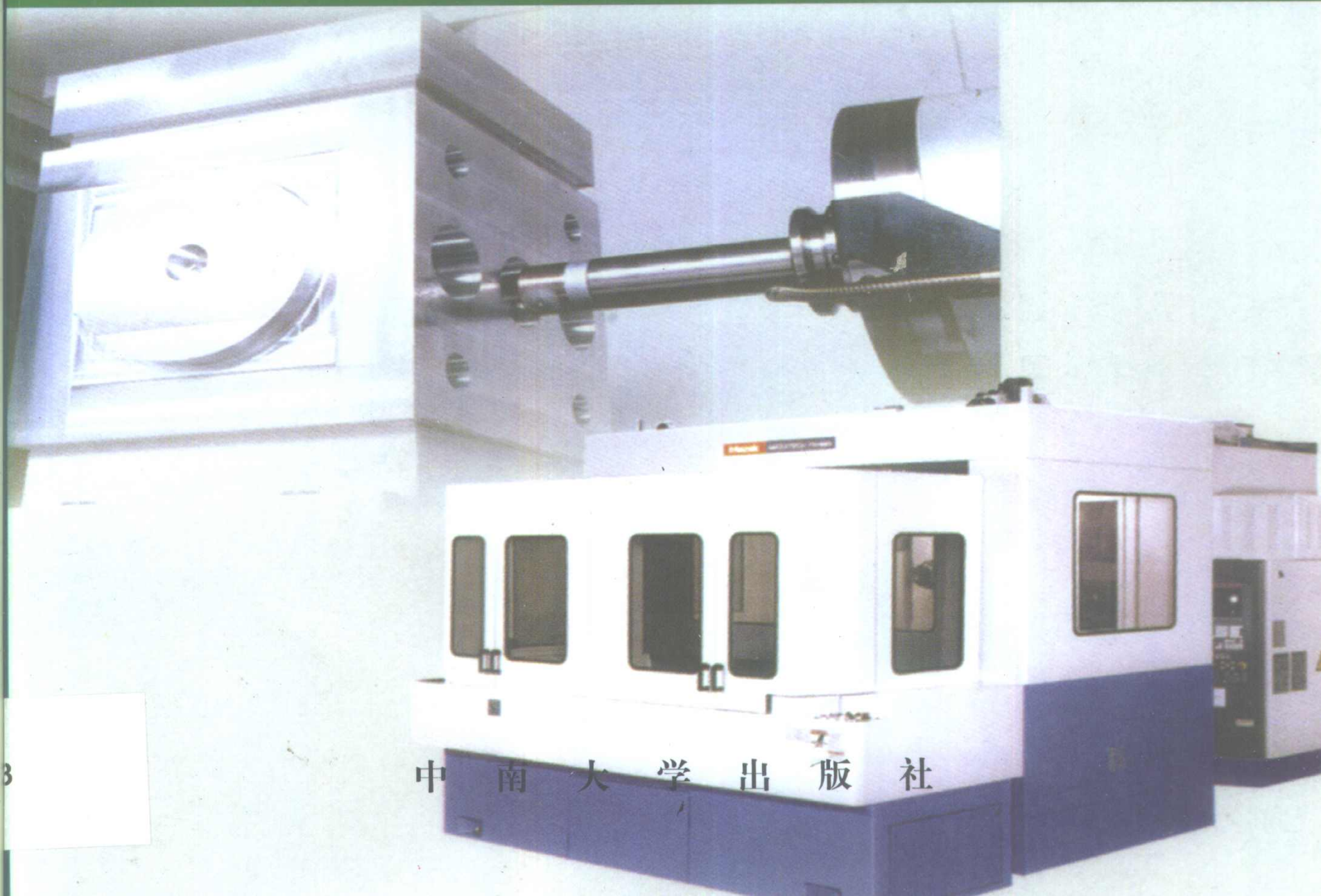


湖南省普通高等教育 21世纪课程教材

制造工程工艺基础

刘舜尧 李 燕 邓曦明 主编



中南大学出版社

湖南省高教学会金工教学委员会组织编写
《工程材料及机械制造基础》系列教材

《 工 程 材 料 》

《 工 程 材 料 习 题 集 》

《 制 造 工 程 训 练 》

《 材 料 成 形 工 艺 基 础 》

《 机 械 加 工 工 艺 基 础 》

《 机 械 结 构 工 艺 性 》

《 制 造 工 程 工 艺 基 础 》

《 制 造 工 程 实 践 教 学 指 导 书 》

ISBN 7-81061-555-6



9 787810 615556 >

ISBN 7-81061-555-6/TB·014

定价：22.00 元

湖南省普通高等教育 21 世纪课程教材

制造工程工艺基础

刘舜尧 李 燕 邓曦明 主编

中南大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括工程材料、材料成形工艺、切削加工工艺、数控加工与特种加工等四篇。第一篇工程材料包含金属材料、非金属材料、复合材料与功能材料的基本知识；第二篇材料成形工艺包含铸造、锻造、冲压、锻压成形先进工艺、焊接、胶接与快速原形制造技术等；第三篇为切削加工基础知识、机械加工与钳工等内容；第四篇主要介绍数控车、数控铣、电火花成形加工、线切割加工、超声波加工与激光加工。

本书的编写以国家教委新颁布的“金工实习教学基本要求”为指导，认真总结改革开放以来金工课程建设与教学改革的经验，精选常规工艺教学内容，增加现代工业制造工程中已成熟并已推广应用的新材料、新技术与新工艺。新增加的内容注意与常规工艺内容在知识深度方面的衔接。

本书可作为高等学校近机类、非机类各专业制造工程实践教学（金工实习）与课堂教学的通用教材，也可以作为机械专业以及函授大学、广播电视大学相关专业的教学参考书，各专业可以根据教学条件和教学计划的要求，对书中内容有所取舍。

制造工程工艺基础

刘舜尧 李 燕 邓曦明 主编

☐责任编辑 谭 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：0731-8876770 传真：0731-8710482

电子邮件：csucbs @ public. cs. hn. cn

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 湖南航天长宇印刷有限责任公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 18.75 ☐字数 475 千字

☐版 次 2002 年 8 月第 1 版 ☐2002 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81061-555-6/TB·014

☐定 价 22.00 元

图书出现印装问题，请与经销商调换

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，对常规的工艺内容作了必要的精简，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章）、周增文（第6章）、刘培德（第7章）、钟世金（第8、9章）、李燕（第10章）、邓曦明（第11、12章）、舒金波（第13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，湖南师范大学汤酖则，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

2002 年 8 月

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	焊条电弧焊	(94)
6.3	气焊与气割	(101)
6.4	其他焊接方法	(106)
6.5	焊接质量及其控制	(110)
6.6	焊接结构设计	(114)
7	金属粉末制品与工程塑料的成形	(117)
7.1	粉末冶金工艺	(117)
7.2	塑料成形工艺	(121)
8	胶接成形	(125)
8.1	概述	(125)
8.2	胶接工艺	(127)
8.3	胶接技术的应用	(130)
9	快速原形制造技术	(131)
9.1	概述	(131)
9.2	快速原形制造工艺	(133)

第三篇 切削加工工艺

10	机械加工	(141)
10.1	机械加工基础知识	(141)
10.2	车削加工	(158)

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，有色金属材料包括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工程上的应用。

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

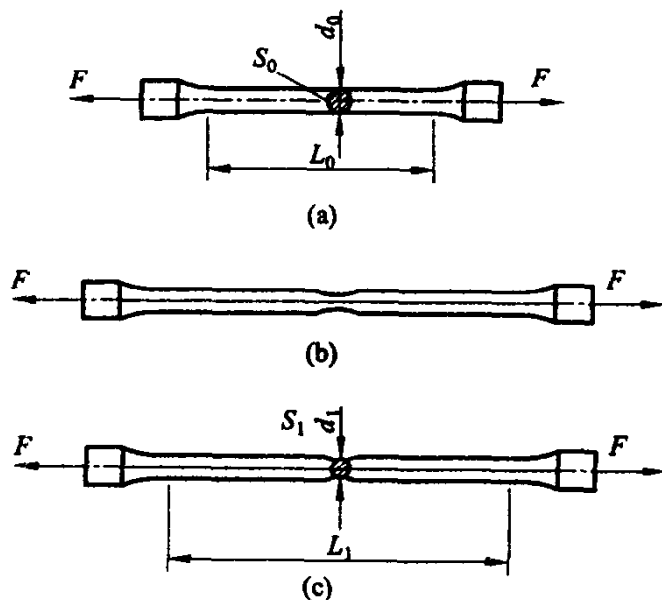


图 1.1 拉伸试样

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。

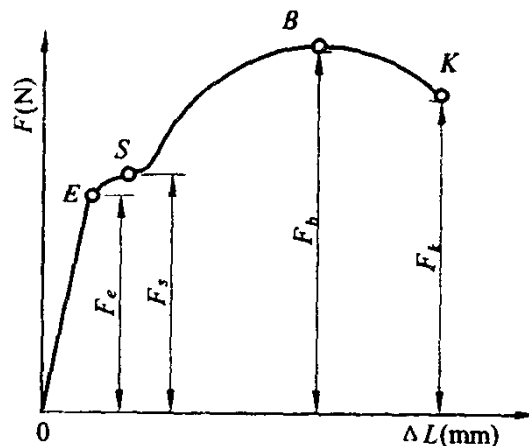


图 1.2 低碳钢的拉伸曲线

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:

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

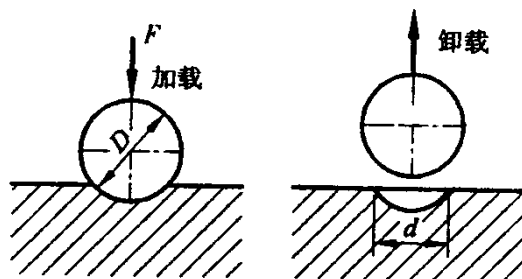


图 1.3 布氏硬度测定示意图

式中: HBS——压头为钢球时的布氏硬度符号;

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 ($<450\text{HBS}$), 硬质合金球压头适合于测定硬度较高的金属材料 ($450 \sim 650\text{HBW}$)。

(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 1.588mm 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。

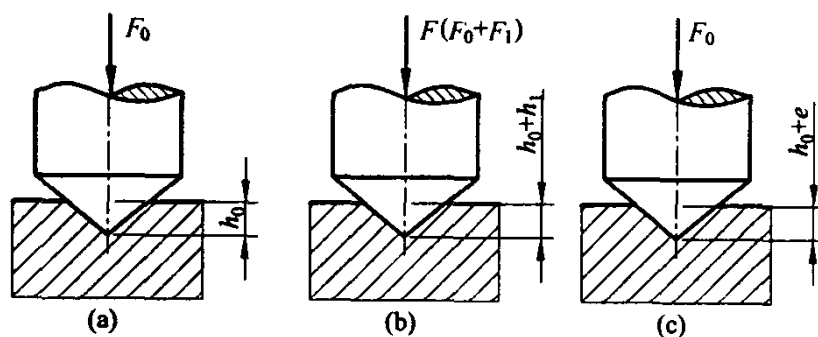


图 1.4 洛氏硬度试验原理

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 1.588mm 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(刃具、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：

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

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

$A_{KV}(A_{KU})$ ——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 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 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 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 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。

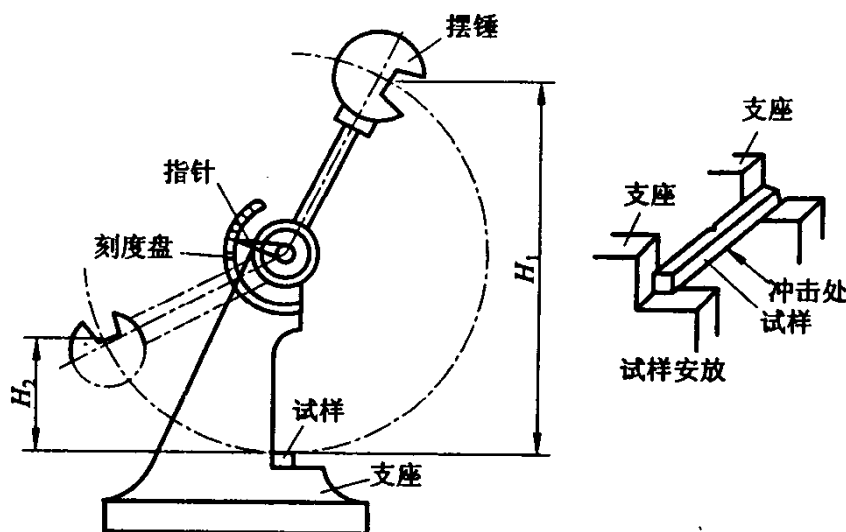


图 1.5 冲击试验原理

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。导热性差的材料在加热与冷却时,若加热速度与冷却速度控制不当,则工件内外温差大,容易产生大的应力,而导致零件变形甚至产生裂纹。

金属材料的导电性和磁性在设计制造电机与电器产品中是很重要的性能参数。例如,电阻丝要求大电阻,导线和电缆要求导电性能优良,变压器和电机的铁芯要采用磁性好的铁磁材料,而磁屏蔽系统则要求采用具有逆磁性质的铜合金制造。

2. 化学性能

金属材料的化学性能 (chemical property) 主要是指其抵抗活泼介质化学侵蚀的能力,包括耐蚀性、耐酸碱性和抗高温腐蚀性等性能。

耐蚀性是指金属材料在常温下抵抗大气、水或水蒸汽等介质侵蚀的能力。工程上采用表面金属镀层、涂刷油漆或进行发蓝处理等方法,就是对零件和金属制品采取的表面保护措施,以提高表面耐蚀性。有些零件需要采用不锈钢制造,以抵抗腐蚀性环境的侵袭。

耐酸碱性指的是金属抵抗酸碱侵蚀的能力。设计制造化工、石油等工程机械设备时要选用耐酸钢,以抵抗酸、碱、盐等化学介质的侵蚀。

耐热性是金属材料在高温下保持足够强度并能抵抗氧或其他介质侵蚀的能力。锅炉、汽轮机及其他在高温下工作的机械设备,其中的一些结构件必须采用耐热钢制造,以适应高温工作环境。

3. 工艺性能

金属材料的工艺性能 (technological property) 是材料在加工过程中能否易于加工成零件的性质。工艺性能主要有铸造性、锻造性、焊接性、切削加工性与热处理性。材料的工艺性能与它的化学成分、内部组织以及加工条件有关,它们是材料的力学性能、物理性能和化学性能在加工过程中的综合表现。工艺性能的优劣不仅影响产品的生产效率和成本,而且影响产品的质量和性能。

铸造成形的零件要求所选用的金属铸造性能良好,液态金属能够顺利地充满铸型,得到力学性能合格、尺寸准确和轮廓清晰的铸件,并且能够减少和避免产生应力、变形、裂纹、缩孔、气孔、化学成分与内部组织不均匀等缺陷,提高铸件使用的可靠性。

锻压成形的零件应该选用锻造性良好的金属材料,即材料的塑性好、变形抗力小,可锻温度范围较宽,变形时不易产生裂纹,易于获得高质量的锻件。

焊接件应该获得优质焊接接头。焊接性好的金属焊接接头强度高,焊缝及焊缝邻近部位不易产生大的焊接应力而引起变形与裂纹,焊缝中也不易出现气孔、夹渣与其他焊接缺陷。

大多数零件必须经过各种形式的切削加工,因此要求材料的切削加工性良好,即切削时能耗低、切屑易脱落、加工面的表面质量高,并且刀具寿命长,切削工效高。

进行热处理的零件要求材料具有良好的热处理性能,经过热处理之后金属零件必须是内部晶粒细小、组织均匀、性能合格,尽量避免出现过大的热处理应力而导致变形与开裂的缺陷。

综 习 题

1. 说出下列力学性能指标的含义:

σ_s 、 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ 、 α_K 、HBS、HRC

2. 机械零件图上一般只标明零件的硬度要求,而不标明要求多高的强度,为什么?

3. 零件在使用中发生下列现象, 是什么性能指标不符合要求?

- ①零件使用中发生过量塑性变形而不能继续运行;
- ②某种轴的轴颈磨损速率极快;
- ③某种杆状零件使用时发生突然断裂的现象;
- ④一种弹簧在使用短时间之后即失去弹性。

1.2 金属热处理方法

热处理 (heat treatment) 是将金属在固态下通过加热、保温和冷却, 改变金属的组织, 从而改变金属性能的一种工艺方法 (图 1.6)。在热处理过程中, 通过控制加热温度、保温时间和冷却速度来改变金属材料的组织结构和它的力学性能与工艺性能。

在机械制造中, 热处理是一种非常重要的工艺方法。切削加工之前, 对零件进行预备热处理, 可以改善切削加工性能, 提高切削效率, 改善加工质量; 欲使零件达到使用性能指标, 应该根据图纸的技术要求进行最终热处理; 为了稳定零件的形状和尺寸, 可以制定合适的热处理工艺方法来消除金属内部的应力。所以, 热处理是现代机械制造中改善加工条件、保证产品质量、节约能源和节省材料的一项极为重要的工艺方法。

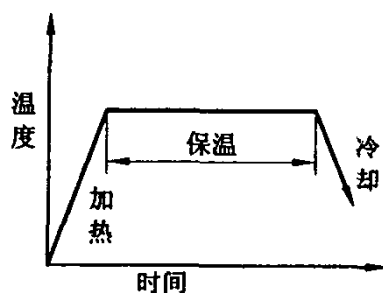


图 1.6 热处理方法示意图

热处理的工艺方法很多, 在机械制造中常见的热处理方法有退火、正火、淬火与回火等常规热处理, 还有表面淬火与化学热处理 (渗碳、渗氮、碳氮共渗等) 等表面热处理。

1.2.1 退火与正火

1. 退火

将钢材加热到适当的温度并保温一定的时间, 然后随炉缓慢冷却的热处理工艺称为退火 (annealing)。退火时, 钢材的加热温度一般为 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 范围, 低碳钢的退火加热温度较高, 而高碳钢的退火加热温度较低。保温时间的长短主要取决于零件的尺寸大小和同炉装入工件的数量。

退火是缓慢冷却, 退火以后得到平衡组织, 经过退火的钢件内部晶粒细小, 组织均匀, 降低了硬度和消除了应力, 切削加工性能得到了改善。退火主要适应于含碳较高的碳钢和各类合金钢。

如果只是为了消除材料的应力, 防止变形和开裂, 可将零件加热到 $600 \sim 650^{\circ}\text{C}$, 保温一段时间后缓慢冷却下来。这种方法称为去应力退火 (低温退火)。

2. 正火

正火 (normalizing) 是将工件加热到临界温度以上的适当温度, 保温之后从炉中取出置于空气中冷却的热处理工艺。钢材的正火加热温度与钢中的化学成分有关, 通常在 $820 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 范围, 正火的冷却速度比退火快, 正火之后工件的硬度比退火略高, 而正火消除应力的效果不如退火彻底。

在实际生产中, 正火处理的目的与退火相似, 而正火后钢材的组织更为细小, 低碳钢和

中碳钢通过正火后更适合于切削加工。所以，正火多用于改善钢材切削加工性能的预备热处理。对于普通要求的机械零件，正火也可以作为达到使用性能的最终热处理工艺。

1.2.2 淬火与回火

1. 淬火

淬火 (quench hardening) 是将工件加热到临界温度以上的适当温度，保温之后快速冷却下来的热处理工艺方法。钢材的淬火加热温度也是由它的化学成分来决定，一般为 $780 \sim 880^{\circ}\text{C}$ 。淬火处理之后，再进行适当的回火处理，能改善零件的使用性能和延长使用寿命。

淬火操作时要使钢材实现快速冷却，必须选择具有足够冷却能力的淬火冷却介质，常用的冷却介质为水和矿物油。水是最便宜而且冷却能力很强的一种冷却介质，主要用于一般碳钢零件的淬火冷却剂。如果在水中加入少量盐，则其冷却能力可以进一步提高，这对于一些大尺寸碳钢件淬火冷却很有益处。油的冷却能力比水低，工件在油中淬火冷却的速度较慢，但可以避免出现淬火缺陷，合金钢适宜于采用矿物油作淬火冷却剂。

淬火冷却的速度极快，淬火后钢材的内部组织为非平衡组织，存在较大的应力和脆性，工件淬火之后应该立即进行回火处理才能使用。

2. 回火

将淬火后的工件加热到一定的温度，保温一段时间，然后冷却下来，称为回火 (tempering)。回火的主要作用在于减小和消除淬火工件的应力与脆性，防止零件产生变形或裂纹 (cracking)，并且通过回火过程调整零件的力学性能，使之符合使用要求。

根据回火加热温度的差别，可以分为低温回火、中温回火和高温回火三种。

(1) 低温回火 (low-temperature tempering) 低温回火的加热温度为 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。在较低的温度下回火，可以部分消除淬火应力、降低脆性，提高韧性。同时，使工件保持淬火后的高硬度与高耐磨性。低温回火适用于要求硬度高、耐磨损的刀具、量具、模具以及各种耐磨零件。钢材低温回火后，硬度可达 HRC58 ~ 64。

(2) 中温回火 (medium-temperature tempering) 中温回火的加热温度为 $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。淬火工件经中温回火之后，应力与脆性已基本上消除，零件具有较高的强度与一定的韧性，而且弹性良好。中温回火主要用于处理弹簧和弹性零件，中温回火后硬度一般为 HRC35 ~ 50。

(3) 高温回火 (high temperature tempering) 高温回火的加热温度为 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 。由于回火温度较高，不仅可以使淬火应力与脆性全部清除，而且可以赋予零件良好的综合力学性能，即零件的强度、硬度与塑性、韧性具有良好的配合。高温回火主要是用于齿轮、轴、连杆和要求较高综合力学性能的各种结构件。习惯上把淬火与高温回火相结合的热处理工艺称为调质处理，调质件的硬度为 200 ~ 330HBS。

1.2.3 表面热处理

有些零件，如齿轮、链轮、轴、轧辊等，使用中要求整体强度和韧性较高，而表面则需要高硬度和高耐磨性，这时可以通过表面热处理 (surface heat treatment) 的方法改变零件的表面性能。机械制造中广泛应用的表面热处理方法有表面淬火和化学热处理两种。

1. 表面淬火

表面淬火 (surface hardening) 是以极快的速度将零件表面加热到淬火温度，然后快速