

高 等 学 校 教 材

材 料 成 形 技 术 基 础

· 机械类各专业用 ·

主 编	陶 治				
副 主 编	高正一	张光胜	陈 刚	徐社连	
参 编	柴阜桐	张令伟	郑红梅	潘昌实	
	杨 沁	杨明璟	胡立明	王 涛	
	梁 平	谢惠生			
主 审	骆志斌				



机 械 工 业 出 版 社

本书根据教育部最新制定的“材料成形技术基础”课程教学基本要求和重点院校课程教学改革的精神编写,以材料的工艺性能、成形工艺和零件结构的工艺性为主线,介绍了各类工程材料的成形技术及其发展趋势。

全书共分 10 章,包括机械工程材料概论、铸造、金属塑性成形、连接成形、粉末冶金成形、非金属材料成形、复合材料成形、机械零件毛坯的选择、表面工程技术和环境保护等。

本书恰当论述基础理论知识,精心取舍传统工艺内容、注意反映新材料、新技术和新工艺,并简要介绍了环境保护知识。各专业名词术语、单位和材料牌号均采用最新国家标准,每章末还附有适量的思考作业题。

本书可作为高等工科院校机械类专业“材料成形技术基础”课程的教材,也可供有关教学人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/陶治主编. —北京:机械工业出版社,2002.8
高等学校教材

ISBN 7-111-10568-0

I. 材... II. 陶... III. 工程材料-成形-加工-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 049782 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:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:余茂祚

封面设计:鞠 杨 责任印刷:

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5 8.5 印张·327 千字

000 1— 册

定价: 元

凡购本书,所有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677—2527
封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是根据教育部机械工程及自动化专业教学指导委员会确定的“材料成形技术基础”课程教学基本要求，以及教育部机械基础教学指导委员会制定的“重点高等工科院校金工系列课程改革指南”的精神，由安徽省四所工科院校合作编写的，也是我省近年来机械制造基础课程教学改革的经验总结和成果结晶。

本教材以材料的工艺性、成形工艺和零件结构的工艺性为主线，从成形基础、成形方法、成形工艺和成形技术发展趋势等四个方面概要介绍了各类工程材料的成形技术。本教材具有以下主要特点：

1. 合理安排各部分内容 本书恰当论述基础理论知识，精心取舍传统工艺内容，注意反映新材料、新技术、新工艺，并简要介绍了环境保护知识。

2. 注重学生素质培养 本书在阐述问题时注意运用大量示例进行比较，以培养学生选材、选零件结构和选工艺方法的能力；所附习题也力求做到利于启发思考和激发创新思维。

3. 注意与相关课程的配合 本书对先行课如“金工实习”课程中已有的内容，不再重复或仅做综合论述。对“工程材料和热处理”课程的相关内容，考虑到各院校的教学安排不一致，仅做简要地阐述。

4. 全面采用国家标准 对于各专业名词术语、计量单位和材料牌号等，本书均依据最新国家标准（至2001年底）编写，以确保其正确和规范。

本书由合肥工业大学陶冶主编，合肥工业大学高正一、安徽工程科技学院张光胜、解放军炮兵学院陈刚、安徽理工大学徐社连任副主编，全书由陶冶和高正一统稿。本书绪论由陶冶、柴阜桐编写，第1、7章由高正一编写，第2章由张令伟、郑红梅编写，第3章由潘昌实、杨沁编写，第4章由杨明璟、徐社连、陈刚、胡立明、王涛编写，第5章由梁平编写，第6章由陶冶、柴阜桐、梁平编写，第8章由谢惠生编写，第9章由张光胜编写，第10章由徐社连编写。

本书由东南大学骆志斌教授主审，机械工业出版社余茂祚教授级高工任责任编辑，均对书稿提出了大量指导性意见，合肥工业大学教务处高玉华副处长及该校多位专家也对书稿提出了许多宝贵意见。在此特向为本书编写出版付出心血和提供支持的各位专家、学者和工作人员表示诚挚谢意。

由于编者水平有限，教材中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

前言	
绪论	1
第 1 章 机械工程材料概论	4
1.1 金属材料的主要性能	4
1.2 金属的晶体结构与结晶	10
1.3 铁碳合金	16
1.4 金属材料	22
1.5 非金属材料	37
1.6 复合材料	41
1.7 金属热处理	42
1.8 工程材料的发展趋势	45
思考作业题	47
第 2 章 铸造	49
2.1 铸造基础	49
2.2 铸造方法	59
2.3 铸造工艺设计	71
2.4 零件结构的铸造工艺性	80
2.5 铸造技术的发展趋势	86
思考作业题	88
第 3 章 金属的塑性成形	92
3.1 金属塑性成形基础	92
3.2 金属塑性成形方法	99
3.3 金属塑性成形工艺设计	122
3.4 金属塑性成形技术的发展趋势	138
思考作业题	140
第 4 章 连接成形	144
4.1 焊接理论基础	144
4.2 焊接方法	153
4.3 常用金属材料的焊接	161
4.4 焊接结构设计与工艺设计简介	166
4.5 胶接	172
4.6 机械连接	178
4.7 连接成形技术的发展趋势	186
思考作业题	189
第 5 章 粉末冶金成形	191
5.1 粉末冶金基础	191
5.2 粉末冶金工艺	193
5.3 粉末冶金零件结构的工艺性	198
5.4 粉末冶金技术的发展趋势	199
思考作业题	200
第 6 章 非金属材料成形	202
6.1 高分子材料成形基础	202
6.2 塑料成形	204
6.3 橡胶成形	212
6.4 陶瓷成形	216
6.5 非金属材料成形技术的发展趋势	224
思考作业题	226
第 7 章 复合材料成形	228
7.1 复合材料成形基础	228
7.2 复合材料成形方法	230
7.3 复合材料制品的结构工艺性	234
7.4 复合材料成形技术的发展趋势	234
思考作业题	235
第 8 章 机械零件毛坯的选择	237
8.1 机械零件毛坯选择的原则	237
8.2 常用毛坯的选择	239
8.3 常用零件的材料和成形方法	242
思考作业题	248
第 9 章 表面工程技术	249
9.1 电镀	249
9.2 化学镀	250

9.3 热喷涂	251	10.1 环境和环境问题.....	257
9.4 表面合金化	252	10.2 可持续发展与清洁生产.....	257
9.5 化学转化膜	254	10.3 材料成形中环境污染的防治 ...	260
9.6 表面工程技术的发展趋势	255	思考作业题.....	262
思考作业题.....	256	主要参考文献.....	263
第 10 章 环境保护	257		

绪 论

《材料成形技术基础》是机械类专业的主干课程之一，是一门论述材料成形方法的技术基础课。对于奠定专业基础和拓宽知识面，本课程有着其它课程无法替代的重要作用。

1. 本课程的基本内容和学习要求 本课程主要研究常用的工程材料的成形方法和加工工艺，以及各类成形方法对零件结构和材料的工艺性要求，使读者熟悉常见机械零件的毛坯成形方法及工艺，能综合分析零件结构及所用材料的工艺性优劣，并了解各类材料成形技术的发展趋势。

本课程是一门实践性很强的基础课，应在通过金工实习取得大量感性认识的基础上组织教学。在教学过程中，可通过多媒体教学和实验教学等，进一步丰富感性认识，以加深对材料成形工艺的理解和掌握。

2. 机械制造工艺过程 即将各种原材料、半成品加工成为成品的方法和过程，是机械工业的基础技术之一。机械制造工艺过程包括毛坯成形、机械加工、热处理、表面处理、检测与质量监控、装配等环节，如图 1 所示。

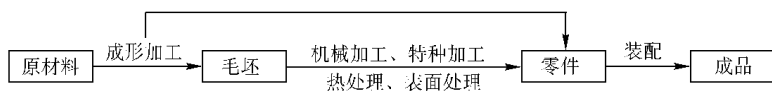


图 1 机械制造工艺过程

(1) 原材料：原材料主要是以钢铁为主的金属材料，如铸锭、轧材等。近年来，各种特种合金、粉末冶金材料、工程塑料、橡胶和工业陶瓷、复合材料等的应用比例也在不断扩大。

(2) 毛坯成形：即采用铸造、锻造、冲压和焊接等方法将原材料加工成具有一定形状和尺寸的毛坯的过程。

(3) 零件的机械加工和特种加工：即采用切削、磨削和特种加工等方法，逐步改变毛坯的形态（形状、尺寸及表面质量），使其成为合格零件的过程。近年来，部分粗加工和少量精加工已逐渐被毛坯的精密成形所取代。

(4) 材料的改性与处理：通常指热处理及电镀、热喷涂等表面处理工艺，用以改变零件的整体、局部或表面的组织及性能。材料成形加工通常也兼有材料改性的功能。

(5) 检测与质量监控：指保证工艺过程的正确实施和产品质量而使用的一切质量控制措施。检测与质量控制贯串于整个机械制造工艺过程。

(6) 装配：即按规定的技术要求，将零件或部件进行配合和连接，使之成为半成品或成品的工艺过程，包括零件的固定、连接、调整、检验和试验等工作。

3. 材料成形中的基本要素及其流动 任何材料的加工过程，都必须具备三个基本要素，即材料、能量和信息，它们在加工过程中的运动形成物质流、能量流和信息流。正是这三类要素的流动及其相互作用，才使毛坯和零件的成形得以实现。

(1) 物质流：加工过程中各类原材料的流动过程称为物质流，可分为质量不变过程、质量减少过程和质量叠加过程等三种类型。

1) 质量不变过程：即材料的质量不改变或近似不变，仅改变几何形状和(或)性能的过程，如铸造、塑性成形、热处理等。

2) 质量减少过程：即材料部分被去除以改变形状和尺寸的过程，如切削加工、热切割、板料冲裁等。

3) 质量叠加过程：即通过材料的叠加获得所需形状和尺寸的过程，如焊接、胶接和机械连接等。

(2) 能量流：加工过程中各种能量的消耗和转化过程称为能量流。能量转化的形式多种多样，有电能转化为热能的，如电阻加热、电阻焊和电弧焊等；有化学能转化为热能的，如气焊、气割和火焰钎焊等。此外，还有电能转化为机械能的，通常是通过电动机实现的。

(3) 信息流：各类信息在加工过程中的作用过程称为信息流，可分为形状信息流和性能信息流等。

1) 形状信息流：加工过程中，材料的初始形状与赋予的形状变化信息相结合从而获得最终形状和尺寸。形状变化信息既可由具有一定信息量的成形刀具、铸型型腔和锻模模膛等赋予，又可由材料与刀具间或者材料与工、模具间的相对运动赋予，如自由锻中坯料的成形主要靠其与锤头等工具间的相对运动来实现。

2) 性能信息流：加工过程中，材料的初始性能与赋予的性能变化信息相结合，从而获得最终性能。性能变化信息是通过加工过程中各有关因素的影响赋予的，如铸造时的合金成分、浇注温度、充型压力，锻造时的变形温度和变形程度等。

若将生产过程中的物质流、能量流和信息流系统化，可集成为一种先进的生产技术体系，即“机械制造技术系统”，如图Ⅱ所示。该系统以提高质量、效率、效益和竞争力为目标，具有“自动化、柔性化、高效化”的综合效果特征。

4. 材料成形技术的发展趋势 近年来，在毛坯成形技术方面，常规工艺不断优化，新型加工方法不断出现，高新技术正在与工艺紧密结合。

(1) 常规工艺不断优化：常规的成形加工工艺如砂型铸造、自由锻、模锻、电弧焊等至今仍是应用面广、经济适用的技术，并且正在不断优化。其方向是以

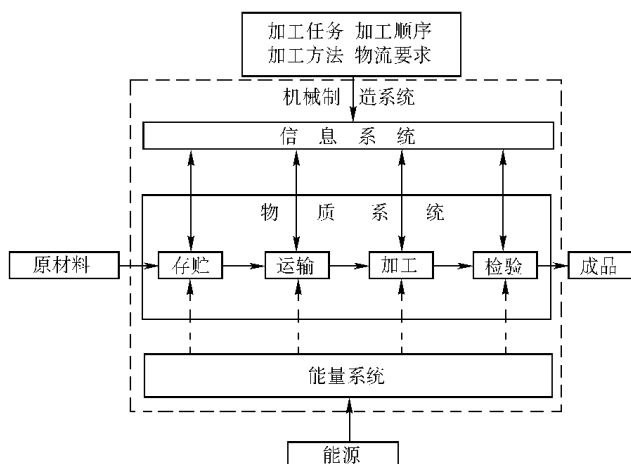


图 II 机械制造技术系统

—◆— 物质流 —→— 信息流 - - - 能量流

优质、高效、低耗、少污染为主要目标，逐步实现高效化、精密化、强韧化和轻量化。

(2) 新型加工方法不断出现：激光、电子束、等离子弧和超声波等新能源的引入，形成了多种崭新的特种成形工艺及高密度能量加工技术，可加工任何硬、脆或难熔材料以及薄壁、高弹性的难加工件，有些方法还可以进行精密加工或微细加工。新型材料如高分子材料、精细陶瓷、复合材料等的应用，导致某些崭新的加工技术的出现，如板料的高能成形、异种材料的扩散焊接和陶瓷的注射成形等。

(3) 高新技术与工艺紧密结合：由于微电子、计算机和自动化技术等高新技术与工艺、设备的紧密结合，已形成了从单机到系统、从刚性到柔性、从简单到复杂等不同档次的多种自动化加工技术，使传统工艺发生了质的变化。由数控机床、自动传输设备和自动检测装置组成的柔性制造系统（FMS）可使各种批量生产均实现自动化。计算机集成制造系统（CIMS）将整个制造活动都集成到一个有人参与的计算机系统中，可使多品种小批量生产的成本和质量接近刚性自动线的大批量生产。

第 1 章 机械工程材料概论

用于机械、电器、建筑、化工和航空航天等工程领域中的材料统称为工程材料。其中，用来制造各种机电产品的材料称为机械工程材料，机械工程材料在产品设计和制造中起着举足轻重的作用。

机械工程材料种类繁多，主要包括金属材料、非金属材料和复合材料。而金属材料又包括钢铁材料和非铁金属材料。由于金属材料来源丰富，性能优良，在现代工业、农业、国防以及日常生活中得到广泛应用，所以是最重要的机械工程材料，约占各种机械产品所用材料的 90% 以上。

材料是科学理论和创造发明的物质基础。在当代社会中，能源开发、海洋工程、航空航天、环境保护、计算机技术和信息技术乃至日常生产和生活无不需要有适用的材料，因而材料科学的研究和发展，世界各国都非常重视。机械产品正朝着大型、成套、精密、高效、高运行参数等方向发展，因而对机械工程材料的要求越来越高。金属材料目前虽仍占主导地位，但非金属材料和复合材料的发展也十分迅速，各类材料彼此渗透，相互结合，形成了规模宏大的材料体系，为工业和国民经济的持续发展发挥了极其重要的作用。

1.1 金属材料的主要性能

机械零件在使用过程中，要受到诸如拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切、摩擦、冲击以及温度和化学介质等作用，并且还要传递力或能。因此，作为构成机械零件的金属材料，应具备良好的力学性能、物理性能和化学性能，以防零件早期失效（即在限定时间内和规定条件下，不能完成正常的功能），同时还要有良好的工艺性能。

1.1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能指材料在外力作用下表现出来的特性，如弹性、强度、硬度、韧性和塑性等。表征和判定金属力学性能所用的指标和依据称为金属力学性能的判据，是评定金属材料质量以及金属制件设计时选材和进行强度计算的主要依据。金属材料力学性能判据可通过相应的金属力学试验进行测定。

1. 弹性 即物体在外力作用下改变其形状和尺寸，当外力卸除后物体又回复到其原始形状和尺寸的特性。弹性的判据可通过拉伸试验来测定。

（1）拉伸试验：即用静拉伸力对试样轴向拉伸，测量力和相应的伸长，一般拉至断裂以测定其力学性能的试验。将金属材料制成如图 1-1a 所示的标准试

样, 在拉伸试验机上对其施加一个缓慢增加的轴向拉力, 若将试样从开始变形直到断裂所受的拉力 F 与其所对应的伸长 ΔL 绘成曲线, 可得拉伸曲线, 如图 1-2 所示。它反映出金属材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形直至断裂的力学特性。物体受外力作用后将导致内力产生, 单位截面上的内力称为应力 (即拉力 F 与试样原始横截面积 S_0 的比值), 用符号 σ 表示; 而由外力引起的物体原始尺寸的相对变化称为应变 (即试样原始标距 L_0 的伸长量与原始标距的比值), 用符号 ϵ 表示。如果分别以应力 σ 和应变 ϵ 来代替 F 和 ΔL , 可得到应力-应变曲线, 其形状与上述拉伸曲线相同。如图 1-2 所示, 当外力未达到 e 点之前, 试样只产生弹性变形, 当载荷超过 e 点时, 试样开始产生塑性变形。当外力继续增加到 s 点时, 试样所承受的载荷虽不再增加, 但仍继续产生塑性变形, 图上出现水平段, 这种现象叫做屈服。当载荷继续增加到 b 点时, 试样的局部截面积缩小, 产生缩颈现象 (见图 1-1b), 当达到 k 点时, 试样被拉断 (见图 1-1c)。

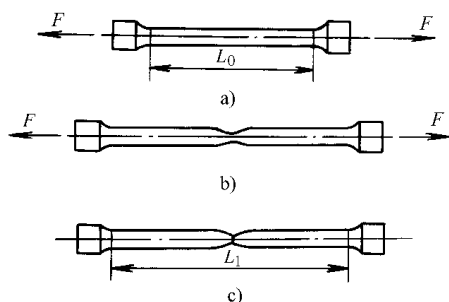


图 1-1 试样拉伸过程

a) 标准试样 b) 试样出现缩颈 c) 试样断裂

L_0 —试样原始标距 L_1 —试样拉断后的标距

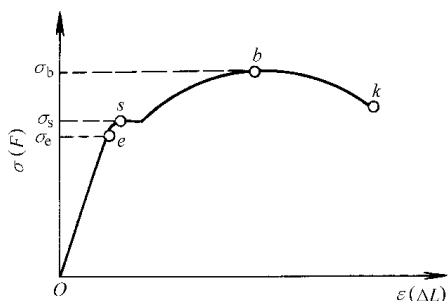


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

(2) 弹性极限: 即金属材料不产生塑性变形时所能承受的最大应力。如图 1-2 所示, e 点对应的应力 σ_e 为弹性极限。

$$\sigma_e = F_e / S_0$$

式中 σ_e ——弹性极限 (MPa);

F_e ——试样产生完全弹性变形时的最大外力 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

弹性极限是工作中不允许有微量塑性变形的零件 (如精密的弹性元件、炮筒等) 的设计与选材的重要依据。

2. 刚度 即材料抵抗弹性变形的能力。刚度的大小常以弹性模量来衡量。弹性模量在拉伸曲线上表现为 Oe 段的斜率, 即

$$E = \sigma / \epsilon$$

式中 E ——弹性模量 (MPa);

σ ——应力 (MPa);

ϵ ——应变。

由此可见, 在一定的应力作用下, 弹性应变量越小, E 值就越大, 材料的刚度也越大。

弹性模量取决于金属的内部结构和温度, 合金化和热处理对其影响均不大。如在室温下钢和铸铁的弹性模量值约为 200GPa, 相差不大, 但钢从 20℃ 加热到 450℃, E 值将下降约 20%。机器零件一般都在弹性状态下工作, 均需有较大的刚度, 故对承受载荷较大或精度要求高的零件 (如机床主轴、箱体、床身等) 都应选择弹性模量较大的材料制造。

3. 强度 即金属抵抗永久变形和断裂的能力。常用的强度判据有屈服点和抗拉强度等。

(1) 屈服点: 即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。如图 1-2 所示, 拉伸曲线上 s 点对应的应力 σ_s 为屈服点。

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中 σ_s ——屈服点 (MPa);

F_s ——试样开始产生屈服现象时的拉力 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

由于许多金属材料在拉伸试验时没有明显的屈服现象, 为了测定这些材料的屈服点, 规定试样产生 0.2% 残余应变时对应的应力作为屈服点, 习惯上称为条件屈服强度, 符号为 $\sigma_{0.2}$ 。

(2) 抗拉强度: 即试样拉断前承受的最大标称拉应力。如图 1-2 所示, 拉伸曲线上 b 点对应的应力为抗拉强度。

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa);

F_b ——试样断裂前所能承受的最大拉力 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

屈服点和抗拉强度都是零件设计时的主要依据, 也是评定金属材料力学性能的重要判据之一。

4. 塑性 即断裂前材料发生不可逆永久变形的能力, 常用的塑性判据是伸长率和断面收缩率。

(1) 伸长率: 一般指断后伸长率, 即试样拉断后标距的伸长与原始标距的百分比。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 δ ——伸长率 (%);

L_1 ——试样断后标距 (mm);

L_0 ——试样原始标距 (mm)。

(2) 断面收缩率: 即试样拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。

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

式中 ψ ——断面收缩率 (%);

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处的最小横截面积 (mm^2)。

材料的 δ 和 ψ 值越大, 则塑性越好, 但强度、硬度一般较低。塑性判据通常不直接用于工程设计计算, 但良好的塑性是材料塑性加工的必要条件。此外, 一定的塑性还可以提高零件工作的可靠性, 防止使用中突然断裂。

5. 硬度 即材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。它是衡量金属软硬的判据, 也是表征力学性能的一项综合指标。常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度等, 可通过硬度试验进行测定。

(1) 布氏硬度试验: 即用一定直径的球体 (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计算硬度的一种压痕硬度试验, 如图 1-3 所示。

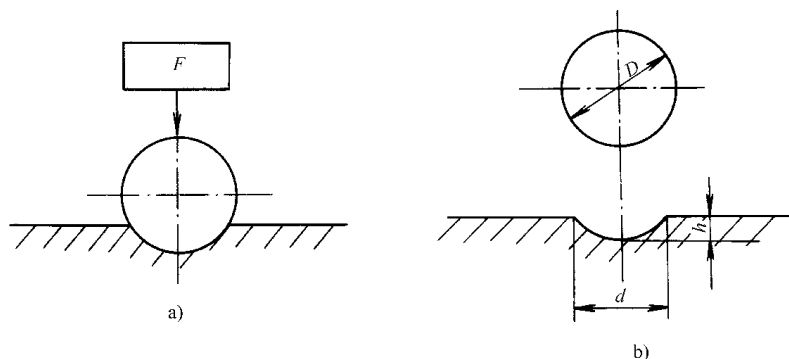


图 1-3 布氏硬度试验

a) 球体压入试样 b) 卸除试验力

布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示的, 可按下式计算:

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

式中 HBS (HBW) ——用钢球 (硬质合金球) 试验时的布氏硬度;

F ——试验力 (N);

D —— 球体直径 (mm);

d —— 压痕直径 (mm)。

布氏硬度符号有两种, 压头为钢球时用 HBS 表示, 适用于布氏硬度值在 450 以下的材料; 压头为硬质合金球时用 HBW 表示, 适用于布氏硬度值在 450 以上, 650 以下的材料。硬度值应标注在符号之前, 如 220HBS 表示用钢球压头测得的布氏硬度值为 220。布氏硬度试验测定的硬度值较准确, 但不能测薄片材料, 也不宜测成品, 主要用于较软的金属材料及半成品的硬度测定。

(2) 洛氏硬度试验: 即在初始试验力及总试验力先后作用下, 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试验力, 用测量的残余压痕深度增量计算硬度的一种压痕硬度试验, 如图 1-4 所示。

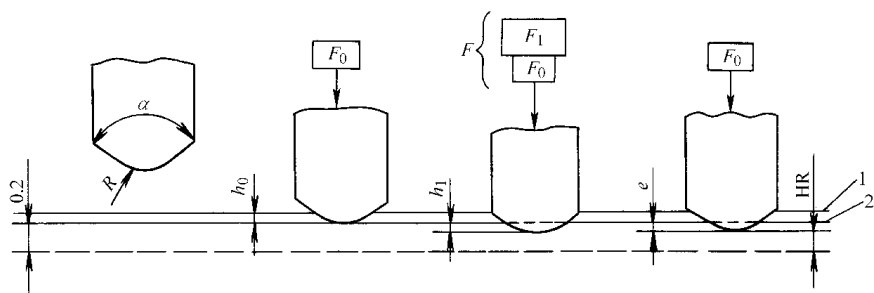


图 1-4 洛氏硬度试验 (压头为金刚石圆锥)

1—试样表面 2—基准线 F_0 —初始试验力 F —总试验力 F_1 —主试验力

洛氏硬度值是用洛氏硬度相应标尺刻度满量程值与残余压痕深度增量 (去除主试验力后在初始试验力下的深度方向的塑性变形量) 之差计算的, 即

$$\text{HRA (HRC)} = 100 - e$$

$$\text{HRB} = 130 - e$$

式中 HRA (HRC) —— A 标尺 (C 标尺) 测定的洛氏硬度, 均采用金刚石圆锥压头;

HRB —— B 标尺测定的洛氏硬度, 采用钢球压头;

e —— 残余压痕深度增量, 用 0.002mm 为单位表示。

洛氏硬度用符号 HR 表示, 硬度值标注于 HR 之前, 标尺符号标注于 HR 之后。如 50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50。

洛氏硬度试验测量简便迅速, 压痕小而不损伤工件表面, 且可测薄试样和硬材料, 常用于成品检验。

布氏硬度值和洛氏硬度值之间可通过硬度换算表进行比较。通常洛氏硬度 HRC 值与布氏硬度 HBS (HBW) 值之间的比例大约为 1:10。例如 40HRC 约为 400HBS, 25HRC 约为 250HBS。

由于硬度反映金属材料在局部范围内抵抗塑性变形及破断的能力, 因而和强

度之间有一定的联系，如布氏硬度 HBS 值和强度 σ_b 值有如下粗略换算关系：

碳素钢： $\sigma_b \approx 0.35\text{HBS}$ 黄铜及青铜： $\sigma_b \approx 0.4\text{HBS}$ （冷变形）

硬 铝： $\sigma_b \approx 0.37\text{HBS}$ 灰铸铁： $\sigma_b \approx 0.1\text{HBS}$

6. 韧性 金属在断裂前吸收变形能量的能力。在承受冲击载荷时，材料的 σ_s 、 σ_b 和屈强比 (σ_s/σ_b) 均会增高，势必增加材料的脆性趋势，故必须考虑材料的韧性。常采用夏比冲击试验来测定材料的韧性，即用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的缺口试样进行一次性打击，测量试样折断时冲击吸收功的试验，如图 1-5 所示。

常用的韧性判据是冲击韧度 a_K ，即冲击试样缺口底部单位横截面积上的冲击吸收功，可用下式计算：

$$a_K = A_K/A = G(h_1 - h_2)/A$$

式中 a_K ——冲击韧度 (J/cm^2)；

A_K ——试样的冲击吸收功 (J)；

A ——缺口底部横截面积 (cm^2)；

G ——摆锤重量 (N)；

h_1 ——摆锤举起高度 (m)；

h_2 ——摆锤击断试样后升起高度 (m)。

通常将 a_K 值低的材料称为脆性材料，反之称为韧性材料。此外，金属的韧性通常随着加载速度的提高、温度的降低、应力集中程度的加剧而减小。由于在冲击载荷下工作的机器零件很少是受大能量一次冲击破坏的，而往往是受小能量多次重复冲击破坏的，此时材料承受冲击的能力主要取决于强度，故冲击韧度一般仅作为选材时参考，不直接用于设计计算。但 a_K 对材料的组织缺陷十分敏感，能够灵敏地反映出材料质量的变化，故常用来检验冶炼、热加工、热处理等的工艺质量。

1.1.2 金属材料的物理、化学性能

金属材料的物理、化学性能包括密度、熔点、导电性、导热性、磁性、热膨胀性、耐热性和耐蚀性等。机械零件的用途不同，对材料的物理、化学性能要求也不同。例如航空航天所用的零、部件，要选用密度小、耐热性好的铝合金或钛合金来制造；在腐蚀介质中工作的零件，要选用耐腐蚀性好的材料，如不锈钢等来制造；电器零件要求材料具有良好的导电性或磁性；内燃机活塞要求材料具有较小的热胀系数；高温下工作的零件要求材料具有良好的耐热性等。

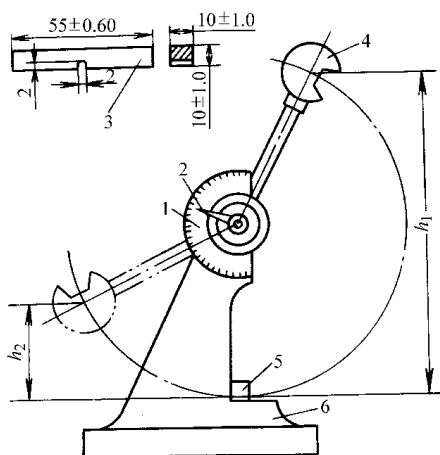


图 1-5 夏比冲击试验

1—表盘 2—指针 3、5—冲击试样
4—摆锤 6—支座

金属材料的物理、化学性能对制造工艺也有影响。如导热性差的材料切削加工时,会使刀具的寿命降低;而在锻压或热处理时,加热或冷却速度快了又易产生裂纹。又如钢和铝合金的熔点不同,其熔炼工艺也就有较大差别。

1.1.3 金属材料的工艺性能

金属材料对加工工艺的适应性称为工艺性能,按加工方法不同,可分为铸造性能、塑性成形性、焊接性等。各种工艺性能将在以后有关章节中介绍。

1.2 金属的晶体结构与结晶

按原子排列的特征,可将固体物质分为晶体和非晶体两大类。晶体内部的原子是按一定的次序作有规则排列的,如金刚石、石墨等,固态金属一般都属于晶体。非晶体内部的原子则是作无规则排列的,如玻璃、松香和沥青等。

1.2.1 金属的晶体结构

图 1-6a 所示为最简单的晶体的原子排列球体模型。为了便于理解和描述晶体中原子排列的规律,可以近似地把晶体中每一个原子看成是一个点,该点代表原子的振动中心,并将各点用假想的线条连接起来,就得到一个空间格架,简称“晶格”,如图 1-6b 所示。晶格中最小的几何单元称为“晶胞”(见图 1-6c),晶胞中各棱边的长度称为“晶格常数”,单位为 $\text{\AA}$ ($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$);晶格中每个方位的原子组成的平面称为晶面。整个晶格可以看成是由许多晶胞或晶面在空间重复堆积而成的。

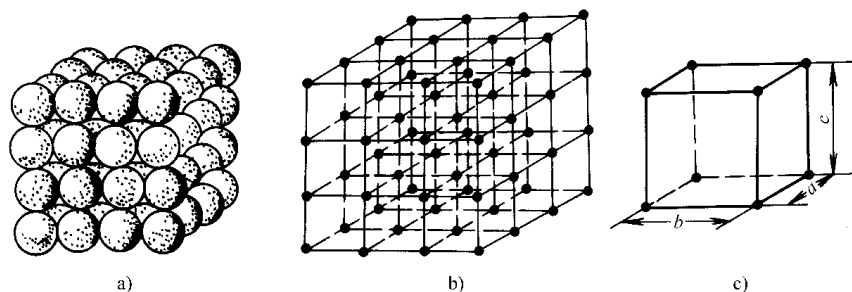


图 1-6 晶体结构示意图

a) 晶体结构 b) 晶格 c) 晶胞

常见的金属晶格结构有体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格等三种类型。

1. 体心立方晶格 体心立方晶格的晶胞是一个立方体,其中心和八个角上各有一个原子,如图 1-7a 所示。属于这一类晶格的金属有 $\alpha\text{-Fe}$ 、Cr、W、V 等。它们都具有较好的塑性和较大的强度。

2. 面心立方晶格 面心立方晶格的晶胞也是一个立方体,其六个面的中心

和八个角上各有一个原子，如图 1-7b 所示。属于这一类晶格的金属有 γ -Fe、Cu、Al、Ni 等。它们都具有较好的塑性。

3. 密排六方晶格 密排六方晶格的晶胞是一个六方柱体，其上下底面的中心和十二个角上各有一个原子，且在六方柱体的中间还有三个原子，如图 1-7c 所示。属于这一类晶格的金属有 Mg、Zn、Cd、Be 等，它们的塑性均较差。

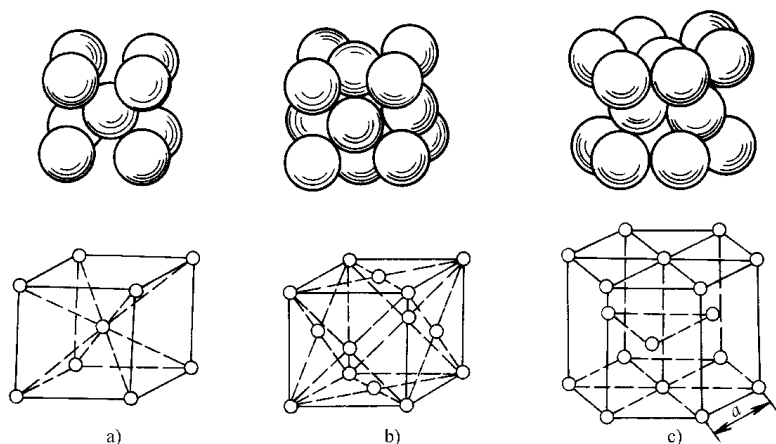


图 1-7 常见金属晶格的晶胞

a) 体心立方晶胞 b) 面心立方晶胞 c) 密排六方晶胞

金属的晶体结构类型不同，金属的性能也不同。而具有相同晶胞类型的金属，晶格常数不同，其性能也不同。

1.2.2 金属的结晶过程

1. 金属的结晶 即液态金属凝固时原子占据晶格的规定位置形成晶体的过程。

纯金属的结晶过程可通过热分析实验法得到的温度与时间的关系曲线，即冷却曲线来表示，如图 1-8 所示。由图可见，当金属液冷却到某一温度时，将出现一个水平线段，表示温度不随时间的延续而下降，这是由于结晶时释放的结晶潜热补偿了金属向周围散失的热量。该水平线段对应的温度称为结晶温度。

2. 过冷 即熔融金属冷却到平衡的凝固点以下而没有发生凝固的现象。实际生产中，金属液都是冷却到理论

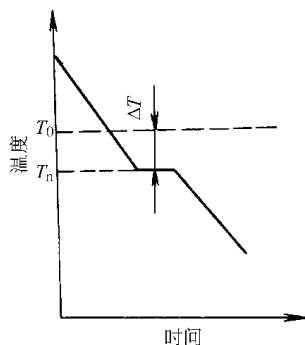


图 1-8 纯金属的冷却曲线

T_0 —理论结晶温度 T_n —实际结晶温度

ΔT —过冷度

晶温度以下某一温度才开始结晶的。理论结晶温度与实际结晶温度的差值称为过冷度。即

$$\Delta T = T_0 - T_n$$

式中 ΔT ——过冷度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_0 ——金属的理论结晶温度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_n ——金属的实际结晶温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

金属的过冷度不是恒定值,它与冷却速度有关。冷却速度越快,过冷度也越大。

3. 金属的结晶过程 金属的结晶过程包括形核和晶核长大两个阶段,并持续到液相全部转变成固相为止,如图 1-9 所示。

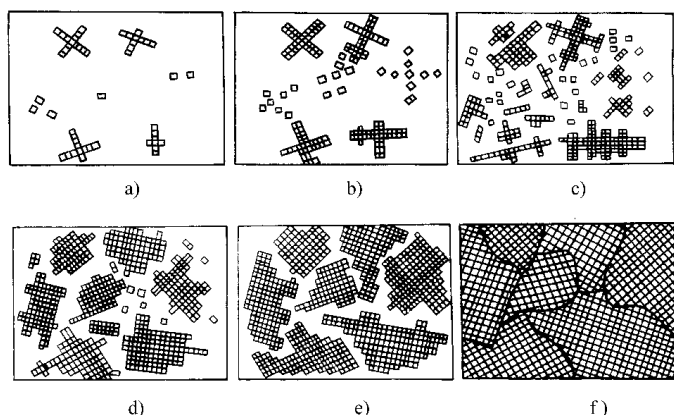


图 1-9 金属的结晶过程

a) ~ e) 形核和晶核长大 f) 多晶体

(1) 形核: 又称为成核, 是过冷金属液中生成晶核的过程, 是结晶的初始阶段。形核有均质形核和非均质形核两种方式。

1) 均质形核: 又称为自发形核, 是熔融金属仅因过冷而产生晶核的过程。在一定的过冷度下, 金属液中的一些原子自发聚集在一起, 按晶体的固有规律排列起来形成晶核。均质形核所需过冷度很大, 如纯铁的过冷度可达 295K。

2) 非均质形核: 又称为非自发形核, 是以熔融金属内原有的或加入的异质点作为晶核或晶核衬底的形核过程。非均质形核所需的过冷度小, 最多不超过 20K, 故铸件凝固时通常都是以非均质形核方式进行的。

(2) 晶核长大: 即金属结晶时, 晶粒长大成为晶体的过程。结晶过程中, 已形成的晶核不断长大, 同时液态金属中又会不断地产生新的晶核并不断长大, 直至液态金属全部消失、长大的晶体互相接触为止。凝固的金属是由许多外形不规则、大小不等的小颗粒晶体组成的多晶体, 如图 1-9f 所示。多晶体材料内, 晶