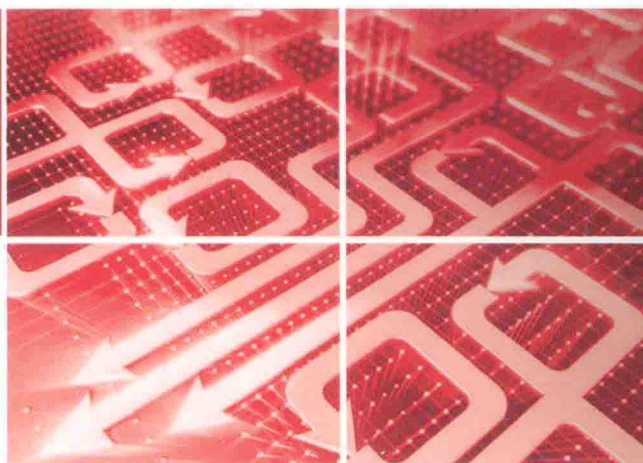


普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材
国家级精品课程教材
国家级精品资源共享课程教材



工程训练简明教程

主 编 朱华炳 田 杰

副主编 席 赟 王连超 张文祥



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材
国家级精品课程教材
国家级精品资源共享课程教材

工程训练简明教程

主 编 朱华炳 田 杰

副主编 席 赟 王连超 张文祥

参 编 阚绪平 胡友树 周建峰 彭 婧

张 晔 任祥东 吴 炜 李小蕴

主 审 傅水根



机械工业出版社

本书为国家级精品课程、国家级精品资源共享课程的配套教材。本书介绍了工程材料及其成形技术、机械加工、特种加工等制造工程中常用的加工方法及设备。本书保留传统的机械制造工艺方法的内容,增加了部分现代生产工艺和设备知识、生产环境及其保护和安全知识。本书注重学生的综合工程能力与创新能力的培养。

本书可作为普通高等院校非机类、理科类和文科类学生的工程训练指导用书,也可作为相关专业教师及技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程训练简明教程/朱华炳,田杰主编. —北京:机械工业出版社,2014.11
普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材 国家级精品课程教材
国家级精品资源共享课程教材

ISBN 978-7-111-48198-0

I. ①工… II. ①朱…②田… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材
IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第230719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:丁昕祯 责任编辑:丁昕祯

版式设计:霍永明 责任校对:路清双

封面设计:张静 责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11印张·244千字

标准书号:ISBN 978-7-111-48198-0

定价:24.80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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

工程训练是高等学校培养学生工程意识和实践能力的重要环节。工程训练课程不同于一般的专业课程，也不同于金工实习，课程定位是提高动手能力，转变思维方式。工程训练是以通识性、实践性、综合性和创新性为特点，在现代教育技术和先进制造技术相融合的准工业环境中，让学生学习工艺知识，了解工业过程，体验工程文化，培养实践能力。

2014年1月出版的《制造技术工程训练》(978-7-111-45160-0)是面向高等学校机械类和近机类本科生的工程训练教材，本简明教程为非机类、理科类和文科类学生编写。教程内容以介绍机械制造基本工艺知识为主，同时选择性介绍部分先进制造技术、工业生产环境及其保护和安全生产知识。不同专业应根据其培养目标和培养要求选用相关内容。

本书共分10章，包含工程材料及其成形技术、机械加工、特种加工等制造工程中常用的加工方法及装备。全书由合肥工业大学朱华炳、田杰担任主编，参与编写的有合肥工业大学王连超（第1章），席赟（第2章），吴炜（第3章），李小蕴（第4章），周建峰、阚绪平（第5章），胡友树（第6章），朱华炳、张文祥（第7章），彭婧、张晔（第8章），任祥东（第9章），阚绪平、田杰（第10章）。合肥工业大学桂贵生教授参加全书的策划、组织及统稿，全书由清华大学傅水根教授主审，对两位教授的辛勤劳动一并致谢。

限于编者水平有限，本书难免存在谬误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 工程材料及金属热处理

前言

第 1 章 工程材料及金属热处理 1

- 1.1 概述 1
- 1.2 金属材料 2
 - 1.2.1 金属材料的基本性能 2
 - 1.2.2 钢、铸铁材料 4
 - 1.2.3 非铁金属材料 8
- 1.3 钢、铸铁材料的热处理 9
 - 1.3.1 普通热处理 10
 - 1.3.2 表面热处理 10
- 1.4 钢、铸铁材料的表面处理 13
- 1.5 非金属材料及复合材料 14
 - 1.5.1 非金属材料 14
 - 1.5.2 复合材料 16
- 1.6 热处理环境与安全操作 17
- 复习思考题 18

第 2 章 铸造成形 19

- 2.1 概述 19
- 2.2 砂型铸造 20
 - 2.2.1 型砂和芯砂的制备 20
 - 2.2.2 砂型与浇注系统的结构 22
 - 2.2.3 砂型的制作方法 23
 - 2.2.4 砂芯的制备 27
 - 2.2.5 合型 27
 - 2.2.6 铸铁的熔炼与浇注 27
 - 2.2.7 铸件的落砂、清理 28
 - 2.2.8 铸件的缺陷分析 29
- 2.3 特种铸造 31

- 2.3.1 熔模铸造 31
- 2.3.2 压力铸造 32
- 2.3.3 消失模铸造 32
- 2.3.4 离心铸造 33
- 2.4 铸造生产环境与安全操作 34
- 复习思考题 34

第 3 章 锻压成形 36

- 3.1 概述 37
- 3.2 坯料的加热和锻件的冷却 37
 - 3.2.1 加热的目的和锻造温度范围 37
 - 3.2.2 加热缺陷 38
 - 3.2.3 加热炉 38
 - 3.2.4 锻件的冷却 39
- 3.3 自由锻造 39
 - 3.3.1 自由锻设备 39
 - 3.3.2 自由锻基本工序 41
 - 3.3.3 自由锻工艺过程示例 42
- 3.4 模锻和胎模锻 43
 - 3.4.1 模锻 43
 - 3.4.2 胎模锻 44
- 3.5 板料冲压 45
 - 3.5.1 冲压设备 45
 - 3.5.2 冲模 45
 - 3.5.3 冲压基本工序 47
 - 3.5.4 冲压工艺过程示例 49
- 3.6 钣金件制作 50
 - 3.6.1 钣金件展开图 50
 - 3.6.2 下料 50
 - 3.6.3 弯曲 50

3.6.4 咬缝	51	5.3.3 铣刀	86
3.7 锻造生产环境与安全操作	52	5.3.4 铣床主要附件	87
复习思考题	53	5.3.5 基本铣削工作	88
第4章 焊接成形	54	5.4 刨削加工	91
4.1 概述	55	5.4.1 刨床	92
4.2 焊条电弧焊	55	5.4.2 刨刀	93
4.2.1 焊条电弧焊焊接过程	55	5.4.3 基本刨削工作	94
4.2.2 焊条电弧焊常用设备	56	5.5 磨削加工	96
4.2.3 焊条	57	5.5.1 磨床	97
4.2.4 焊条电弧焊工艺	58	5.5.2 砂轮	98
4.3 气焊与气割	60	5.5.3 基本磨削工作	99
4.3.1 气焊	60	5.6 插齿与滚齿	100
4.3.2 气割	62	5.6.1 插齿	100
4.4 其他常用焊接方法与切割方法	62	5.6.2 滚齿	100
4.4.1 埋弧焊	62	5.7 切削加工环境与安全操作	101
4.4.2 气体保护焊	63	复习思考题	102
4.4.3 等离子弧焊接与切割	64	第6章 钳工	103
4.4.4 激光焊接与切割	65	6.1 概述	104
4.4.5 机器人焊接	67	6.2 钳工的基本操作	104
4.5 焊接变形与焊接缺陷	67	6.2.1 划线	104
4.5.1 焊接变形	67	6.2.2 锯削	107
4.5.2 常见焊接缺陷	68	6.2.3 锉削	109
4.6 焊接生产环境与安全操作	69	6.2.4 钻孔、扩孔与铰孔	111
复习思考题	70	6.2.5 攻螺纹和套螺纹	115
第5章 切削加工	71	6.3 装配与拆卸	116
5.1 切削加工基础知识	72	6.3.1 装配流程	117
5.1.1 切削运动	72	6.3.2 几种常用联接的装配	117
5.1.2 切削用量	73	6.3.3 装配示例	120
5.1.3 金属切削刀具	74	6.3.4 拆卸的基本要求和流程	120
5.1.4 常用量具	75	6.4 钳工安全操作知识	121
5.2 车削加工	78	复习思考题	122
5.2.1 车床	78	第7章 数控加工	123
5.2.2 车刀	79	7.1 概述	123
5.2.3 工件安装	80	7.1.1 数控加工原理	123
5.2.4 基本车削工作	81	7.1.2 数控加工特点	124
5.3 铣削加工	83	7.1.3 数控机床的组成	124
5.3.1 铣削加工范围及特点	83	7.1.4 数控机床的控制方式	125
5.3.2 铣床	84	7.2 数控加工编程	126

7.2.1 数控加工编程方法	126	第9章 电气线路基本知识	147
7.2.2 坐标系	127	9.1 概述	147
7.2.3 程序结构	128	9.1.1 电工工具	148
7.3 数控加工示例	131	9.1.2 电工材料	149
7.3.1 数控车削加工示例	131	9.1.3 安全用电	149
7.3.2 数控铣削加工示例	132	9.2 常用低压电器	150
7.4 数控机床加工操作	132	9.2.1 低压电器的作用与分类	150
复习思考题	133	9.2.2 开关型电器	151
第8章 特种加工	134	9.2.3 主令电器	153
8.1 概述	134	9.2.4 接触器	155
8.2 电火花加工	135	9.2.5 继电器	156
8.2.1 电火花加工原理	135	9.3 机床控制电路	159
8.2.2 电火花加工机床	136	9.3.1 机床控制基本要求	159
8.2.3 电火花加工工艺特点及 适用范围	137	9.3.2 单向点动控制线路	159
8.3 线切割加工	138	9.3.3 单向起动和连续运转控制 电路	159
8.3.1 线切割加工原理	138	9.3.4 正反转控制线路	160
8.3.2 数控线切割机床	138	复习思考题	161
8.3.3 线切割加工特点及应用	139	第10章 实习件制作	162
8.3.4 线切割加工编程	139	10.1 概述	162
8.4 激光加工	142	10.2 手锤工程图	163
8.4.1 激光加工原理	142	10.2.1 手锤三维图	163
8.4.2 激光加工设备	142	10.2.2 锤头和锤柄的二维图	163
8.4.3 激光加工特点及应用	143	10.3 手锤制作工艺	165
8.5 快速成形制造	143	10.3.1 锤头加工工艺	165
8.5.1 快速成形制造基本原理	144	10.3.2 锤柄加工工艺	166
8.5.2 快速成形制造工艺特点	144	10.3.3 手锤的装配	167
8.5.3 熔融沉积成形 (FDM) 工艺 及应用	145	复习思考题	167
复习思考题	146	参考文献	168

第1章

工程材料及金属热处理

本章导读

工程上用的材料简称工程材料，例如机器零部件材料、汽车零部件材料、建筑材料等。对工程材料的基本要求是：能承受一定的载荷，经久耐用，易于获取，便于加工处理，对环境无污染，价格低廉。

金属材料是重要的工程材料，约占各种机械设备材料使用量的80%以上，金属材料包括钢铁材料（黑色金属）和非铁金属材料（有色金属）两种。钢和铁不要混为一谈，其化学成分和力学性能是不同的。

为了改善金属材料的力学性能和加工性能，常采用热处理方法，通常称为四把火，即退火和正火，淬火与回火。例如菜刀的刃口应有一定的强度和硬度，切硬的食材时出现卷口或崩口现象，这是由于刃口钢火太嫩或钢火太大所致（指硬度不足或过高）。

为了提高金属材料的耐蚀性，常对零件表面进行处理，如电镀、发蓝等。

除金属材料还有非金属材料、复合材料，如塑料、橡胶、陶瓷、金属陶瓷、玻璃钢等，复合材料由于性能优越，广泛应用于喷气机的机翼、尾翼，直升机的螺旋桨，发动机的油嘴等结构零件上。

实训目的与要求

- 1) 了解常用金属材料的种类、牌号、性能及用途。
- 2) 了解金属热处理的作用及钢铁材料常用热处理的方法。
- 3) 了解钢铁材料常用表面处理方法。
- 4) 初步了解塑料、橡胶、陶瓷材料的性能及用途。
- 5) 初步了解复合材料的性能特点及其发展趋势。
- 6) 了解热处理环境保护及安全操作知识。

1.1 概述

工程材料是指制造工程构件和机器零件用的材料。工程材料分为金属材料、有机高分

子材料、无机非金属材料（陶瓷）和复合材料四类，如图 1-1 所示。

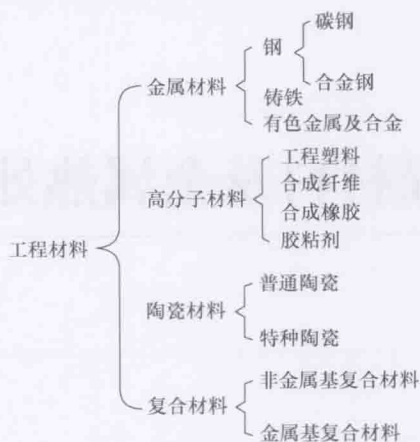


图 1-1 工程材料分类

1.2 金属材料

金属材料包括钢铁材料和非铁金属材料两种。金属材料来源丰富，性能优良，约占各种机械设备材料使用量的 80% 以上，是重要的工程材料。

1.2.1 金属材料的基本性能

金属材料的基本性能包括力学性能、工艺性能、物理性能和化学性能。

1. 金属材料的力学性能

金属材料在外力作用下所表现出的各项性能指标统称为金属材料的力学性能。主要指标有：强度、硬度、塑性、冲击韧度和疲劳强度等。力学性能是零件设计计算、选择材料、工艺评定以及材料检验的主要依据。

(1) 强度 评价材料强度和塑性最简单有效的方法是拉伸试验。拉伸试验是用静拉伸力对标准拉伸试样进行缓慢的轴向拉伸，直至试样被拉断为止的一种试验方法。拉伸试样如图 1-2 所示。

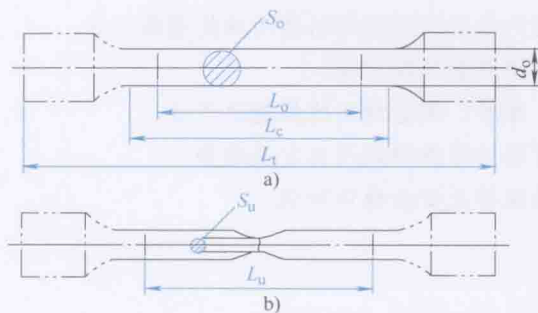


图 1-2 拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

材料在拉断前所承受的最大力为 F_m ，材料在拉断前所承受的最大拉应力称为抗拉强度，用 R_m 表示。 R_m 越大，说明材料抵抗破坏的能力越强。

(2) 塑性 金属材料在外力的作用下产生永久变形（塑性变形）而不断裂的能力称为塑性。金属材料在被拉伸到一定程度时，长度和横截面都会发生变化，因此，金属的塑性可以用断后伸长率 A 和截面收缩率 Z 来评定。

断后伸长率和截面收缩率越大，表示材料的塑性越好，即材料承受较大的塑性变形而不被破坏。一般把断后伸长率大于 5% 的金属称为塑性材料（如低碳钢等），而把断后伸长率小于 5% 的金属称为脆性材料（如灰铸铁等）。

(3) 硬度 金属材料抵抗其他更硬的物体压入其表面的能力称为硬度。硬度反映金属材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力。由于大多数常用钢材的强度和硬度之间有一个近似比例关系，根据硬度可以近似估计材料的抗拉强度。目前，用于测量材料硬度的方法有三种：布氏硬度法、洛氏硬度法和维氏硬度法。

1) 布氏硬度。用硬质合金钢球作为压头，根据被测材料的种类、硬度范围和试样厚度的不同，选择不同直径的压头、试验力、保持时间等参数。布氏硬度用 HBW 表示，如 350HBW5/70，表示 5mm 的硬质合金球在 7.335kN 试验力下保持 10~15s，测得的布氏硬度值为 350。

2) 洛氏硬度。用顶角为 120° 的金刚石锥体或直径为 1.58mm 的淬火钢球作为压头。卸载后，测量残余压痕深度。实际操作中，洛氏硬度值可以直接在硬度试验机的表盘上读出。由于压头和施加试验力的不同，洛氏硬度有多种标尺，常用的有 HRA、HRC、HRB。各种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围见表 1-1。

表 1-1 洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

洛氏硬度	压头类型	总试验力/N	测量范围	应用举例
HRA	120° 金刚石	588.4	20~88HRA	高硬度表面
HRB	直径 1.588mm 球	980.7	20~100HRB	软钢、灰铸铁、有色金属
HRC	120° 金刚石圆锥	1471	20~70HRC	淬火回火钢

在中等硬度情况下，洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBW 之比约为 1:10，例如 40HRC 相当于 400HBW 左右。洛氏硬度的优点是操作简单、压痕很小、适用范围广，缺点是测量结果分散大。

3) 维氏硬度 (HV)。试验原理与布氏硬度试验相似，也是以压痕单位表面积所承受试验力大小来计算硬度值。它是用一个相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头，在规定载荷 F 的作用下压入被测金属表面，保持一定时间后卸除载荷，然后再测压痕的两对角线长度的平均值 d 来计算硬度，维氏硬度用符号 HV 表示，符号前面的数字为硬度值，后面的数字按顺序分别表示载荷值及载荷保持时间。一般用于测量氮化层等硬度。

维氏硬度试验所用载荷小，压痕深度浅，适用于零件薄的表面硬化层、金属镀层及薄片金属硬度的测量。因压头为金刚石四棱锥，载荷可调范围大，故对软、硬材料均适用，测定范围为 0~1000HV。

(4) **冲击韧性** 冲击韧性是材料抵抗冲击载荷作用的能力, 一般用材料单位横截面积的冲击消耗能量——冲击韧度 a_k 作为冲击韧性指标。一般将冲击韧性低的材料称为脆性材料, 冲击韧性高的材料称为韧性材料。前者在断裂前无明显塑性变形, 断口较平整, 呈晶状或瓷状, 有金属光泽; 后者在断裂前有明显塑性变形, 断口呈纤维状。

2. 金属材料的工艺性能

金属材料通过各种加工方法被制造成零件或产品, 材料对各种加工方法的适应性称为材料的工艺性能。主要工艺性能有:

(1) **铸造性能** 金属材料通过铸造方法制成优质铸件的难易程度。其影响因素主要包括材料的流动性和收缩性, 材料的流动性越高, 收缩性越小, 则铸造性能越好。

(2) **锻压性能** 金属材料在锻压加工过程中获得优良锻压件的难易程度。它与金属材料的塑性及变形抗力有关。材料的塑性越高, 变形抗力越小, 则锻压性能越好。

(3) **焊接性能** 金属材料在一定焊接工艺条件下, 获得优质焊接接头的难易程度, 其影响因素包括材料的成分、焊接方法、工艺条件等。

(4) **热处理性能** 金属材料在改变温度和冷却中获得所需要的结构和性能的能力。对钢而言, 常指淬透性、淬硬性、回火脆性及产生裂纹的倾向性等。

(5) **切削加工性能** 用刀具切削加工金属材料的难易程度。材料切削加工性能的好坏主要体现在切削速度、已加工表面质量、切屑的控制或断屑的难易、切削力等。影响材料切削加工性能的主要因素是材料的物理性能、化学成分和金相组织等。

3. 金属材料的物理性能和化学性能

(1) **物理性能** 金属材料的物理性能是指金属材料对自然界各种物理现象, 如温度变化、地球引力等所引起的反应。主要包括密度、熔点、导热性、导电性、磁性、热膨胀性等。

(2) **化学性能** 金属材料的化学性能主要是指在常温或高温时, 抵抗各种活泼介质化学侵蚀的能力, 即金属材料的化学稳定性, 包含抗氧化性和耐蚀性。

1.2.2 钢、铸铁材料

钢铁材料按碳的含量(质量分数)一般分为三大类:

1) 工业纯铁 ($w_c \leq 0.0218\%$), 一般不用来制造机械零件。

2) 钢 ($0.0218\% < w_c \leq 2.11\%$)。

3) 铸铁 ($2.11\% < w_c \leq 6.69\%$)。

1. 钢

(1) 钢的分类

1) 按化学成分可分为**非合金钢(即碳素钢)**、**低合金钢**和**合金钢**。

① 非合金钢(碳素钢)分为低碳钢 ($w_c \leq 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% < w_c \leq 0.6\%$)、高碳钢 ($w_c > 0.6\%$)。

② 低合金钢、合金钢按合金元素含量(质量分数)划分, 其界限值在相关标准中进行了规定。

2) 按使用特性可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。

① 结构钢主要用来制造各种工程构件(如桥梁、船舶、建筑等的构件)和机器零件,一般属于低碳钢和中碳钢。

② 工具钢主要用来制造各种刀具、量具、模具,这类钢碳的质量分数较高,一般属于高碳钢。

③ 特殊性能钢指具有特殊物理、化学性能的钢,这类钢主要有不锈钢、耐热钢、耐磨钢,一般属于合金钢。

(2) 非合金钢(碳素钢)的牌号、主要性能及用途常用非合金钢(碳钢)的牌号、主要性能及用途见表1-2。

表1-2 非合金钢的牌号、主要性能及用途

分类	牌号及含义		性能与应用范围	应用举例
	牌号举例	含 义		
碳素结构钢	Q235AF	Q表示“屈”字汉语拼音字首,235表示屈服强度值,A表示质量等级。F表示沸腾钢	普通碳素结构钢的焊接性能好而强度不高,一般用于制造受力不大的机械零件	钢筋、套环、桥梁、高压线塔、建筑构件
优质碳素结构钢	08~25	优质碳素结构钢的牌号是用两位数表示平均碳的质量分数的万分比。45钢表示碳的质量分数为0.45%	塑性、韧性较好,主要用于制作较重要的机械零件。该类钢一般都要经过热处理,以提高其力学性能	壳体、容器
	30~50			轴、齿轮、连杆
	60以上			轧辊、弹簧、钢丝绳、偏心轮
碳素工具钢	T7, T7A T8, T8A	常用的碳素工具钢牌号中“T”是“碳”的汉语拼音字首,数字表示平均碳质量千分数。若为高级优质碳素工具钢,则在其牌号后加字母“A”	经淬火、低温回火后具有高的硬度、耐磨性;但塑性较低,淬透性低,易变形。碳素工具钢主要用于制造截面较小、形状简单的各种低速切削刀具、量具和模具	冲头、錾子、手钳、锤子
	T9, T9A T10, T10A			板牙、丝锥、钻头、车刀
	T12, T12A T13, T13A			刮刀、锉刀、量具

(3) 低合金高强度结构钢的牌号、主要性能及用途 低合金高强度结构钢是一种合金元素含量较少、强度较高的工程用钢,价格与普通碳素结构钢相近,但强度比一般低碳结构钢高10%~30%,且具有良好的塑性(截面收缩率 $Z > 20\%$)和焊接性能,便于冲压或焊接成形。低合金高强度结构钢主要用于各种受力的工程结构。

低合金高强度结构钢的牌号表示方法与碳素结构钢相同,即以字母“Q”开始,后面以3位数字表示最低屈服强度,最后以符号表示其质量等级。如Q345A表示屈服强度不低于345MPa的A级低合金高强度钢。常用低合金高强度钢的牌号、化学成分、力学性能见表1-3。

(4) 合金钢的分类及牌号 合金钢是在碳钢的基础上加入某些合金元素所获得的高性能钢种。按合金钢用途可分为合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢。合金钢的牌号表示方法见表1-4。

表 1-3 常用低合金高强度钢的牌号、化学成分、力学性能

牌 号	相应旧 牌号举例	化学成分 (质量分数) (%)						力学性能		应用举例
		C	Mn	V	Nb	Ti	Ni	$R_{el}/$ MPa	A (%)	
Q345 (A, B, C, D, E)	16Mn、 12MnV	≤ 0.20	≤ 1.70	0.15	0.07	0.2	0.5	345	20	桥梁、船舶、 压力容器、车辆
Q390 (A, B, C, D, E)	15MnV、 15MnTi	≤ 0.20	≤ 1.70	0.2	0.07	0.2	0.5	390	20	桥梁、船舶、 压力容器、起 重机
Q420 (A, B, C, D, E)	15MnVN、 15MnVTiRe	≤ 0.20	≤ 1.70	0.2	0.07	0.2	0.8	420	19	桥梁、船舶、 高压容器
Q460 (C, D, E)		≤ 0.20	≤ 1.80	0.2	0.11	0.2	0.8	460	17	大型桥梁、大 型船舶、高压 容器

表 1-4 合金钢的牌号表示方法

分 类	牌号表示方法	举 例
合金 结构钢	“数字” + “合金元素符号” + “数字”三部分 组成。前两位数字表示钢中平均碳质量万分数，其 后的数字表示该元素平均质量百分数，当其平均质 量分数小于 1.5% 时，只需写出元素符号；高级优质 钢在钢号最后加“A”。易切削钢前面加“Y”，滚 动轴承钢在钢号前面加“G”，铬质量分数用千分数 表示。其中低合金高强度钢牌号的新标准表示方法 与普通碳素结构钢相同	渗碳钢：20Cr、20Mn2、20CrMnTi、20Cr2Ni4、 18Cr2Ni4WA 合金调质钢：40CrMn、38CrMoAl、40CrNiMoA、 25Cr2Ni4WA 合金弹簧钢：65Mn、60Si2Mn、55SiMnVB 滚动轴承钢：GCr15、GCr15SiMn
合金 工具钢	碳的平均质量分数小于 1% 时，用一位数字表示平 均质量分数的千分数；如平均碳质量分数不小于 1% 时，则不标出其质量分数。合金元素含量的表示方 法与合金结构钢相同	低合金刀具钢：9SiCr、CrWMn、9Mn2V 高速工具钢：W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 合金冷作模具钢：Cr12MoV、Cr4W2MoV 合金热作模具钢：5CrNiMo、3Cr2W8V 合金量具钢：CrWMn、GCr15、9Cr18
特殊 性能钢	牌号前面的两位数字表示平均碳含量的质量分数 (万分之几表示)。但当平均质量分数不大于 0.003%，用三位数字（十万分之几表示）。合金元 素含量的表示方法与合金结构钢相同	不锈钢：20Cr13、40Cr13、12Cr13、10Cr17Ti 耐热钢：06Cr18Ni11Ti、14Cr11MoV 耐磨钢：ZGMn13

2. 铸铁

铸铁是碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金。一般含有硅、锰元素及磷、硫等杂质。铸铁在工业生产上应用比较广泛，与碳钢比较，其力学性能相对较差，但具有优良的减震性、耐磨性、切削加工性和铸造性能，生产成本也比较低。

1) 根据碳在铸铁中存在的形式可分为白口铸铁、灰铸铁和麻口铸铁。

① 白口铸铁中的碳完全以渗碳体的形式存在，断口呈银白色，硬而脆，难以进行切

削加工。一般用于不需加工但需耐磨且要求较高硬度的零件，如铰犁、球磨机的磨球、轧辊等。

② 灰铸铁中的碳大部分以片状石墨形式存在，断口呈暗灰色，工业应用比较广泛。

③ 麻口铸铁中的碳以石墨和渗碳体的混合形式存在，断口呈灰白相间的麻点状，脆性较大。

2) 根据石墨在铸铁中的形状可分为普通灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁。

① 普通灰铸铁中的石墨呈片状，抗压强度明显大于抗拉强度，同时还具有良好的切削加工性、减振性、吸振性等特点。它还具有熔点低、流动性好、收缩量小等优点，因此铸造性能良好。

② 球墨铸铁中的碳主要以球状石墨形式存在，是在铸铁液中加球化剂进行球化处理获得的。球墨铸铁既有灰铸铁的优点，又具有较高的强度和一定的塑性和韧性，因此，综合力学性能优越。

③ 可锻铸铁是由白口铸铁经过长时间石墨化退火而获得的，具有团絮状石墨的铸铁。它具有较好的强度、塑性和韧性。

常用铸铁的牌号、性能及应用见表 1-5。

表 1-5 常用铸铁的牌号、性能及应用

分 类	牌 号		性 能	应 用 举 例
	牌号举例	说 明		
灰铸铁	HT100 HT200 HT300 HT350	HT + 数字。“HT”表示灰铸铁代号。数字表示最低抗拉强度	铸造性、减振性、耐磨性、切削加工性优异	机床床身、各种箱体、壳体、泵体、缸体等
球墨铸铁	QT400-15 QT600-3	QT + 两组数字。“QT”表示球墨铸铁代号。第一组数字表示最低抗拉强度值；第二组数字表示最低断后伸长率值	比灰铸铁的力学性能优良；可进行各种热处理；可制造承受振动、载荷大的零件	汽车、拖拉机的曲轴、连杆、传动齿轮等
可锻铸铁	KTH300-06	KTH、KTB、KTZ 分别为黑心、白心、珠光体可锻铸铁代号；第一组数字表示最低抗拉强度值；第二组数字表示最低断后伸长率值	塑性好、韧性好、耐腐蚀性较高	汽车、拖拉机的前后轮壳、管接头、低压阀门等
蠕墨铸铁	RuT260	RuT + 一组数字；“RuT”表示蠕墨铸铁代号数字表示最低抗拉强度值	强度、塑性和抗疲劳性能优于灰铸铁	钢锭模、玻璃模具、柴油机汽缸、汽缸盖、排气阀、耐压泵的泵体

1.2.3 非铁金属材料

通常把钢铁以外的金属称为非铁金属,也称为有色金属。非铁金属中,密度小于 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的(铝、镁等)称为轻金属,密度大于 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的(铜、镍、铅等)称为重金属,非铁金属还包括难熔金属、贵金属等。非铁金属的产量和用量虽不如钢铁,但其具有许多特殊性能,它是现代工业,特别是国防工业不可缺少的材料。常用的非铁金属材料有铜及铜合金、铝及铝合金等。

1. 铜及铜合金

铜和铜合金是人类最早发现和使用的金属材料之一,由于铜及铜合金具有良好的导电性、导热性、抗磁性、耐腐蚀性和工艺性,故在电气工业、仪表工业、造船业及机械制造业中得到了广泛应用。

(1) **工业纯铜** 工业上使用的纯铜是玫瑰红色的金属,表面形成的氧化亚铜呈紫色,故称为紫铜。纯铜的密度为 $8.93\text{g}/\text{cm}^3$,熔点 1083°C 。退火状态下的力学性能: $R_m = 240\text{MPa}$, $\text{HBW} = 35$, $A = 45\%$ 。纯铜具有良好的导电性、导热性、抗磁性、耐腐蚀性和塑性。纯铜在电气、动力机械和仪器仪表工业中获得广泛的应用。

工业纯铜的牌号使用“铜”的汉语拼音字首“T”和随后的一位数字表示。如T1、T2、T3等,数字越大,铜的纯度越低。

(2) **铜合金** 铜合金按化学成分分为黄铜、青铜和白铜。

1) 黄铜是以锌为主加元素构成的铜基合金。用“H”表示,如H68,表示 $w_{\text{Cu}} = 68\%$, $w_{\text{Zn}} = 32\%$ 的黄铜。HPb59-1表示 $w_{\text{Cu}} = 59\%$, $w_{\text{Pb}} = 1\%$,其余为锌的黄铜。

2) 青铜是以锡、铝、硅、铍等为主加元素构成的铜基合金。青铜的牌号采用“Q+主加元素符号+主加元素的质量分数”表示。如QSn10-1表示 $w_{\text{Sn}} = 10\%$,附加元素质量分数 1% , $w_{\text{Cu}} = 89\%$ 的青铜。锡青铜的力学性能随含锡量的变化而变化, $w_{\text{Sn}} < 8\%$ 时,具有较好的塑性,适用于压力加工; $w_{\text{Sn}} > 10\%$ 时,塑性低,只适合铸造。锡青铜主要制造轴承、衬套、涡轮、螺母等耐磨件。

3) 白铜是以镍为主加元素的铜合金。其牌号采用“B”和后面的数字表示,数字表示镍的平均质量分数。如添加第三种元素,则在B字后面增加该元素的化学符号和平均质量分数。如B19表示 $w_{\text{Ni}} = 19\%$ 的普通白铜;BM3-12表示 $w_{\text{Ni}} = 3\%$ 和 $w_{\text{Mn}} = 12\%$ 的锰白铜。

2. 铝及铝合金

(1) **纯铝** 纯铝为银白色,密度为 $2.72\text{g}/\text{cm}^3$,熔点 660°C 。力学性能: $R_m = 90\text{MPa}$, $\text{HBW} = 28$, $A = 38\%$ 。导电性好、导热性好、耐腐蚀性好、塑性好、强度低。可制造板材、箔材、线材、带材及型材。纯铝是配制铝合金的主要材料。根据GB/T3190—2008规定,工业高纯铝牌号有1A30、1A50、1A99等,其中“1”表示纯铝,“A”表示原始纯铝,最后两位数字表示铝的纯度。工业纯铝牌号有1070A、1050A、1060A等,后两位数字直接表示铝的纯度,末尾数字“A”表示优质纯铝。

(2) **铝合金** 通过在纯铝中添加一定量的合金元素制成铝合金,铝合金的强度比纯铝

高。根据铝合金的成分和生产加工方法,铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金两类。

1) 变形铝合金分为**防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻铝合金**。其牌号用四位字符体系表示。牌号的第一、第三、第四位为数字,第二位A为字母。第一位数字是依主要合金元素Cu、Mn、Si、Mg、Zn等的顺序来表示变形铝合金的组别。最后两位数字用以标识同一组别中的不同铝合金。

① 防锈铝合金强度比纯铝高,具有良好的耐蚀性、塑性和可焊性,但切削性能较差。主要有5A50、3A21等牌号。

② 硬铝合金主要是Al—Cu—Mg系合金,它由于强度和硬度高,所以称为硬铝。主要有2A01、2A11等牌号。

③ 超硬铝合金是在硬铝合金的基础上添加锌元素制备而成。由于具有强烈的时效强化效果,强度超过硬铝。主要有7A04等牌号。

④ 锻铝合金的合金元素含量较少,在加热状态下具有良好的塑性和耐热性,锻造性能好,所以称之为锻造铝合金。主要有6A02、2A50、2A14等牌号。

2) 铸造铝合金用“ZL”加三位数字表示,如ZL107等。分成铝硅、铝铜、铝镁及铝锌等四大系列,其铸造性能好,导热性及耐蚀性较好,又具有一定的强度,可用于制造形状较复杂、要求导热、耐蚀性较高的结构件和零件。

1.3 钢、铸铁材料的热处理

所谓热处理就是将固态金属材料通过**加热、保温和冷却**,改变其组织结构和性能的一种工艺方法,在机械制造业中被广泛应用。热处理的目的是提高零件的性能,充分发挥材料的潜力,延长零件的使用寿命。此外,热处理还可以改善工件的工艺性能,提高加工质量,减少刀具磨损。热处理工艺过程的温度-时间关系曲线示意图如图1-3所示。

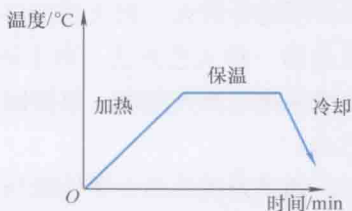


图 1-3 热处理工艺过程的温度-时间关系曲线示意图

热处理之所以能使钢的力学性能发生变化,其根本原因是铁具有同素异构转变现象,所以,钢铁在加热和冷却的过程中组织和结构发生变化,因而由材料的组织结构所决定的性能也随之发生改变。

根据加热和冷却的方法不同,将热处理分为普通热处理和表面热处理。常用的普通热处理方法有**正火、退火、淬火和回火**。表面热处理有表面淬火和化学热处理。

1.3.1 普通热处理

1. 退火

退火是将工件加热到某一合适温度，保温一定时间，然后缓慢冷却（通常是随炉冷却，也可埋入导热性较差的介质中冷却）的一种工艺方法。根据退火的工艺特点和目的的不同，退火工艺可分为完全退火、等温退火、球化退火、去应力退火等。

退火的目的是降低硬度，便于切削加工；细化晶粒、改善组织，提高力学性能；消除内应力，并为后续热处理做好组织准备。

退火主要适用于各类铸件、锻件、焊接件和冲压件，退火一般是机械加工及其他热处理工序之前的预备热处理工序。

2. 正火

正火是将工件加热到某一温度，碳钢一般加热到 $780\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后，出炉在空气中冷却的一种工艺方法。正火的主要目的是改善切削加工性能，与退火相比，其生产效率高、成本低。对于形状复杂、截面有急剧变化的结构件，淬火时易变形、开裂，在保证性能的前提下，可用正火代替淬火作为最终热处理。

3. 淬火

淬火是将钢件加热到某一合适温度，保温后在淬火介质中冷却的热处理工艺。淬火可提高钢的硬度和耐磨性，如工具、模具、滚动轴承等。最常用的淬火介质有水、油、盐溶液和碱溶液及其他合成淬火介质。淬火冷却的基本要求是，既要使工件淬硬，又要避免产生变形和开裂。因此，选用合适的淬火介质十分重要，碳钢淬火一般用水或盐水冷却，合金钢淬火则用油冷却。

4. 回火

工件经淬火后硬度、强度及耐磨性都有显著提高，而脆性增加，并产生很大的内应力，为了降低脆性、消除内应力必须进行回火。回火是把淬过火的工件重新加热到某一温度，保温一定时间后，冷却到室温的一种工艺方法。由于回火温度决定钢的组织 and 性能，所以生产中一般以工件所需的硬度来决定回火温度。根据回火温度的不同，通常将回火分为低温回火、中温回火和高温回火。

调质处理是淬火加高温回火。调质处理后的力学性能与正火相比，不仅强度高，而且塑性和韧性也较好，具有良好的综合力学性能。对许多重要的机械零件，如连杆、齿轮及轴等零件进行调质处理。中碳钢经调质处理后的硬度一般为 $200\sim 300\text{HBW}$ 。

1.3.2 表面热处理

有些零件要求工作表面具有高的硬度和耐磨性，而心部要有较好的塑性和韧性，如齿轮、传动轴。这类零件大多需要表面热处理。表面热处理主要有表面淬火和表面化学热处理。

1. 表面淬火

表面淬火是指将工件表层快速加热到一定温度状态，热量未传到工件心部时，立即采