

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材

金工实习指导教程

夏延秋 吴浩 等编著



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

金工实习指导教程

夏延秋 吴 浩 等编著



机械工业出版社

本书是根据教育部颁布的“工程材料及机械制造基础”的教学基本要求,结合华北电力大学实训中心的实际现状,并参考兄弟院校的教学书籍编写而成的,全书共分为12章,包括传统加工和现代加工两个部分。其中,第1章为基础知识,主要内容为工程材料及改性技术基础,第2~7章为传统加工内容,包括铸造、锻造、焊工、车工、铣工和钳工等内容;第8~12章为现代加工内容,包括软件数控加工、CAD软件、电火花加工、激光加工和三维快速成形等内容。

本书既可以作为工程训练的实习教材,也可以作为培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金工实习指导教程/夏延秋等编著. —北京:机械工业出版社,2015.8
普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材
ISBN 978-7-111-51225-7

I. ①金… II. ①夏… III. ①金属加工-实习-高等学校-教材
IV. ①TG-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第189354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 责任校对:陈延翔

封面设计:张静 责任印制:李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2015年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·8.25印张·193千字

标准书号:ISBN 978-7-111-51225-7

定价:19.00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

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着现代工业的发展,高校对工程实践教学提出了越来越高的要求,加强工程实践训练是高等教育改革的必然选择,目前工程实践训练已经成为培养高素质工科人才不可缺少的一个重要环节。为了提高工程训练的教学质量,更好地培养学生的工程实践能力、创新意识、团队合作精神,结合华北电力大学工程训练的实际现状,编写了本书。

目前,国内工科院校都有自己的工程训练中心,并且工程训练已从传统的车、铣、刨、磨、钳、铸、锻、焊等传统训练项目,发展到数控车、数控铣、加工中心、线切割等先进制造技术的训练项目,三维扫描、三维打印、激光加工等已经成为我校工程训练的一部分。工程训练是大学生人生第一次与机械设备接触,第一次亲手加工和制造零部件,将动手设计与制造有机结合起来,必将为理工科后续的技术课和专业课学习打下基础。

近年来,各院校工程训练中心已从单一的认识和使用基本工具、各类仪器仪表以及基本操作技能的培训发展到开放式创新训练,如学生自由组合(每组成员5~8人),根据指导老师的要求或团队设想设计作品,根据需要自行将任务分成若干模块,在项目训练中让学生自己进行产品设计、安排工艺流程、独立进行操作、灵活安排进程、独立对结果进行分析评定,并最终组合制造出成品。由传统金工实习向工程训练转变,由单纯技能训练型的教学模式向以工程训练为主的教学模式转化,从简单操作的训练逐步发展到设计与加工并重的综合训练,传达由“中国制造”转变为“中国创造”的理念,从而强化学生对工程创新思维与方法的掌握,指导学生亲手完成创意小制作。教学模式也从“技能型”向“学科型”的创新模式转变,这种模式的实践训练强调了训练的实践探索性,对学生来说是一种全新的实践模式,学生具有一定的自主性,打破了被动做实验的局面,营造了一种充分展示个性、激发创新精神和工程意识的实验新格局,有利于提高学生学习的主动性和自觉性,更有利于发挥学生的聪明才智,培养学生的实践能力。其目的是通过实践教学,面向未来工程人才的素质要求,重点突出工程实践能力、设计能力和创新能力培养。形成具有以“强化战略思维以及提升创造力与设计能力”为核心,鼓励更多的师生参与“以创新设计为核心”的工程训练,以适应工业智能化和创新为主的智能化社会。

为此,本书遵循下列基本原则:在参考兄弟院校相关教材和教学体系的前提下,按照《工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》和《重点高等工科院校工程材料及机械制造基础系列课程改革指南》编写,在编写过程中,将传统与现代和创新结合起来,将教师传授知识与学生能力培养之间的关系,学生综合素质提高与创新思维能力培养之间的关系,教材的内容、体系与教学方法之间的关系,常规教学手段与现代教育技术之间的关系有效地结合起来。

本书具有下列特色:

1) 重视基础知识,精选传统内容,注重现代加工知识,培养学生更好地适应社会发展的需要,并兼顾个人的长远发展。

2) 重视新技术、新理论、新材料、新工艺、新方法的引进,力求使教材内容具有科学

性、先进性、时代性，以及工程训练和创新实践的可操作性。

3) 重视教材各章节间的内部逻辑关系，让学生完成从简单操作到创新设计和制造的衔接。

4) 重视工程实践与教学实验，教材做到深入浅出，图文并茂，表格清晰，让学生感觉到课程的新颖，改变金工教材过于偏重知识、轻操作的倾向，引导学生通过实践训练发展自己的工程实践能力。

5) 重视创新设计，培养学生，解决设计和制造中的问题，培养创新思维能力和群体协作能力。

6) 重视综合素质提高，引导学生通过系统训练建立责任意识、安全意识、质量意识、环保意识和群体意识，为毕业后更好地适应社会不同工作的需要创造条件。

参加教材编写的有夏延秋、吴浩、胡湘红、刘兴云、杨雪梅、高充和李竑伟。由于水平所限，书中仍会有错误或不足之处，恳请读者提出宝贵意见，以便我们及时改正。

编者

目 录

前言

第 1 章 工程材料及改性技术基础	1
1.1 工程材料的性能	1
1.2 工程材料基础	3
1.3 钢的热处理	6
第 2 章 铸造	11
2.1 实习目的与要求	11
2.2 铸造基本概念	11
2.3 砂型铸造	12
2.4 常见造型方法	13
2.5 常用铸造材料	14
第 3 章 锻造	16
3.1 实习目的与要求	16
3.2 锻压	16
3.3 锻造加工	17
3.4 自由锻造	17
3.5 模锻	19
3.6 冲压	20
3.7 轧制	21
第 4 章 焊工	22
4.1 实习目的与要求	22
4.2 焊工概述	23
4.3 焊工相关设备	23
4.4 焊工相关概念	25
4.5 焊工实习基本操作	26
4.6 实习报告	29
第 5 章 车工	31
5.1 实习目的与要求	31
5.2 车工概述	31
5.3 车床结构	34
5.4 车削刀具	36
5.5 夹具和附件	37
5.6 车工实习基本操作	38
5.7 实习报告	41
第 6 章 铣工	43
6.1 实习目的与要求	43
6.2 铣工概述	43
6.3 铣床结构	44

6.4	铣削刀具	45
6.5	夹具和附件	46
6.6	铣工实习基本操作	47
6.7	实习报告	49
第7章	钳工	51
7.1	实习目的与要求	51
7.2	钳工概述	51
7.3	钳工相关工序	52
7.4	钳工实习基本操作	56
7.5	实习报告	59
第8章	数控加工	61
8.1	实习目的与要求	61
8.2	数控加工概述	61
8.3	数控系统	63
8.4	数控加工实习	67
8.5	实习报告	71
第9章	CAD 软件	73
9.1	实习目的与要求	73
9.2	计算机辅助设计简介	73
9.3	AutoCAD 软件讲解	74
9.4	SolidWorks 软件讲解	78
9.5	实习报告	85
第10章	电火花加工	87
10.1	实习目的与要求	87
10.2	电火花加工的产生、原理与特点	87
10.3	中走丝线切割机床	90
10.4	中走丝线切割机床实习基本操作	92
10.5	常见问题及分析处理	96
10.6	电火花成形机加工原理	97
10.7	实习报告	99
第11章	激光加工	101
11.1	实习目的与要求	101
11.2	激光雕刻加工原理与相关设备	101
11.3	非金属激光雕刻机实习	104
11.4	激光内雕机实习	107
11.5	实习报告	113
第12章	三维快速成形	115
12.1	实习目的与要求	115
12.2	三维快速成形技术原理与相关设备、软件	115
12.3	三维扫描仪实习部分	119
12.4	实习用3D打印机简介	122
12.5	实习报告	125
参考文献		126

第1章 工程材料及改性技术基础

1.1 工程材料的性能

材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,包括力学性能和物理、化学性能等;工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

1.1.1 力学性能

金属材料的力学性能是材料在力的作用下所表现出来的性能。力学性能对金属材料的使用性能和工艺性能有着非常重要的影响。金属材料的力学性能有:强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度等。在机械制造行业中,采用工程材料制成机械零件,这些机械零件在使用中要承受外力。如果外力作用使零件破坏或不能正常使用,称为失效。机械零件的设计过程是根据工程材料的性能,保证零件在使用期间不会发生失效。

衡量工程材料力学性能的指标主要有强度(屈服强度、抗拉强度)、硬度和冲击韧性,其中:

屈服强度:材料所能承受外力作用而不发生塑性变形的最大应力值。

抗拉强度:抵抗外力作用而不发生断裂的最大应力值。

硬度:抵抗异物侵入的能力。

冲击韧性:抵抗外力冲击作用的能力。

这些性能指标是通过试验结果来表征该材料性能的量化指标。

(1) 强度 材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为材料的强度。根据外力的作用方式,材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上多以弹性极限、屈服点和抗拉强度作为基本的强度指标,强度单位为 MPa (MN/m^2)。

弹性极限外力去掉后,变形立即恢复,这种变形称为弹性变形,其应变值很小,在不出现塑性变形前的最大应力称为弹性极限。

屈服点超过弹性极限后,曲线较为平坦,不需要进一步的增大外力,便可以产生明显的塑性变形,该现象称为材料的屈服现象。当金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力称为屈服强度。

抗拉强度经过一定的塑性变形后,必须进一步增加应力才能继续使材料变形。材料抵抗外力而不致断裂的最大应力值为抗拉强度。

(2) 强度试验与强度极限 外力作用于工程材料表面,并在工程材料内部传递,就会形成内应力。当内应力达到一定值时,材料会发生破坏。外力作用分为两类,即拉力和压力,一般都将工程材料制成如图 1-1 的试样,试样直径为 D ,两端较粗的为夹持部位。

将试样的夹持部位固定在拉力试验机上,逐步增大试验拉力。随着拉力增大,试样也在

伸长, 在达到一定实验拉力 F_e 以前, 松开试样能恢复原有长度, 这个阶段称为弹性变形阶段, 材料性能满足物理学上的胡克定律。超过拉力 F_e 以后, 松开试样就不能恢复原有长度, 就进入塑性变形阶段。当达到拉力 F_m 时, 即使不增大拉力, 试样也在伸长, 并出现局部变细, 称为颈缩, 直至试样断裂。

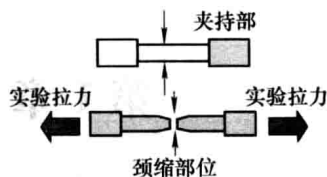


图 1-1 拉伸试样和颈缩

也有的材料试样不发生明显塑性变形就出现断裂, 这类材料被称为脆性材料。而那些有比较明显塑性变形阶段的材料称为塑性材料, 材料的塑性可以用断裂后试样截面积的最大缩减量 $(S_0 - S_n)$ 与原始截面积 S_0 之比的百分数表示, 称为断面收缩率 Z ; 也可以用试样拉断后标距长度的伸长量与标距原始长度比值的百分数表示, 称为断后伸长率 A 。

材料发生屈服时, 屈服强度指金属材料呈屈服现象时, 发生塑性变形而力不增加的应力点, 分上屈服强度和下屈服强度。上屈服强度指试样发生屈服而力首次下降前的最高应力 (R_{eH}); 下屈服强度指在屈服期间不计初始瞬时效应时的最低应力 (R_{eL})。

(3) 硬度试验与硬度 材料抵抗硬物体压入的能力称为硬度。

硬度试验如图 1-2 所示, 在硬度试验机上, 采用不同材质和形状的试验压头, 在标准试验压力作用下, 压入材料表面, 然后测量留在材料表面压痕的面积或深度, 来表征材料的硬度。

常用的材料硬度试验设备有布氏硬度计、洛氏硬度计和维氏硬度计, 其中, 布氏硬度常用单位是 HBW, 洛氏硬度常用单位是 HRA ~ HRC, 而维氏硬度单位是 HV, 数值越大, 则表示被实验材料的硬度越高。

(4) 冲击试验与冲击韧性 材料在冲击载荷作用下抵抗变形和断裂的能力称为冲击韧性, 常采用一次冲击试验来测量。

冲击试验先将材料制成如图 1-3 所示的标准试样, 然后固定在冲击试验机上。试验机摆锤利用 h_1 高度势能冲击试样, 试样会从缺口处断开。冲断试样后摆锤仍会继续摆动, 并达到一定的高度势能 h_2 。冲击实验中摆锤所消耗的冲击功与试样缺口断面面积的比值为该材料的冲击韧性 a_k , 单位是 J/cm^2 。

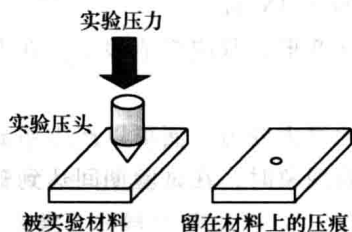


图 1-2 硬度试验和压痕

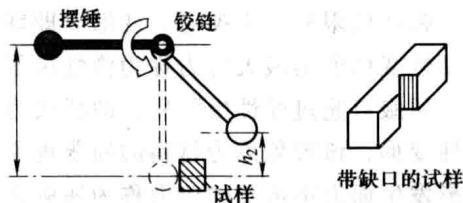


图 1-3 冲击试验与试样

(5) 疲劳强度 机械零件, 如轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等, 在工作过程中各点的应力随时间做周期性的变化, 这种随时间做周期性变化的应力称为交变应力 (也称循环应力)。在交变应力的作用下, 虽然零件所承受的应力低于材料的屈服强度, 但经过较长时间的工作后产生裂纹或突然发生完全断裂的现象称为金属的疲劳。

材料在无限多次交变载荷作用下,不会产生破坏的最大应力,称为疲劳强度或疲劳极限。实际上,金属材料并不可能做无限多次交变载荷试验。一般试验时规定,钢在经受 10^7 次,非铁(有色)金属材料经受 10^8 次交变载荷作用而不产生断裂时的最大应力称为疲劳强度。

为了防止或减少零件的疲劳破坏,除应合理设计结构防止应力集中外,还要尽量减小零件表面粗糙度值,采取表面硬化处理等措施来提高材料的抗疲劳能力。

1.1.2 物理、化学性能

(1) 物理性能 工程材料的物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等,各种机械零件由于用途不同,对材料的物理性能要求也有所不同。

(2) 化学性能 金属及合金的化学性能主要指它们在室温或高温时抵抗各种介质的化学侵蚀能力,主要有耐蚀性、抗氧化性和化学稳定性。

1.1.3 工艺性能

材料的工艺性能是物理、化学和力学性能的综合,指的是材料对各种加工工艺的适应能力,包括成型性、可锻性、焊接性、可加工性和热处理性能。工艺性能的好坏直接影响零件的加工质量和生产成本,所以它也是选材和制订零件加工工艺必须考虑的因素之一。有关工艺性能的内容在后续章节会专门讨论。

1.2 工程材料基础

1.2.1 工程材料的分类

在工程上通常按材料的化学成分、结合键的特点将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料等几大类。

(1) 金属材料 由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能,因此金属材料是目前应用最广泛的材料。工业上通常把金属材料分为两大类:一类是黑色金属,它是指铁、锰、铬及其合金,其中以铁为基的合金——钢和铸铁应用最广,占整个结构和工具材料的80%以上。另一类是有色金属,它是指除黑色金属以外的所有金属及其合金,如铝及其铝合金、铜及铜合金等。

(2) 高分子材料 高分子材料是指相对分子质量很大的化合物,它们的相对分子质量可达几千甚至几百万以上。高分子材料包括塑料、橡胶等。因其原料丰富,成本低,加工方便等优点,发展极其迅速。

(3) 陶瓷材料 陶瓷材料是指以天然硅酸盐(粘土、石英、长石等)或人工合成化合物(氮化物、氧化物、碳化物等)为原料,经粉碎、配置、成型和高温烧结而成的无机非金属材料。

陶瓷材料一般归纳为工程陶瓷和功能陶瓷两大类。

(4) 复合材料 采用两种或多种物理和化学性能不同的材料,制成一种多相固体材料,称为复合材料。复合材料是由基体材料(树脂、金属、陶瓷)和增强剂(颗粒、纤维、晶

须) 复合而成, 它既保持所组成材料的各自特性, 又具有组成后的新特性。

1.2.2 钢铁材料基础

我们正处在一个材料革命的时代, 据称每年世界上约有 6000 种新型材料诞生。目前在机械制造行业使用的主要还是金属材料, 其中钢约占 75%, 其他为铜、铝等有色金属。

金属经过冶炼过程, 从液态结晶成固态。在结晶过程中生成很多晶粒, 这些晶粒一直成长到互相之间构成边界为止。铁碳合金晶粒的大小、晶粒内部结构、铁素体和渗碳体的形状与分布状态等被称为组织。

当化学成分相同的钢材具有不同组织时, 其力学性能会有很大差异。如图 1-4 所示, 一般认为组织致密而均匀的材料综合力学性能比较好。

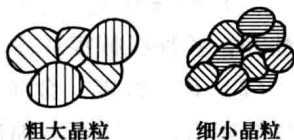


图 1-4 钢的组织示意图

(1) 钢的分类 钢的分类方法很多, 下面介绍几种常用的分类方法。

1) 按钢的化学成分分类。

$w_c < 2.11\%$ 的铁碳合金称为碳素钢。碳素钢按照 w_c 可分为:

低碳钢: $w_c \leq 0.25\%$; 中碳钢: $0.25\% < w_c \leq 0.60\%$; 高碳钢: $w_c > 0.60\%$ 。

为了提高钢的某些性能或获得某种特殊的性能, 炼钢时特意加入某种或几种元素, 这样得到的钢称为合金钢。按照合金元素的质量分数分类:

① 低合金钢。其中全部合金元素总的质量分数 $w_{Me} \leq 5\%$ 。

② 中合金钢。其中全部合金元素总的质量分数 $5\% \leq w_{Me} \leq 10\%$ 。

③ 高合金钢, 其中全部合金元素总的质量分数 $w_{Me} \leq 10\%$ 。

2) 按钢的用途分类。

① 结构钢。这类钢主要用于制造各类工程构件 (如桥梁、船舶、建筑物等) 及各种机器零件 (如齿轮、螺钉、螺母、连杆等)。

② 工具钢。这类钢主要用于制造各种刀具、量具和模具。

③ 特殊性能钢。具有特殊的物理或化学性能的钢, 主要有耐热钢、耐磨钢和不锈钢等。

3) 按钢的质量分类。主要按钢中有害杂质硫、磷含量不同分为: 普通质量钢 ($w_s \leq 0.05\%$, $w_p \leq 0.045\%$)、优质钢 ($w_s, w_p \leq 0.035\%$)、高级优质钢 ($w_s, w_p \leq 0.03\%$)。

(2) 碳素钢的牌号及用途

1) 普通碳素结构钢。普通碳素结构钢是工程上应用最多的钢种。牌号由代表屈服强度的拼音字母“Q”、屈服强度数值 (单位为 MPa)、质量等级符号、脱氧方法等组成。质量等级 A、B、C、D, 表示硫、磷含量不同, 其中 A 级质量最低, D 级质量最高; 脱氧方法用 F (沸腾钢)、B (半镇静钢)、Z (镇静钢)、TZ (特殊镇静钢) 表示, 牌号中的“Z”和“TZ”可以省略。例如 Q235AF, 表示屈服强度为 235MPa, 质量等级为 A 级的沸腾普通碳素结构钢。

碳素结构钢具有较高的强度和良好的塑性、韧性, 工艺性能 (焊接性、冷变形成形性) 优良, 用于一般工程结构、普通机械零件, 如建筑、桥梁、螺钉等。在热轧态直接使用。

2) 优质碳素结构钢。这类钢中有害杂质及非金属夹杂物含量较少, 化学成分控制得较严格, 塑性和韧性较高, 多用于制造较重要的零件。优质碳素结构钢牌号由两位数字或数字

与特性符号组成。以两位阿拉伯数字表示碳的平均质量分数（以万分之几计）。沸腾钢和半镇静钢在牌号尾部分别加符号“F”和“B”，镇静钢一般不标符号。较高含锰量的优质碳素结构钢，在表示平均碳的质量分数的阿拉伯数字后面加锰元素符号。例如： $w_c = 0.45\%$ 的钢，其牌号表示为“45”。高级优质碳素结构钢，在牌号尾部加符号“A”。

优质碳素结构钢主要用来制造各种机械零件，一般须经热处理后使用，以充分发挥其性能潜力。

3) 碳素工具钢。碳素工具钢牌号一般由代表碳的符号“T”与阿拉伯数字组成，其中数字表示碳的平均质量分数（以千分之几计）。例如 T12A 钢，表示 $w_c = 1.2\%$ 的高级优质碳素工具钢。碳素工具钢生产成本较低，加工性能良好，可用于制造低速、手动刀具及常温下使用的工具、模具、量具等，在使用前要进行热处理。

1.2.3 合金钢的牌号与用途

(1) 合金结构钢的编号 合金结构钢的编号是以“两位数字 + 元素符号 + 数字 + …”的方法表示。两位数字表示碳的平均质量分数的万分率，用元素的化学符号表明钢中主要合金元素，质量分数由其后面的数字标明，一般以百分之几表示。凡合金元素的平均含量小于 1.5% 时，钢号中一般只标明元素符号而不标明其含量。如果平均质量分数为 1.5% ~ 2.49%、2.5% ~ 3.49% …… 时，相应地标以 2、3 ……。如为高级优质钢，则在其钢号后加“A”。例如 60Si2Mn 表示 $w_c = 0.60\%$ ，主要合金元素 $w_{Mn} = 1.5\%$ ， $w_{Si} = 1.5\% \sim 2.5\%$ 的合金结构钢。

(2) 合金工具钢的编号 合金工具钢的牌号以“一位数字（或没有数字）+ 元素 + 数字 + …”表示。编号方法与合金结构钢大体相同，区别在于含碳量的表示方法，钢号前表示其平均含碳量的是一位数字，为其千分数，当 $w_c \geq 1.0\%$ 时，则不予标出。合金工具钢 5CrMnMo，平均碳质量分数为 0.5%，主要合金元素 Cr、Mn、Mo 的质量分数均在 1.5% 以下。

高速工具钢是一类高合金工具钢，其钢号中一般不标出含碳量，仅标出合金元素符号及其平均含量百分数。如 W18Cr4V 钢的合金元素含量则约为 $w_w = 18\%$ 、 $w_{Cr} = 4\%$ 和 $w_v = 1\%$ ， $w_c = 0.7\% \sim 0.8\%$ 。包括刀具钢、量具钢和模具钢等，主要用于制造各种重要的工具。

(3) 特殊性能钢的编号 特殊性能钢的牌号的表示方法与合金工具钢的表示方法基本相同，如不锈钢 95Cr18 表示钢中碳的平均质量分数为 0.95%，铬的平均质量分数为 18%。但也有少数例外，不锈钢、耐热钢在碳质量分数较低时，表示方法有所不同，若碳的平均质量分数小于 0.08% 时，则在钢号前冠以“06”来表示其平均质量分数，如 06Cr18Ni9。特殊性能钢包括耐热钢、不锈钢、耐磨钢等，主要用于制造有特殊物理、化学、力学性能要求的工件。

(4) 铸铁的分类、牌号和用途 铸铁是 $w_c > 2.11\%$ 的铁碳合金。工业上所用铸铁的碳的质量分数一般为 2.5% ~ 4.0%，硅、锰、硫、磷等杂质的含量比钢高。与钢相比，虽然铸铁的抗拉强度、塑性、韧性较差，但是由于它具有良好的减振性、耐磨性、抗压强度和易于铸造、切削加工，而且价格低等优势，在工业上得到广泛应用，尤其在机床、汽车、拖拉机等制造业中占有重要地位。根据碳在铸铁中的存在形式不同，可以将铸铁分为以下几种类型。

1) 白口铸铁。白口铸铁中的碳绝大部分以渗碳体的形式存在（少量的碳溶入铁素体），

因其断口呈白亮色,故称白口铸铁。其组织中都含有莱氏体组织。由于性脆,很难加工,工业上很少用来做机械零件,主要用于炼钢原料或表面要求高耐磨的零件。

2) 灰铸铁。灰铸铁中的碳全部或大部分以石墨的形式存在,其断口呈灰暗色。灰铸铁石墨呈片状形态,具有较高的抗压强度和耐磨性,以及良好的铸造性能和切削加工性能,成本低,主要用于制造机床床身、底座、齿轮箱发动机缸体等。

灰铸铁的牌号以“HT”和三位数字组成。其中数字表示最低抗拉强度值,如 HT200 表示最低抗拉强度值为 200MPa 的灰铸铁。

3) 球墨铸铁。球墨铸铁中的石墨呈球状形态,其强度可以与钢相比,有一定的塑性和韧度,耐热性、耐蚀性和耐磨性也较好,并且具有好的铸造性、可加工性和减振性。可用于制造柴油机的曲轴、连杆、齿轮、凸轮轴等受力复杂、载荷较大的重要零件。

球墨铸铁的牌号以“QT”和两组数字组成。前一组数字表示最低抗拉强度值,后一组数字表示断后伸长率。如 QT600—02 表示最低抗拉强度值为 600MPa,断后伸长率不小于 2% 的球墨铸铁。

4) 可锻铸铁。可锻铸铁中的石墨呈团絮状形态,它是由白口铸铁经退火获得的,与灰铸铁相比具有较高的强度,较好的塑性和韧度,故被称为可锻铸铁,但实际并不可锻造。主要用于制造形状复杂、承受冲击载荷的薄壁中小零件,如汽车、拖拉机的制动器、管接头等。

可锻铸铁的牌号以“KTH”、“KTB”和两组数字组成。前一组数字表示最低抗拉强度值,后一组数字表示断后伸长率。如 KTH300—06 表示最低抗拉强度值为 300MPa,断后伸长率不小于 6% 的黑心可锻铸铁,如 KTB450—06 表示最低抗拉强度值为 450MPa,断后伸长率不小于 6% 的白心可锻铸铁。

5) 蠕墨铸铁。蠕墨铸铁中的石墨呈蠕虫状形态,性能介于相同基体组织的球墨铸铁和灰铸铁之间,强度、韧性、疲劳强度、耐磨性及耐热疲劳性比灰铸铁高,断面敏感性也小,但塑性、韧性都比球墨铸铁低。蠕墨铸铁的铸造性能、减振性、导热性及可加工性优于球墨铸铁,抗拉强度接近球墨铸铁,主要用于排气管、变速箱体、气缸、液压件、钢锭模具等。

蠕墨铸铁的牌号由 RuT 和一组数字组成。数字表示最小抗拉强度值(MPa)。如 RuT340 表示最低抗拉强度值为 340MPa 的蠕墨铸铁。

6) 麻口铸铁。麻口铸铁中碳的形态介于白口铸铁和灰铸铁之间,一部分以渗碳体形式存在,另一部分以石墨形式存在,具有较大的硬脆性,工业上很少用作机械零件。

1.3 钢的热处理

钢的热处理是将钢在固态下加热到预定的温度,保温一定时间,然后以预定的方式冷却到室温,来改变其内部的组织结构,以获得所需性能的一种热加工工艺。热处理可大幅度改善金属材料的工艺性能和使用性能,绝大多数机械零件必须经过热处理后方可使用。正确的热处理工艺还可以消除钢材经铸造、锻造、焊接等热加工工艺造成的各种缺陷,细化晶粒、消除偏析、降低内应力,使组织和性能更加均匀。

热处理可以分为普通热处理(包括退火、正火、淬火和回火等)和表面热处理(包括表面淬火处理和化学热处理等)两种。

1.3.1 钢的普通热处理

钢的普通热处理工艺是指根据钢在加热和冷却过程中的组织转变规律制订的具体加热、保温和冷却的工艺参数。热处理工艺曲线如图 1-5 所示。

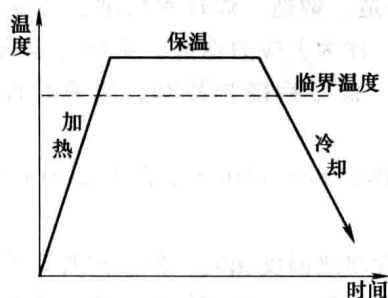


图 1-5 热处理工艺曲线

退火和正火是生产中应用很广的预备热处理工艺，安排在铸造、锻造之后，切削加工之前，用以消除前一道工序所带来的某些缺陷，为随后的工序做准备。例如，经铸造、锻造等热加工以后，工件中往往存在残余应力，硬度偏高或偏低，组织粗大，成分偏析等缺陷，经过适当的退火或正火处理可使工件的内应力消除，调整硬度以改善切削加工性能，使组织细化、成分均匀，从而改善工件的力学性能并为随后的淬火作准备。对于一些受力不大、性能要求不高的机器零件，也可作最终热处理。

(1) 退火 退火是把钢加热到适当的温度，经过一定时间的保温，然后缓慢冷却（一般为随炉冷却），以获得接近平衡状态组织的热处理工艺。其主要目的是减小钢的化学成分及组织的不均匀性，细化晶粒，降低硬度，消除内应力，以及为淬火做好组织准备。

退火的种类很多，根据加热温度可分为完全退火、球化退火、扩散退火、再结晶退火及去应力退火等，如图 1-6 所示。

1) 完全退火。完全退火又称重结晶退火，是把钢加热至 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 并保温一定时间后随炉缓冷的工艺。完全退火的目的在于，通过完全重结晶，使热加工造成的粗大、不均匀的组织均匀并细化，以提高性能；或使中碳以上的碳钢和合金钢得到接近平衡状态的组织，以降低硬度，改善可加工性。由于冷却速度缓慢，还可消除内应力。

2) 球化退火。球化退火是在 $760 \sim 830^{\circ}\text{C}$ 的温度下加热，保温较长时间后缓冷到 600°C 以下，再出炉空冷的热处理工艺。

球化退火的目的是使二次渗碳体及珠光体中的渗碳体球状化（退火前正火将网状渗碳体破碎），以降低硬度，改善切削加工性能，并为以后的淬火做组织准备。

3) 扩散退火。为减少钢锭、铸件或锻坯的化

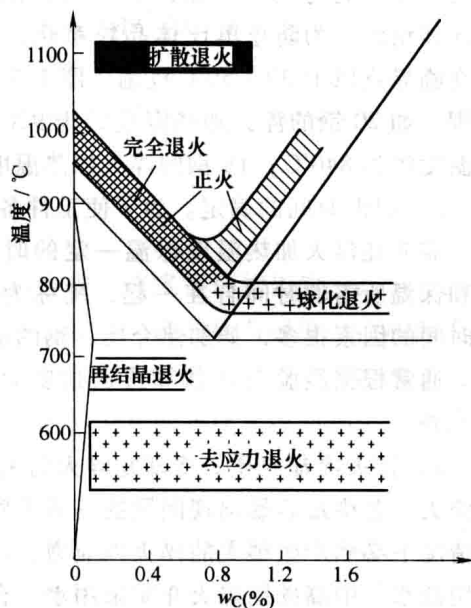


图 1-6 各种退火与正火的加热温度范围

学成分和组织不均匀性, 将其加热到略低于固相线 (固相线以下 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$) 的温度, 长时间保温 ($10 \sim 15\text{h}$), 并进行缓慢冷却的热处理工艺, 称为扩散退火或均匀化退火。其目的是为了消除晶内偏析, 使成分均匀化, 其本质是使钢中各元素的原子在奥氏体中进行充分扩散。

4) 去应力退火。为消除铸造、锻造、焊接和切削、冷变形等冷热加工在工件中造成的残余内应力而进行的低温退火, 称为去应力退火。去应力退火是将钢件加热至低于 A_{c1} 的某一温度 (一般为 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$), 保温后随炉冷却, 这种处理可以消除约 $50\% \sim 80\%$ 的内应力。

(2) 正火 钢材或钢件加热到 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$, 保温适当时间后, 在自由流动的空气中均匀冷却的热处理工艺称为正火。

正火与完全退火相比, 二者加热温度相同, 但正火冷却速度较快, 转变温度较低, 所得的组织比退火细。因此, 正火钢的强度、硬度较高, 生产率较高。

正火工艺是比较简单经济的热处理方法, 在生产中应用较广泛。

从改善切削加工性能的角度出发, 低碳钢宜采用正火; 中碳钢既可采用完全退火, 也可采用正火; $w_c = 0.45\% \sim 0.6\%$ 的高碳钢则必须采用完全退火; $w_c > 0.8\%$ 的钢用正火消除网状渗碳体后再进行球化退火。

(3) 淬火 将工件加热到一定温度 (一般大于 750°C) 保温后, 快速冷却 (一般在水、盐水或油等介质中冷却), 使奥氏体转变为马氏体 (或下贝氏体) 的热处理工艺称为淬火。

马氏体强化是钢的主要强化手段, 例如: T8 钢退火后硬度约为 25HRC, 用水淬火后硬度可达 $60 \sim 62\text{HRC}$ 。因此淬火的目的是提高钢的强度、硬度和耐磨性。淬火是钢的最重要的热处理工艺, 也是热处理中应用最广的工艺之一。

1) 淬火温度的确定。淬火温度即钢的奥氏体化温度, 是淬火的主要工艺参数之一。它的选择应以获得均匀细小的奥氏体 (符号为 A) 组织为原则, 使淬火后获得细小的马氏体组织。为防止奥氏体晶粒粗化, 其加热温度一般限制在临界点以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围。图 1-7 是碳钢的淬火温度范围。如 20 钢的淬火加热温度约为 920°C ; 45 钢的淬火加热温度约为 840°C ; T8 钢的淬火加热温度约为 790°C 等。

2) 保温时间的确定。为了使工件各部分均完成组织转变, 需要在淬火加热温度保温一定的时间, 通常将工件升温 and 保温所需的时间合在一起, 统称为加热时间。影响加热时间的因素很多, 如加热介质、钢的成分、炉温、工件的形状及尺寸、装炉方式及装炉量等。通常根据经验公式估算或通过实验确定。一般当量壁厚为 1mm 的碳钢件, 保温时间约 1min 。

3) 淬火冷却介质。冷却是淬火的关键工序, 它关系到淬火质量的好坏, 同时, 冷却也是淬火工艺中最容易出现问题的工序。淬火是冷却非常快的过程, 但是, 在冷却速度快的情况下必然产生很大的淬火内应力, 往往会引起工件变形。一般情况下, 低碳钢淬火介质采用盐水, 中高碳钢淬火介质采用水, 合金钢采用油作为淬火介质。

此外, 为了防止工件变形、开裂或局部淬不硬等缺陷, 工件在浸入冷却介质时, 应注意

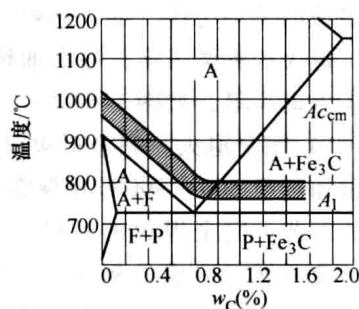


图 1-7 碳钢的淬火温度范围

浸入方式。如细长的工件（轴或钻头等）应垂直淬火浸入；壁厚不均的工件，应将较厚的部位先浸入；薄而平的工件应立着放入等，如图 1-8 所示。

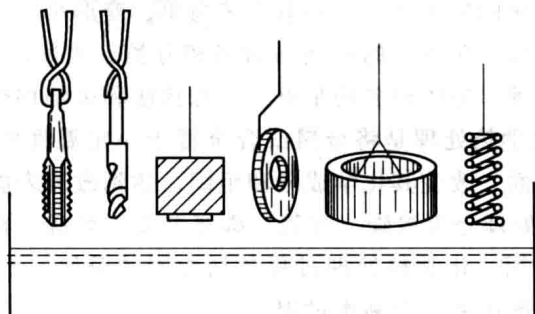


图 1-8 工件浸入淬火介质的方式

（4）回火 淬火后的钢重新加热到某一温度（一般 650°C 以下），保温一定时间，然后在油或空气中冷却到室温的热处理工艺，称为回火。淬火钢一般不直接使用，必须进行回火。因为经淬火后得到的马氏体性能很脆，存在组织应力，容易产生变形和开裂。可利用回火降低脆性，消除或减少内应力，获得稳定的组织和尺寸。通过不同温度的回火，可满足零件不同的使用要求，获得强度、硬度、塑性和韧性的适当配合。

按回火温度范围的不同，可将钢的回火分为三类：

1) 低温回火。回火温度范围一般为 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，硬度多为 $55 \sim 64\text{HRC}$ 。其目的在于部分消除淬火应力，显微裂纹大部分填合，即保持了淬火钢的高硬度、良好的耐磨性又适当提高了韧性。主要用来处理各种高碳钢工具、模具、滚动轴承以及渗碳和表面淬火的零件。

2) 中温回火。回火温度范围一般为 $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，硬度为 $35 \sim 45\text{HRC}$ 。其目的在于消除淬火应力，降低硬度，获得较高的弹性极限和屈服极限，并有一定的塑性和韧性。它多用于处理各种弹簧、锻模等工件。

3) 高温回火。回火温度范围一般为 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，淬火钢经高温回火后，硬度为 $25 \sim 35\text{HRC}$ ，在保持较高强度的同时，又具有较好的塑性和韧性，即综合力学性能较好。通常把淬火加高温回火的热处理称为调质处理，它广泛应用于处理各种重要的结构零件，如轴类、齿轮、连杆等。

1.3.2 钢的表面热处理

钢的表面热处理主要用以强化零件表面。机械制造业中，许多零件如齿轮、凸轮、曲轴等是在动载荷及摩擦条件下工作，表面要求高硬度、耐磨性好和高的疲劳强度，而心部应有足够的塑性和韧性，此时需要进行表面强化处理。常用的表面热处理工艺可分为两类：一类是只改变表面组织而不改变表面化学成分的表面淬火；另一类是同时改变表面化学成分和组织的表面化学热处理。

（1）表面淬火 很多承受弯曲、扭转、摩擦和冲击的机器零件，如轴、齿轮、凸轮等，要求表面具有高的强度、硬度和耐磨性，不易产生疲劳破坏，而心部则要求有足够的塑性和韧性。采用表面淬火可使钢的表面得到强化，满足工件这种“表硬心韧”的性能要求。

表面淬火是通过快速加热，在零件表面很快被加热到淬火温度而内部还没有达到淬火临

界温度时迅速冷却,使零件表面获得硬而耐磨的淬火马氏体组织,而心部仍保持塑性韧性较好的原始组织的局部淬火方法,它不改变工件表面的化学成分。

表面淬火是钢表面强化的方法之一,具有工艺简单、变形小、生产率高等优点,在生产中广为应用。表面淬火常以加热方式的不同而命名和分类,比如,火焰加热、电感应加热、电接触加热、电解液加热等。应用较多的是电感应加热法和火焰加热法。

(2) 化学热处理 化学热处理是将金属或合金置于一定温度的活性介质中保温,使一种或几种元素渗入它的表面,改变其化学成分和组织,达到改进表面性能、满足技术要求的热处理工艺。钢的化学热处理分为渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗硫、渗硼、渗金属(铝、铬)等,以渗碳和渗氮最为常用。化学热处理过程包括渗剂的分解、工件表面对活性原子的吸收、渗入表面的原子向内部扩散三个基本过程。

化学热处理后,再配合常规热处理,可使同一工件的表面与心部获得不同的性能。

1) 钢的渗碳。渗碳通常是指向低碳钢工件表面渗入碳原子,使工件表面达到高碳钢的含碳量。渗碳的主要目的是提高零件表层的含碳量,以提高表层硬度和耐磨性,同时保持心部的良好韧性。渗碳用钢为低碳钢及低碳合金钢,如20、20Cr、20CrMnTi等。

根据渗碳剂的不同,钢的渗碳可分为气体渗碳、固体渗碳和液体渗碳。最常用的是气体渗碳,其工艺方法是将工件置于密封的气体渗碳炉内,加热到临界温度以上(通常为900~950℃),使钢奥氏体化,按一定流量滴入易分解的液体渗碳剂(如煤油、苯、甲醇和丙酮),使之发生分解反应,产生活性碳原子,使其吸附在工件表面并向钢的内部扩散进行渗碳。

气体渗碳具有生产效率高、劳动条件好、容易控制、渗碳层质量较好等优点,在生产中广泛应用。

2) 钢的渗氮。渗氮是将钢的表面渗入氮原子以提高表层的硬度、耐磨性、疲劳强度及耐蚀性的化学热处理工艺,也称为钢的氮化。

氮化后零件的耐磨性提高,表面硬度比渗碳的还高,可达65~72HRC以上,这种硬度可以在500~600℃保持不降低,所以氮化后的钢件有很好的热稳定性。同时渗层一般处于压应力,疲劳强度高,但脆性较大。氮化层还具有一定的耐蚀性。氮化后零件变形很小,通常不需要再进行热处理强化。为了保证心部的力学性能,在氮化前应进行调质处理。对于形状复杂或精度要求高的零件,在氮化前、精加工后还要进行消除内应力的退火,以减少氮化时的变形。

目前较为常用的是气体渗氮法,即利用氨气在加热时分解出活性氮原子使其进行渗氮。由于氮化温度不高,所需的时间较长,要获得0.3~0.5mm厚的氮化层,一般需20~50h。

钢的渗氮适合于要求处理精度高、冲击载荷小、耐磨损能力强的零件,氮化虽然具有一系列优异的性能,但其工艺复杂、生产周期长、成本高,主要用于精度要求很高的零件,如精密齿轮、磨床主轴、精密机床丝杠等。