

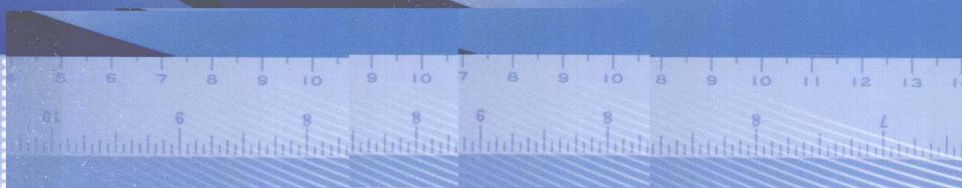
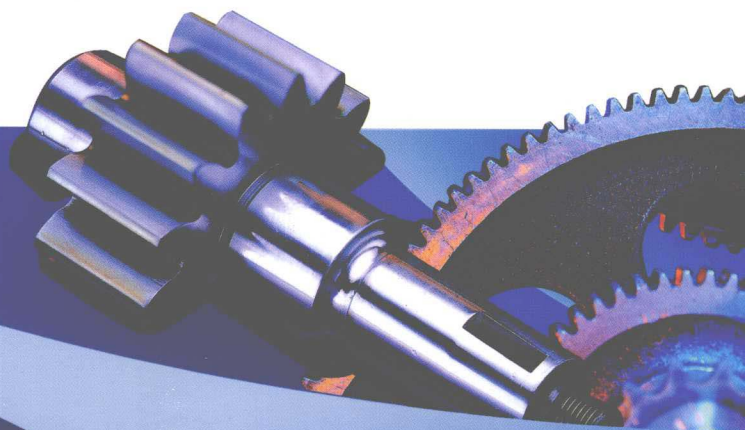


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

制造工程 工艺基础

ZHIZAOGONGCHENG GONGYI JICHU

主编：刘舜尧 李 燕 邓曦明



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

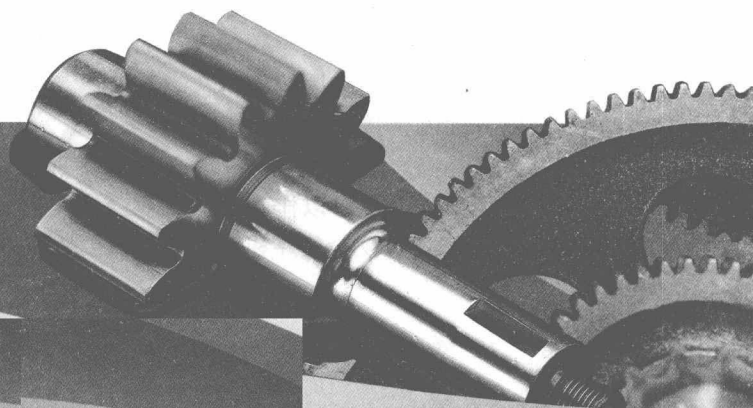


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

制造工程 工艺基础

ZHIZAOGONGCHENG GONGYI JICHU

主编：刘舜尧 李 燕 邓曦明



 中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

制造工程工艺基础/刘舜尧,李燕,邓曦明主编. —长沙:
中南大学出版社,2010

ISBN 978-7-5487-0009-8

I. 制... II. ①刘... ②李... ③邓... III. 机械制造工艺 -
高等学校 - 教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 043994 号

制造工程工艺基础

主编 刘舜尧 李 燕 邓曦明

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市理工大印刷厂

☐开 本 787 × 1092 1/16 ☐印张 19.75 ☐字数 482 千字

☐版 次 2010 年 3 月第 1 版 ☐2010 年 3 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0009-8

☐定 价 36.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

序 言

湖南省高等教育学会金工教学委员会在总结本地区多年课程教学改革经验的基础上,认真吸取与借鉴国内兄弟院校的教学改革成果,组织一批经验丰富的骨干教师,几历艰辛,成功编写了8本一套“工程材料及机械制造基础”的系列教材。该套教材囊括了课堂教学、工程实践教学和教学指导三部分必备的内容,注重扩充制造领域的新材料、新技术和新工艺,重视零件设计的结构工艺性;使之既符合目前金工系列课程改革的发展方向,又体现湖南地区高校课程改革的基本特色。

金工系列课程虽然属于工艺性技术基础课程的范畴,但它在大学实现其整体教育目标中所起的作用,并不亚于任何一门其他重要课程。这是因为:

1. 它包含讲课、实习和实验三部分完整内涵,是工艺理论与工艺实践高度结合的课程,尤其是“实践”这一必须经历的重要过程,正是我国高校学生所普遍缺乏的。

2. 工程训练中心所提供的大工程背景和严格按照教学计划所实施的全面训练,使其不只是为后续课程打基础的一般性业务课程,而是全面贯彻落实素质教育的综合性课程。

3. 工艺课程体现出很强的综合性。任何一个小的工艺问题,都必然涉及一系列相关的边界问题。因此,工艺问题的解决,实际上总是可以转化为类似于对一个多元方程求优化解,在解决问题的思维方法上可以给学生以启迪。

4. 设计创新与工艺创新是相互关联和密切联系的。事实上,工艺创新愈深入,设计创新就愈活跃。真正懂得工艺的人,才能更好地实施设计创新。在这里,零件的结构工艺性只是体现其中的一个方面,工艺方法本身的不停顿创新则显得更为重要。国内外的专家学者目前对此问题的看法已经基本趋于一致。

5. 当今的高等教育,旨在培养出一大批基础宽、能力强和素质高的复合性人才。从未来社会的发展趋势看,人文社会学科的学生应该具备一些工程技术方面的知识和经历;同样,理工学科的学生也应该具备更好的人文素质。金工系列课程中的工程训练则可以为实现这种交叉和融合提供一个良好的界面。

6. 要高质量、高效率地实现预定的教学目标,在教学中应该合理、适度地采用已经日趋成熟的现代教育技术。

第2版前言

《制造工程工艺基础》教材自2002年出版以来,8年已印刷8次,在国内各有关理工院校“机械制造工程训练”(金工实习)课程教学中使用。这期间,我国高等教育发生了深刻的变革,在教育部、财政部实行高等学校本科教学质量与教学改革工程及精品课程建设工作的推动下,“机械制造工程训练”课程的建设与教学改革取得了许多新的成果,本课程实践教学和理论教学对教材建设提出了新的更高的要求。根据教育部“工程材料及机械制造基础”课程指导组新制定的“机械制造实习课程教学基本要求”,本教材在2002年第1版的基础上进行修订。

本次修订保持了教材原有的体系和风格,对第1版编写的内容进行了适当的调整,删除了与课程教学关系不太紧密的“胶接成形”内容,根据计算机技术和数控加工技术的最新发展新编写了第11章数控加工技术。本次修订由刘舜尧修订第1、2、3、4、5、6、7章;蔡小华新编第6章;钟世金修订第8章;李燕修订第9章;邓曦明修订第10章和第11章第4节;何玉辉新编第11章1、2、3节;彭高明新编第11章第5节;舒金波修订第12章。

本教材修订、编写由刘舜尧、李燕、邓曦明担任主编,胡昭如教授负责主审。

编者对本教材第1版发行使用、第2版修订过程中提出宝贵意见与建议的专家教授和实习教学指导工作者深表感谢。限于编者水平,修订编写中难免存在不当之处,敬请读者批评指正。

与本教材配套的《制造工程实践教学指导书》同时修订,出版第2版。

编者

2010年3月

前 言

制造技术是将原材料转变为产品的应用技术，它既是科学技术走向实际应用的接口和桥梁，又是推动科学技术向前发展的基础。先进的制造技术对于创造物质财富和发展科学技术，具有十分重要的意义。

工业发达国家都无不拥有先进的制造技术和庞大的制造业，制造业已成为各工业发达国家基本的支柱产业，所创造的物质财富达到整个国民经济总产值的一半以上。所以，要使国家和民族繁荣富强，必须大力创新制造技术，大力发展现代制造业。

先进制造技术与现代科学技术密不可分，新材料技术、能源技术、自动控制技术、信息技术、计算机技术和现代管理技术在制造工程中的应用，使得现代制造技术向着更高的水平前进。所以，制造技术教育必须适应科学技术的发展，必须适应现代制造业的需要，教育观念、教学内容、教学方法与手段都必须更新。

《制造工程工艺基础》一书，遵循党和政府倡导的科技创新与全面推进素质教育的指导思想，以国家教育部新颁布的“金工实习教学基本要求”为指导，在原《机械制造基础与实践》教材的基础上，认真总结国内各兄弟院校关于本课程教学内容与课程体系教学改革的经验，并结合编者的教学实践，提高起点，拓宽知识面，精选常规制造工艺内容，增加先进制造技术及其工艺方法。在编写结构上突破传统金工教材的体系，将全书分为四篇，各篇自成体系；在内容上有较大幅度的更新，对常规的工艺内容做了必要的精简，增加了在制造工程中已广泛应用的新材料、新技术与新工艺的内容；选材上注意知识的系统性和科学性，文字力求简洁；各章节之后均附有练习题，以便于学生阅读和培养自学能力；为了帮助学生学习科技外语，书中还插入了部分常用制造工程专业术语的英语单词，以拓宽获得英语词汇的途径。

全书采用法定计量单位，材料牌号、基本概念和工艺术语等均采用已颁布的国家规范和标准。

本书由刘舜尧、李燕、邓曦明主编。书中各部分内容分别由刘舜尧（前言，第1，2，3，4，5，7章），蔡小华（第6章），钟世金（第8章），李燕（第9章），邓曦明（第10，11章）、舒金波（第12章）编写。

本书由中南大学胡昭如教授主审，参加本书审稿工作的有：湖南大学陈永泰，中南大学何少平、贺小涛，国防科技大学周继伟，湖南师范大学汤猷则，长沙交通学院杨瑾珪，中南林学院郑哲文，湖南工程学院张亮峰。他们对本教材的编写提出了许多建设性的意见。

本书是“湖南省普通高等教育 21 世纪课程教材”规划重点资助项目，也是湖南省高等教育学会金工教学委员会组织编写的“工程材料及机械制造基础”系列教材之一，在编写出版过程中得到了湖南省教育厅和学会有关专家的指导和帮助。在本书的编写中，还参考并引用了有关文献资料，借鉴了各兄弟院校和同行专家的教学改革成果。值此书出版之际，特向以上专家、教授表示诚挚的感谢！

限于编者的学识水平，书中的错误和不妥之处，热诚希望读者斧正。

编 者

目 录

第一篇 工程材料

1 金属材料	(3)
1.1 金属材料的性能	(3)
1.2 金属热处理方法	(9)
1.3 钢铁材料	(12)
1.4 有色金属材料与粉末合金	(21)
2 非金属材料与复合材料	(27)
2.1 非金属材料	(27)
2.2 复合材料	(30)
3 功能材料	(33)
3.1 磁性材料	(33)
3.2 超导材料	(34)
3.3 形状记忆合金	(34)
3.4 纳米材料	(36)

第二篇 材料成形工艺

4 铸造成形	(43)
4.1 概述	(43)
4.2 砂型铸造	(44)
4.3 铸造合金熔炼	(57)
4.4 合金的铸造性能与铸件结构工艺性	(60)

4.5 特种铸造	(67)
5 锻压成形	(70)
5.1 概述	(70)
5.2 金属的加热和冷却	(74)
5.3 锻造工艺	(77)
5.4 冲压成形	(86)
5.5 锻压成形先进工艺	(89)
6 焊接成形	(93)
6.1 概述	(93)
6.2 常用的焊接方法及焊接设备	(96)
6.3 焊接质量及其控制	(113)
6.4 焊接结构设计	(116)
7 金属粉末制品与工程塑料的成形	(119)
7.1 粉末冶金工艺	(119)
7.2 塑料成形工艺	(123)
8 快速原形制造技术	(127)
8.1 概述	(127)
8.2 快速原形制造技术的工艺方法	(131)

第三篇 切削加工工艺

9 机械加工	(139)
9.1 机械加工基础知识	(139)
9.2 车削加工	(156)
9.3 钻削与镗削加工	(174)
9.4 铣削加工	(179)
9.5 齿形齿面的切削加工	(185)
9.6 刨削和插削加工	(192)
9.7 磨削加工	(198)
9.8 零件表面的加工与机械加工工艺过程	(203)
9.9 零件机械加工的结构工艺性	(207)

10 钳 工	(211)
10. 1 概述	(211)
10. 2 划线	(212)
10. 3 锯切	(215)
10. 4 锉削	(217)
10. 5 刮削	(219)
10. 6 攻丝和套扣	(221)
10. 7 操作示例	(223)
10. 8 装配	(227)

第四篇 数控加工与特种加工

11 数控加工技术	(233)
11. 1 概述	(233)
11. 2 数控加工编程基础	(238)
11. 3 数控车削	(247)
11. 4 数控铣削	(254)
11. 5 数控加工中心	(259)
12 特种加工技术	(270)
12. 1 概述	(270)
12. 2 电火花成形加工	(272)
12. 3 电火花线切割加工	(278)
12. 4 超声波加工	(287)
12. 5 激光加工	(289)
附录：常用制造工程专业术语英语词汇表	(292)
主要参考文献	(300)

第一篇

工程材料

- 1 金属材料
- 2 非金属材料与复合材料
- 3 功能材料

1 金属材料

金属材料在工业制造工程中的应用非常广泛，机床、汽车、船舶、航空航天、通用机械、农机、轻纺、仪器仪表、电子计算机、信息产业等制造行业中，金属材料的使用约占85%，其他材料只占15%左右，可见金属材料对于制造业是十分重要的基础材料。

金属材料可分为黑色金属材料、有色金属材料及粉末冶金材料等。其中黑色金属材料是指铁基金属合金，包括碳钢、合金钢和铸铁，有色金属材料则是除铁基金属材料以外的所有金属及其合金，而粉末合金材料是用粉末冶金的方法将各种金属粉末混合并烧结成形的工程金属材料，粉末冶金中所用的粉末可以是铁基粉末也可以是各种有色金属粉末。

本章介绍金属材料的基础知识及其在制造工程中的应用。

1.1 金属材料的性能

金属材料的性能(properties of metal materials)包括力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能。在工业设备的设计与制造中，主要考虑材料的力学性能与工艺性能，某些特定条件下工作的零件还要求材料具备一定的物理性能与化学性能。

1.1.1 金属材料的力学性能

金属材料在外力作用下反映出来的力学性质称为力学性能(mechanical property)，衡量力学性能的指标主要有强度、塑性、硬度和韧性等几种。

1. 强度

金属材料在外力作用下抵抗变形与断裂的能力称为强度(strength)。根据外力的作用方式不同，可以分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度等等。一般所说的强度指的是抗拉强度。

抗拉强度是将金属试样(图1.1)夹持在拉伸试验机上测试出来的。试验时，对拉伸试样缓慢增加载荷，试样在拉力作用下产生变形并且被不断拉长，最终被拉至断裂。用低碳钢试样作拉伸试验，可以得到如图1.2所示的拉伸曲线。

在拉伸曲线上，纵坐标表示外力的大小，横坐标表示试样的变形量。从拉伸曲

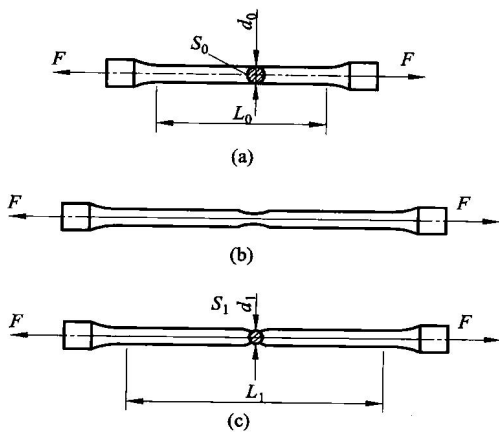


图 1.1 拉伸试样

线可以看出,当外力小于 F_e 时,试样的变形量与外力成正比关系,此时若去除外力,试样将恢复到原始长度,说明这时试样仅发生弹性变形;当外力大于 F_e 时,试样除发生弹性变形外,还发生不能回复的变形(塑性变形),这时如果去除外力,试样的弹性变形消失,塑性变形部分残留下来,试样不能完全恢复到原始长度;当外力增加到 F_s 时, S 点附近的曲线近似于水平状态,即发生外力不增加而试样却在连续伸长的现象,这种现象称为“屈服”;屈服现象过后,继续增加外力,则试样发生明显的塑性变形,当外力增大到 F_b 时,试样局部开始变细而发生“缩颈”现象;之后,试样变形集中出现在缩颈附近,由于截面缩小,继续变形所需的外力下降,外力达到 F_k 时,试样在缩颈处断裂。

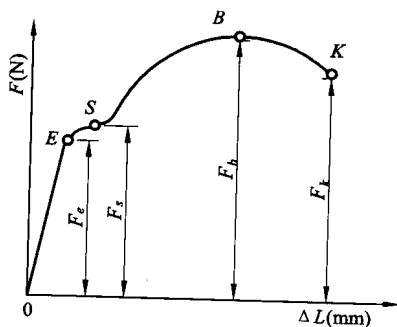


图 1.2 低碳钢的拉伸曲线

根据拉伸曲线所反映出的试样拉伸变形与断裂的情况,可以得到如下的概念:

(1) 弹性极限(elastic limit) σ_e 。弹性极限是金属材料在外力作用下开始产生塑性变形时的应力,即:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中: F_e ——试样发生最大弹性变形时的拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

为了便于比较,在国家标准中把产生残余伸长为 0.01% 的应力作为规定弹性极限,用 $\sigma_{p0.01}$ 表示,并将 $\sigma_{p0.01}$ 称为规定非比例伸长应力。

(2) 屈服点(yield point) σ_s 。屈服点是金属材料在外力作用下开始发生屈服现象时的应力,即:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中: F_s ——试样发生屈服现象时的拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

(3) 抗拉强度(tensile strength) σ_b 。抗拉强度是金属材料在拉伸力作用下,断裂前能承受的最大应力,即:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中: F_b ——试样断裂前的最大拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

上述各式中,如果外力 F 的单位为牛顿(N),试样原始横截面积 S_0 的单位为平方米(m^2),则强度的单位为帕(Pa)或兆帕(MPa),且有:

$$1 \text{ MPa} = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$$

金属材料的强度在机械设计中具有重要意义。设计弹簧和弹性零件时,材料的许用应力不应超过其弹性极限,即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_e$;采用韧性材料制造机械零件时,材料的许用应力不应超过

其屈服点, 即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_s$; 采用脆性材料制造机械零件时, 其许用应力不应超过抗拉强度, 即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_b$ 。违反了这些规则, 机械零件就不能正常使用。

2. 塑性

金属材料在外力作用下, 产生永久变形而不破坏的能力称为塑性(plasticity)。塑性通常用断后伸长率(δ)与断面收缩率(ψ)来表示。它们的计算式如下:

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

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

式中: L_0 ——试样原始标距长度(mm);

L_1 ——试样拉断后的标距长度(mm);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处的最小横截面积(mm^2)。

测定金属材料的断后伸长率时, 同一种材料用不同长度的试样得到的 δ 值不同。用长比例试样($L_0 = 10d_0$)测得的断后伸长率用 δ_{10} 表示, 通常简写为 δ ; 用短比例试样($L_0 = 5d_0$)测得的断后伸长率用 δ_5 表示。由于金属材料的断后伸长率随标距长度 L_0 增加而 δ 值变小, 故有 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

断面收缩率(percentage reduction of area)则不受试样长短的影响。

金属材料的断后伸长率(percentage elongation after fractures)与断面收缩率的值愈大, 说明材料的塑性愈好。金属材料的塑性优劣, 对零件的成形加工与使用具有重要意义。塑性良好是金属进行压力加工的必要条件, 也是零件安全使用的标志。金属材料具有一定的塑性, 能够顺利地进行锻造或其他形式的变形加工。在使用中, 材料具有一定塑性, 如果载荷超过允许值($\sigma > \sigma_s$), 则在载荷作用下通过局部塑性变形并产生加工硬化, 使零件强度升高, 可以避免产生裂纹而不至于发生脆性断裂。大多数零件只要达到 $\delta \geq 5\%$ 或 $\psi \geq 10\%$ 就可以满足使用要求。过高地追求材料的塑性指标将导致强度偏低, 不利于提高零件的使用寿命。

3. 硬度

金属材料抵抗集中载荷作用的能力称为硬度(hardness)。或者说, 硬度是材料抵抗硬物压入的能力。

常用的硬度测试方法有布氏硬度和洛氏硬度两种。

(1) 布氏硬度(brinell hardness)HBS(HBW) 布氏硬度值(brinell hardness number)在布氏硬度计上测定。用直径为 D 的钢球或硬质合金球作为压头, 在规定的载荷 F 作用下压入试样表面, 保持一定时间后卸除载荷, 试样上留下直径为 d 的球面压痕(图 1.3), 以压痕单位面积上所承受载荷的大小作为试样的硬度值, 其计算式为:

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

式中: HBS——压头为钢球时的布氏硬度符号;

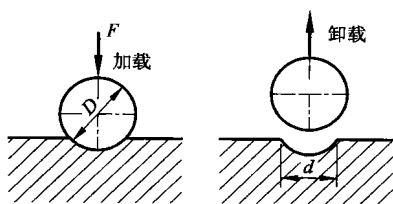


图 1.3 布氏硬度测定示意图

HBW——压头为硬质合金球时的布氏硬度符号；

D ——压头直径(mm)；

F ——试验时的压力(kgf)；

d ——压痕平均直径(mm)。

在实际生产中，布氏硬度试验值并不需要进行计算，而是测出材料表面所留压痕直径 d 后，可直接查阅布氏硬度表得到 HBS(或 HBW) 的数值。在进行布氏硬度试验(brinell hardness test)时，钢球压头适合于测定硬度较低的金属材料(<450 HBS)，硬质合金球压头适合于测定硬度较高的金属材料($450 \sim 650$ HBW)。

(2) 洛氏硬度(rockwell hardness) 洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的钢球作为压头，在初载荷 F_0 与总载荷 $F(F = \text{初载荷 } F_0 + \text{主载荷 } F_1)$ 分别作用下压入被测材料表面，然后卸除主载荷 F_1 ，在初载荷 F_0 作用下测量压痕深度残余增量 e 来计算硬度值(图 1.4)。如果 e 值小，则金属材料硬度较高； e 值较大，则材料的硬度较低。试验时，可以通过洛氏硬度计上的刻度盘直接读出洛氏硬度值。

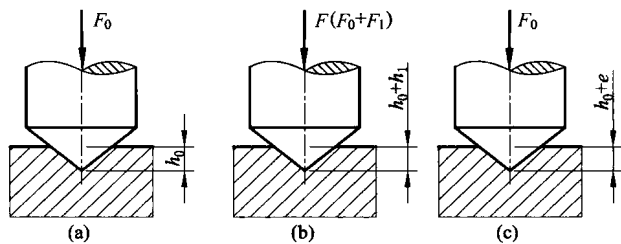


图 1.4 洛氏硬度试验原理

根据试验时所用的压头和载荷不同，洛氏硬度有几种硬度标尺，常用的有 A、B、C 三种标尺。各种标尺的洛氏硬度试验及其应用范围见表 1.1。

表 1.1 三种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

符号	压 头	初 载 荷 kgf(N)	主 载 荷 kgf(N)	测量范围	应 用 范 围
HRA	顶角 120° 金刚石圆锥	10(98.1)	50(490.3)	60 ~ 85	硬质合金或表面处理过的零件等
HRB	直径 1.588 mm 钢球	10(98.1)	90(882.6)	25 ~ 100	退火钢、灰铸铁及有色金属等
HRC	顶角 120° 金刚石圆锥	10(98.1)	140(1373)	20 ~ 67	淬火钢、调质钢等

注：三种标尺的硬度值 HRA, HRB, HRC 的计算公式如下：

$$\text{HRA}(\text{HRC}) = 100 - \frac{e}{0.002}, \text{HRB} = 130 - \frac{e}{0.002}$$

式中： e ——卸除主载荷后，在初载荷下的压痕深度残余增量(mm)。

洛氏硬度试验结果的表示方法为：用 HR 表示洛氏硬度，随后的字母表示所用标尺，字母后面的数字表示硬度值。例如 HRC60 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 60。

硬度试验是一种非破坏性试验，可以直接在零件上测定成品的硬度。一般零件图上都标出所要求的硬度值范围作为零件性能的技术要求。例如，一般工具(刀具、模具、量具)的硬度为 HRC60 ~ 66；结构零件的硬度为 HRC25 ~ 40；弹簧或弹性零件的硬度为 HRC40 ~ 48。

金属材料的硬度与其他性能指标之间有一定的关系。例如，对于钢材，在一定的范围

内, 硬度与抗拉强度有下列经验公式可供参考:

低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36 \text{ HBS}$;

合金调质钢 $\sigma_b \approx 0.33 \text{ HBS}$;

高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34 \text{ HBS}$ 。

4. 冲击韧度

金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧度 (impact toughness)。

冲击韧度的测定在冲击试验机上进行。试验时, 把冲击试样放在摆锤冲击试验机的支座上, 然后让摆锤从一定高度 H_1 将试样冲断, 摆锤反向升到 H_2 高度 (图 1.5)。冲击韧度值用下式计算:

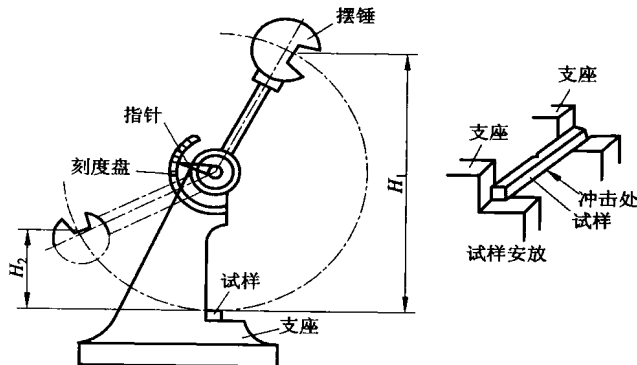


图 1.5 冲击试验原理

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

式中: $a_{KV}(a_{KU})$ ——冲击韧度值, 单位为 J/cm^2 (或 $\text{kgf} \cdot \text{m/cm}^2$);

$A_{KV}(A_{KU})$ ——冲击吸收功, 单位为 J (或 $\text{kgf} \cdot \text{m}$);

S ——试样缺口底部横截面积, 单位为 cm^2 。

冲击试验标准试样有 V 形缺口和 U 形缺口两种, 所以分别用 a_{KV} 或 a_{KU} 表示它们的试验值。

冲击韧度是金属材料的一种重要的性能指标, 通常用它来衡量零件在使用时的安全性或检验材料的脆性倾向。实际工作中, 有些零件 (如汽车变速齿轮、凿岩机活塞等) 在使用过程中承受较大的冲击载荷作用, 从而产生比静载荷作用时大得多的应力。有些金属材料在静载荷作用下具有很高的强度, 而在冲击载荷作用时却表现得脆弱。因此, 对于承受冲击载荷作用的零件, 不仅要有较高的强度, 还必须具有一定的冲击韧度值才能满足使用要求。

1.1.2 金属材料的其他性能

除力学性能之外, 金属材料的物理性能、化学性能和工艺性能在机械设计与制造中也具有重要的意义。

1. 物理性能

金属材料的物理性能 (physical property) 包括密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。

密度小于 5g/cm^3 的金属称为轻金属, 轻金属材料对于制造飞机与航天器具有重要的意义。密度大于 5g/cm^3 的重金属材料则主要用于制造普通的机械设备。

制造保险丝时要求金属熔点低, 制造锅炉管道及加热炉底板等零件则要求金属熔点高。此外, 在进行金属热加工时, 必须了解金属的熔化温度, 以便制定合适的加工工艺。

金属材料的热膨胀性主要是通过它的线膨胀系数反映出来。线膨胀系数大的材料会使零件在使用中改变配合状态甚至出现变形与裂纹的问题, 从而影响机器的精度和使用寿命。

在制定金属热处理工艺或其他热加工工艺时, 要考虑金属的导热性。导热性差的材料在