



GONGCHENG XUNLIAN JIAOCHENG

工程训练教程

GONGCHENG XUNLIAN JIAOCHENG GONGCHENG XUNLIAN JIAOCHENG

张力 等编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工程训练教程

张 力 王小北 谷勇霞 闫晓玲 编著



机械工业出版社

全书内容分为两大部分：机械加工理论基础和机械工程训练技术指导。两部分融合为一体，贯串各章。内容包括：工程材料的基本知识，铸造，压力加工，焊接，切削加工基本知识，车削加工，铣削加工，刨削、磨削及精密加工，钳工，数控车削，数控铣削，特种加工，零件加工工艺分析，机械创新制造实训。每章末有复习思考题。本书体系新颖、内容精练、重点突出，既可指导各工种技能操作，也能满足制造基础知识的学习。

本书可作为高等工科院校机类专业及部分理工科非机类专业的机械工程训练教材，也可供有关专业工程技术人员参考和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程训练教程/张力等编著. —北京：机械工业出版社，2012.6
ISBN 978-7-111-38210-2

I. ①工… II. ①张… III. ①机械制造工艺-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 087107 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：张敬柱 马晋 责任编辑：马晋 版式设计：霍永明
责任校对：陈越 封面设计：赵颖喆 责任印制：乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16 印张 · 390 千字
0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-38210-2

定价：35.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

销售二部：(010) 88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

为适应高等教育工程训练的趋势，我们根据全面更新的训练课程内容和体系要求，以提高学生工程素质为出发点，有针对性地编写了这本集实训和基础理论为一身的教材。教学安排 34 ~ 68 学时，针对不同的专业，教师可酌情取舍。

在编写过程中，力求突出实用性、先进性和综合性。我们精选传统内容，加强基础知识，力求简明扼要；采用模块式结构，每个单元形成一个独立、完整的实践环节，可根据实践教学需要选用不同的模块单元；同时重点加强了新技术、新工艺的内容，如数控加工基础训练、特种加工基础训练，以适应现代工业技术的发展。本书重视综合素质的提高，增设了“机械创新制造实训”章节，为进一步培养学生的工程应用能力提供指导。

本书由张力、王小北、谷勇霞和闫晓玲编写。本书可作为高等工科院校机类专业及部分理工科非机类专业的机械工程训练教材，也可供有关专业工程技术人员参考和使用。

本书获得“北京市属高等学校人才强教计划资助项目”资助（编号：PHR201107110），在此致以深切的谢意。

由于时间仓促，书中难免有不当之处，请读者不吝赐教。

编 者

目 录

前言

第 1 章 工程材料的基本知识	1
1.1 金属材料的主要性能	1
1.2 常用工程材料简介	5
1.3 钢的热处理	9
复习思考题	11
第 2 章 铸造	12
2.1 概述	12
2.2 砂型的制造	13
2.3 合金的熔炼和浇注	23
2.4 铸件的落砂、清理和缺陷分析	24
2.5 特种铸造	26
复习思考题	28
第 3 章 压力加工	32
3.1 概述	32
3.2 锻造的生产过程及碳钢的加热缺陷分析	33
3.3 锻造	35
3.4 板料冲压	42
复习思考题	44
第 4 章 焊接	45
4.1 概述	45
4.2 电弧焊基础	46
4.3 焊条电弧焊	47
4.4 埋弧焊和气体保护焊	53
4.5 气焊与气割	55
4.6 其他焊接方法	58
4.7 焊接变形、焊接缺陷与焊接检验	59
复习思考题	60
第 5 章 切削加工基本知识	62
5.1 切削加工概述	62
5.2 金属切削刀具	64
5.3 机械零件的技术要求	65
5.4 常用量具	68
复习思考题	74
第 6 章 车削加工	76
6.1 概述	76
6.2 卧式车床	77
6.3 车刀	80
6.4 工件装夹及所用附件	83
6.5 车削加工的操作方法及基本操作	87
6.6 典型零件的车削工艺	94
复习思考题	97
第 7 章 铣削加工	102
7.1 概述	102
7.2 普通铣床	103
7.3 铣刀的种类及其安装方法	104
7.4 铣床附件及工件安装	106
7.5 典型表面的铣削	110
复习思考题	115
第 8 章 刨削、磨削及精密加工	117
8.1 刨削加工	117
8.2 磨削加工	121
8.3 精密加工	126
复习思考题	129
第 9 章 钳工	130
9.1 概述	130
9.2 钳工的基本操作	131
复习思考题	143
第 10 章 数控车削	146
10.1 数控车床简介	146
10.2 数控车床编程	148
10.3 FANUC-0i 系统数控车床加工操作	158
10.4 SINUMERIK 802S/C 系统数控车床加工操作	166
复习思考题	173
第 11 章 数控铣削	177
11.1 数控铣床概述	177
11.2 数控铣削加工工艺处理	177
11.3 数控铣削编程	182
11.4 数控铣床基本操作	193
复习思考题	198
第 12 章 特种加工	200
12.1 概述	200

12.2 电火花加工	201	13.4 典型零件的加工工艺	220
12.3 电火花线切割加工	204	复习思考题	223
12.4 激光加工	206	第 14 章 机械创新制造实训	224
12.5 超声加工	208	14.1 创新设计的理论基础	224
复习思考题	210	14.2 机械创新设计方法	229
第 13 章 零件加工工艺分析	211	14.3 机械创新设计制造案例	244
13.1 毛坯的选择	211	参考文献	247
13.2 切削加工方法的选择	212		
13.3 零件的结构工艺性	215		

第 1 章 工程材料的基本知识

1.1 金属材料的主要性能

金属材料具有许多良好的性能，因此被广泛地应用于制造各种构件、机械零件、工具和日常生活用具。金属材料的性能包括工艺性能和使用性能两个方面。工艺性能是指制造过程中材料适应加工的性能（如铸造性能、可锻性能、焊接性能及切削加工性能等）；使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，它决定了材料的应用范围、安全可靠性及使用寿命等。金属材料的使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能。本节主要介绍金属材料的力学性能，同时简要介绍金属材料的其他性能。

1.1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在不同环境（如温度、介质、湿度等）下，承受各种外加载荷（如拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等）时所表现出的力学特征，比如强度、塑性、硬度和冲击韧性等。

1. 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形或断裂的能力。强度指标一般可通过金属拉伸试验来测定，而静载荷拉伸试验是工业上最常用的试验方法之一。标准试样如图 1-1 所示。按标准规定，把试样装夹在试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷，同时连续测量力和相应的伸长，直至将试样拉断为止，依据测出的力-伸长曲线，求出对应的力学性能。

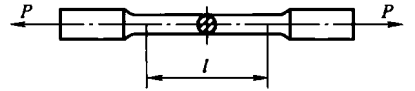


图 1-1 低碳钢拉伸标准试样

由于材料的性质不同，力-伸长曲线形状也不相同。退火低碳钢的力-伸长曲线如图 1-2 所示，图中纵坐标表示力 F ，单位为 N；横坐标表示绝对伸长 ΔL ，单位为 mm。为了消除试件尺寸对变形的影响，可把 $F-\Delta L$ 曲线改为 $\sigma-\epsilon$ 曲线，即纵坐标用应力 $\sigma = F/S$ ，横坐标用应变 $\epsilon = \Delta L/L$ 来表示，其中 S 为试验前试件的横截面积， L 为试验前的标距。这样得出的应力-应变曲线如图 1-3 所示，称为应力-应变曲线。

由图 1-3 退火低碳钢的 $\sigma-\epsilon$ 曲线可见，整个拉伸过程可分为下述的四个阶段：

(1) 弹性阶段 Oe 试样的应变与应力成正比，此时若卸除负载，则试样能恢复原状，这一阶段称之为弹性阶段。相应于 e 点的应力用 σ_e 表示，它是材料只产生弹性变形的最大应力，故称为弹性极限。在弹性阶段，应力与应变之间的关系如式 1-1 所示。

$$\sigma = E\epsilon \quad (1-1)$$

式中 E ——弹性模量，它反映了金属材料抵抗弹性形变的能力。

金属材料的弹性模量是随温度的升高而降低的。这是因为温度升高时，原子间的距离增大，原子之间的作用力减弱，因而 E 值下降了。

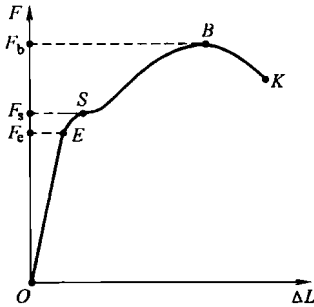


图 1-2 退火低碳钢拉伸时的力-伸长曲线

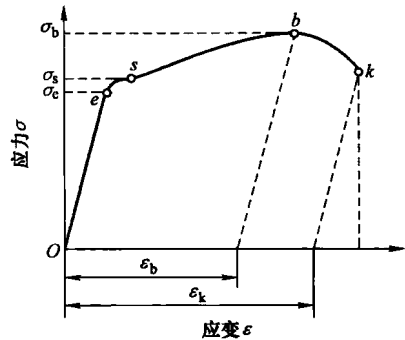


图 1-3 退火低碳钢拉伸时的应力-应变曲线

式 (1-1) 称为胡克定律, 它说明当材料处于弹性阶段时, 其应力同应变之间成正比。

理论上讲, 弹性极限 σ_e 值应是卸除负载后应变值恢复为零时的最大应力值。但弹性极限值是由测量而得出的, 故其高低需视测量精度而定。通常采取残留应变为 0.005% ~ 0.03% 时的应力值为弹性极限。

(2) 屈服阶段 es 当应力超过 σ_e 时, 试样除产生弹性变形外, 同时会出现塑性变形, 此时若卸除负载, 则试样的伸长只能部分恢复。当应力增加到 σ_s 时, 在 s 点的曲线几乎呈水平线段或锯齿形折线, 即应力不增加而试样继续伸长, 这种现象叫屈服, 它说明低碳钢的变形进入塑性变形阶段。 σ_s 称为材料的屈服强度或屈服点, 对于无明显屈服点的塑性材料, 规定以产生 0.2% 残余变形的应力值为其屈服点 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 。

(3) 强化阶段 sb 过了屈服阶段后, 材料又恢复了抵抗变形的能力, 要使它继续变形必须增加拉力, 这种现象称为材料的强化。如图 1-3 所示, 强化阶段中最高点 b 所对应的应力是试件所能承受的最大应力, 称为强度极限, 用 σ_b 表示。在强化阶段中试件的横向尺寸明显缩小。

(4) 局部变形阶段 bk 在 b 点以前, 试件标距段内的变形是均匀的。当到达 b 点后, 试件变形开始集中于某一小段内, 横截面面积出现局部迅速收缩, 形成缩颈现象, 如图 1-4 所示。由于局部的截面收缩, 使试件继续变形所需的拉力逐渐减小, 因此, 用原横截面面积 S 去除拉力 F 所得出的应力值随之下降, 直到 k 点试件断裂。

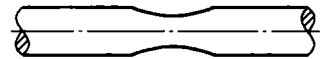


图 1-4 缩颈现象

从上述的实验现象可知, 当应力达到 σ_s 时, 材料会产生显著的塑性变形, 而构件的塑性变形, 将影响机械或机构的正常工作; 当应力达到 σ_b 时, 材料会由于缩颈而导致断裂。屈服和断裂, 均属于材料破坏现象, 因此 σ_s 和 σ_b 是衡量材料强度的两个重要指标。

2. 塑性

材料在外力作用下产生永久性变形的能力称为塑性。材料塑性性能的好坏是工程中评定材料质量优劣的重要参数, 它也是通过金属拉伸试验来测定的。衡量材料塑性的指标有断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

断后伸长率 δ 定义为

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

式中 l_1 ——试件断裂后的标距长度;

l_0 ——原标距长度。

断面收缩率 ψ 定义为

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

式中 S_1 ——试件断裂处的最小横截面面积；

S_0 ——试件原横截面面积。

工程中常根据材料塑性性能的好坏，将材料分为塑性材料和脆性材料两类。一般将 δ 大于 5% 的材料称为塑性材料， δ 小于 5% 的材料称为脆性材料。例如，A3 钢的伸长率 $\delta = 20\% \sim 30\%$ ，断面收缩率 $\psi \approx 60\%$ ，所以是塑性很好的材料。同时，良好的塑性也是材料进行变形加工（压力加工）的必要条件。

3. 硬度

硬度是指材料对坚硬物体压入其内时所表现出的抵抗能力。常采用压痕的直径或深度，及压痕单位表面积所承受的载荷值作为硬度值高低的指标。常用的硬度检测方法有布氏硬度法、洛氏硬度法、维氏硬度法等。

(1) 布氏硬度 (Brinell Hardness) 法 它是最古老最常用的试验方法，如图 1-5a 所示。在压力 P 的作用下，把直径为 D 的钢球压入被测物体中，保持规定时间，然后卸除负载，测量被测表面的压痕直径。布氏硬度值是载荷除以压痕球形表面积所得的值。一般为：以一定的载荷（一般为 29420N）将一定大小（直径一般为 10mm）的淬硬钢球压入材料表面，保持一段时间，卸除负载后，载荷与其压痕表面积的比值，即为布氏硬度值 (HB)，单位为 N/mm^2 。

(2) 洛氏硬度 (Rockwell C Hardness) 法 如图 1-5b 所示，它使用的压头为金刚石圆锥体，有时是小钢球。洛氏硬度值是压入深度 h 的倒数。常用的洛氏硬度有三个标尺。试验用压头为金刚石圆锥体，载荷 $P = 1500N$ 时，得到的硬度用 HRC 表示。用金刚石圆锥体作压头，载荷 $P = 600N$ 时，得到的硬度用 HRA 表示。用钢球做压头，载荷 $P = 1000N$ 时，得到硬度用 HRB 表示。

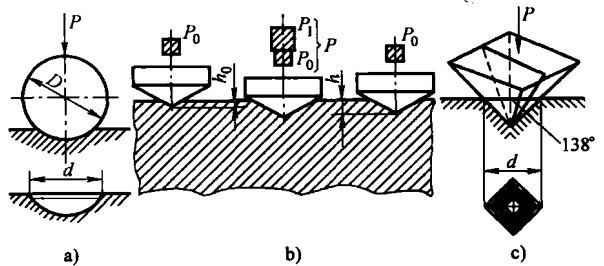


图 1-5 硬度试验示意图

a) 布氏硬度 b) 洛氏硬度 c) 维氏硬度

(3) 维氏硬度 (Vickers Hardness) 法 如图 1-5c 所示，它的压头为金刚石四棱锥体，测量出压痕的对角线 d 后，查表或算出方锥压痕表面积除以载荷 P 的值即为硬度，并用 HV 表示。由于在压头下方，材料发生的是塑性变形，因此材料的硬度与强度之间存在着一定的联系。

4. 韧性

韧性是指金属在冲击载荷作用下抵抗断裂的能力。冲击就是以很大的速度将载荷（冲击载荷）作用到机器零件上去的一种加载方式，在机械设计中必须考虑冲击载荷问题，尽可能地使它们不受冲击载荷的作用。工程上通常采用一次摆锤冲击弯曲试验来测定材料的韧性。

将试样制成带缺口的形式，图 1-6 所示为夏比冲击试样 (Charpy Specimen)，以增加韧

性材料的脆断倾向。将试样置于图 1-7 所示的摆锤冲击试验机的支座上。缺口背向摆锤刃，然后扬起摆锤，从一定的高度 H 落下，将试样击断之后，摆锤又升至 h 高度。则冲断试样所消耗的冲击吸收功为 $A_k = W(H - h)$ 。该值可由冲击试验机的刻度盘指示出来。而冲击韧度值 α_k 为缺口处单位面积上所消耗的冲击吸收功，其值为

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F}$$

式中 A_k ——冲击吸收功 (J)；

F ——缺口处的截面积 (cm^2)。

冲击韧度值 α_k 越大，表明材料韧性越好。

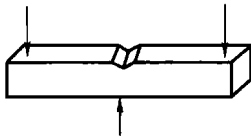


图 1-6 夏比冲击试样
(尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，
45V 形槽深 2mm，根部半径 0.25mm)

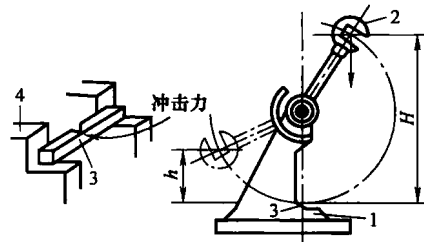


图 1-7 冲击试验机原理
1—机架 2—摆锤 3—试样 4—支座

对于脆性材料 (如铸铁等)，由于冲击韧度低，试件一般不开缺口。

1.1.2 金属材料的物理化学性能

1. 物理性能

(1) 密度 材料的密度是指单位体积中材料的质量，常用符号 ρ 表示。

(2) 熔点 材料的熔点是指材料的熔化温度。金属及合金是晶体，都有固定的熔点；陶瓷也有固定的熔点，一般远高于金属及合金的熔点；高分子材料一般不是完全晶体，没有固定的熔点。

(3) 热膨胀性 材料随温度变化而出现膨胀或收缩的现象称为热膨胀性。一般来说，材料受热时膨胀，而冷却时收缩。材料的热膨胀性通常用线膨胀系数来表示。

(4) 导电性 材料传导电流的能力称为导电性，一般用电阻率表示。

(5) 导热性 材料传导热量的能力称为导热性，一般用热导率 (或导热系数) λ 表示。

(6) 磁性 材料能导磁的性能称为磁性。磁性材料常分为软磁材料和硬磁材料 (也称为永磁材料)。

2. 化学性能

(1) 耐腐蚀性 它是指材料抵抗空气、水蒸气及其他各种化学介质腐蚀的能力。提高材料的耐腐蚀性，可有效地节约材料和延长机械零件的使用寿命。

(2) 抗氧化性 材料在加热时抵抗氧化作用的能力称为抗氧化性。金属及其合金的抗氧化机理是金属材料在高温下迅速氧化后，可在金属表面形成一层连续而致密并与母体紧密结合的氧化薄膜，阻止金属材料的进一步氧化。高分子材料的抗氧化机理不同于金属及其

合金。

(3) 化学稳定性 它是材料的耐腐蚀性和抗氧化性的总称, 高温下的化学稳定性又称为热稳定性。

1.1.3 材料的工艺性能

工艺性能是指材料在成形过程中, 对某种加工工艺的适应能力, 它是决定材料能否进行加工或如何加工的重要因素。材料工艺性能的好坏, 会直接影响机械零件的工艺方法、加工质量以及制造成本等。材料的工艺性能主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。

(1) 铸造性能 指材料易于铸造成型并获得优质铸件的能力, 衡量材料铸造性能指标主要有流动性、收缩性和偏析倾向等。

(2) 锻造性能 指材料是否容易进行压力加工的性能。它取决于材料的塑性和变形抗力的大小, 材料的塑性越好, 变形抗力越小, 材料的锻造性能越好。如纯铜在室温下有良好的锻造性能, 碳钢的锻造性能优于合金钢, 铸铁则不能锻造。

(3) 焊接性能 指材料是否易于焊接并能获得优质焊缝的能力。

(4) 热处理性能 指对材料进行热处理的难易程度。热处理可以提高材料的力学性能, 充分发挥材料的潜力。

(5) 切削加工性能 指材料接受切削加工的难易程度, 主要包括切削速度、表面粗糙度、刀具的使用寿命等。一般来说, 材料的硬度适中 (180 ~ 220HBW), 其切削加工性能良好, 所以灰铸铁的切削加工性能比碳钢好, 碳钢的切削加工性能比合金钢好。改变碳钢的成分和显微组织可改善碳钢的切削加工性能。

1.2 常用工程材料简介

材料是人类用来制作各种产品的物质基础, 其先于人类存在。材料是人类生活和生产的物质基础, 反映了人类社会文明的水平。材料、生物、能源、信息是支撑人类文明大厦的四大支柱技术。

工程材料主要是用来制造工程构件和机械零件的, 一般分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类。

1.2.1 金属材料

工业中应用最广泛的金属材料是钢铁材料。本节主要介绍常用钢铁材料的分类、牌号、化学成分、力学性能和应用范围。

1. 碳素钢

(1) 碳素钢的分类 碳素钢是指碳的质量分数小于 2.11% 并含有少量硅、锰、硫、磷等杂质元素所组成的铁碳合金, 简称碳钢。其中锰、硅是有益元素, 对钢有一定的强化作用; 硫、磷是有害元素, 分别增加钢的热脆性和冷脆性, 应严格控制。碳钢的价格低廉、工艺性能良好, 在机械制造中应用广泛。碳素钢分类方法很多, 常用的有三种, 即按钢的含碳量、质量和用途分类。

按含碳量分类 { 低碳钢 ($w(C) \leq 0.25\%$) ;
中碳钢 ($0.25\% < w(C) \leq 0.60\%$) ;
高碳钢 ($w(C) > 0.6\%$) 。

按质量分类 { 普通碳素钢 ($w(S) \leq 0.050\%$, $w(P) \leq 0.045\%$) ;
优质碳素钢 ($w(S) \leq 0.035\%$, $w(P) \leq 0.035\%$) ;
高级优质碳素钢 ($w(S) \leq 0.030\%$, $w(P) \leq 0.030\%$) 。

按用途分类 { 碳素结构钢: 主要用于建筑桥梁等工程和各种机械零件;
碳素工具钢: 主要用于各类刀具、量具和模具等。

(2) 碳素钢的牌号和用途 常用碳钢的牌号、应用及说明见表 1-1。

表 1-1 常用碳素钢的牌号、应用及说明

名 称	牌 号	应用举例	说 明
碳素结构钢	Q235-AF	金属构件、钢板、钢筋、型钢、螺栓、螺母等	碳素钢的牌号是由代表钢材屈服强度的汉语拼音第一个字母 Q、屈服强度值 (MPa)、质量等级符号、脱氧方法四个部分组成。其中质量等级分别以 A、B、C、D 表示, 其中 D 级为最优级。沸腾钢和镇静钢在牌号尾部分别加符号“F”和“Z”, 镇静钢符号可省略
优质碳素结构钢	45	综合力学性能和切削加工性能均较好, 用于强度要求较高的零件, 如曲轴、传动轴、齿轮、连杆等	牌号的两位数字表示平均含碳量的万分数, 45 钢即表示平均碳的质量分数为 0.45%。含锰量较高的钢, 须加注化学元素符号 Mn
铸造碳钢	ZG 200-400	有良好的塑性、韧性和焊接性能, 用于受力不大、要求韧性好的各种机械零件, 如机座、变速箱壳等	ZG 代表铸钢。其后面第一组数字为屈服强度 (MPa), 第二组数字为抗拉强度 (MPa)。ZG 200-400 表示屈服强度为 200MPa, 抗拉强度为 400MPa 的铸造碳钢
碳素工具钢	T12、T13	具有高硬度、高耐磨性, 但韧性低, 用于制造不受冲击的工具, 如量规、塞规、样板、锉刀、刮刀、精车刀等	牌号由代表碳的符号“T”与数字组成, 其中数字表示含碳量的千分数。对于较高含锰量或高级优质碳素工具钢, 牌号尾部表示同优质碳素结构钢。例如 T12 钢, 表示 $w(C) = 1.2\%$ 的碳素工具钢

2. 合金钢

为了改善和提高钢的性能, 在碳钢的基础上加入其他合金元素的钢称为合金钢。常用的合金元素有硅、锰、铬、镍、钨、钼、钒、稀土元素等。合金钢还具有耐低温、耐腐蚀、高磁性、高耐磨性等良好的特殊性能, 它在对力学性能、工艺性能要求高的、形状复杂的大截面零件或有特殊性能要求的零件方面, 得到了广泛的应用。常用合金钢的牌号、应用及说明见表 1-2。

3. 铸铁

碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。由于铸铁含有的碳和杂质较多, 故其力学性能比钢差, 不能锻造。但铸铁具有优良的铸造性、减振性及耐磨性等特点, 加之价格

低廉、生产设备和加工工艺简单，是机械制造中应用最多的金属材料。据资料表明，铸铁件占机器总质量的45%~90%。

表1-2 常用合金钢的牌号、应用及说明

名 称	牌 号	应用举例	说 明
低合金高强度结构钢	Q345D Q390A	强度较高,塑性良好,具有焊接性和耐蚀性,用于建造桥梁、车辆、船舶、锅炉、高压容器、电视塔等	牌号由代表屈服强度的汉语拼音字母、屈服强度数值(MPa)、质量等级符号三个部分组成
合金工具钢	9SiCr	主要用于制造形状复杂、截面尺寸较大的低速切削刀具和机械制造过程中控制加工精度的测量工具,如游标卡尺、量块、半径样板等	当平均 $w(C) < 1.0\%$ 时,牌号前以千分之几(一位数)表示;当 $w(C) \geq 1.0\%$ 时,牌号前不标数字。例如,9SiCr表示 $w(C) = 0.9\%$,Si、Cr的质量分数小于1.5%
特殊性能钢	06Cr19Ni10 12Cr18Ni9	机械制造中主要使用不锈钢、耐热钢、耐磨钢	牌号表示各元素的质量分数,例如06Cr19Ni10表示 $w(C) = 0.06\%$, $w(Cr) = 0.19\%$, $w(Ni) = 0.1\%$

(1) 铸铁的分类 铸铁的组织可以理解为在钢的组织基体上分布有不同形状、大小、数量的石墨。影响铸铁组织和性能的关键因素是碳在铸铁中存在的形式、形态、大小和分布情况。根据碳在铸铁中存在的形式及石墨的形态,可将铸铁分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁和蠕墨铸铁等。

(2) 常用铸铁 常用铸铁的牌号、应用及说明见表1-3。

表1-3 常用铸铁的牌号、应用及说明

名 称	牌 号	应用举例	说 明
灰铸铁	HT200	用于制造端盖、泵体、轴承座、阀壳、管子及管路附件、手轮等;也可用于制造一般机床的底座、床身、滑座、工作台等	“HT”为“灰铁”两字汉语拼音的字头,后面的一组数字表示 $\phi 30\text{mm}$ 试样的最低抗拉强度(MPa)
球墨铸铁	QT400-18 QT450-10	广泛用于机械制造业中受磨损和受冲击的零件,如曲轴、齿轮、汽缸套、活塞环、摩擦片、中低压阀门、千斤顶座、轴承座等	“QT”是球墨铸铁的代号,它后面的数字表示最低抗拉强度(MPa)和最低伸长率(%)
蠕墨铸铁	RuT 300 RuT 380	可替代灰铸铁制造大型的复杂铸件,如变速箱箱体,机床立柱、工作台,柴油机缸体、缸盖,汽车制动盘及金属型等	字母RuT为蠕墨铸铁的代号,其后的数字分别代表抗拉强度(MPa)和最低伸长率
可锻铸铁	KTH300-06 KTZ450-06	用于受冲击、震动等零件,如汽车零件、机床附件(如扳手)、各种管接头、低压阀门、农具等	“KTH”、“KTZ”分别是黑心和珠光体可锻铸铁的代号,它们后面的数字分别代表最低抗拉强度(MPa)和最低伸长率(%)

4. 非铁金属及其合金

非铁金属的种类繁多, 虽然其产量和使用量不及钢铁材料, 但是由于它具有某些特殊性能, 故已成为现代工业中不可缺少的材料, 如黄铜、纯铝、铝合金等。

1.2.2 非金属材料

1. 高分子材料

有机高分子材料是以一类称为“高分子”的化合物(或称树脂)为主要原料, 加入各种辅料或助剂而制成的有机材料。高分子是由成千上万个原子通过共价键连接而成的分子量很大(通常几万, 甚至几百万)的一类分子。它们可以是天然的, 如蛋白质、纤维素, 称天然高分子; 也可以是人工合成的, 如聚乙烯、有机玻璃, 称合成高分子。

(1) 塑料 塑料是以合成树脂为主要成分, 加入适量的添加剂后形成的一种能加热融化、冷却后保持一定形状的材料。

按塑料受热后的性能, 可将塑料分为热塑性塑料和热固性塑料两类。热塑性塑料加热时可熔融, 并可多次反复加热使用。热固性塑料经一次成型后, 受热不变形、不软化, 且只能塑压一次, 不能回用。塑料按使用性能可分为通用塑料、工程塑料和耐热塑料三类。通用塑料的价格低、产量高, 约占塑料总产量的 $\frac{3}{4}$ 以上, 如聚乙烯、聚氯乙烯等。工程塑料是指用来制造工程结构件的塑料, 具有良好的综合性能, 如强度、冲击强度、耐磨性、耐蚀性、耐热性等, 常见的工程塑料有聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯等。通用塑料改性后, 也可作为工程塑料使用。耐热塑料的工作温度高于 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$, 但成本高。典型的耐热塑料有聚四氟乙烯、有机硅树脂、芳香尼龙及环氧树脂等。

塑料制品采用注射、挤压、模压等方法制成, 在成型的同时, 塑料制品获得最终的性能。因此, 成型过程是生产塑料制品的关键。

(2) 橡胶 橡胶一般在 $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 范围内具有高弹性, 通常还具有储能、隔音、绝缘、耐磨等特性。橡胶材料广泛用于制造密封件、减震件、传动件、轮胎和导线等。

2. 陶瓷材料

陶瓷是一种古老的材料。一般人们对于陶瓷的概念, 除了日用陶瓷外就是精美的陶瓷工艺品, 如唐代的“唐三彩”及“明如镜, 薄如纸”的薄胎瓷等。传统的陶瓷一般是指陶器、瓷器及建筑用瓷。然而在现代材料科学中, 却赋予陶瓷的概念以崭新的意义。

陶瓷材料分为普通陶瓷和特种陶瓷。常用的特种陶瓷有氧化铝陶瓷(Al_2O_3)、氮化硅陶瓷(Si_3N_4)、碳化硅陶瓷(SiC)和氮化硼陶瓷(BN)等。

特种陶瓷材料具有高硬度和高耐磨性。立方氮化硼陶瓷(CBN)的硬度仅次于金刚石, 具有很高的耐磨性, 是一种超硬刀具材料。特种陶瓷材料还耐高温、抗蚀、化学稳定性较好, 在 1000°C 以上仍能基本保持其室温时的强度且不会氧化。陶瓷的最大缺点是冲击韧度和断裂韧性差, 脆性大, 陶瓷内部存在的缺陷也容易产生应力集中而成为裂纹源。

3. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上的材料, 即基体材料和增强材料复合而成的一类多相材料。复合材料保留了组成材料各自的优点, 获得单一材料无法具备的优良综合性能。它们是按照材料性能要求而设计的一种新型材料。复合材料已成为当前结构材料发展的一个重要趋势。玻璃纤维增强树脂基为第一代复合材料, 碳纤维增强树脂基为第二代复合材料, 金属

基、陶瓷基及碳基等复合材料则是目前正在发展的第三代复合材料。

1.3 钢的热处理

1.3.1 钢的热处理原理

钢的用途取决于其性能，而性能又由内部组织结构所决定。不同成分的钢具有不同的内部组织，其性能也不同。钢在加工中受到各种热过程或机械过程的作用，内部组织也会发生变化。这种变化有时使钢获得所需的性能，发掘出其潜能，需加以利用；有时也会造成不利于后续加工或最终使用的性能，需要加以改善和修正。因此，材料加工除成型目的外，还要满足使用性能的要求。热处理就是一种穿插于加工过程中用于专门调整材料性能的工艺。它在固态下对金属材料进行不同的加热、保温和冷却，使其内部组织发生变化后取得所需力学性能和工艺性能。

钢在常态下的主要组织有软而韧的铁素体组织（F）、硬而脆的渗碳体组织（ Fe_3C ）以及渗碳体以片状或粒状与铁素体相混合的具有综合性能的珠光体组织（P）。

各种组织的相对含量（体积）随着含碳量的增加或减少而发生变化，并对力学性能和工艺性能产生影响。热处理工艺一般不改变钢的成分及零件的几何形状，只通过对其内部组织结构及其分布方式的改变使钢达到软化、硬化或韧化等不同性能的需要。

1.3.2 钢的热处理工艺

1. 热处理工艺过程

热处理的工艺要素有①加热的温度、介质及加热速度；②保温时间；③冷却的方式、介质及冷却速度。

通常热处理工艺要素所构成的加热、保温、冷却三个阶段组合称为热处理工艺过程。热处理工艺过程可采用温度-时间坐标系表示，如图1-8所示。对不同的钢材，三个工艺参数的选取不同。对同一种钢材，冷却方式和冷却速度的不同，对钢材组织的影响很大，可据此获得预期的强度、硬度、塑性、韧性等力学性能指标。

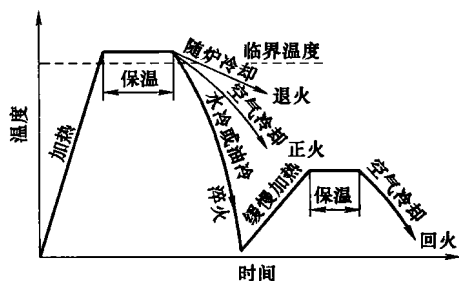


图1-8 常用热处理方法的工艺曲线示意图

2. 热处理的基本工艺

不同的工艺要素构成有以下四种基本工艺。

(1) 退火 退火是将钢加热到某一温度（对碳素钢而言为 $740 \sim 880^\circ\text{C}$ ），保温一定时间，然后随炉冷却或埋入导热性差的介质中缓慢冷却的一种工艺方法。退火的主要目的是降低材料硬度，改善其切削加工性，细化材料内部晶粒，均匀组织及消除毛坯在成形（锻造、铸造、焊接）过程中所造成的内应力，为后续的机械加工和热处理做好准备。

(2) 正火 正火是将钢加热到某一温度（对碳素钢而言为 $760 \sim 920^\circ\text{C}$ ），保温一定时间，然后出炉，在空气中冷却的一种工艺方法。由于正火的冷却速度稍快于退火，经正火后的零件，其强度和硬度较退火零件要高，而塑性、韧性略有下降。此外，由于正火采用空

冷,消除内应力不如退火工艺彻底。但对于塑性和韧性较好,而硬度较低的材料(如低碳钢),可以通过正火处理代替退火处理,提高零件硬度,改善其切削加工性能,这对于缩短生产周期,提高劳动生产率及加热炉的使用率均有较好的实用意义。

(3) 淬火 淬火是将钢件加热到临界温度以上(对碳素钢而言为 $770 \sim 870^{\circ}\text{C}$),保温一定时间,然后快速冷却,以得到高硬度组织的一种工艺方法。淬火的主要目的是提高零件的强度和硬度,增加耐磨性。淬火是钢件强化的最经济有效的热处理工艺,几乎所有的模具和重要零部件都需要进行淬火处理。淬火后必须回火,才能获得综合力学性能良好的零件。

(4) 回火 将淬火后的零件,重新加热到某一温度范围,保温一段时间后,冷却到室温的热处理工艺称为回火。通过回火可以消除或部分消除在淬火时存在的内应力,调整硬度,降低脆性,获得具有较高综合力学性能的零件。

回火操作主要是控制回火温度。回火温度越高,工件韧性越好,内应力越小,但硬度、强度下降得越多。回火温度对钢的性能影响十分明显。重新加热温度为 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 称为低温回火,经低温回火的零件可以减小淬火应力及脆性,保持高硬度及高耐磨性,常用于工具、模具的处理。重新加热温度为 $350 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 称为中温回火,经中温回火的零件可以使零件内应力进一步减小,组织基本恢复正常,因而具有很高的弹性,又具有一定的韧性和强度,常用于各类弹簧及某些强度要求较高的轴、轴套、刀杆的处理。重新加热温度为 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 称为高温回火,经高温回火可以使零件淬火后的内应力大部分消除,获得强度、韧性、塑性都较好的综合机械性能。生产中通常把淬火加高温回火的处理称为调质处理。对于各种重要的结构件,特别是在交变载荷下工作的零件,如连杆、螺栓、齿轮、轴等都需经过调质处理后再使用。

1.3.3 表面热处理

对于在动载荷和强烈摩擦条件下工作的零件,如齿轮、凸轮轴、床身导轨等,要求其表面具有高硬度和高耐磨性,而心部要求有足够的塑性和韧性,这些要求很难通过选材来解决,故可以采用表面热处理方法,即它仅对零件表面进行强化热处理,以改变表面组织和性能,而心部基本上保持处理前的组织和性能。

常用的钢的表面热处理方法有表面淬火及化学热处理两大类。

1. 表面淬火

表面淬火是将零件表面快速加热到淬火温度,然后迅速冷却,仅使表面层获得淬火组织的热处理方法。淬火后需进行低温回火,以降低内应力,提高表面硬化层的韧性及耐磨性能。根据热源不同,表面淬火加热方法通常有感应加热、火焰加热、激光加热和电子束加热等。

2. 化学热处理

化学热处理与其他热处理方法不同,它是利用介质中某些元素(如碳、氮、硅、铝等)的原子在高温下渗入零件表面,从而改变零件表面的成分和组织,以满足零件的特殊需要的热处理方法。通过化学热处理一般可以强化零件表面,提高零件表面的硬度、耐磨性、耐蚀性、耐热性及其他性能,而心部仍保持原有性能。常用的方法有渗碳、渗氮、碳氮共渗(或称氰化)以及渗金属元素(如铝、硅、硼)等。

渗碳是将钢件置于渗碳介质中加热并保温,使碳原子渗入到钢件表面,增加表层含碳量

及获得一定碳浓度梯度的工艺方法。适用于碳的质量分数为 0.1% ~ 0.25% 的低碳钢或低碳合金钢, 如 20、20Cr、20CrMnTi 等。零件渗碳后, 碳的质量分数从表层到心部逐渐减少, 表面层碳的质量分数可达 0.80% ~ 1.05%, 而心部仍为低碳。渗碳后再经淬火加低温回火, 使表面具有高硬度, 高耐磨性, 而心部则具有良好的塑性和韧性, 使零件既能承受磨损和较高的表面接触应力, 同时又能承受弯曲应力及冲击载荷。渗碳用于在摩擦冲击条件下工作的零件, 如汽车齿轮、活塞销等。

渗氮是在一定温度下将零件置于渗氮介质中加热、保温, 使活性氮原子渗入零件表层的化学热处理工艺。零件渗氮后表面形成氮化层, 氮化后不需淬火, 钢件的表层硬度高达 950HV ~ 1200HV, 这种高硬度和高耐磨性可保持到 560 ~ 600℃ 工作环境温度下而不降低, 故氮化钢件具有很好的热稳定性, 同时具有高的抗疲劳性和耐蚀性, 且变形很小。由于上述优点, 渗氮在机械工业中获得了广泛应用, 特别适宜许多精密零件的最终热处理, 如磨床主轴、精密机床丝杠、内燃机曲轴以及各种精密齿轮和量具等。

复习思考题

1. 金属材料的力学性能有哪些? 各自的符号和单位是什么?
2. 什么是钢? 什么是铸铁? 它们的主要区别是什么?
3. 指出下列材料的类别。说明材料牌号的含义: Q235AF、45、T12C、20MnV、20CrMnTi、40Cr、65Mn、9SiCr、W18Cr4V、06Cr19Ni10、KTH370-12、RuT380。
4. 试指出上述各种材料的应用实例。
5. 试为下列零件选择合适的材料: 汽车齿轮、机床主轴、弹簧、锉刀、变速箱箱体。
6. 热处理保温的目的是什么?
7. 比较退火和正火的异同点?
8. 淬火的目的是什么?
9. 淬火后为什么要回火?
10. 什么是调质? 调质能达到什么目的?
11. 表面淬火的目的是什么? 有几种表面淬火方法?