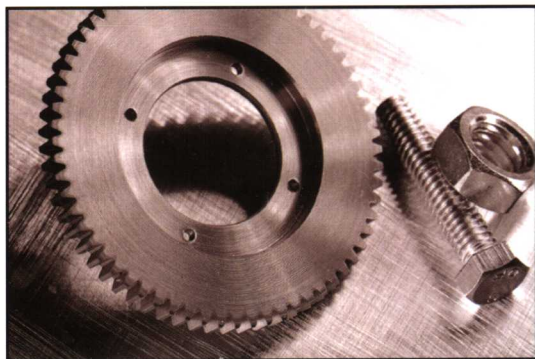
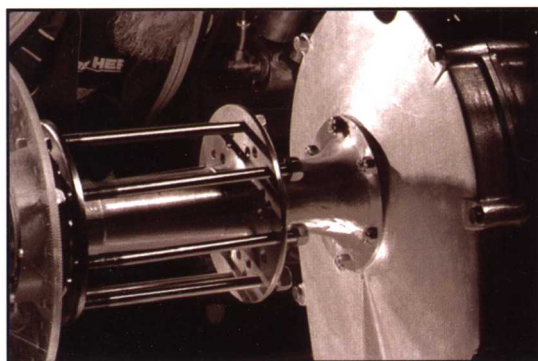


金工实习

实训教程

董丽华 主编 沈海荣 范春华 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

金工实习实训教程

董丽华 主编
沈海荣 范春华 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据国家教委高教司(1995)82号通知的精神和机械类课程体系改革面向21世纪科技、社会主义市场经济对人才的实际需求而编写的。全书共分11章,包括了机械工程材料、铸造、锻压、焊接、钳工、车削、铣削、磨削、数控加工、数控电火花线切割与成型加工、快速成型技术、先进制造生产模式等内容。

本书可作为高等工科院校金工实习或机械制造基础实习的基本教材,不仅适合机械类,也适合非机械类相关专业选用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

金工实习实训教程/董丽华主编. —北京:电子工业出版社,2006.2

ISBN 7-121-02259-1

I.金… II.董… III.金属加工-实习-高等学校-教材 IV.TG-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第006566号

责任编辑:李洁

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:380千字

印 次:2006年2月第1次印刷

印 数:5000册 定价:22.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

制造技术是高新技术走向实际应用的接口、通道和桥梁,是提高创新能力和企业国际竞争力的根本途径。随着计算机技术、自动控制技术、传感器技术、信息技术、管理技术等高新技术与制造技术深层次的结合,制造业面貌发生了极大的变化,高校机械学科的科学思想、教学内容和教学方法势必随之不断扩展和更新。将培养人的系统知识、创新思想、综合运用及实践能力作为重点,造就一大批面向 21 世纪现代化建设的人才,是已被各界所认同的教育改革发展方向。

本书是为高等工科院校金工实习或机械制造基础实习课程而编写的,不仅适合机械类,也适合非机械类、成人教育等相关专业选用。

本书共分 11 章,分别介绍了机械工程材料、铸造、锻压、焊接、钳工、车削、铣削、磨削、数控加工、数控电火花线切割与成型加工、快速成型技术、先进制造生产模式等内容。

全书由董丽华主编,沈海荣、范春华副主编,参加编写的还有袁洪富、陆春华、陈耀松、欧涛、黄开旭、王东胜和罗红霞等。

由于编写经验不足,加之编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳切希望广大读者提出宝贵的意见以供修改,编者将不胜感激!

编 者

2005 年 12 月

目 录

第1章 机械工程材料	(1)	2.5.2 浇注操作	(14)
1.1 机械工程材料综述	(1)	2.6 常见铸造缺陷分析	(15)
1.1.1 机械工程材料的分类	(1)	2.7 特种铸造	(16)
1.1.2 金属材料的性能	(1)	第3章 锻压	(18)
1.1.3 常用金属材料	(3)	3.1 金属锻压加工概述	(18)
1.2 热处理	(4)	3.2 锻压金属的热处理	(18)
1.2.1 常用热处理工艺	(5)	3.2.1 加热的目的	(18)
1.2.2 钢的表面热处理	(6)	3.2.2 加热方法和设备	(18)
1.2.3 热处理常用加热设备 和仪表	(6)	3.2.3 加热温度规范	(20)
第2章 铸造	(8)	3.2.4 加热常见缺陷及 防止	(20)
2.1 铸造生产工艺过程及特点	(8)	3.2.5 锻件的冷却方式及 应用	(20)
2.1.1 铸造工艺过程简介	(8)	3.3 自由锻	(21)
2.1.2 铸造生产的工艺特点 及其应用	(8)	3.3.1 自由锻设备	(21)
2.2 砂型铸造	(9)	3.3.2 自由锻的基本工序	(22)
2.2.1 型砂、芯砂的组成及其 性能	(9)	3.3.3 模锻	(24)
2.2.2 浇注系统的组成及 作用	(9)	3.3.4 胎模锻	(24)
2.2.3 砂型的组成和作用	(10)	3.4 冲压	(24)
2.3 常用造型方法	(11)	3.4.1 冲压设备	(24)
2.3.1 手工造型	(11)	3.4.2 冲压的基本工序	(25)
2.3.2 机器造型	(13)	3.4.3 冲压模介绍	(26)
2.4 铸造工艺	(13)	第4章 焊接	(27)
2.4.1 分型面选择	(13)	4.1 概述	(27)
2.4.2 零件模样	(14)	4.1.1 焊接方法分类	(27)
2.4.3 浇注位置的选择	(14)	4.1.2 焊接的特点及应用	(27)
2.5 浇注操作	(14)	4.2 手工电弧焊	(28)
2.5.1 浇注时应注意事项	(14)	4.2.1 手工电弧焊特点	(28)
		4.2.2 焊接电弧	(28)
		4.2.3 电焊机	(29)

4.2.4	电焊条	(31)
4.2.5	手工电弧焊工艺	(33)
4.2.6	基本操作技术	(36)
4.2.7	对接平焊的操作 步骤	(38)
4.2.8	管子焊接工艺及安全 注意事项	(39)
4.2.9	手工电弧焊的安全 规则	(39)
4.3	气焊、气割和钎焊	(40)
4.3.1	气焊的特点和应用	(40)
4.3.2	气焊设备	(40)
4.3.3	氧-乙炔焰气焊焰的种类、 焊接性能和适用范围	(41)
4.3.4	气焊基本操作技术	(42)
4.3.5	铸铁的气焊	(42)
4.3.6	氧-乙炔切割	(43)
4.3.7	钎焊	(43)
4.4	其他常用焊接方法	(44)
4.4.1	埋弧自动焊	(44)
4.4.2	气体保护焊	(46)
4.4.3	电阻焊	(47)
4.5	焊接新工艺简介	(49)
4.5.1	等离子弧焊接	(49)
4.5.2	激光焊	(49)
4.5.3	电子束焊	(49)
4.5.4	高频电阻焊	(50)
4.5.5	摩擦焊	(50)
4.5.6	扩散焊	(50)
4.5.7	超声波焊	(51)
4.6	焊接应力与焊接变形	(51)
4.7	常见的焊接缺陷及其检验 方法	(52)
4.7.1	焊接缺陷	(52)
4.7.2	焊接接头的检验 方法	(53)

第5章	钳工	(54)
5.1	概述	(54)
5.2	画线	(55)
5.2.1	画线的分类和作用	(56)
5.2.2	画线常用的工量具	(56)
5.2.3	画线操作	(60)
5.2.4	画线注意事项	(63)
5.3	锯削	(63)
5.3.1	锯削工具	(63)
5.3.2	锯削操作	(64)
5.3.3	锯削注意事项	(66)
5.4	锉削	(67)
5.4.1	锉削工具	(67)
5.4.2	锉削操作	(68)
5.4.3	锉削工件检验	(71)
5.4.4	锉削注意事项	(72)
5.5	钻削和铰削	(72)
5.5.1	钻头、铰刀	(73)
5.5.2	钻头的装夹工具	(74)
5.5.3	常用钻床	(74)
5.5.4	钻削操作	(75)
5.5.5	麻花钻的刃磨及注意 事项	(78)
5.6	攻丝和套丝	(79)
5.6.1	攻丝(攻螺纹)	(79)
5.6.2	套丝(套扣)	(80)
5.6.3	攻套丝时注意事项	(82)
5.6.4	管子套丝	(82)
5.6.5	管子套丝方法及注意 事项	(82)
5.7	偶件研磨和刮削	(83)
5.7.1	研磨原理与研磨 余量	(83)
5.7.2	研磨的材料	(83)
5.7.3	研磨的方法	(83)
5.7.4	研磨质量检验	(84)

5.7.5 研磨注意事项	(85)	7.1.6 其他车削加工	(117)
5.7.6 刮削	(85)	7.2 铣削加工	(118)
5.8 拆装	(85)	7.2.1 铣削运动及铣削 用量	(118)
5.8.1 装配工艺过程	(85)	7.2.2 铣削刀具	(119)
5.8.2 拆卸	(87)	7.2.3 铣削加工	(121)
第6章 切削加工的基本知识	(89)	7.3 插齿和滚齿	(126)
6.1 车削运动及车削用量	(89)	7.3.1 插齿	(126)
6.1.1 车削运动及车削 表面	(89)	7.3.2 滚齿	(127)
6.1.2 车削用量	(90)	7.4 刨削加工	(128)
6.1.3 车削时切削层参数	(90)	7.4.1 牛头刨床	(128)
6.2 普通车床	(91)	7.4.2 刨水平面	(128)
6.2.1 车床型号的含义	(91)	7.4.3 其他刨削工作	(130)
6.2.2 车床的基本构造	(91)	7.5 磨削加工	(130)
6.2.3 机床的传动系统	(92)	7.5.1 磨削的工艺特点和 应用	(130)
6.2.4 机床的调整	(94)	7.5.2 砂轮	(132)
6.3 刀具材料	(94)	7.5.3 外圆磨床	(133)
6.3.1 对刀具材料的要求	(94)	7.5.4 磨削方法	(134)
6.3.2 刀具材料的种类	(94)	第8章 数控加工	(136)
6.3.3 刀具材料的发展	(96)	8.1 数控加工工艺及其特点	(136)
6.3.4 刀具的结构	(97)	8.1.1 数控加工工艺的主要 内容	(136)
6.3.5 刀具角度	(98)	8.1.2 数控加工的特点	(136)
6.3.6 切削过程的物理 现象	(100)	8.1.3 数控加工的适应性	(138)
6.4 夹具	(103)	8.2 数控机床	(138)
6.4.1 工件的装夹	(103)	8.2.1 数控机床的基本 构成	(138)
6.4.2 专用夹具简介	(105)	8.2.2 数控机床的分类及其 应用	(140)
第7章 切削加工的基本操作	(106)	8.3 数控车床的加工编程	(141)
7.1 车削加工	(106)	8.3.1 数控车床加工 概述	(141)
7.1.1 外圆、端面和台阶的 加工	(106)	8.3.2 数控车床编程方法	(142)
7.1.2 切槽和切断	(111)	8.3.3 典型零件的加工程序 编制	(147)
7.1.3 锥面的加工	(112)		
7.1.4 螺纹加工	(114)		
7.1.5 孔加工	(116)		

8.3.4 数控车床的操作·····	(150)	9.2.3 数控电火花成型加工 编程实例·····	(193)
8.4 数控铣床的加工编程·····	(153)	9.2.4 数控电火花成型加工的 一般规律·····	(197)
8.4.1 数控铣床加工概述·····	(153)		
8.4.2 数控铣床的操作·····	(161)		
8.5 基于 CAD/CAM 软件的交互式 图形编程·····	(164)	第 10 章 快速成型技术 ·····	(198)
8.5.1 熟悉软件的功能和使用 方法·····	(165)	10.1 快速成型技术产生的技术 背景·····	(198)
8.5.2 分析加工零件·····	(165)	10.2 快速成型技术原理及其 特点·····	(198)
8.5.3 对待加工表面及其约 束面进行几何造型·····	(166)	10.3 几种典型的快速成型技术 介绍·····	(199)
8.6 加工中心·····	(172)	10.4 快速成型的基本工艺流程···	(201)
8.6.1 加工中心的特点·····	(172)	10.5 快速成型技术的应用·····	(202)
8.6.2 加工中心的种类·····	(172)	10.6 快速成型技术的发展·····	(202)
8.6.3 加工中心的种类·····	(174)		
8.6.4 加工中心的发展·····	(175)	第 11 章 先进制造生产模式 ·····	(204)
第 9 章 数控电火花成型加工技术 ···	(176)	11.1 制造业生产模式的演变·····	(204)
9.1 数控电火花线切割加工 技术·····	(176)	11.2 制造业生产模式产生的 背景·····	(205)
9.1.1 数控电火花线切割机 床的基本原理及组成·····	(176)	11.3 先进制造生产模式简介·····	(205)
9.1.2 数控电火花线切割 编程简介·····	(178)	11.3.1 敏捷制造·····	(205)
9.2 数控电火花成型加工技术 简介·····	(188)	11.3.2 精益生产·····	(207)
9.2.1 数控电火花成型 机床的组成·····	(188)	11.3.3 并行工程·····	(208)
9.2.2 电火花成型加工工艺 基本规律·····	(190)	11.3.4 企业资源计划·····	(209)
		11.3.5 计算机集成制造系统···	(211)
		11.3.6 柔性制造系统·····	(213)
		11.3.7 绿色制造系统·····	(215)
		参考文献 ·····	(218)

第 1 章

机械工程材料

工程材料是指工程上使用的材料，按材料的化学成分，工程材料一般可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料。近年来已有许多非金属材料用于各类工程结构中。

1.1 机械工程材料综述

1.1.1 机械工程材料的分类

机械工程材料可分为结构材料 and 功能材料。前者通常指工程上对硬度、强度、塑性、耐磨性等力学性能有一定要求的材料。后者是指具有光、电、声、磁、热等功能及效应的材料。根据材料结合的特点 and 性质，工程材料又可分为金属材料、无机非金属材料 and 有机材料。金属材料可分为黑色金属材料 and 有色金属材料 and 复合材料。黑色金属材料是铁基金属合金，包括铸铁、碳钢及合金钢等。其余金属材料都属于有色金属材料，包括轻金属及其合金、重金属及其合金等。根据生产方法的不同，金属材料可分为铸造合金、变形合金 and 粉末冶金材料。无机非金属材料是指金属和有机物以外的几乎所有材料，包括陶瓷等。有机材料包括塑料、橡胶、合成纤维等。工程材料的主要性能包括化学性能、物理性能、力学性能、工艺性能 and 经济性，它们是选用材料 and 制定制造工艺的重要依据。

机械工程材料的分类如图 1-1 所示。

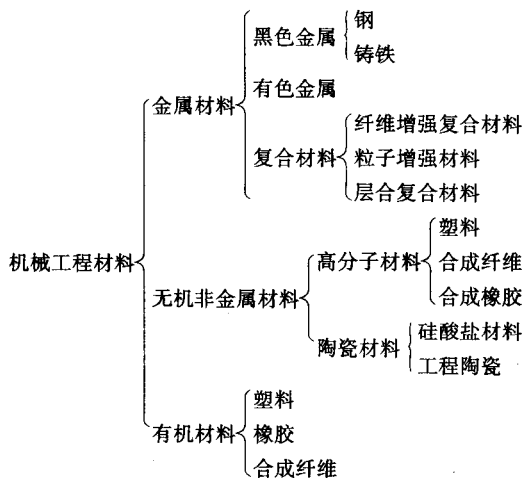


图 1-1 机械工程材料的分类

由于金属材料具有良好的使用性能和工艺性能，因此被广泛地用来制造机器零件或工具。

1.1.2 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指机械零件在使用条件下，金属材料表现出来的性质。它包括物理、化学、力学性能等。金属材料使用性能的好坏，决定了机械零件的使用范围和寿命。工艺性能是指金属材料加工过程中表现出来的难易程度。它的好坏决定了它

在加工过程中成型的适应能力。

(1) 物理化学性能

金属材料的物理、化学性能主要有密度、熔点、导热性、热膨胀性、耐腐蚀性等。根据机械零件的用途不同,对材料的物理、化学性能要求也不同。如飞行器上的零件要选用密度小的材料,如铝合金等。金属材料的物理化学性能对制造工艺也有影响。如材料膨胀系数的大小会影响工件热加工后的变形和开裂。

(2) 力学性能

金属材料的力学性能是指金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。常用的力学性能指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性等。

1) 强度

强度是指金属材料在静载荷的作用下抵抗变形和断裂的能力。金属的强度指标可以通过金属拉伸试验来测定。金属的强度指标一般用单位面积所承受的载荷(应力)表示,符号为 σ ,单位为MPa。工程中常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。屈服强度是材料刚开始产生塑性变形时的最低应力值,用 σ_s 表示;抗拉强度是指材料在破坏前所能承受的最大应力值,用 σ_b 表示。它们是零件设计时的主要依据,也是评定金属材料强度的重要指标。

2) 塑性

塑性是指金属材料在静载荷的作用下产生塑性变形而不破坏的能力。工程中常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 φ ,都可以通过金属拉伸试验来测定。伸长率和断面收缩率越大,材料的塑性越好。良好的塑性是材料进行成型加工的必要条件,也是保证零件工作安全不发生突然脆断的必要条件。

3) 硬度

硬度是指材料表面抵抗更硬物体压入的能力。硬度的测试方法很多,生产中常用的硬度测试方法有布氏硬度试验法和洛氏硬度试验法两种。

布氏硬度试验法是用一直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球作为压头,在载荷 P 的作用下压入被测试金属的表面,保持一定时间后卸荷,测量金属表面形成的压痕直径 d ,以压痕的单位面积所承受的平均压力作为被测试金属的布氏硬度值。实际测试时,一般用读数显微镜测出压痕直径 d ,再根据压痕直径 d 在硬度换算表中查出布氏硬度值。布氏硬度值标有HBS和HBW两种,前者压头为淬火钢球,适用于布氏硬度值低于450的金属材料,后者压头为硬质合金球,适用于布氏硬度值为450~650的金属材料。布氏硬度符号HBS或HBW前的数值为硬度值,且允许有一定的波动范围,如220~250HBS。

布氏硬度试验法的试验结果较精确、稳定,常用于测定退火、正火、调质钢及铸铁、有色金属的硬度,但因压痕较大,故不宜测试成品或薄片金属的硬度。

洛氏硬度试验法是用一锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为1.588mm(1/16英寸)的淬火钢球为压头,在规定载荷作用下压入被测试金属表面,根据压痕的深度直接在硬度指示盘上读出硬度值。常用的洛氏硬度指标有HRA、HRB、HRC三种,见表1-1。

表 1-1 洛氏硬度试验规范

符 号	压 头	载荷/N	测量范围	应 用
HRA	120°金刚石圆锥体	600	70HRA 以上	硬质合金、表面硬化钢、淬火工具钢
HRB	直径 1.588mm 淬硬钢球	1000	25~100HRB	有色金属、可锻铸铁、退火或正火钢
HRC	120°金刚石圆锥体	1470	20~67HRC	淬火钢、调质钢

4) 冲击韧性

许多零件和工件在工作过程中，常常受到冲击载荷的作用，如锻锤的锤杆、锻模、内燃机的连杆等。金属材料在冲击载荷的作用下抵抗断裂破坏的能力称为冲击韧度。冲击韧度的测定是在冲击试验机上进行的，单位横截面上消耗能量的数值称为冲击韧度，用 J/cm^2 表示。脆性材料在断裂前无明显的塑性变形，断开较平整，呈晶状或瓷状，有金属光泽；韧性材料在断裂前有明显的塑性变形，断口呈纤维状，无光泽。

(3) 工艺性能

从材料到零件或产品的过程要经过多种加工方法，为了简化工艺、降低成本和保证质量，要求材料具有相应的工艺性能，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能等。

1.1.3 常用金属材料

金属材料来源丰富，并具有优良的使用性能和加工性能，是机械工程中应用最普遍的材料，常用以制造机械设备、工具、模具，并广泛应用于工程结构中，如船舶、桥梁、锅炉等。

(1) 碳素钢

碳素钢是指含碳量小于 2.11% 和含有少量硅、锰、硫、磷等杂质元素所组成的铁碳合金，简称碳钢。其中硅、锰是有益元素，对钢有一定的强化作用；硫、磷是有害元素，会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，在机械制造中被广泛应用。常用碳钢的牌号及用途见表 1-2。

表 1-2 碳钢的牌号、应用及说明示例

名 称	牌 号	应 用 举 例	说 明
碳素结构钢	Q215A	金属结构件、拉杆、套圈、铆钉、载荷不大的凸轮、吊钩、垫圈、渗碳零件及焊接件	碳素钢牌号是由代表钢材屈服点的字母 Q、屈服点值、质量等级符号、脱氧方法四个部分组成。其质量共有四级，分别以 A、B、C、D 表示
	Q235A	金属结构件、心部强度要求不高的渗碳或氰化零件、吊钩、气缸、齿轮、螺栓、螺母连杆、轮轴、盖及焊接件	
优质碳素结构钢	45	用于强度要求较高的零件	牌号的两位数字表示平均含碳量的万分数，45 号钢即表示平均含碳量为 0.45%，含锰量比较高的钢，须加化学元素符号“Mn”，含碳量 $\leq 0.25\%$ 的碳钢是低碳钢，含碳量高于 0.6% 的为高碳钢，在 0.25% ~ 0.6% 之间的为中碳钢
碳素工具钢	T8/T8A	有足够的韧性和较高的硬度，用于制造工具等	用“碳”或“T”后附以平均含碳量的千分数表示，有 T7~T13

(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、镍、铬、铜、钒、钛、稀土等。合金钢还具有如耐低温、耐腐蚀、高磁性、高耐磨性等良好的特殊性能，它在工具、力学性能和工艺性能要求高且形状复杂的大型截面零件和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、性能、用途见表 1-3。

表 1-3 合金钢的牌号、性能、用途

种 类	牌 号	性能、适用范围及举例
普通低合金结构钢	9Mn2, 10MnSiCu, 16Mn, 15MnTi	强度较高, 塑性良好, 具有可焊性和耐腐蚀性, 用于建造桥梁、车辆、船舶、锅炉、高压容器、电视塔等
渗碳钢	20CrMnTi, 20Mn2V, 20Mn2TiB	心部的强度较高, 用于制造重要的或承受重载荷的大型渗碳零件
调质钢	40Cr, 40Mn2, 30CrMo, 40CrMnSi	具有良好的综合力学性能 (高的强度和足够的韧性), 用于制造一些受力复杂的重要机器零件
弹簧钢	65Mn, 60Si2Mn, 60Si2CrVA	淬透性较好, 热处理后组织可得到强化, 用于制造承受重载荷的弹簧
滚动轴承钢	GCr9, GCr15MnMn, GCrMnMoV	用于制造滚动轴承的滚珠、套圈

(3) 铸铁

含碳量大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。由于铸铁含有的碳和杂质较多, 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、耐磨性等特点, 加之价格低廉, 生产设备和工艺简单, 是机械制造中应用最多的金属材料。资料表明, 铸铁件占机器总质量的 45% 以上。常用铸铁的牌号、用途见表 1-4。

表 1-4 铸铁牌号、应用及说明

名 称	牌 号	应用举例	说 明
灰口铸铁	HT150	用于制造端盖、泵体、轴承座、阀壳、管子及管路附件、手轮; 一般机床底座、床身、滑座等	“HT” 为灰铁两字汉语拼音的首字母, 后面的一组数字表示 $\phi 30$ 试样的最低抗拉强度, 如 HT 200 表示其抗拉强度为 200MPa
球墨铸铁	QT400-18 QT450-10 QT800-2	具有较高的强度和塑性。广泛用于机械制造业中受磨损和受冲击的零件	“QT” 是球墨铸铁的代号, 后面的数字表示最低抗拉强度和最低伸长率。如 QT500-7 表示其抗拉强度为 500MPa; 伸长率为 7%
可锻铸铁	KTH300-06 KTH330-08 KTZ450-06	用于冲击、振动等零件, 如汽车零件、机床附件 (如扳手)、各种管接头、低压阀门等	“KTH、KTZ” 分别代表黑心和白心可锻铸铁的代号, 数字分别代表最低抗拉强度和最低伸长率

1.2 热 处 理

将固态金属或合金采用适当的方式进行加热、保温和冷却, 以获得所需要的组织结构与性能的工艺, 称之为热处理。经过热处理的工件, 可充分发挥材料的内部潜力, 改善材料的工艺性能, 提高使用性能, 扩大使用范围, 延长使用寿命, 技术经济效益明显。目前, 在汽车、拖拉机、机床上, 约有 70% 的零件都须经过热处理。各种切削刀具、量具、模具等几乎都必须经过热处理。铸、锻、焊等热加工的工件表面硬化和内应力, 也都可以通过热处理进行消除。

虽然各种热处理都要经过加热、保温、冷却三个阶段, 但由于加热速度和温度、保温时间、

冷却速度的不同,工件所获得的组织和性能则千差万别。研究表明,钢在加热(包括保温和回火)、冷却时,其内部组织都发生转变,这些转变过程和转变产物导致钢的不同性能。据此,所制定的加热、保温、冷却时间和温度及介质便是具体的热处理工艺。

1.2.1 常用热处理工艺

(1) 退火

将金属或合金加热到适当温度,保持一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺叫退火 (Annealing)。

生产上广泛应用的退火工艺,多用于零件毛坯的“预处理”,有时也用做“最终热处理”。根据工件要求退火的目的,退火工艺规范有多种,常用的有消除中碳钢铸件缺陷的完全退火,改善高碳钢切削加工性能的球化退火和去除大型铸、锻件应力的去应力退火等,如图 1-2 所示。

(2) 正火

将钢材或钢件加热到 A_{c3} (或 A_{cm}) 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$, 保温适当的时间后,在静止的空气中冷却的热处理工艺叫做正火 (Normalizing)。正火的主要作用是细化晶粒,均匀组织,消除组织缺陷和内应力,为后续的热处理做准备。正火比退火冷却速度稍快,所得组织结构较细,力学性能也较好,常作为低、中碳钢的最终热处理。

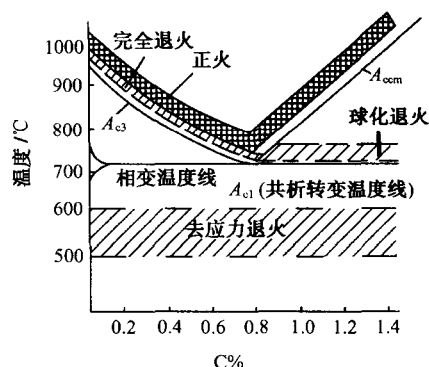


图 1-2 退火和正火的加热温度范围

正火与退火的作用基本相同,但正火冷却较快,周期短,设备利用率高,易操作,成本低,是一种简便、经济的热处理方法。但消除内应力不如退火彻底。生产中,由于中碳钢经正火后其硬度不会明显增加,故常用正火来改善钢的切削性能,生产率比退火要高得多。

(3) 淬火

将钢件加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 点以上某一温度,保持一定时间,然后以适当的速度冷却获得马氏体 (或贝氏体) 的热处理工艺,称之为淬火 (Hardening)。钢淬火后得到的马氏体是由奥氏体转变的产物。马氏体是碳 (或合金元素) 在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和单一固溶体。贝氏体是含碳量过饱和的铁素体与渗碳体组成的机械混合物。淬火是强化金属材料的重要手段,可使钢件获得很高的硬度,增强耐磨性,但是淬火后钢件的韧、塑性明显下降,为提高钢件的使用性能,淬火后应进行不同温度的回火。因此,淬火与回火是紧密衔接的工序。淬火与不同温度的回火搭配可使中、高碳钢工件获得不同的力学性能。

淬火的适量取决于适当把握淬火操作的三要素,即加热温度、保温时间和冷却速度。

(4) 回火

钢件淬火后,再加热到 A_{c1} 点以下某一温度,保温一定的时间,然后冷却到室温的热处理工艺,称为回火 (Tempering)。

中、高碳钢经淬火可获得很高的强度和硬度,但同时产生较大的内应力,组织也不稳定,材料变脆,难以达到使用的要求,常需淬火后即进行回火处理,以消除工件的脆性和内应力。

采用什么温度的回火将决定回火后钢的力学性能。一般回火温度越高,钢件韧性越好,但同时硬度亦降低较多。根据加热的不同,回火分为低温回火、中温回火和高温回火三种。

1) 低温回火: 淬火钢件在 250°C 以下的回火叫低温回火。低温回火常用于各种刀具、量具和滚珠轴承等,以保持淬火钢的高硬度、高耐磨性,同时适当降低脆性和内应力,防止变形。

2) 中温回火: 淬火钢件在 $250\sim 500^{\circ}\text{C}$ 之间的回火叫中温回火。中温回火常用于弹簧、锻模等, 以保持较高的强度、硬度, 同时获得很高的弹性和韧性。

3) 高温回火: 淬火钢件在 500°C 以上的回火叫高温回火。淬火后进行高温回火, 称为调质处理。钢经调质后具有强度、硬度、塑性等较好的综合力学性能。广泛应用于重要的机械零件, 如主轴、曲轴、连杆、齿轮等。

1.2.2 钢的表面热处理

由于机械零件多种多样, 且工作条件各不相同, 因此要求的力学性能也不同。如齿轮类和轴类零件常常在扭转、剪切、冲击磨损的条件下工作。因此, 表层要有高硬度、高耐磨性, 中心则要有高的韧性。显然, 选用某种金属材料和采用某种整体热处理都难以达到上述要求, 而采用表面热处理则可以满足上述要求。表面热处理是指仅对工件表面进行热处理以改变其组织和性能的工艺。常用的表面热处理方法有表面淬火和化学热处理。

(1) 表面淬火

表面淬火 (Surface Hardening) 是指仅对工件表层进行淬火的工艺。一般包括感应淬火、火焰淬火等。表面淬火可使工件表层得到硬度很高的淬火马氏体, 而心部仍为韧性良好的原始组织。

1) 感应淬火: 利用感应电流通过工件所产生的热效应, 使工件表面、局部或整体加热并进行快速冷却的淬火工艺, 叫做感应淬火, 又称感应加热淬火 (Induction Hardening)。其优点是: 感应加热温度容易控制, 通过改变交流电频率可控制淬硬层的深度, 且淬硬层表面氧化、脱碳、变形及开裂倾向小, 生产率高, 适合大批量生产; 缺点是: 设备价格昂贵, 能耗大, 不宜单件和小批量生产。

2) 火焰淬火: 应用氧-乙炔 (或其他可燃气) 火焰对零件表面进行加热, 随之淬火冷却的工艺, 叫做火焰淬火 (Flame Hardening)。火焰淬火方法简便, 无须特殊设备, 投资少, 适合单件、大件的表面淬火, 但加热温度较难控制, 因而淬火质量不稳定。

(2) 化学热处理

将金属或合金工件置于一定的活性介质中保温, 使一种或几种元素渗入它的表层, 以改变其化学成分、组织和性能的热处理工艺叫做化学热处理 (Thermo-Chemical Treatment)。由于化学热处理能使工件表层化学成分和组织发生变化, 因而可有效地改善表面性能直至获得特殊的使用性能。如廉价的碳素钢或低合金钢经过化学热处理, 可代替昂贵的高级合金钢。根据渗入工件化学元素的不同, 化学热处理有渗碳、渗氮、氰化、渗硼、渗金属等。

渗碳是常用的化学热处理。渗碳 (Carburizing) 是指为了增加钢件表层的含碳量和一定的碳浓度梯度, 将钢件在渗碳介质中加热并保温使碳原子渗入表层的化学热处理。机械产品的许多重要零件都要经过渗碳处理。如齿轮、活塞销等在冲击磨损下工作的零件, 采用低碳钢或低合金钢进行表面渗碳和相应热处理, 既可获得外硬内韧的综合力学性能, 又可节省大量的昂贵金属。

1.2.3 热处理常用加热设备和仪表

由于钢的热处理方法不同, 所采用的加热设备也不同。常用的加热设备有箱式电阻炉、井式电阻炉和盐浴炉。常用的冷却设备有水槽、油槽、浴炉、缓冷坑等。常用的质量检测设备有硬度试验机、金相显微镜、无损探伤仪等。常用的测温和控制仪表有光学高温计和热电偶高温计及温度控制仪表等。

思 考 题

1. 简述工程材料的分类及主要用途。
2. 常用热处理和表面处理技术有哪些？简述其目的与应用。
3. 举例说明常用工程材料的力学性能。

2.1 铸造生产工艺过程及特点

铸造是将熔炼的金属液体浇入铸型中，冷却凝固后获得的具有特定形状与性能的金属铸件或毛坯件的成型方法。用铸造方法获得的金属毛坯或零件称为铸件。

2.1.1 铸造工艺过程简介

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。

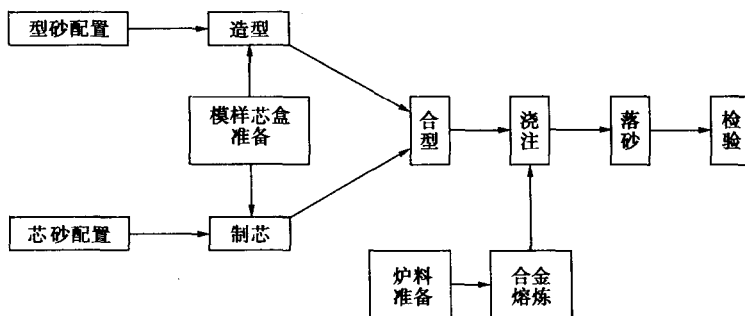


图 2-1 砂型铸造工艺过程

2.1.2 铸造生产的工艺特点及其应用

在机械制造中，大部分机械零件是用金属材料制成的，铸造属于液态成型加工的范畴。

(1) 主要优点

- 1) 适用性强，可铸造出具有复杂外形或内腔的毛坯和各种尺寸的铸件，加工材料范围广，如铸铁、铸钢、铸铝等，铸件的尺寸大小和生产批量几乎不受限制。
- 2) 生产准备周期短，设备简单、操作方便，原料来源广泛。
- 3) 成本低，节省资源，铸件的形状、尺寸与零件相近，能节省大量金属材料和加工工时，生产中的金属废料可回炉再利用，节省成本。

因此，铸造在生产上得到了广泛的应用，已成为机械制造的一个重要组成部分和制造零件坯件的主要方法之一。如在切削机床、重型机械等产品中，铸件占零件总质量的 75% 以上，而成本仅占 15%~30%。

(2) 铸造生产的不足之处

- 1) 工艺过程和生产工序较多，铸件质量难以精确控制。
- 2) 铸件的力学性能不如锻件高，一般不宜铸造承受动载荷或交变载荷的重要零件。

2.2 砂型铸造

2.2.1 型砂、芯砂的组成及其性能

(1) 型砂、芯砂的组成

制造砂型、型芯的材料称为型砂和芯砂，统称为造型材料。型（芯）砂一般由原砂、黏结剂、附加物和水按一定比例配制而成。

1) 原砂：是型砂的主体，一般为耐高温材料，常用石英（ SiO_2 ）含量较高的硅砂作为原砂。一般生产铸钢件时，选用 SiO_2 含量大于 90% 的石英砂；生产铸铁件时，选用 SiO_2 含量大于 85% 的石英—长石砂；而生产铸铜件、铸铝件则选用 SiO_2 含量在 80% 左右的红砂（黏土砂）。

2) 黏结剂：是使砂粒黏结成具有一定强度和可塑性的型砂。常用的黏结剂有普通黏土和膨润土，水玻璃或渣油等。

3) 附加物：常用的有煤粉、锯木屑等。煤粉的作用是在高温液态金属作用下燃烧形成气膜，以隔绝液态金属与铸型内腔的直接作用，使铸件表面光洁，防止铸件粘砂。加木屑则可以改善型砂的退让性和透气性。

型砂的性能直接影响铸件的质量，有些性能还能直接影响生产效率和工作条件。

(2) 型砂、芯砂的基本性能

1) 透气性：是指紧实砂样的孔隙度。浇注时，高温液态金属与铸型接触，会从造型材料中排出大量气体，同时，液态金属在铸型中凝固时也会析出气体。若透气性不好，上述气体不能及时从铸型中排出，铸件便会产生气孔或浇不足等缺陷。型（芯）砂的颗粒大小、均匀性及黏土含量的大小和透气性有关。另外春砂过紧也会降低透气性。

2) 强度：指型砂、芯砂抵抗外力破坏的能力。包括湿强度、干强度、热强度等。强度过低，易造成掉砂、塌箱、砂眼、夹砂等缺陷。若强度太高，会使铸型太硬，使型砂、芯砂的退让性和透气性降低，影响铸件的收缩，使铸件产生内应力。黏土含量越高，砂型紧实度越高强度越高，含水量不当会使强度变低。

3) 可塑性：指型砂在外力作用下变形，去除外力后仍能保持形状的能力。可塑性好，便于制造形状复杂的砂型，且容易起模。可塑性含水量、黏结剂等有关。

4) 耐火性：指型砂抵抗高温液态金属热作用的能力。耐火度好，铸件不易粘砂，清理方便。型砂中 SiO_2 含量越小，耐火性越差。

5) 退让性：指铸件冷却收缩时，型砂可压缩的能力。若退让性差，铸件易产生内应力或开裂。型砂越紧实，退让性越差。附加物如木屑可改善退让性。

此外，型砂和芯砂的性能还包括韧性、溃散性、流动性、发气性、吸湿性等。由于浇注时砂芯表面被高温液态金属所包围，受到金属液的冲刷及强热的作用，故对芯砂的强度、耐火性、透气性的要求均高于型砂；冷凝时，砂芯受到金属收缩挤压的作用，会影响铸件的质量。因此，对芯砂的退让性要求也要高于型砂。此外，为了便于落砂时清除芯砂，还要求芯砂的出砂性要好。

2.2.2 浇注系统的组成及作用

在铸型中用来引导金属液流入型腔的通道称为浇注系统。浇注系统对铸件的质量影响较大，合理选择浇注系统各部分的形状、尺寸和位置，对于获得合格铸件、减少金属的消耗具有重要意义。