

高等学校教材

# 机电工艺实训教程

刘群山 主 编

张双杰 张占收 副主编



机械工业出版社  
China Machine Press

高等学校教材

# 机电工艺实训教程

主 编 刘群山  
副主编 张双杰 张占收  
主 审 董 芳

机械工业出版社

本书是依据国家教委高教司〔1995〕82号通知精神及近年来各高校金工实习改革的经验和实践编写的。本着加强基础、拓宽知识、加强实践环节、提高学生的动手能力、培养创造性思维方式和能力的原则，在原金工实习的基础上，重点增加了有关电的内容。全书共分十四章，包括工程材料及钢的热处理、铸造、锻压、焊接与胶接、常用量具、车削、铣削、刨削、磨削、钳工、微机数控车削加工、电子装配、计算机的拆装和电气线路安装等。每章后附有复习思考题。

本书可作为高等院校理工科各专业学生的实习训练教材，也可作为有关工程技术人员和工业企业管理干部的学习参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机电工艺实训教程/刘群山主编. —北京: 机械工业出版社, 2002. 3  
高等学校教材  
ISBN 7-111-09741-6

I. 机… II. 刘… III. 金属加工—工艺—高等学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 097322 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 董连仁 版式设计: 霍永明 责任校对: 张佳  
封面设计: 鞠 杨 责任印制: 付方敏  
煤炭工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2002 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷  
787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·12.75 印张·312 千字  
0 001—6000 册  
定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677—2527

# 前 言

近年来,随着我国改革开放的深入,科学技术飞速发展,有力推动了我国高等教育体系的改革,形成以计算机与信息技术为媒体的各学科间的相互渗透、交叉、融合。因此,以金属材料为主线的机械制造技术基础已不适应新形势的需要,建立以现代工程材料成形与制造工艺为基础的工程训练课程,是适应工程教育和现代制造技术发展的必然结果。为了培养面向 21 世纪的综合型和创新型人才,许多高等工科院校相继组建了工业培训中心,在加强基础、拓宽知识、加强实践环节、提高学生的动手能力、培养创造性思维方式和能力等方面进行了一系列的探索和实践。本书就是本着这样的原则,在原金工实习的基础上,增加了微机数控车削加工、电子装配、计算机的拆装和电气线路安装等内容,成为一本综合性实习训练教材。它是依据原国家教委高教司 [1995] 82 号通知精神并结合我校及有关院校的实际编写。

本书在编写时,充实了实践性教学内容,以鼓励学生在动手操作的同时,充分动脑,加强分析与培养能力。不但拓宽了学生的知识视野,培养了学生的创新意识和能力,而且试图在缩小人才培养方面学校教育与社会需求的差距,书中出现的材料牌号、名词术语等均采用了最新的国家标准。本书可作为 4~6 周机电工艺综合实习、训练教材,供学生在实训期间使用。

本书编写者有:刘群山(第一、七、九、十四章)、李志勇(第二章)、鲍雪琳(第三、八章)、林兵(第四、五章)、么春霞(第六章)、张双杰(第十章)、吕占勇(第十一章)、张占收(第十二章)、高观望(第十三章)。刘群山为本书主编,张双杰、张占收为副主编,董芳为主审。指导实习师傅也参加了本书编写大纲的讨论,对相关内容提出了许多宝贵的建议,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平及时间所限,定有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2001 年 10 月于河北科技大学

# 目 录

前言	
<b>第一章 工程材料及钢的热处理</b> .....	1
第一节 常用金属材料 .....	1
第二节 非金属材料 .....	3
第三节 钢的热处理 .....	5
复习思考题 .....	9
<b>第二章 铸造</b> .....	10
第一节 砂型铸造 .....	10
第二节 铸造合金的熔炼与浇注 .....	25
第三节 铸件的清理及其主要缺陷 .....	29
第四节 特种铸造 .....	31
复习思考题 .....	33
<b>第三章 锻压</b> .....	34
第一节 坯料的加热和锻件的冷却 .....	34
第二节 自由锻造 .....	36
第三节 模锻 .....	43
第四节 冲压 .....	44
复习思考题 .....	46
<b>第四章 焊接与胶接</b> .....	48
第一节 焊条电弧焊 .....	48
第二节 气焊与气割 .....	53
第三节 其他常用焊接方法简介 .....	57
第四节 胶接 .....	61
复习思考题 .....	61
<b>第五章 常用量具</b> .....	62
复习思考题 .....	68
<b>第六章 车削</b> .....	69
第一节 车床 .....	69
第二节 车刀 .....	79
第三节 车削加工方法 .....	83
第四节 典型零件的车削加工 .....	90
复习思考题 .....	95
<b>第七章 铣削</b> .....	97
第一节 铣床 .....	97
第二节 铣刀 .....	102
第三节 铣床附件 .....	104
第四节 铣削方法 .....	105
第五节 齿形加工 .....	108
第六节 镗床及其工作 .....	111
复习思考题 .....	112
<b>第八章 刨削</b> .....	113
第一节 刨床 .....	113
第二节 刨刀 .....	118
第三节 工件的安装 .....	118
第四节 刨削方法 .....	120
第五节 拉削简介 .....	122
复习思考题 .....	123
<b>第九章 磨削</b> .....	124
第一节 砂轮 .....	124
第二节 磨床及磨削方法 .....	127
复习思考题 .....	135
<b>第十章 钳工</b> .....	136
第一节 钳工工作场地 .....	136
第二节 划线 .....	137
第三节 锯削 .....	141
第四节 锉削 .....	144
第五节 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔 .....	147
第六节 攻螺纹与套螺纹 .....	150
第七节 刮削 .....	152
第八节 拆装 .....	154
第九节 锤子的钳工制作工艺 .....	155
复习思考题 .....	156
<b>第十一章 微机数控车削加工</b> .....	158
复习思考题 .....	163
<b>第十二章 电子装配</b> .....	164
第一节 常用工具和仪表 .....	164
第二节 收音机元器件及检测 .....	166
第三节 调幅六管超外差收音机的装配 与调试 .....	172
第四节 超外差收音机的故障检查 .....	176
复习思考题 .....	177
<b>第十三章 计算机的拆装</b> .....	178
第一节 计算机的硬件结构 .....	178

第二节 计算机的拆装过程.....	182	第二节 低压电器.....	191
第三节 上电检查与故障排除.....	184	第三节 机床线路.....	193
复习思考题.....	187	复习思考题.....	196
<b>第十四章 电气线路安装</b> .....	<b>188</b>	<b>参考文献</b> .....	<b>197</b>
第一节 基础知识.....	188		

# 第一章 工程材料及钢的热处理

## 第一节 常用金属材料

金属材料具有一定的力学性能和工艺性能，可以满足不同使用条件下对零件的要求，在机器制造中获得了广泛的应用。

金属材料的力学性能是指其抵抗外力作用的能力。力学性能指标是通过特定的力学试验测得的，它是选择材料的重要依据。常用的力学性能指标及其含义见表 1-1。

表 1-1 常用的金属力学性能指标及其含义

力学性能	性能指标			含义说明
	名称	代号	单位	
强度	抗拉强度	$\sigma_b$	MPa	拉伸试样在拉断前所受的最大拉应力
	屈服点	$\sigma_s$	MPa	拉伸试样产生屈服现象时的应力
硬度	布氏硬度	HBS	习惯不写	试样压痕单位面积上所受的载荷
	洛氏硬度	HRC	-	通过测量残余压痕深度显示出的硬度值
塑性	伸长率	$\delta$	%	拉伸试样纵向相对伸长变形量
	断面收缩率	$\Psi$	%	拉伸试样横向相对收缩变形量
韧性	冲击吸收功	$A_k$	J	试样被冲断时所吸收的功
	冲击韧度	$\alpha_k$	J/cm <sup>2</sup>	试样被冲断时单位面积上所吸收的功

### 一、钢材

钢材常见的供货形状有型钢（包括圆钢、方钢、扁钢、六角钢、八角钢、工字钢、槽钢、角钢）、钢板（包括厚度 $\leq 4\text{mm}$ 的薄钢板、厚度为 $5\sim 20\text{mm}$ 的中板及厚度 $> 20\text{mm}$ 的厚钢板）、钢管（包括无缝钢管和焊接钢管）和钢丝。它们都有特定的规格（截面积及长度尺寸系列）。合理选择材料的形状和规格，可以简化制造工艺、降低制造成本。

目前，我国有钢的两种分类：一种是新的钢分类方法（GB/T13504—1991），它是参照国际标准制订的；另一种是常规分类法，是我国多年使用且大家所熟知的。

#### 1. 常用碳素钢的分类、牌号、性能和用途

(1) 碳素结构钢 一般碳的质量分数  $w_c < 0.3\%$ ，性能特点是塑性、韧性较高，强度、硬度较低。典型牌号是 Q235-A，主要供货形状是型钢、钢板和钢管，用于建筑用材及制造不重要的机械零件（如螺钉、小轴、拉杆等）。

(2) 优质碳素结构钢 这类钢的牌号用两位数字标出，表示其平均含碳量的万分之几。如 45 钢，其平均碳的质量分数为 0.45%。

10、15、20 钢属低碳钢，强度、硬度较低，塑性、韧性较高，具有良好的冷变形能力和焊接性能，常用来制造冲压件、焊接件。当这类钢配以渗碳 + 淬火 + 低温回火热处理时，可获得表面硬、中心韧的性能，用于制造既要求耐磨又要求耐冲击的零件，如活塞销、齿轮

等。

30、35、40、45、50 钢属中碳钢，配以调质热处理后，可获得优良的综合力学性能。其中，以 45 钢应用最为广泛，常用于制造轴、连杆、丝杠、齿轮等零件。

60、65、70 钢属高碳钢，进行淬火 + 中温回火热处理后，可获得较高的强度和弹性，主要用于制造弹簧、轧辊、钢丝绳等。

(3) 碳素工具钢 这类钢的牌号首位用 T 表示，其后面的数字表示其平均含碳量的千分之几，如 T8 表示  $w_c = 0.8\%$  的优质碳素工具钢。高级优质碳素工具钢在牌号最后标注“A”，如 T10A。这类钢含碳量较高，且随含碳量的增加，硬度、耐磨性提高，而塑性、韧性降低，主要用来制造手动切削工具和不太重要的模具，如锉刀、手锯条、冲头、铰子等，常配以淬火 + 低温回火热处理。

## 2. 常用合金钢的牌号、性能和用途

合金钢的牌号较多，工业上应用较广的有：

16Mn，属低合金结构钢。低碳、低合金，具有优良的冷变形能力和焊接性能，常用于制造冲压件和焊接件，如桥梁、船舶、压力容器等。

20CrMnTi，属合金渗碳钢。其中  $w_c \approx 0.2\%$ ，其他各合金元素的质量分数均小于 1.5%。当配以渗碳 + 淬火 + 低温回火热处理后，可获得表面高硬度、中心高韧性的性能，主要用来制造受较大冲击力作用的耐磨件，如汽车和拖拉机变速器中的齿轮等。

40Cr，属合金调质钢。其  $w_c \approx 0.4\%$ ， $w_{Cr} < 1.5\%$ 。当配以调质热处理后，可获得更优良的综合力学性能，主要用于制造较重要的轴、连杆、螺栓等。

60Si2Mn，属合金弹簧钢。其  $w_c \approx 0.6\%$ ， $w_{Si} \approx 2\%$ ， $w_{Mn} < 1.5\%$ 。配以淬火 + 中温回火热处理后，可获得较高的弹性、屈强比和耐疲劳性能，主要用于制造重要的弹簧，如汽车板簧、测力弹簧等。

9SiCr，属量具刀具钢。其  $w_c \approx 0.9\%$ ，其他各合金元素的质量分数均小于 1.5%。淬火 + 低温回火后，可获得较高的硬度和耐磨性，主要用于制造丝锥、板牙、铰刀等中低速切削刀具和各种量具。

Cr12，属冷作模具钢。其  $w_c \approx 2.2\%$ ， $w_{Cr} \approx 12\%$ 。适当热处理后，可获得极高的硬度和耐磨性，足够的强度和韧性，且具有热处理变形小的特点，主要用来制造冷冲模、冷镦模、搓丝板等。

W18Cr4V，属高速工具钢，又称高速钢。其  $w_c \approx 0.75\%$ ， $w_W \approx 18\%$ ， $w_{Cr} \approx 4\%$ ， $w_V < 1.5\%$ 。因合金元素含量较高，适当热处理后，在高温下（600℃）仍具有高硬度（即热硬性高），可用于制造车刀、钻头、铣刀等高速切削工具。

3Cr13，属不锈钢。其  $w_c \approx 0.3\%$ ， $w_{Cr} \approx 13\%$ 。由于 Cr 的作用，使钢具有优良的耐大气腐蚀的能力，并具有一定的硬度，主要用于制造医疗工具，如手术刀、手术剪等。

ZGMn13，属耐磨钢，其  $w_c \approx 1.2\%$ ， $w_{Mn} \approx 13\%$ 。铸态下硬而脆，通过水韧处理（类似于淬火操作），使钢硬度降低，便于加工。当使用时，受剧烈冲击或较大压力作用后立即硬化，从而达到耐磨的目的，主要用于制造坦克履带板、碎石机鄂板等零件。

## 二、铸铁

铁矿石经高炉冶炼后，浇注到砂型或钢模中，即形成生铁锭。它是以 Fe、C、Si 为主要元素的复杂多元合金。



生产上常用的铸铁件，通常是以生铁锭为原料，以焦炭为燃料，并加入熔剂及废钢等经冲天炉熔化后浇入铸型而形成的。

铸铁件中的碳主要是以石墨形式存在的。按石墨的形状不同，可分为灰铸铁（石墨以片状形式存在）、可锻铸铁（石墨以团絮状形式存在）、球墨铸铁（石墨以球状形式存在）等。由于石墨本身的力学性能很低，相当于钢的基体中存在空隙一样，尤其是灰铸铁，石墨片还存在尖角作用，造成其力学性能降低很多，塑韧性很低，呈脆性。然而，也正因为石墨的存在，才使铸铁具有耐磨、耐压、减振、缺口敏感性低等优良性能，并且批量生产时成本低。所以，它广泛用来制造机床床身、支架、底座、减速器箱体等。

### 三、有色金属

工业上常将以 Fe 和 C 为主要元素的金属材料（钢和铁）称为黑色金属，而将其他元素为主的金属材料统称为有色金属。常用的有色金属是铝和铜及其合金。由于有色金属在自然界中的蕴藏量少、冶炼困难、消耗电能大以及成本高，故其产量和使用量都较黑色金属低。它们具有某些特殊的物理和化学性能，如密度小，导电性、导热性和耐腐蚀性好等，现已成为现代工业中不可缺少的材料。

有色金属熔炼后可浇注成铸锭（如铝锭等），供铸造和锻造用；也可轧制成各种截面形状的型材，如各种规格的板、带、箔、管、棒和线材等。

## 第二节 非金属材料

### 一、塑料

塑料是以高分子合成树脂为主要成分，在一定温度和压力下，可塑制成一定形状，且在一定条件下保持形状不变的材料。塑料特征是：重量轻，比强度高，有良好的耐腐蚀性、电绝缘性、减振减摩性和加工成形性，但强度、硬度较低，耐热性也差，易产生老化和蠕变等。

塑料一般由树脂与添加剂组成，合成树脂是其主要成分。塑料的基本性能主要取决于树脂的性质。加入添加剂的目的是改善成形工艺性能，提高塑料性能和降低成本等。常用的塑料有以下几种：

(1) ABS 塑料 它是由丙烯腈、丁二烯、苯乙烯共同聚合而成的共聚物，是热塑性塑料。它具有硬、韧、刚的混合特性，综合力学性能较好。广泛用于制造齿轮、泵的叶轮、管道、电机外壳、仪表壳、汽车上的挡泥板、扶手、小轿车车身、电冰箱外壳及内衬等。

(2) 聚酰胺 (PA) 它是由二元胺与二元酸经缩聚而成，或由氨基酸脱水成内酰胺再聚合而成，又名尼龙，是热塑性塑料。它具有较高的强度及韧性，良好的耐磨、耐疲劳、耐油、耐水、耐蚀等综合性能。广泛用于制造轴承、齿轮、蜗轮、螺栓、螺母、垫圈等。

(3) 酚醛塑料 (PF) 它是由酚类和醛类经缩聚而成，又名电木（胶木），是热固性塑料。它具有优良的耐热、绝缘、化学稳定性及尺寸稳定性；缺点是较脆。用酚醛塑料粉模压成型后可制成电器零件，如开关、插座等。用布片、纸浸渍酚醛塑料，制成层压塑料（胶木），可用做轴承、齿轮、垫圈及电工绝缘体等。

(4) 环氧塑料 它是由环氧树脂加入固化剂后形成的热固性塑料。它具有较高的强度、韧性，较好的电绝缘性、化学稳定性和尺寸稳定性，成型性好。可用于制作塑料模具，电器、电子元件及线圈的灌封与固定，机械零件的修复等。环氧塑料还是一种很好的胶粘剂，

对各种材料（金属及非金属）都有很强的胶粘能力。

## 二、合成橡胶

橡胶是一种天然的或人工合成的高聚物的弹性体。工业上使用的橡胶制品，是在橡胶中加入各种配合剂（如硫化剂、硫化促进剂、软化剂、防老化剂和填充剂等）经过硫化处理后所得到的产品。它具有高的弹性，优良的伸缩性和积储能量的能力，成为常用的弹性材料、密封材料、减振、抗振材料和传动材料。此外，还具有良好的耐磨性、隔音性和阻尼特性，常用的合成橡胶有以下几种：

(1) 丁苯橡胶（SBR） 用于制造轮胎、胶鞋、胶布、胶管等制品，是目前应用最广的一种。

(2) 顺丁橡胶（BR） 不能单独用于制造轮胎，常与其他橡胶混合使用，制造胶管、减振器、刹车皮碗等。

(3) 氯丁橡胶（CR） 又称“万能橡胶”，其耐油性、耐热性、耐燃性、耐老化性等均优于天然橡胶。因此，它既可作为天然橡胶的代用品，又可作特种橡胶使用（如胶管、胶带、电线包皮等）。

除此之外，某些橡胶因具有特殊的性能而著称。例如：丁腈橡胶具有优异的耐油性；硅橡胶既耐热又耐寒；氟橡胶的耐蚀性在各类橡胶中最为突出。

## 三、陶瓷

陶瓷是一种无机非金属材料，它分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类：前者是以粘土、长石和石英等天然原料，经过粉碎、成型和烧结而成，主要用做日用、建筑和卫生用品，以及工业上的低压电器、高压电器、耐酸、过滤器皿等；后者是以人工化合物为原料（如氧化物、氮化物、碳化物、硅化物、硼化物及氟化物等）制成的陶瓷，其性能特点是硬度和抗压强度高，耐磨损，但塑性和韧性差，不能经受冲击载荷，抗急冷性能较差，易碎裂。此外，陶瓷材料还具有耐高温、抗氧化、耐腐蚀等优良性能；大多陶瓷材料是良好的绝缘体。

常用的陶瓷材料有以下几种：

(1) 氧化铝陶瓷 它是以  $Al_2O_3$  为主要成分的陶瓷，用于制造高温测温热电偶绝缘套管，耐磨、耐蚀用水泵，拉丝模等。

(2) 氮化硅陶瓷 它是将硅粉经反应烧结而成或将  $Si_3N_4$  经热压烧结而成的一种陶瓷，用于制造耐蚀水泵密封环、电磁泵管道、阀门、热电偶套、高温轴承材料及转子发动机刮片、燃气轮机转子叶片等。

(3) 氮化硼陶瓷 它是由 BN 粉末经冷压或热压烧结而成的一种陶瓷，用于制造冶炼用的坩埚、器皿、管道、半导体容器和各种散热绝缘件、玻璃制品模具等。

陶瓷刀具是以氧化铝或氮化硅为基体再添加少量金属，经高温下烧结而成的一种刀具材料。其主要特性是：高的硬度与耐磨性，常温硬度达 91~95HRA，超过硬质合金，可用于切削 60HRC 以上的硬材料；高的耐热性，在 1200℃ 下硬度为 80HRA，强度、韧性降低较小；高的化学稳定性，热磨损较少；较低的摩擦系数，不易粘刀和产生积屑瘤。但其强度、韧性低，使用中应避免承受冲击载荷，以防崩刃和破损。

## 四、复合材料

复合材料是由两种或两种以上材料（即基体材料和增强材料）经人工复合而成。它不仅保留了组成材料各自的优点，还能获得单一材料无法具备的优良综合性能。例如：玻璃与树

脂组成的复合材料（玻璃钢），不仅重量轻，而且具有很高的强度和韧性；黄铜片与铁片组成的双金属复合材料，具有可控温度的功能；以钢为基体，烧结铜网为中间层，塑料为表面层的塑料-金属多层复合材料，它既有金属基体的力学、物理性能，又有塑料的耐摩擦、磨损性能，可用于制造各种机械、车辆等的无润滑或少润滑条件下的各种轴承。所以，复合材料已成为当前结构材料中的一种新型材料。

复合材料的种类繁多，按基体材料可分为金属基和非金属基两类。前者主要有铝、镁、钛、铜等和它们的合金，后者主要有合成树脂、碳、石墨、橡胶、陶瓷等。按增强材料可分为纤维增强复合材料（如玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、芳纶纤维、碳化硅纤维、氮化硅纤维和难熔金属丝等）、粒子增强复合材料（如金属粒、陶瓷粒等）和层叠复合材料（如双层金属、塑料-金属多层叠合等），其中以纤维增强复合材料应用最广。

### 第三节 钢的热处理

热处理的方法很多，常用的有退火、正火、淬火、回火以及表面淬火和化学热处理。不同的热处理工序，常穿插在零件制造过程中的各个热、冷加工工序中进行。各工序之间的热处理称为中间热处理或预先热处理，主要用来消除上道工序遗留下来的某些缺陷，为下道工序准备好条件。最后的热处理称为最终热处理，它主要用来进一步改善材料的性能，从而充分发挥材料的潜力，延长使用寿命，达到零件的使用要求。

#### 一、热处理设备

根据热处理工艺和生产的需要，一般热处理车间的常用设备有如下类别。

##### 1. 加热炉及控温仪表

常用的热处理加热炉有各种规格的箱式电阻炉和井式电阻炉。

(1) 箱式电阻炉 中温箱式电阻炉的结构如图 1-1 所示。炉子型号可用字母加数字来表示，如 RX30—9。其中 R 表示电阻炉；X 表示箱式；第一组数字 30 表示炉子的额定功率为 30kW；第二组数字 9 表示炉子的最高使用温度为 950℃。箱式电阻炉可用来加热除长轴类零件之外的其他形状的热处理件。

(2) 井式电阻炉 根据额定温度不同，井式电阻炉分为高温、中温、低温炉三类。炉子型号也用字母加数字来表示，如 RJ36—6。其中 R 表示电阻炉；J 表示井式；第一组数字 36 表示炉子的额定功率为 36kW；第二组数字 6 表示炉子的最高使用温度为 650℃。井式电阻炉可用来加热长轴类零件，一般是垂直吊装，以防工件因自身重量导致在加热时变形。其他形状零件可先装入料筐后再放入炉内。

(3) 控温仪表 加热炉的温度测量和控制，主要是利用热电偶、温度控制仪表及开关器件，其精度直接影响热处理工艺的正常进行和热处理质量。

##### 2. 专用工艺设备

专门用于某种具体热处理工艺的设备，如气体渗碳炉、井式回火炉及高频淬火装置等。

##### 3. 冷却设备及质量检验设备

冷却设备主要有水槽、油槽等。质重检验设备主要有检验硬度的硬度计；检验内裂纹的探伤仪；检验内部组织的金相显微镜等。

#### 二、热处理方法

### 1. 钢的退火

退火是将钢加热到一定的温度，保温一定的时间后再缓慢冷却下来的热处理操作。缓冷方法通常采用随炉冷却、灰冷及坑冷。生产上常采用的退火方法有完全退火、球化退火和去应力退火，如图 1-2 所示。

退火的目的：

- 1) 均匀组织、细化晶粒，主要用于铸件。
- 2) 消除工件的内应力。主要用于消除铸件、锻件、焊接件的内应力。
- 3) 降低工件硬度、便于切削加工，主要用于工具钢零件。

### 2. 钢的正火

正火是将钢加热到  $A_{c3}$  (或  $A_{c_{cm}}$ ) 以上  $30 \sim 50^\circ\text{C}$  (45 钢的加热温度为  $850^\circ\text{C}$ )，进行保温后出炉空冷至室温的热处理操作。由于冷却速度比退火快，所以，正火件比退火件的硬度、强度稍高，而塑性、韧性稍低。对不重要的零件可作为最终热处理。

低碳钢正火后的硬度适中，更适合切削加工。又由于正火冷却时不占用炉子，可使生产率提高，成本降低，故多用正火来代替退火。中碳钢用正火作为中间热处理时，可消除过热组织，细化晶粒，改善切削加工性能，并为淬火做组织准备。高碳钢和部分合金钢正火后硬度较高，不利于切削加工，但可消除晶界上的碳化物，为球化退火作组织准备。

### 3. 钢的淬火

淬火是将钢件加热到  $A_{c3}$  或  $A_{c1}$  以上某一温度，保温后出炉快速冷却的热处理操作。淬火时的冷却介质称为淬火介质。常用的淬火介质有油、水和盐水。油的冷却能力较低，通常不能使碳钢件心部淬硬，故多用于合金钢淬火。水的冷却能力较强，多用于碳钢件淬火。盐水的冷却能力更强，多用来处理较大尺寸的碳钢件。但是，冷却速度愈快，愈易造成工件内部冷却不均，产生较大内应力，致使工件变形，甚至出现裂纹。所以，在同样满足淬硬要求的前提下，应尽量选用冷却能力小的淬火介质。

把加热保温后的钢件浸入水或油中冷至室温，这种淬火方法叫单液淬火。有的工件为保证既淬硬又不因冷速过大而变形或开裂，采用水淬油冷的双介质淬火。它是将保温后的钢件取出后先在水中快速冷却，当温度降到约  $300^\circ\text{C}$  左右时，立即从水中取出再放入油中冷却至室温。这种方法对高碳钢件或尺寸较大的合金钢件，效果较好。

淬火操作时，要注意淬火工件浸入淬火介质的方式。如果浸入方式不正确，可能使工件各部分冷却速度不一致，造成很大的内应力，使工件变形甚至产生裂纹或局部淬不硬。

淬火可以显著地增加钢的硬度，提高钢的耐磨性。当与回火热处理配合时，可使钢的力学性能在很大范围内得到调整，并能减小或消除淬火产生的内应力，降低钢的脆性。

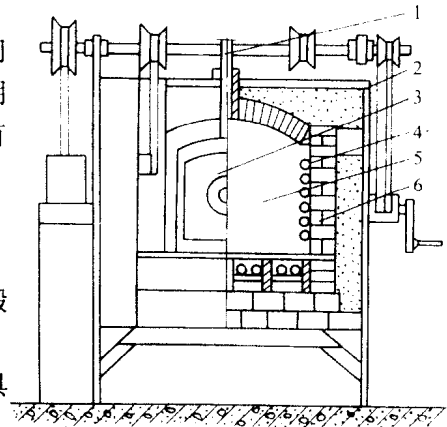


图 1-1 RX 型中温箱式电阻炉

1—热电偶 2—炉壳 3—炉门  
4—电阻丝 5—炉膛 6—耐火砖

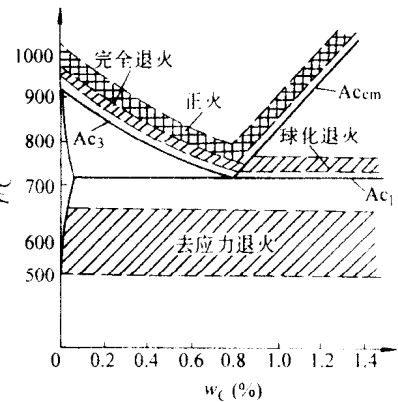


图 1-2 退火和正火的加热温度范围

#### 4. 钢的回火

回火是将淬火后的钢重新加热到某一温度（临界温度线  $A_{c1}$  以下），保温一定时间后空冷或油冷至室温的热处理操作。依据回火时的加热温度不同，可把回火分为低温回火、中温回火和高温回火。

低温回火的加热温度为  $150 \sim 250^\circ\text{C}$ 。它可以部分地消除淬火造成的内应力，降低钢的脆性，提高钢的韧性，同时仍保持高硬度。故多用来对工具、量具、刀具进行处理。

中温回火的加热温度为  $350 \sim 500^\circ\text{C}$ 。淬火件经中温回火后，可消除大部分内应力，提高钢的韧性和强度，尤其是使钢获得了高弹性，但硬度稍有降低，一般用于处理弹簧、锻模等零件。

高温回火的加热温度为  $500 \sim 650^\circ\text{C}$ 。高温回火后，可以完全消除内应力，使零件具有高强度与韧性相配合的良好的综合力学性能，这也是很多机械零件如轴、连杆、曲轴等所要求的性能。故这种回火在热处理行业中经常使用。工件淬火后再经高温回火，此工艺过程统称为调质处理。

#### 5. 钢的表面淬火

表面淬火是利用快速加热使钢件表面迅速达到淬火加热温度，在热量还来不及传到钢件中心时就快速冷却下来的热处理操作。表面淬火可以保持心部原来的强度和韧性，而使表层获得高硬度、高耐磨性。它主要用于承受冲击载荷，而且表面又要求耐磨的零件，如齿轮、凸轮等零件的处理。常用的表面淬火方法分为感应加热表面淬火和火焰加热表面淬火。

(1) 感应加热表面淬火 图 1-3 所示为高频感应加热表面淬火示意图，它是将工件放在铜管制成的感应器内，给感应器通以高频率的交流电，在感应器周围产生交变磁场，于是工件内产生同频率的感应电流——涡流。由集肤效应可知，感应电流在工件截面上的分布是不均匀的，表层电流密度大，中心部分几乎为零。依靠电流在钢件内的电阻热效应，使工件表层在几秒钟内就被加热到了淬火加热温度。而钢件心部电流很小，产生的热量很少，表层热量又来不及传到心部，所以温度不高。随后工件下移，喷水套喷出的水（淬火介质）使表面淬火。

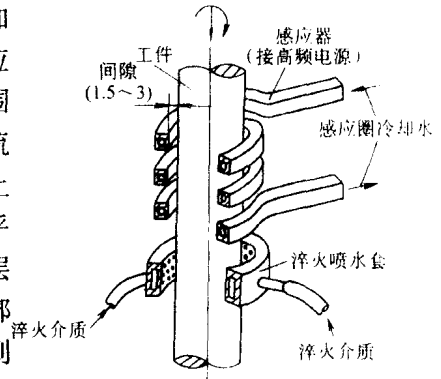


图 1-3 高频感应加热表面淬火示意图

感应器通入交流电时，自身也会产生电阻热，故需通水冷却。为使工件圆周方向上加热均匀，防止淬火后硬度不一致，工件还需要自转。工件的淬硬层深度取决于电流频率。频率愈高，工件内的感应电流愈集中于表层，所得淬硬层愈浅。按电流频率高低不同，感应加热表面淬火分为高频（ $> 100\text{kHz}$ ）、中频（ $500 \sim 10\text{kHz}$ ）和工频（ $50\text{Hz}$ ）。生产上常用的是高频（ $200 \sim 300\text{kHz}$ ）淬火。淬硬层深度为  $0.5 \sim 2\text{mm}$ 。

(2) 火焰加热表面淬火 它是利用氧-乙炔火焰或氧-煤气火焰将工件表面迅速加热到淬火温度，然后喷水冷却。这种方法设备简单，投资少，但质量不够稳定，一般用于单件小批生产及大件的局部表面淬火。

#### 6. 钢的化学热处理

化学热处理是将热处理工件放在某些化学介质中，加热到一定温度并保温一定时间，使

一种或几种元素的活性原子渗入工件的表层，以改变表层的化学成分和组织的热处理操作。它可以更大程度地提高零件表面的硬度、耐磨性等，而心部仍保持原有的性能。化学热处理方法是按渗入元素种类命名的，最常用的是渗碳、渗氮及碳氮共渗。

按渗碳剂不同，渗碳方法可分为固体渗碳、液体渗碳和气体渗碳。生产上常用的是气体渗碳。它是将工件装入密封的井式气体渗碳炉中，加热至 900~950℃，滴入煤油。煤油分解出活性 [C] 原子，进而被工件表面吸附，并向内扩散。炉内有风扇，其作用是使工件加热均匀，工件各处均被活性 [C] 包围。多余的气体从废气管中溢出，并要点燃，以防污染环境。

渗碳适用于低碳钢或合金渗碳钢件的热处理，可使零件表层 1~2mm 厚度内的含碳量提高到  $w_c = 0.8\% \sim 1.2\%$ 。当渗碳件淬火并回火后，可获得表层高硬度和高耐磨性，心部仍为高韧性的效果，主要用来处理承受冲击力且在强烈摩擦条件下工作的零件，如活塞销、凸轮轴、汽车变速齿轮等。

渗氮俗称氮化。常用的气体渗氮方法是将工件加热到 550℃ 左右通入氨气，分解出活性 [N] 被工件表面吸附，在工件表层形成极硬的氮化物薄层。它可以大大提高表面硬度和耐磨性，还具有一定的耐热性、耐蚀性。因加热温度低，工件变形很小，主要用于处理高精度的受冲击载荷不太大的耐磨件，如精密机床主轴、镗床镗杆、高速传动齿轮等。

把活性 [C]、[N] 原子同时渗入工件的工艺方法称为碳氮共渗。低温下 (550℃ 左右) 的氮碳共渗又俗称气体软氮化。它主要以渗氮为主，又兼有渗碳的优点，虽然渗层薄，但硬度很高且不脆，具有较高的抗咬合和防擦伤能力，广泛用于模具、量具和耐磨件的处理。

### 三、热处理时产生的缺陷及防止方法

在热处理过程中，若工艺参数选择不佳、仪表误差过大或操作不当，就会使工件产生缺陷。常见的缺陷有：过热、过烧、氧化、脱碳、硬度不足、硬度不均、变形及裂纹等。退火、正火、淬火的加热温度主要取决于钢的化学成分；保温时间应以零件心部组织得以充分转变为基准，常用经验公式： $t = KD$  (min) 来确定。式中， $K$  为与炉子等有关的系数（常取 1~1.5min/mm）； $D$  为工件的直径或截面尺寸 (mm)。加热温度太低，保温时间太短，达不到钢的组织全部转变的目的，其结果是退火退不软、淬火淬不硬或硬度不均；加热温度过高，保温时间过长，会使钢的晶粒变粗（称为过热），导致塑性和韧性显著降低。当加热温度高到近熔点时，会使晶界上的部分杂质熔化或严重氧化（称为过烧），造成工件报废。另外，若加热温度过高，在加热和保温时，炉内的氧化性气氛会使工件表面的金属氧化和钢中的碳原子烧损（称为脱碳）。因此，要想防止或减少这些缺陷，就必须严格控制加热温度和保温时间。在淬火时，冷却速度很快，工件心部与表层的冷缩及转变不同时，会产生很大的内应力，甚至引起工件的变形和裂纹。因此，要选择合适的淬火介质和淬火方法，以及正确的操作。

### 四、锤头的热处理工艺

零件形状与尺寸：见图 10-62。

材料：45 钢

热处理要求：53~57HRC

热处理方法：淬火 + 低温回火

生产工艺流程：下料 → 锻造 → 粗刨 → 钳工制作 → 淬火 + 低温回火 → 检验

热处理工艺曲线：如图 1-4 所示

各热处理工序的作用及注意事项：淬火，用以提高硬度和耐磨性；为减小锤头表面氧化、脱碳，淬火加热时要在炉内放入少量木炭，并采用到温装炉；淬火冷却时，手持钳子夹持锤头入水，并不断在水中摆动，以保证硬度均匀；低温回火，用以减小淬火产生的内应力，增加韧性，降低脆性，达到硬度的要求。

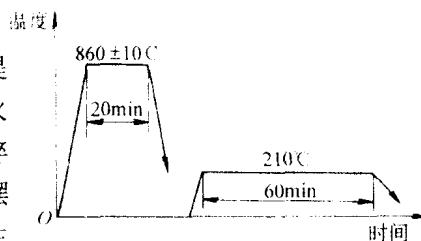


图 1-4 锤头热处理工艺曲线

### 复习思考题

1. 钢和铸铁有哪些区别？
2. 机械零件选材时要考虑哪些主要因素？
3. 何谓热处理？它在零件制造中的重要作用是什么？
4. 试比较退火与正火的异同点。
5. 淬火的目的是什么？水淬与油淬有什么不同？分别在何种情况下选用？
6. 什么叫回火？目的是什么？回火温度对钢的性能有什么影响？
7. 何谓调质处理？其目的是什么？
8. 表面淬火与普通淬火有什么区别？
9. 要获得表面很硬、心部有足够韧性的低碳钢齿轮，可采用何种热处理方法？为什么？

## 第二章 铸 造

铸造是将金属熔化并浇注到具有与零件形状相适应的铸型空腔中，待其冷却凝固后获得毛坯与零件的方法。

铸造所得的毛坯与零件统称铸件，铸造后还需加工者称毛坯，不需加工直接使用者称零件。

铸造的方法很多，主要分砂型铸造与特种铸造两大类。最基本的是砂型铸造，主要工艺过程为制模、配砂、造型、造芯、熔化金属、合型浇注与清理检验等，如图 2-1 所示。

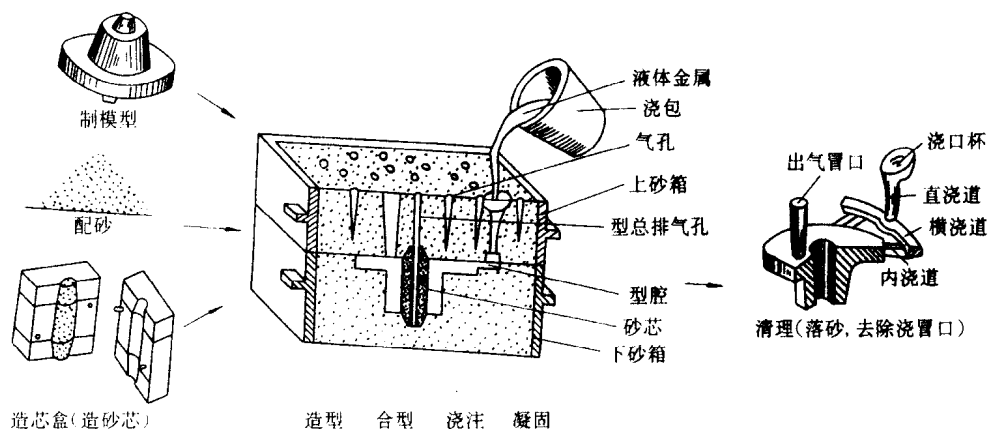


图 2-1 砂型铸造工艺过程

特种铸造主要有熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造以及连续铸造等。

铸造的特点是金属在液态下成形，即熔化的液体金属在一定的压力作用下充满铸型而获得铸件。因此，铸造是制造各类机器零件与毛坯的主要方法见表 2-1。

铸造生产适应性广，几乎可以铸造各种合金、任何形状的零件；铸件的重量可轻至几克，重至数百吨，壁厚也可由 0.5mm 到 1m 左右；铸造所用原

材料来源广泛、生产设备简单、成本低廉。但铸造过程工序多，对铸件的质量较难精确控制，其力学性能一般不如锻件高，因此凡承受动载荷或交变载荷的重要受力件，目前很少使用铸件。

表 2-1 各类机械中铸件的重量比

机械类别	%
机床、内燃机、重型机器	70~90
风机、压缩机	60~80
拖拉机	50~70
农机	40~70
汽车	20~30

### 第一节 砂型铸造

砂型铸造是将液体金属浇入砂质铸型中，待铸件冷凝后，将铸型破坏取出铸件的方法。

#### 一、造型(芯)材料



造型(芯)材料包括制造砂型的型砂和制造砂芯的芯砂,以及砂型和砂芯的表面涂料。造型材料的性能好坏,对造型和造芯工艺和铸件质量有很大影响。

### 1. 型(芯)砂的组成

型(芯)砂的组成原料;砂、粘土、水、有机或无机粘结剂和其他附加物。

(1) 砂 砂的主要成分是石英( $\text{SiO}_2$ ),砂中含 $\text{SiO}_2$ 量愈高,杂质愈少,则砂耐火度愈高。同时砂粒大小、形状、均匀程度等对其使用性能都有很大影响,因此在选择砂时都有一定要求。

(2) 粘结剂 粘结剂的作用是将砂粒粘结起来,从而使型砂具有一定强度和可塑性。常用的粘结剂有:粘土(湿型用膨润土,干型用普通粘土);特殊粘结剂(如油脂、水玻璃、树脂等)。其中油脂、树脂一般用做配制芯砂。

(3) 附加物 为了改善型(芯)砂的某些特殊性能而加入一些附加物。如在湿型砂中加入煤粉,可防止粘砂,提高铸件表面质量;在干型砂中加入一些木屑,可提高型砂的透气性和退让性。

### 2. 对型(芯)砂的性能要求

型(芯)砂必须具备一定的铸造工艺性能,才能保证造型、造芯、起模、修型、下芯、合型、搬运等顺利进行,同时能承受高温金属液的冲刷与烘烤。铸件中有些缺陷往往与造型材料直接有关,如砂眼、夹砂、气孔、裂纹等,都是因为型(芯)砂某些性能达不到使用要求所致。因此,要求型(芯)砂应具备以下性能:

(1) 强度 是指型砂、芯砂紧实后再受到外力时抵抗破坏的能力。强度低,则可能发生塌箱、冲砂等,会使铸件产生砂眼、夹砂等缺陷。强度太高,砂型太硬,透气性差,会使铸件产生气孔、内应力或裂纹等。

(2) 透气性 是指型(芯)砂通过气体的能力。当高温金属液浇入型腔后,在铸型内产生的大量气体必须顺利地由砂粒间隙排出,否则铸件易产生气孔。

(3) 耐火度 是指型(芯)砂在高温液态金属作用下不软化、不烧结的能力;否则,易粘砂,铸件清理困难,严重时使铸件成为废品。

(4) 退让性 是指铸件在冷却收缩时,砂型和砂芯可被压缩而不阻碍铸件收缩的能力。否则,将造成铸件收缩受阻而产生较大内应力,从而引起变形或裂纹。

(5) 可塑性 是指型砂在外力作用下变形后,当去除外力时恢复变形的能力。可塑性好的型砂容易变形,起模性能好。

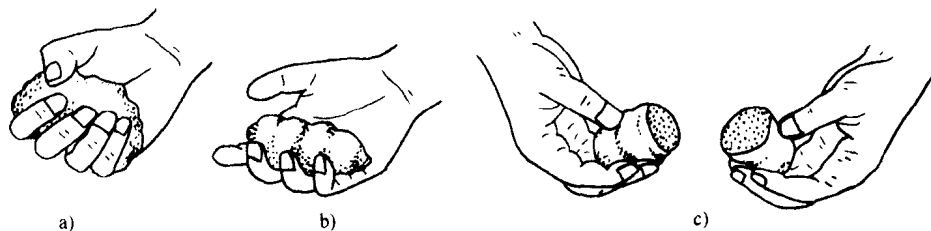


图 2-2 手攥法检验型砂性能示意图

- a) 型砂湿度适当时可用手捏成砂团 b) 手放开时可看出清晰的手纹  
c) 折断时断面没有碎裂状,同时有足够的强度