

高等学校教材

金属工艺学实习教材

■ 北京科技大学
北京工业大学 等校组编

机械工业出版社

TG-43
7.1.1

高等学校教材

金属工艺学实习教材

北京科技大学
北京工业大学 等校组编

主 编 滕向阳
副主编 程文彬 郭永环
参 编 杨金生 赵 侠
主 审 朱铁保 余雪子



机械工业出版社

VVVV
本教材系根据国家教委“工程材料及机械制造基础”课程指导小组1995年制定的非机械类专业“金工实习教学基本要求”编写的，主要作为教学计划中无金工理论课教学的金工实习教材。

全书共10章，其内容包括：工程材料及热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工基本知识、车削、铣刨磨削、钳工、机械制造特种工艺及新工艺、机械零件加工的工艺分析与经济性分析。每章之后均附有复习题。

本教材可作为高等工科院校非机械类专业学生的金工实习教材，也可供其它各类大学选用，并可作为有关专业工程技术人员和技术工人的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属工艺学实习教材/北京科技大学、北京工业大学等校组编.

—北京：机械工业出版社，1997.7

高等学校教材

ISBN 7-111-05521-7

I. 金… II. 北… III. 金属加工-工艺-实习-高等学校-教材

IV. TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02914 号

出版人：马九荣（北京市百万庄南街1号 邮政编码100037）

责任编辑：冯 侠 钱飒飒 版式设计：冉晓华 责任校对：罗莉华

封面设计：郭景云 责任印制：卢子祥

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年7月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·8印张·189千字

00 001—13 000册

定价：10.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

前 言

本教材系根据国家教委《工程材料及机械制造基础》课程指导小组 1995 年制定的非机械类专业“金工实习教学基本要求”，并结合五院校金工实习教学实践编写而成。

非机械类专业一般只有金工实习而无机械制造方面的其它课程，但许多非机械类专业对学生都有一定的机械设计、维护本专业设备、仪器、工装的要求。本教材的编写充分考虑到这一特点，在精选传统工艺，加强对学生工程训练指导的同时，增加了对零件加工工艺分析和经济性分析的内容，以加强对学生工程意识和工艺分析的综合能力的培养；充实了非金属材料 and 特种加工、精密加工、数控加工的内容，以反映机械制造领域的新材料、新工艺，扩展学生的眼界。

同时，本教材力求做到叙述简练。深入浅出、直观形象、图文并茂，专业术语及型号、牌号、符号均采用最新标准。

本教材由北京科技大学滕向阳任主编，北京工业大学程文彬和齐齐哈尔大学郭永环任副主编。参加编写的教师有：北京石油化工学院杨金生（第一、四章）、北京工业大学赵侠（第八章）、北京轻工业学院王小北（第九章冷加工部分和第十章）、北京科技大学范云（第五章）及郭永环（第七章）、程文彬（第二章及第九章热加工部分）、滕向阳（绪论及第三、六章）。

本教材由北京理工大学朱铁保教授和北京科技大学余雪子副教授分别担任热、冷加工部分的主审工作。清华大学的李家枢教授、傅水根教授和北京化工大学的翟丰安副教授对本教材提出了许多宝贵的意见，在此谨表衷心的感谢。

由于我们的理论水平和实践经验所限，教材中的错误与不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

一九九六年九月

目 录

前言		第六章 车削	60
绪论	1	第一节 车床	60
第一章 工程材料及钢的热处理概念	1	第二节 车削操作要点	62
第一节 金属材料的力学性能	1	第三节 车削的主要工作	66
第二节 常用工程材料简介	4	复习题	73
第三节 钢的热处理基本概念	9	第七章 铣削、刨削和磨削	74
复习题	11	第一节 铣削	74
第二章 铸造	12	第二节 刨削	80
第一节 砂型的制造	13	第三节 磨削	83
第二节 金属的熔炼和浇注	24	复习题	86
第三节 铸件的落砂、清理及缺陷分析	26	第八章 钳工	87
复习题	28	第一节 划线	87
第三章 锻压	29	第二节 钳工基本操作	89
第一节 自由锻	29	第三节 装配	95
第二节 模锻和胎模锻	36	复习题	98
第三节 板料冲压	37	第九章 机械制造中的特种工艺与精密加工	99
复习题	39	第一节 特种铸造	99
第四章 焊接	40	第二节 特种锻压	102
第一节 手工电弧焊	40	第三节 特种焊接	105
第二节 气焊和气割	44	第四节 特种加工	106
第三节 其它焊接方法简介	47	第五节 数控机床加工	108
第四节 焊接缺陷及质量检验	49	第六节 精密加工	111
复习题	50	复习题	112
第五章 切削加工的基本知识	51	第十章 机械零件加工工艺分析	113
第一节 切削加工概述	51	第一节 毛坯的选择	113
第二节 机械加工零件的技术要求	52	第二节 机械加工方法选择及其经济性分析	114
第三节 刀具材料及其几何形状	54	第三节 机械零件的结构工艺性	117
第四节 常用量具	56	复习题	120
复习题	59	参考文献	121

绪 论

金属工艺学是研究机械制造方法及加工工艺的综合性课程。金属工艺学实习（简称金工实习）则是在生产实践中学习和掌握工艺知识与技能的实践性技术基础课。由于机械（即机床、设备、仪器、仪表、机构等）在科学技术的各个领域已成为必不可少的工具，所以，金工实习是工科院校重要的实践性教学环节及工程教育的重要组成部分。

金工实习涉及一般机械制造的全过程及其主要加工方法，如图 0-1 所示。即根据设计图样，进行工艺审定和工艺文件的拟定，选材并选用适当方法（铸造、锻造、冲压、焊接）制造出零件的毛坯，再用车、钻、铣、磨等切削加工的方法和适当的热处理制成合格的零件，最后装配成机械产品。机械制造中的主要加工方法是金工实习的基本内容，了解工程材料及其工艺性能（铸造性、锻压性、焊接性、切削加工性和热处理性能）的基本知识是金工实习的重要任务。

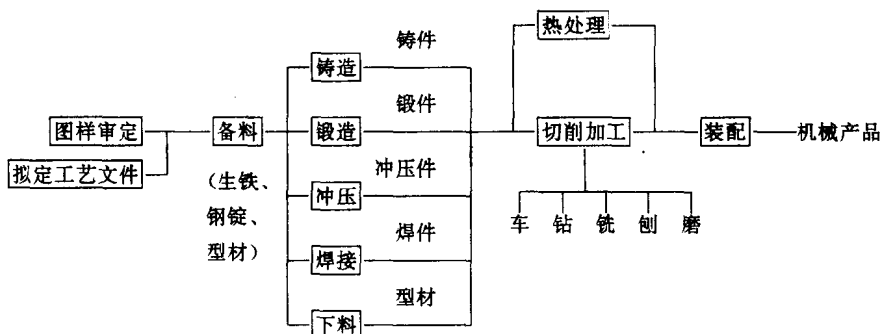


图 0-1 机械制造过程及其主要加工方法

随着材料科学和机械制造技术的迅猛发展，机械工程中的新材料、新技术、新工艺，不断丰富和充实了金工实习的内容，拓宽了工程实践训练与现代化生产的接口。金工实习在培养具有现代化工程素质的工程技术人才方面，起着全面培养与综合训练的重要作用。

第一章 工程材料及钢的热处理概念

第一节 金属材料的力学性能

金属材料受到外力作用时表现出来的性能称为力学性能。金属的力学性能主要有强度、塑性、硬度和冲击韧性等。

一、强度

金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。

工程上常用的强度指标有屈服点（屈服强度）和抗拉强度。屈服点和抗拉强度可用拉伸试验测定。将标准的拉伸试样（图 1-1a）装夹在拉伸试验机的两个夹头上，缓慢加载，试样逐渐伸长，直至拉断为止（图 1-1c）。在拉伸过程中，试验机能自动绘出以拉力 F 为纵坐标，试样伸长量 ΔL 为横坐标的拉伸曲线。低碳钢的拉伸曲线如图 1-2 所示。

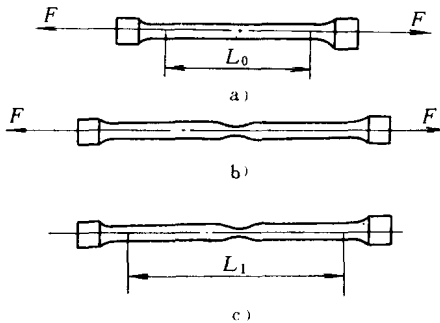


图 1-1 拉伸试样

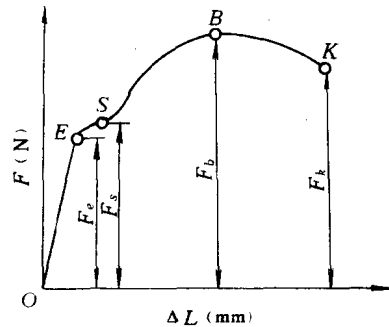


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

材料的强度是用应力表示的。当材料受到外力作用时，其内部产生与外力相平衡的内力。单位面积上的内力称为应力，用 σ 表示，单位为 MPa。

在低碳钢的拉伸曲线中，OE 段外力较小，试样处于弹性变形阶段，外力去除，试样恢复原长。外力超过 F_0 后，试样除产生弹性变形外，还产生塑性变形，即外力去除后，试样不能恢复原长。当外力增大到 F_0 时，曲线从 S 点开始几乎为水平线段，这说明拉力不增大而伸长量却在继续增加。这种现象称为“屈服”。试样产生屈服现象时的应力称为屈服点，用 σ_s 表示。屈服点可用下式计算：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 σ_s ——屈服点 (MPa)；

F_s ——试样产生屈服现象时的拉力 (N)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

试样屈服后，开始产生明显的塑性变形。当拉力超过 F_0 后，随拉力增大，塑性变形明显增大。当拉力增大到 F_b 时，试样局部开始变细，产生“缩颈”（图 1-1b）。由于横截面积缩小，使试样继续变形所需拉力减小，到 F_k 时试样在缩颈处被拉断。试样在拉断前所能承受的最大标称应力，称为抗拉强度，用 σ_b 表示。抗拉强度可用下式计算：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa)；

F_b ——试样在拉断前承受的最大拉力 (N)；

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

屈服点和抗拉强度是设计零件选材时的主要依据之一。

二、塑性

材料在外力作用下产生塑性变形的能力称为塑性。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ，它们在标准试样的拉伸试验中可同时测出。

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

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

式中 L_0 ——试样原始标距长度 (mm);

L_1 ——试样拉断后标距长度 (mm);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm²);

S_1 ——试样断裂处的横截面积 (mm²)。

伸长率 δ 的大小与试样尺寸有关。用标距长度等于 10 倍直径的试样测得的伸长率记为 δ_{10} 或 δ , 用标距长度等于 5 倍直径的短试样测得的伸长率记为 δ_5 。通常 δ_5 大于 δ_{10} 。 δ 和 ψ 愈大, 材料的塑性愈好。虽然塑性不直接用于设计计算, 但很多零件要求材料具有一定的塑性, 以保证零件工作的安全性。要进行锻压加工的材料必须具有足够的塑性。

三、硬度

材料抵抗更硬物体压入其表面的能力称为硬度。常用的硬度指标有洛氏硬度和布氏硬度, 需在相应的硬度计上测出。

(一) 洛氏硬度

洛氏硬度的测定是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬硬钢球作压头, 以相应的载荷压入试样表面, 由压痕深度确定其硬度值。压痕愈浅, 硬度愈高。洛氏硬度可从硬度计读数装置上直接读出。

洛氏硬度有三种常用标度, 分别以 HRC、HRB、HRA 表示。硬度值数字写在字母前面, 如 60HRC、85HRB 等。三种洛氏硬度的符号、试验条件和应用范围如表 1-1 所示。

表 1-1 三种洛氏硬度的符号、试验条件及应用举例

符号	压 头	载荷 N (kgf)	硬度值有效范围	应用举例
HRC	顶角 120° 金刚石圆锥	1470 (150)	20~67HRC, 相当于 225HBS 以上	淬火钢、调质钢
HRB	直径 1.588mm 淬硬钢球	980 (100)	25~100HRB, 相当于 60~230HBS	退火钢、灰铸铁、有色金属
HRA	顶角 120° 金刚石圆锥	588 (60)	70HRA 以上, 相当于 350HBS 以上	硬质合金、表面淬火钢

(二) 布氏硬度

布氏硬度的测定方法为: 用直径为 D 的淬硬钢球或硬质合金球, 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, 取下试样, 用读数显微镜测出表面压痕直径 d 。根据压痕直径、压头直径及所用载荷查表, 可求出布氏硬度值。

布氏硬度为压痕单位球面积上承受的载荷, 单位为 N/mm² (但一般都不写出)。用钢球压头时, 用 HBS 表示, 适用于硬度小于 450HBS 的退火钢、灰铸铁、有色金属等。用硬质合金球压头时, 用 HBW 表示, 适用于硬度小于 650HBW 的淬火钢等。

四、冲击韧度

金属材料在冲击载荷作用下抵抗断裂的能力称为冲击韧度。冲击韧度的测定在冲击试验机上进行。试验时, 将标准冲击试样 (图 1-3) 放在摆锤冲击试验机 (图 1-4) 的支座上, 让摆锤从一定高度落下冲击试样。冲击韧度 α_K 可用下式计算:

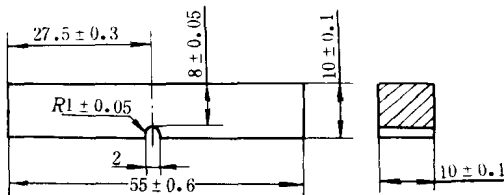


图 1-3 冲击试样

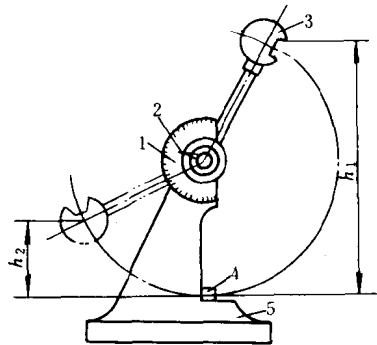


图 1-4 摆锤冲击试验机示意图

1—刻度盘 2—指针 3—摆锤 4—试样 5—支座

$$\alpha_K = \frac{A_K}{S}$$

式中 α_K ——冲击韧度 (J/cm^2);

A_K ——打断试样的冲击吸收功 (J);

S ——试样缺口处的横截面积 (cm^2)。

在冲击载荷下工作的零件, 要求材料具有一定的冲击韧度。

第二节 常用工程材料简介

工程材料一般分为金属材料和非金属材料两大类。金属材料是工程上应用最广泛的一大类材料, 包括黑色金属(钢铁材料)和有色金属。非金属材料的种类很多, 如塑料、陶瓷、复合材料等, 在工程上的应用也日益增多。

一、钢铁材料

钢铁是以铁、碳为主要成分的合金, 是应用最广泛的金属材料, 包括碳素钢、合金钢和铸铁。

(一) 钢

钢是含碳量小于 2.11% 的铁碳合金, 有的还含有一些合金元素。

1. 钢的分类

钢的分类方法很多, 常用的有以下三种。

(1) 按化学成分 根据钢的化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类:

1) 碳素钢 碳素钢中不含特意加入的合金元素, 对其性能影响最大的是钢中碳的质量分数 w_C 。碳素钢按碳的质量分数分为低碳钢 ($w_C \leq 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% < w_C \leq 0.60\%$)、高碳钢 ($w_C > 0.60\%$)。

2) 合金钢 合金钢是为了改善钢的性能而有意识地加入一些合金元素的钢。根据合金元素含量的多少, 合金钢分为低合金钢 (合金元素总质量分数 $< 5\%$)、中合金钢 (合金元素总质量分数 $5\% \sim 10\%$)、高合金钢 (合金元素总质量分数 $> 10\%$)。

(2) 按用途分 按钢材的用途可分为三大类:

1) 结构钢 用于制造机器零件和工程构件的钢称为结构钢,分碳素结构钢、优质碳素结构钢和合金结构钢。

2) 工具钢 用于制造各种工具的钢称为工具钢,分碳素工具钢和合金工具钢。

3) 特殊性能钢 具有某些特殊性能的钢称为特殊性能钢,分不锈钢、耐热钢、耐磨钢和磁钢等。

(3) 按钢的质量分 钢的质量优劣是按钢中所含有害杂质硫、磷多少划分的,分普通钢、优质钢、高级优质钢和特级优质钢。

2. 钢的牌号

我国钢的牌号采用阿拉伯数字、化学元素符号、汉语拼音字母相结合的方法表示。碳素钢、合金钢牌号的含义如表 1-2 和表 1-3 所示。

表 1-2 碳素钢的牌号

类 别	举 例	牌 号 说 明
碳素结构钢 (包括低合金结构钢)	Q235-AF Q235-C	“Q”为“屈”字汉语拼音字首,后面的数字为屈服点(MPa);A、B、C、D表示质量等级,从A到D依次提高;F、b、Z、TZ分别表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢。如Q235-AF,表示屈服点为235MPa、质量为A级的碳素结构钢,沸腾钢
优质碳素结构钢	45 40Mn	两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万倍值,如45,表示 w_C 为0.45%优质碳素结构钢,“Mn”表示钢中锰的质量分数较高
碳素工具钢	T8 T12A	“T”为“碳”字的汉语拼音字首,后面的数字表示钢中平均碳的质量分数的千倍值,如T8表示 w_C 为0.8%的碳素工具钢,“A”为高级优质钢

表 1-3 合金钢的牌号

类 别	举 例	牌 号 说 明
合 金 结构钢	20CrMnTi 60Si2Mn	前面两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万倍值,元素符号表示所含合金元素,元素符号后面的数字表示该元素平均质量分数的百倍值,质量分数小于1.5%时一般不标出。若为高级优质钢,则在钢号后面加“A”。如40Cr表示 w_C 为0.40%, $w_{Cr}<1.5\%$ 的合金结构钢
合 金 工具钢	9SiCr CrWMn	前面一位数字表示钢中平均碳质量分数的千倍值,若 $w_C\geq 1.0\%$ 时,则不标出。合金元素质量分数的表示方法与合金结构钢相同。如Cr12,表示 $w_C\geq 1.0\%$ 、 w_{Cr} 为12%的冷作模具钢
特殊性能钢	1Cr13 0Cr18Ni9	编号方法基本与合金工具钢相同,当 $w_C\leq 0.08\%$ 时,在钢号前以“0”表示;当 $w_C\leq 0.03\%$ 时,在钢号前面以“00”表示。如3Cr13,表示 w_C 为0.3%, w_{Cr} 为13%的不锈钢

3. 常用钢的主要力学性能及应用举例

常用钢的主要力学性能及应用举例如表 1-4 和表 1-5 所示。

表 1-4 常用碳素钢的主要力学性能及应用举例

类别	典型钢号	主要力学性能	应 用 举 例
碳素结构钢	Q215	$\sigma_b\geq 335\text{MPa}$, $\delta_5\geq 28\%$ $\sigma_s\geq 215\text{MPa}$	塑性较好,强度低。制造受力不大的零件,如垫圈、螺钉、螺母等
	Q235	$\sigma_b\geq 375\text{MPa}$, $\delta_5\geq 23\%$ $\sigma_s\geq 235\text{MPa}$	塑性较好,强度较低。制造金属构件、钢板、钢筋、型钢、螺栓、螺母等
	Q255	$\sigma_b\geq 410\text{MPa}$, $\delta_5\geq 21\%$ $\sigma_s\geq 255\text{MPa}$	有一定强度和塑性。制造小轴、销子、拉杆、链轮、链片等

(续)

类别	典型钢号	主要力学性能	应用举例
优质碳素结构钢	20	$\sigma_s \geq 245\text{MPa}$ $\sigma_b \geq 410\text{MPa}$, $\delta_5 \geq 25\%$	塑性好, 易于焊接和冲压。制造受力不大的零件, 如螺栓、螺母、垫圈、销子及渗碳零件等
	45	$\sigma_s \geq 355\text{MPa}$ $\sigma_b \geq 600\text{MPa}$, $\delta_5 \geq 16\%$	综合力学性能好, 切削加工性好。可用于受力较大的零件, 如主轴、齿轮、曲轴、连杆、活塞销等
	65	$\sigma_s \geq 420\text{MPa}$ $\sigma_b \geq 695\text{MPa}$, $\delta_5 \geq 10\%$	有较高强度、弹性和耐磨性。可用于制造弹簧、凸轮、钢丝绳、偏心轮、轧辊等
碳素工具钢	T8	淬火后硬度 $\geq 62\text{HRC}$	硬度高, 韧度较好。制造承受冲击的工具, 如扁铲、手钳、冲头
	T10	淬火后硬度 $\geq 62\text{HRC}$	硬度高, 韧度中等。制造不受剧烈冲击的工具, 如手锯条、刨刀
	T12	淬火后硬度 $\geq 62\text{HRC}$	硬度高, 耐磨性好, 韧度低。制造不受冲击的工具, 如锉刀、刮刀

表 1-5 常用合金钢的性能特点及应用举例

类别	典型钢号	性能特点	应用举例
低合金结构钢	Q345-C Q375-C	有较好的塑性、韧性, 较高的强度, 良好的焊接性。 $\sigma_s \geq 345\text{MPa}$, $\delta \geq 18\%$	用于制造工程构件, 如压力容器、桥梁、船舶等
合金渗碳钢	20Cr 20CrMnTi	热处理后表面硬度高, 60~62HRC, 耐磨性好, 心部韧性好, $\alpha_K \geq 60\text{J/cm}^2$	用于制造汽车、拖拉机齿轮, 以及重要轴类等
合金调质钢	40Cr	热处理后有良好的综合力学性能, σ_b : 980MPa, σ_s : 785MPa, δ : 9%, α_K : 60J/cm ²	用于制作各种轴类、连杆、齿轮、重要螺栓等
合金弹簧钢	65Mn 60Si2Mn	热处理后有高屈服点(弹性好)及足够的韧性, $\sigma_s \geq 850\text{MPa}$, $\alpha_K \geq 25\text{J/cm}^2$	用于制作各种弹簧及弹性零件
滚动轴承钢	GCr15	热处理后硬度高(62~66HRC), 耐磨性好, 接触疲劳强度高	用于制作滚动轴承、丝杠等
低合金刀具钢	9SiCr CrWMn	热处理后硬度高($\geq 62\text{HRC}$), 耐磨性好, 有一定红硬性(300℃)	用于制作各种低速切削刀具, 如丝锥、板牙、铰刀等
高速钢	W18Cr4V	热处理后硬度高($\geq 63\text{HRC}$), 耐磨性好, 红硬性好(600℃)	用于制作各种高速切削刀具, 如铣刀、钻头、刨刀、齿轮刀具等
冷作模具钢	Cr12MoV	热处理后硬度高(58~63HRC), 耐磨性高, 热处理变形小	用于制作冷作模具, 如冲裁模、冷挤压模、拉丝模等
不锈钢	1Cr18Ni9 1Cr13	耐蚀性好, 塑性好($\delta \geq 40\%$)	用于制作硝酸、化工、化肥等工业设备零件; 汽轮机叶片等

(二) 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11%, 并含有较多的硅、锰元素及硫、磷等杂质的铁碳合金。虽然铸铁的抗拉强度、塑性和韧度不如钢, 无法进行锻造, 但铸铁具有优良的铸造性、减摩性和切削加工性, 而且熔炼简便, 成本低, 因而在工业上得到了广泛应用。

在工业上普遍使用的铸铁是断口呈暗灰色的灰口铸铁, 其中的碳主要以石墨形式存在。按石墨形态不同, 灰口铸铁可分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁等。

1. 灰铸铁

灰铸铁中的石墨呈片状，强度较低，是机械工业中应用最多的一种铸铁，广泛用于制造手轮、支架、带轮、床身、箱体等。

灰铸铁的牌号由“HT”和三位数字组成。“HT”表示灰铸铁，数字表示抗拉强度最低值。例如 HT200，表示 $\sigma_b \geq 200\text{MPa}$ ($\phi 30\text{mm}$ 单铸试样) 的灰铸铁。

2. 球墨铸铁

球墨铸铁中的石墨呈球状。球墨铸铁的强度比灰铸铁高，并且有较好的塑性和韧度，可用于制造一些受力复杂、承受载荷较大的零件，如曲轴、连杆、凸轮轴、齿轮等。

球墨铸铁的牌号由“QT”和两组数字组成。“QT”表示球墨铸铁，前一组数字表示抗拉强度最低值，后一组数字表示伸长率最低值，如 QT450-10，表示 $\sigma_b \geq 450\text{MPa}$ ， $\delta \geq 10\%$ 的球墨铸铁。

3. 可锻铸铁

可锻铸铁中的石墨呈团絮状。与灰铸铁相比，强度较高，并有一定的塑性和韧度，但不能锻造。可锻铸铁适于制造形状复杂、工作时承受冲击、振动、扭转等载荷的薄壁零件，如汽车、拖拉机后桥壳，转向器壳和管子接头等。

我国常用的可锻铸铁有黑心可锻铸铁和珠光体可锻铸铁，其牌号分别由“KTH”、“KTZ”和两组数字组成。“KTH”表示黑心可锻铸铁，“KTZ”表示珠光体可锻铸铁，前一组数字表示抗拉强度最低值，后一组数字表示伸长率最低值。如 KTH350-10，表示 $\sigma_b \geq 350\text{MPa}$ ， $\delta \geq 10\%$ 的黑心可锻铸铁；KTZ550-04 表示抗拉强度最低值为 550MPa、 $\delta \geq 4\%$ 的珠光体可锻铸铁。

4. 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁中的石墨类似片状，但短而厚，头部较圆，形似蠕虫，其力学性能也介于灰铸铁与球墨铸铁之间，抗拉强度、伸长率均优于灰铸铁。可用于制造经受热循环、要求组织致密、强度较高、形状复杂的零件，如汽缸盖、进排气管、钢锭模等。

蠕墨铸铁的牌号由“RuT”和三位数字组成。“RuT”表示蠕墨铸铁，三位数字表示抗拉强度最低值。如 RuT340，表示 $\sigma_b \geq 340\text{MPa}$ ， $\delta \geq 1.0\%$ 的蠕墨铸铁。

部分铸铁的牌号、性能及应用如表 1-6 所示。

表 1-6 部分铸铁的牌号、性能和应用举例

分类	牌 号	σ_b (MPa)	δ (%)	应 用 举 例
灰 铸 铁	HT150	150	—	手轮、底座、阀体、带轮等
	HT250	250	—	汽缸、齿轮、床身、主轴箱、阀体等
球 墨 铸 铁	QT400-18	400	18	汽车、拖拉机轮毂及后桥壳，中低压阀门，电机壳
	QT700-2	700	2	曲轴、连杆、凸轮轴、机床主轴、齿轮等
可 锻 铸 铁	KTH370-12	370	12	后桥壳、减速器壳、管接头等
	KTZ650-02	650	2	曲轴、凸轮轴、齿轮、扳手、棘轮等
蠕 墨 铸 铁	RuT300	300	1.5	变速箱体、汽缸盖、液压件、纺织机件、钢锭模
	RuT380	380	0.75	活塞环、汽缸套、制动盘、吸淤泵、钢珠研磨盘

二、有色金属材料

工业上把钢铁材料称为黑色金属，把钢铁以外的金属称为有色金属。有色金属的种类很多，下面仅对铜、铝及其合金作一简介。

(一) 铜及其合金

纯铜又称紫铜，具有优良的导电性、导热性和耐蚀性。纯铜的强度低，塑性好，工业纯铜（如 T2、T3 等）主要用于制造电缆、油管等，很少用来制造机器零件。

黄铜是以锌为主要合金元素的铜合金。加入适量的锌，能提高铜的强度、塑性和耐蚀性。只加锌的铜合金称为普通黄铜（如 H62、H70 等）；若在其中再加适量的铅、锰、锡、硅、铝等元素可形成特殊黄铜（如 HPb59-1、HMn58-2 等），能进一步提高其力学性能、耐蚀性和切削加工性；还有可用于铸造的铸造黄铜（如 ZCuZn38）。黄铜主要用于制造弹簧、衬套及耐蚀零件等。

青铜原指铜锡合金，现把以铝、硅、铅等为主要合金元素的铜合金也称为青铜。青铜按主加元素的不同分锡青铜（如 QSn4-3）、铝青铜（如 QAl5）、铍青铜（如 QBe2）及用于铸造的铸造青铜（如 ZCuSn10Pb1）等。青铜的耐磨减摩性好、耐蚀性好，主要用于制造轴瓦、蜗轮及要求减摩、耐蚀的零件等。

(二) 铝及其合金

纯铝的密度小（ 2.7g/cm^3 ），导电导热性仅次于银和铜，在大气中有良好的耐蚀性，强度低，塑性好。工业纯铝（如 L2、L4 等）主要用于制造电缆和日用器皿等。

铝与硅、铜、镁、锰等元素组成的铝合金，强度较高。铝合金分形变铝合金和铸造铝合金。

形变铝合金的塑性好，常制成板材、管材等型材，用于制造蒙皮、油箱、铆钉和飞机构件等。按主要性能特点和用途，形变铝合金又可分为防锈铝（如 LF5）、硬铝（如 LY11）、超硬铝（如 LC4）和锻铝（如 LD7）。

铸造铝合金（如 ZA1Si12）的铸造性好，一般用于制造形状复杂及有一定力学性能要求的零件，如仪表壳体、内燃机汽缸、活塞、泵体等。

铜、铝及其合金的牌号说明可查阅有关书籍。

三、非金属材料

长期以来，金属一直是工程上使用的主要材料。这是由于金属材料具有良好的力学性能和工艺性能的缘故。但随着科学技术的发展，工程设计对材料的要求愈来愈高，不但要求高强度，而且要求质轻、耐蚀、耐高低温和良好的电气性能等。因此，近年来已有许多非金属材料如塑料、橡胶、陶瓷及复合材料等用于各类工程结构。

(一) 塑料

塑料是以合成树脂为基础，加入各种添加剂（如增塑剂、润滑剂、稳定剂、填充剂等）制成的高分子材料。塑料具有密度低、耐蚀性好、电绝缘性好、减摩耐磨性好、成形方便等优点。塑料的缺点是强度硬度低、耐热性差。

塑料按应用范围分通用塑料和工程塑料。通用塑料是日常生活中应用的塑料，如聚乙烯、聚氯乙烯等。工程塑料是在机械设备和工程结构上应用的塑料，它具有良好的力学性能和特殊性能，可代替金属制作工程构件，如聚碳酸酯、聚酰胺、聚四氟乙烯等。表 1-7 所示为几种常用工程塑料的主要特性和应用举例。

表 1-7 几种常用工程塑料的主要特性和应用举例

名称	主 要 特 性	应 用 举 例
聚甲醛	耐疲劳性高，自润滑性和耐磨性好。但热稳定性较差，易燃烧，曝晒易老化	耐磨传动件，如无油轴承、凸轮、齿轮、运输带
聚酰胺	减摩耐磨性好，坚韧，耐疲劳、耐腐蚀性好。但成形收缩率大，不耐热，俗称“尼龙”	耐磨传动件，如齿轮、蜗轮、密封圈、螺钉螺母、尼龙纤维布
聚碳酸酯	冲击韧度高，耐热耐寒稳定性好，透明，俗称“透明金属”。但自润滑和耐磨性较差	受冲击零件，如轻载齿轮、挡风玻璃、头盔、高压绝缘器件
聚四氟乙烯	耐高低温、耐蚀性、电绝缘性优异；摩擦系数极低，俗称“塑料王”。但强度较低，加工性较差	耐蚀件、减摩件、绝缘件，如管道、泵、阀门、轴承、密封圈

(二) 橡胶

橡胶是在室温下处于高弹态的高分子材料。工业上使用的橡胶是在生胶（天然或合成的）中加入各种配合剂经硫化后制成的。橡胶最大特点是弹性好，具有良好的吸振性、电绝缘性、耐磨性和化学稳定性。

橡胶分天然橡胶和合成橡胶。天然橡胶有很好的综合性能，广泛用于制造轮胎、胶带、胶管等。合成橡胶种类很多，常用的有丁苯橡胶、顺丁橡胶、氯丁橡胶等。常用于制造机械中的密封圈、减振器、电线包皮、轮胎、胶带等。

(三) 陶瓷

陶瓷包括整个硅酸盐材料和氧化物材料，是无机非金属材料的总称。陶瓷具有高硬度、高耐磨性、高熔点、高化学稳定性、高抗压强度。但很脆，抗拉强度低。

陶瓷分普通陶瓷和特种陶瓷。普通陶瓷是天然粘土制品，主要用于建筑工程、一般电气工业、生活用品及艺术品等。特种陶瓷是为满足工程上的特殊需要用人工提炼的、纯度较高的化合物制成的陶瓷，如高温陶瓷、电容器陶瓷、磁性陶瓷、压电陶瓷等。

(四) 复合材料

复合材料是由两种或两种以上性质不同的物质组成的人工合成材料。复合材料既保留了组成材料各自的优点，又得到了单一材料无法具备的优良综合性能，突出的特点是质轻，综合力学性能好，是人们按照性能要求而设计的一种新型材料。

组成复合材料的物质可分两类：一类为基体材料，起粘结剂作用；另一类是增强材料，起提高强度和韧度的作用。按增强材料形态的不同，复合材料分为纤维复合、层叠复合、颗粒复合三种类型。目前应用较多的是纤维复合材料，如玻璃纤维树脂复合材料、碳纤维树脂复合材料。玻璃纤维树脂复合材料俗称玻璃钢，是应用最多的复合材料。

复合材料广泛用于航空、宇航、船舶、军工、汽车、化工和机械工业。

第三节 钢的热处理基本概念

将钢材在固态下通过加热、保温和不同方式的冷却，改变内部组织，获得所需性能的工艺方法称为热处理。热处理能改善材料性能，充分发挥材料的潜力，延长使用寿命，提高经济效益。因此，机器中许多重要零件都要进行热处理。

钢的热处理主要有退火、正火、淬火、回火和表面热处理等。

一、退火与正火

将钢加热到适当温度，保温后随炉缓冷的热处理方法称为退火。

退火可降低硬度，改善切削加工性；细化组织，提高力学性能；消除内应力，防止变形和开裂。

将钢加热到适当温度，保温后出炉空冷的热处理方法称为正火。

正火的冷却速度较快，获得的组织较细。因此，经正火后，钢的强度、硬度比退火时高些。但消除内应力不如退火彻底。正火，钢在炉外冷却，不占用设备，生产率较高。低碳钢常用正火提高硬度，改善切削加工性。对重要的零件，正火作淬火前的预备热处理。对一些普通的零件，正火常作为最终热处理。

二、淬火与回火

将钢加热到适当温度，保温后在水中或油中快冷以获得高硬度组织的热处理方法称为淬火。

淬火后，钢的硬度、强度大大提高。但产生很大的内应力，使钢的脆性增加。为了减小内应力，降低脆性，稳定尺寸，获得所要求的性能，钢淬火后必须及时回火。

将淬火钢重新加热到适当温度，保温后冷却下来的热处理方法称为回火。淬火钢回火后的性能主要取决于回火的加热温度，而不是冷却速度。按加热温度不同，回火分以下三种：

(1) 低温回火 回火温度为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。其目的是降低淬火钢的内应力和脆性，保持淬火钢的高硬度和高耐磨性。低温回火适用于刀具、量具等工具的热处理。

(2) 中温回火 回火温度为 $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。其目的是提高钢的弹性和屈服点，多用于各种弹簧和热锻模的热处理。

(3) 高温回火 回火温度为 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。其目的是获得强度、塑性和韧性都较好的综合力学性能。生产上把淬火加高温回火称为“调质处理”。它广泛用于各种重要零件的热处理，如齿轮、轴、连杆等。

三、表面热处理

表面热处理是强化零件表面的热处理方法。生产中应用较广的有表面淬火和化学热处理等。

(一) 表面淬火

快速将钢件表面加热到淬火温度，立即快冷将表面淬硬的热处理方法称为表面淬火。表面淬火主要适用于中碳钢和中碳低合金钢，如 45 钢、40Cr 等。表面淬火前应进行正火和调质处理，表面淬火后应进行低温回火。这样处理后，工件表层硬而耐磨，心部仍保持较好的韧性。适用于重要齿轮、曲轴等。

常用的表面淬火方法有感应加热表面淬火和火焰加热表面淬火。感应加热淬火适用于大批量生产，目前应用较广。但设备复杂。火焰淬火方法简单，但质量较差。

(二) 化学热处理

把钢件放在某种化学介质中加热、保温，使介质中的元素渗入钢件的表层，改变表层的成分、组织和性能的热处理方法称为化学热处理。按渗入元素的不同，常用的化学热处理有渗碳、渗氮等。

渗碳是将工件放在渗碳介质中加热、保温，使碳原子渗入工件表层。渗碳用于低碳钢和

低碳合金钢零件，如 20 钢、20Cr、20CrMnTi 等。渗碳后获得 0.5~2mm 的高碳表层，再经淬火、低温回火，使表面具有高硬度、高耐磨性，而心部具有良好的塑性和韧度，使零件既耐磨，又抗冲击。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。

渗氮是将工件放在渗氮介质中加热、保温，使氮原子渗入工件表层。零件渗氮后表面形成 0.1~0.6mm 的氮化层，不需淬火就具有高的硬度、耐磨性、抗疲劳性和一定的耐蚀性，而且变形很小。但渗氮处理的时间长，成本高，目前主要用于用 38CrMoAlA 钢制造的精密丝杠、高精度机床主轴等精密零件。

复 习 题

1. 金属材料的力学性能指标有哪些？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：Q235-AF、45、T12A、15MnV、20CrMnTi、40Cr、65Mn、GCr15、9SiCr、W18Cr4V、0Cr18Ni9、HT250、QT400-18、KTH370-12、RuT380。
4. 试给上题每种材料举出 1~2 个应用实例。
5. 退火、正火、淬火在冷却方式上有什么不同？什么是回火？回火有哪几种？各用于什么场合？
6. 什么是调质处理？调质后的材料在性能上有什么特点？
7. 试为下列零件选择合适的热处理方法：铣刀、机床主轴、弹簧。

第二章 铸 造

将液态金属浇入与零件形状相适应的铸型型腔中，待其冷凝后获得毛坯或零件的方法称为铸造。

铸造方法分砂型铸造和特种铸造两大类。目前应用最广泛、最基本的方法是砂型铸造，其工艺过程如图 2-1 所示。根据零件图设计制造模样和芯盒，以及配砂、造型、造芯、合箱、熔化、浇注、落砂、清理等，经检验合格后便得到所需铸件。

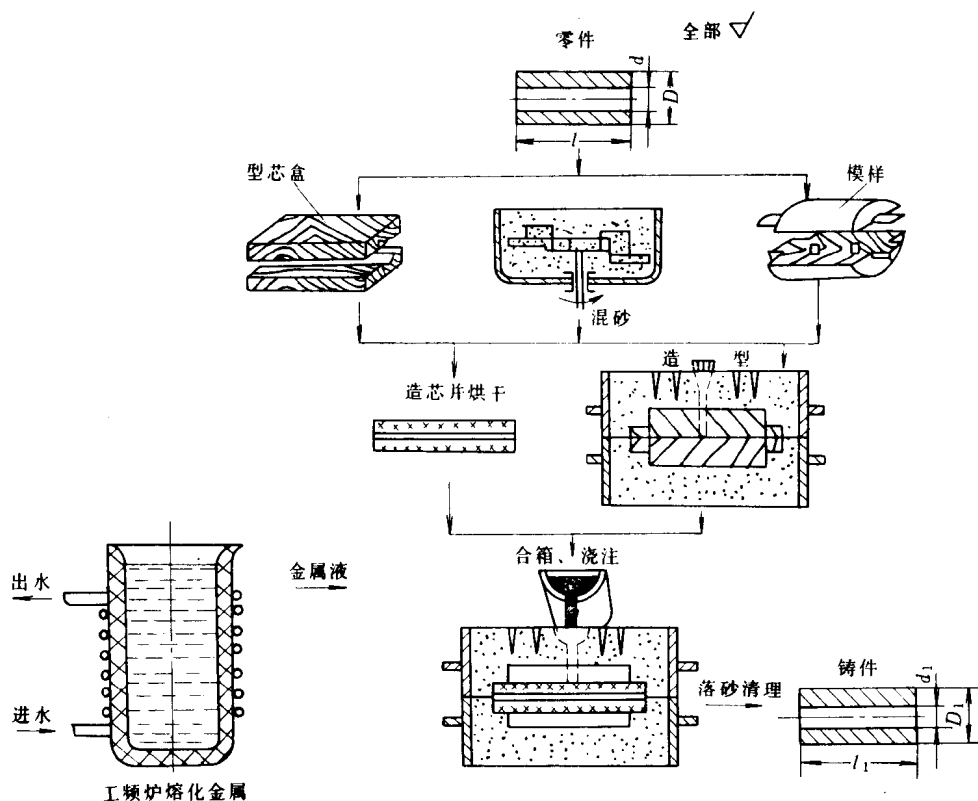


图 2-1 砂型铸造的工艺过程

砂型铸造以外的其它铸造方法统称为特种铸造，如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、壳型铸造和陶瓷型铸造等。

铸造是液态成形，具有以下突出的特点：能获得形状复杂，特别是内腔复杂的毛坯，如发动机缸体、缸盖、机床床身、箱体、支架等；铸造适应性广，能制造各种金属及合金铸件，铸件的形状、尺寸和质量几乎不受限制；并且成本低廉。因此，铸造在工业中得到广泛应用。如在切削机床、重型机械等生产中，铸件占零件总质量的 75% 以上，而成本仅占 15%~30%。但铸造生产工序多，质量难以控制，易产生气孔、缩孔和裂纹等缺陷，且铸件的晶粒粗大；其力学性能不如锻件高，因此一些承受冲击载荷、交变载荷的重要零件多选用锻件。近年来，随