 c 点作斜线的平行线，交曲线于 s 点，对应 c 点可找到相对应的 $F_{0.2}$ ，按照计算公式即可得出 $\sigma_{0.2}$ 。

1.1.2.3 抗拉强度

抗拉强度是通过拉伸试验测定金属试样在拉力作用

下,先引起弹性变形,接着产生塑性变形,最后则被拉断时的最大拉力获得的。它是材料在断裂前所能承受的最大应力,用 σ_b 表示

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \text{ (MPa)}$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大拉力, N;

A_0 ——试样原来的横截面积, mm²。

σ_s 、 $\sigma_{0.2}$ 以及 σ_b 是选用金属材料所依据的重要强度指标。究竟采用哪个强度指标用作设计时的强度指标,需视零件的工作要求而定。若只要求零件在使用时不断裂,如钢丝绳等,则以材料的 σ_b 来计算强度;若零件在使用过程中不允许产生塑性变形,如内燃机气缸盖螺栓,则以材料的 σ_s 来计算强度。

1.1.3 刚度

刚度是衡量金属材料抵抗弹性变形的一种能力,一般的机械零件大都在弹性状态下工作,对刚度有一定要求,如起重机臂架、机床床身、精密机床主轴等,这样的机械零件在使用时不允许产生过大的弹性变形。

材料在弹性范围内,应力 σ 和应变 ϵ (指单位长度的变形量)成正比关系,比例常数称为弹性模量,其物理意义为引起单位变形时所需的应力。工程上常用 E 作为衡量材料刚度的指标。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta l/l_0} = \frac{Fl_0}{\Delta l A_0} \text{ (MPa)}$$

式中 Δl ——试样在弹性范围内的变形量, mm;

F ——试样所受拉力, N;

l_0 ——试样原标距长度, mm;

A_0 ——试样原始横截面积, mm²。

从上式可知,当 F 、 l_0 和 A_0 一定时, E 与 Δl 成反比,即弹性模量愈大,产生的弹性变形愈小,则刚度愈大。

弹性模量 E 主要决定于金属的本身性质,与晶格类型和原子间距有关,而与强化金属的手段(如热处理,合金化冷变形等)无关。对钢来说,在室温时, E 在 $1.9 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^5$ MPa范围内, E 随温度升高而逐渐降低。

提高零件刚度的主要途径有两个:一是改变零件的结构形式(如采用加强筋等)和增加横截面积;二是选择具有较大弹性模量的材料。

1.1.4 塑性

塑性是金属材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的性能。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 。

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

$$\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原标距长度, mm;

l_1 ——试样拉断后标距长度, mm;

A_0 ——试样原横截面积, mm²;

A_1 ——试样断裂处的横截面积, mm²。

δ 的大小与试样的尺寸因素有关。用长试样($l_0 = 10d_0$)测得的伸长率用 δ_{10} 表示。用短试样($l_0 = 5d_0$)测得的伸长率用 δ_5 表示。对于同一材料用短试样测得的伸长率大于长试样的伸长率,即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。因此在比较不同材料伸长率时应采用同样尺寸规格的试样,而断面收缩率 Ψ 与试样的尺寸因素无关。对于材料质量引起的塑性改变, Ψ 比 δ 反应敏感。例如,

在大型锻件表面和内部分别取样, 往往 Ψ 相差悬殊而 δ 变化不大。所以, Ψ 能更可靠全面地代表金属材料的塑性。

金属材料的塑性好坏对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺, 而且在使用时万一超载, 由于产生塑性变形, 能避免突然断裂, 所以, 大多数机械零件除要求具有较高强度外, 必须有一定的塑性。一般 δ 达 5% 或 Ψ 达 10%, 已能满足零件的使用要求。过高地追求塑性指标会降低材料的强度, 是不恰当的。

1.2 硬度

硬度是金属材料抵抗更硬物体压入的能力, 也表示抵抗局部塑性变形的能力。

硬度测定常用压入法: 把一定的压头压入金属材料表面层, 然后根据压痕的面积或深度, 测定其硬度值。根据压头和压力的不同, 常用的硬度指标有布氏硬度 (HBS 或 HBW) 和洛氏硬度 (HR)。

1.2.1 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1-4 所示: 用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 以相应的试验力 F 压入试样表面, 经规定的保持时间后, 卸除试验力, 测量试样表面的压痕直径 d 。布氏硬度值是试验力 F 除以压痕球形表面积 S 所得的商值, 布氏硬度值

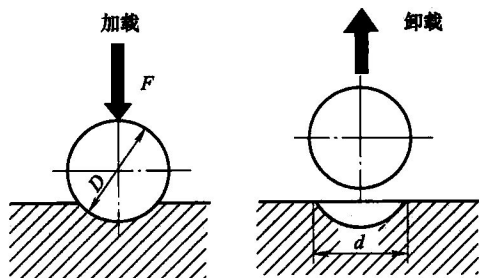


图 1-4 布氏硬度试验原理

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

布氏硬度的单位为 kgf/mm^2 , 一般只标其数值而不注明单位。根据国家标准 (GB 231—84) 规定: 硬度值写在布氏硬度符号前。当压头用淬火钢球时, 硬度值符号为 HBS, 当压头用硬质合金球时, 符号为 HBW。

在测定硬度的几种常用方法中, 布氏硬度试验的测量误差小, 测定的硬度值准确、稳定。但淬火钢球压头测量硬材料时容易变形, 故只能测定 $\text{HBS} < 450$ 的金属材料如灰铸铁, 有色金属及经过退火、正火和调质处理的钢材等。

如果要求测定硬度较高的金属材料, 为避免压头变形, 可用硬质合金球压头测定, 适用于 $450 < \text{HBW} < 650$ 的金属材料。当布氏硬度值超过 350 时, 用淬火钢球和硬质合金球测定同样的金属材料其试验结果将明显不同。

材料的强度越高, 塑性变形抗力越大, 硬度值也就高。实践证明: 材料的硬度值与抗拉强度以及屈服强度之间存在着一定的内在联系, 下列经验公式可供参考: 低碳钢 $\sigma_b \approx 3.6\text{HBS}$; 高碳钢 $\sigma_b \approx 3.4\text{HBS}$; 调质合金钢 $\sigma_b \approx 3.25\text{HBS}$; 灰口铸铁 $\sigma_b \approx 1\text{HBS}$ 。

硬度试验方法比较简便、迅速、经济, 而且一般不破坏零件, 测得硬度值便可以大致估计出材料的抗拉强度, 这在生产实际中是很有用的。

1.2.2 洛氏硬度

洛氏硬度 (HRC) 试验原理如图 1-5 所示: 先预加初载荷 10kgf, 将顶角为 120° 的圆锥形金刚石压头紧密接触试样表面, 并压入深度 h_0 , 再加上 140kgf 的主载荷 (与初载荷一共为 150kgf), 在总的载荷的共同作用下, 压入深度为 h 。经规定的保持时间卸去主载荷, 待材料回弹少许, 此时的压入深度为 h_1 , 就以 $(h_1 - h_0)$ 来衡量硬度值, 用符号 HR 来表示洛氏硬度值。 $(h_1 - h_0)$ 愈大,

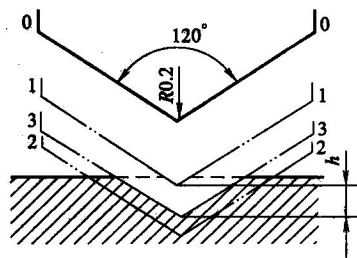


图 1-5 洛氏硬度试验原理

则硬度值愈低。

实际测试时，可以从洛氏硬度计刻度盘上直接读出洛氏硬度值。

为了可以用一种硬度计测定从软到硬的多种金属材料的硬度，采用不同的压头和试验载荷相配合，因而组成了三种不同的硬度标尺，这三种硬度标尺分别为 HRA、HRB、HRC，将三种试验方法以及适用材料范围列于表 1-1。

表 1-1 三种洛氏硬度标尺的试验规范和应用范围

标尺	测量范围	总载荷/(kg/N)	压头类型	应用举例
HRA	70~85HRA	60(588.4)	金刚石圆锥体	硬质合金、表面淬硬层，渗碳层非铁金属，退火、正火钢等淬火钢，调质钢等
HRB	25~100AHRB	100(980.7)	钢球(直径 1.588mm)	
HRC	20~67HRC	150(1471.1)	金刚石圆锥	

三种标尺中以 HRC 应用最广，有关洛氏硬度的试验方法和技术条件可参考 GB 230—63。

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，但不及布氏硬度试验准确。

各种洛氏硬度值或与布氏硬度值之间，可以利用通过试验测定而特制的表格进行相对比较或换算。洛氏硬度 (HRC) 和布氏硬度 (HBS) 在数值上有以下近似关系

$$HRC \approx \frac{1}{10} HBS$$

硬度试验比较简单、迅速、经济，并且一般不破坏试样或零件；根据测定的硬度值还可以大致估计出材料的抗拉强度，这在生产实践中是很重要的。

1.3 冲击韧性

前面所讨论的是金属材料在静载荷作用下的力学性能指标，但许多机器零件在工作过程中，往往受到的是冲击载荷的作用，如锻锤的锤杆、锤头；内燃机的活塞连杆、曲轴；铁道车辆间的挂钩等。由于外力的瞬时冲击作用所引起材料的变形和应力，比静载荷作用时大得多，因此，在设计承受冲击载荷的零件和工具时必须考虑所用材料的冲击韧性。

韧性这个名词一般是与脆性相对应的。冲击韧性就是金属材料承受冲击载荷的能力。目前工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验进行测定。

摆锤冲击试验的原理如图 1-6 所示。

按照国家标准，把测定的材料按国家标准 GB 229—63 规定，加工成标准试样，如图 1-6 所示，然后安装在试验机的支座上，缺口背向摆锤刃口，再将具有一定重量 G 的摆锤，举到一定的高度 H_1 后释放，摆锤自由落下，将试样击断之后，又升到 H_2 的高度。摆锤冲断试样所失去的能量（势能），就是冲击载荷使试样破断所做的功，称为冲击功 A_K ，其值为 $A_K = G(H_1 - H_2)$ ，单位为 J。

一般情况下，冲断试样时，在试样横截面的单位面积上所消耗的功，称为冲击韧性，用符号 a_K 表

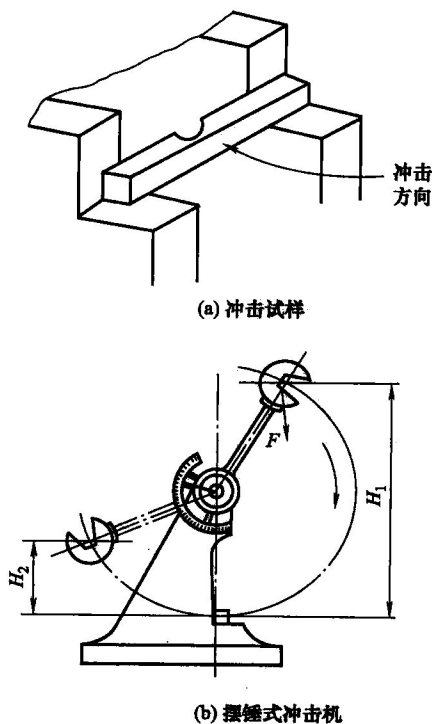


图 1-6 冲击试验原理示意

示。目前很多冲击试验机如 JB 型, 可以从刻盘上直接读出所消耗的功, 之后用下列公式计算出金属的冲击韧性 (用冲断试样的缺口处单位面积上所消耗的功来表示)

$$a_K = A_K / F \text{ (J/mm}^2\text{)}$$

式中 a_K ——冲击韧性值, J/mm²;

F ——试样缺口处的断面面积, mm²;

A_K ——冲断试样后所消耗的功, J。

实际上, 在动载荷下工作的零件, 很少受一次冲击载荷冲击而破坏, 不少情况是承受小能量多次重复冲击载荷, 材料承受多次冲击的能力主要取决于强度, 而不是决定于冲击韧性值 (a_K)。所以, 设计在能量不太大的多次冲击下工作的零件, 单纯追求过高的冲击值并没有什么必要, 而主要应当有足够的强度。

为了熟悉和比较各种力学性能的符号、名称和含义, 现归纳于表 1-2。

表 1-2 常用的力学性能指标及其含义

力学性能	名称	符号	解 释
强度	抗拉强度	σ_b	材料抵抗外力破坏的最大能力。当金属材料单位截面积上受的拉力达到 σ_b 时, 材料会被拉断
	屈服强度	σ_s	材料抵抗微量塑性变形的能力。当金属材料单位横截面积上受的拉力达到 σ_s 时, 在产生弹性变形的同时开始产生微量的塑性变形
	条件屈服强度	$\sigma_{0.2}$	对脆性材料因无明显的塑性变形点, 故测定其发生塑性变形为标距长度 0.2% 时的应力作为屈服强度。它标志材料对微量塑性变形的抵抗能力
塑性	伸长率	δ	试件拉断后标距长度的伸长量与原来标距长度的百分比, 它反映材料塑性的大小, δ 愈大, 材料的塑性愈好
	断面收缩率	Ψ	试件拉断处横断面积减小量与原始横断面积的百分比。 Ψ 值愈大, 材料的塑性愈好
硬度	布氏硬度	HBS(W)	表示被测材料压入钢球单位面积上所受的载荷数值, 标志着材料抵抗其他更硬的物质压入其表面的能力
	洛氏硬度	HRC HRB HRC	根据压痕深浅来衡量硬度, 硬度数值可以直接从硬度计表盘上读出 HRC 应用最广, 一般淬火钢件都用此洛氏硬度标度
韧性	冲击韧性	a_K	材料抵抗冲击外力的能力。摆锤打断试件单位横截面积上所消耗的冲击力。 a_K 值愈大, 材料的韧性愈好

1.4 疲劳

1.4.1 疲劳概念

大多数机器零件, 如轴、齿轮、弹簧等, 都是在交变应力 (应力大小和方向随时间周期性变化) 作用下工作的。这些零件在受力远低于该材料的抗拉强度 (σ_b), 甚至低于屈服强度 (σ_s) 的情况下, 经过长时间的工作而发生断裂的现象叫做金属的疲劳。

疲劳断裂时不产生明显的塑性变形, 断裂是突然发生的, 具有很大的危险性, 常常造成灾难性的事故。因此机器零件在使用过程中, 决不允许产生疲劳破坏, 必须保证零件在具有无数次交变载荷作用下仍不会断裂的能力, 这时的最大应力值称为疲劳极限 (疲劳强度), 用 σ_{-1} 表示。试验证明: 金属材料承受的交变应力和断裂前所能承受的应力循环次数 N 之间的关系, 通常用疲劳曲线来表示, 如图 1-7 所示。

虽然疲劳强度是材料在无数次重复交变载荷的作用下不致引起断裂的最大应力, 但实际上不可能进行无数次试验, 故一般给各种材料规定一个应力循环基数。对钢材来说, 如应力

循环次数 N 达 10^7 次仍不发生疲劳破坏, 就认为不会再发生疲劳破坏, 所以钢以 10^7 次为基数。有色金属和超高强度钢则常取 10^8 次为基数。

1.4.2 原因及改善方法

产生疲劳破坏的原因很多, 一般由于材料有夹杂、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷, 从而导致微裂纹的产生, 这种微裂纹的产生又随着应力循环次数的增加而逐渐扩展, 致使零件的有效截面不断减小, 最后承受不住所加载荷而突然破坏。

为了提高零件的疲劳强度, 除改善其结构形状、避免应力集中外, 还可以降低零件表面粗糙度及对零件表面进行强化处理来达到, 如喷丸处理、表面淬火及化学热处理等。

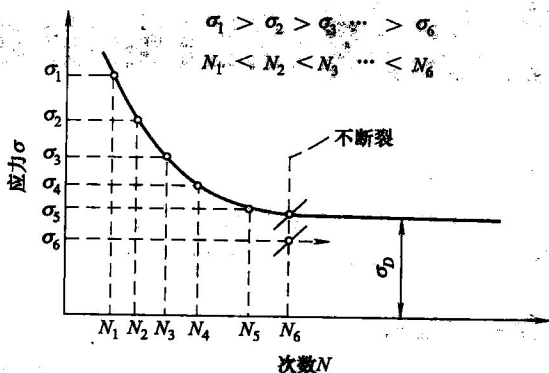


图 1-7 疲劳曲线示意

❖ 思考题与习题 ❖

1. 评定金属材料力学性能最常用的指标有哪些? 说明它们各自的代表符号和物理意义。
2. 某种材料的拉伸试样, $l_0=100\text{mm}$, $d_0=10\text{mm}$ 。拉伸时产生 0.2% 残余变形的载荷为 65000N, $F_b=85000\text{N}$, 拉断后测得 $l_1=120\text{mm}$, $d_1=6.4\text{mm}$, 试求该材料的 $\sigma_{0.2}$ 、 σ_b 、 δ 、 ψ 各为多少?
3. 试判断下列试验数据表示的是否正确, 并说出分析过程及理由。
 - (1) 热轧 15 钢硬度为 202HBS10/1000;
 - (2) 正火 15 钢硬度 18HRC;
 - (3) 在直径为 10mm 的退火黄铜试样上测出硬度值为 50HBS10/1000/30;
 - (4) 20 钢碳淬火后渗碳层硬度为 45HRC。
4. 冲击韧性有哪些不足之处? 在实际生产中, 经常用 a_K 来衡量金属材料哪方面的性能?

第2章 金属的微观结构

学习目的

本章主要介绍材料的结合方式以及由结合方式决定的材料的晶体结构。要求掌握材料的晶体结构和材料力学性能之间的关系。

重点和难点

重点是三种典型的金属晶体结构以及实际的金属晶体结构。难点是实际晶体结构对力学性能的影响。

学习指导

学习时要注意理解实际金属晶体结构与力学性能之间的关系，并把三种典型的金属晶体结构与之后的学习内容联系起来，以便学生理解。

材料的结构是材料科学与工程的核心问题，也是理解材料的性能的基础。工程材料的各种性能，尤其是力学性能，与其微观结构关系密切。大多数材料的使用状态是固态，因此，深入地分析和了解材料的固态结构与其形成过程是十分必要的。可以从几个不同的侧面来描述材料的结构，例如从化学的侧面来理解原子的构造和原子之间的键合，从晶体缺陷和微结构的侧面来理解实际材料丰富多彩的行为等。

固体物质根据其原子排列情况分为两种形式：晶体与非晶体。物质的结构可以通过外界条件加以改变，这种改变为改善材料的性能提供了可能。

2.1 材料的结合方式

2.1.1 结合键

组成物质的质点（原子、分子或离子）之间通过某种相互作用而联系在一起，这种作用力称为键。结合键对物质的性能有重大影响。通常结合键分为结合力较强的离子键、共价键、金属键和结合力较弱的分子键与氢键。

绝大多数金属元素是以金属键结合的。金属原子结构的特点是外层电子少，容易失去。当金属原子相互靠近时，这些外层电子就脱离原子，成为自由电子，为整个金属所共有，它们在整个金属内部运动，形成电子气。这种由金属正离子和自由电子之间相互作用而结合的方式称金属键。图 2-1 是金属键的模型。

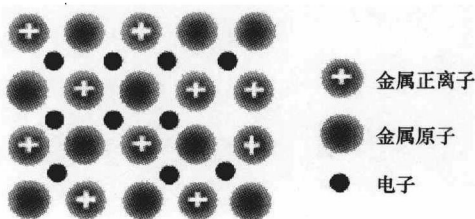


图 2-1 金属键模型

根据金属键的结合特点可以解释金属晶体的一般性能。由于自由电子的存在，容易形成电流，显示出良好的导电性；自由电子的易动性也使金属有良好的导热性；由于金属原子移动一定位置以后仍然保持金属键，所以具有很好的变形能力；自由电子可以吸收光的能量，因而金属不透明；而所吸收的能量在电子恢复到原来状态时产生辐射，使