



机械工程实训教程

主审 马文采 主编 吕怡方 吴俊亮

本教材是根据教育部技术本、专科专业教学改革的需要，
按照最新颁布的工程材料与机械制造基础课程教学基本要求，
结合机械制造加工的实际，并考虑机械实训教学发展新形势的要求编写而成。
该书叙述简练、深入浅出、直观形象、图文并茂，具有较强的实用性和学科建设的前瞻性。



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

机械工程实训教程

主审 马文采

主编 吕怡方 吴俊亮

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程实训教程 / 吕怡方, 吴俊亮主编. — 济南:
山东科学技术出版社, 2010.10
ISBN 978-7-5331-5673-2

I. ①机… II. ①吕… ②吴… III. ①机械工程—高等学校—
教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 181181 号

机械工程实训教程

主编 吕怡方 吴俊亮

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdpublish.com.cn

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印刷者: 泰安福运达彩印包装有限公司

地址: 泰安市东开发区佛光路中段

邮编: 271000 电话: (0538) 8224403

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 16.5

版次: 2010 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-5673-2

定价: 28.00 元

内 容 提 要

本书是根据教育部技术本、专科专业教学改革的需要,按照最新颁布的工程材料与机械制造基础课程教学基本要求,结合许多院校教学改革经验和教学需求,组织有关专家、教授和一线教师编写的。目的是为了加强实践教学,拓宽学生的工程素质。全书共分为13章,主要内容包括车工、铣工、钳工、热处理、焊接、铸造、塑性成形、数控车、数控铣、加工中心和数控线切割等。本书坚持深广度适中、够用的原则。内容力求精选,讲求实用,图文并茂,便于学生课外自学。

本书可作为技术高等院校和职业技术学院机械类专业及近机械类本、专科专业的工程实训教材,还可供普通高校本、专科专业的有关学生和相关工程技术人员参考。

前 言

本教材是根据教育部技术本、专科专业教学改革的需要,按照最新颁布的工程材料与机械制造基础课程教学基本要求,结合机械制造加工的实际,并考虑机械实训教学发展新形势的要求,参考了许多院校的实训教材及技术文档编写而成。

教材具有如下特点:

(1)符合高等工科院校机械类专业的培养目标,以及教育部工程材料及机械制造基础课程指导小组制定的《高等工业学校机械制造实习教学基本要求》的精神。考虑到实训的现实要求,并具有一定的学科建设前瞻性。

(2)本教材结合了常规机械制造方法和数控加工技术,增加了数控加工自动编程技术一章。

(3)本书在坚持叙述简练、深入浅出、直观形象、图文并茂的同时,又不使章节篇幅过大。

本书由吕怡方、吴俊亮担任主编,刘延利、李作丽、孙芹、刘芬、黄书亮、周春梅、谢纪新、王国凡任副主编,马文采任主审,刘河洲任副主审。

其中:吕怡方编写第十章、吴俊亮编写第九章、刘延利编写第七章、李作丽编写第五、六章、孙芹编写第八章、刘芬编写第一、十一、十三章、黄书亮编写第二章、周春梅编写第四章、谢纪新编写第十一章、王国凡编写第三章、全书由吴俊亮、吕怡方统编,周春梅对全书进行了电子版的整理工作。

本教材在编写过程中得到了山东英才学院机械实训中心全体指导教师的热情帮助和支持,参考了有关教材和相关文献,在此向上述人员一并表示衷心的感谢。

限于编者水平有限,经验不足,时间仓促,书中难免存在错误疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 工程材料及热处理	(1)
1.1 材料的性能	(1)
1.2 常用金属材料	(2)
1.3 材料的选用	(5)
1.4 金属材料热处理	(6)
第 2 章 金属材料的塑性成形	(12)
2.1 塑性成形概述	(12)
2.2 塑性成形工艺基础	(13)
2.3 自由锻	(15)
2.4 模锻	(18)
2.5 板料冲压	(21)
2.6 金属材料塑性成形新工艺简介	(24)
第 3 章 焊接成形	(27)
3.1 概述	(27)
3.2 焊条电弧焊	(28)
3.3 气焊与气割	(39)
3.4 其他焊接方法	(45)
3.5 焊接变形与矫正	(49)
3.6 安全技术	(51)
第 4 章 铸造	(53)
4.1 铸造基础知识	(53)
4.2 型(心)砂	(54)
4.3 模样和心盒	(54)
4.4 手工造型	(55)
4.5 其他造型方法	(60)
4.6 铸铁的熔炼	(61)
4.7 铸件的浇注	(62)
4.8 铸件的常见缺陷	(64)

第 5 章 车镗加工	(65)
5.1 车削概述	(65)
5.2 车床概述	(65)
5.3 其他类型车床	(68)
5.4 车床附件及工件的安装	(70)
5.5 车刀	(73)
5.6 切削液的选择	(76)
5.7 卧式车床基本车削工艺	(76)
5.8 常用量具	(80)
5.9 镗削加工	(83)
5.10 车削加工安全技术要求	(85)
第 6 章 铣刨加工	(87)
6.1 铣床	(87)
6.2 铣刀和工件的安装	(90)
6.3 铣削工艺	(92)
6.4 铣齿轮	(96)
6.5 成形面	(97)
6.6 刨削加工	(97)
6.7 插削加工	(99)
6.8 安全技术	(100)
第 7 章 磨削加工	(102)
7.1 概述	(102)
7.2 砂轮	(102)
7.3 磨床	(106)
7.4 磨削加工	(108)
第 8 章 钳工	(113)
8.1 概述	(113)
8.2 划线	(115)
8.3 锯削	(118)
8.4 锉削	(121)
8.5 孔和螺纹加工	(123)
8.6 刮削	(128)
8.7 装配	(129)
8.8 典型钳工件示例	(130)
8.9 对称凹凸锉配示例	(132)

8.10 钳工实训安全操作规程	(133)
第9章 工艺基础知识和典型零件加工工艺分析	(135)
9.1 毛坯的选择	(135)
9.2 机械零件表面加工方法的选择	(135)
9.3 机械零件加工工艺路线(规程)的确定	(138)
9.4 典型零件的加工工艺分析实例	(138)
第10章 数控车工	(153)
10.1 数控加工概述	(153)
10.2 数控车床面板和基本操作	(154)
10.3 程序编辑及对刀操作	(156)
10.4 数控车削外轮廓程序编制	(158)
10.5 固定循环指令的用法	(163)
10.6 外轮廓加工实例	(172)
10.7 内轮廓加工实例	(176)
10.8 刀尖圆弧半径的补偿	(179)
10.9 用户宏程序	(182)
第11章 数控铣床和加工中心	(188)
11.1 数控铣床概述	(188)
11.2 数控铣削加工工艺	(190)
11.3 数控铣床的程序编制	(192)
11.4 FANUC系统操作简介	(204)
11.5 数控加工中心简介	(206)
11.6 数控机床实习安全操作规程	(207)
第12章 数控加工自动编程技术	(210)
12.1 数控车削自动编程	(210)
12.2 数控铣削自动编程	(222)
第13章 数控电火花线切割加工	(235)
13.1 电火花加工	(235)
13.2 电火花线切割加工概述	(236)
13.3 电火花线切割加工工艺	(240)
13.4 电火花线切割加工程序的编制	(243)
13.5 数控电火花线切割机床安全操作规程	(252)
参考文献	(254)

第 1 章 工程材料及热处理

材料是一切事物的物质基础,一种新技术的实现,往往需要新材料的支持。为了合理地选择和使用材料,充分发挥其作用,必须掌握工程材料的基本知识。本章将重点介绍金属材料性能、分类、应用以及材料的热处理工艺。

1.1 材料的性能

1.1.1 材料性能概述

工程材料的性能可分为使用性能和工艺性能两个方面。

1. 使用性能

在正常工作条件下,材料应具备的性能。包括力学性能(机械性能)、物理性能(密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、磁性等)和化学性能(耐腐蚀性、抗氧化性)等。

2. 工艺性能

材料在加工制造中表现出的制造难易程度,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。

在机械行业中选取材料时,一般将材料的力学性能作为主要依据。

1.1.2 材料的力学性能

材料的力学性能是指金属材料在外力(载荷)作用下所表现出来的特性,主要包括:弹性、刚度、强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

1. 强度

材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。材料的强度可以由拉伸试验测定,图 1-1 所示为低碳钢拉伸应力 σ —应变 ε 曲线。

工程中常用的强度指标有以下几个:

(1) 弹性极限 σ_e 。材料保持弹性变形,不产生永久变形的最大应力。

(2) 屈服极限 σ_s 。材料开始发生明显塑性变形时的应力。大部分材料没有明显的屈服现象,则用条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 来表示,即产生 0.2% 残余伸长率时的应力。

(3) 抗拉强度 σ_b 。材料断裂前所能承受的最大应力,即材料的强度极限。

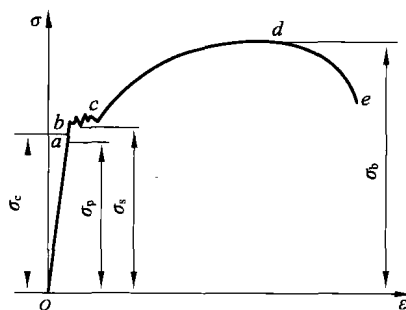


图 1-1 低碳钢拉伸应力 σ —应变 ε 曲线

2. 塑性

材料在外力作用下产生永久变形的能力称为塑性。主要指标是断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。 δ 和 ψ 越大,材料的塑性越好,工程上一般将 $\delta > 5\%$ 的材料称为塑性材料。

(1) 伸长率 δ 材料在拉伸断裂后,总伸长与原始标距长度的百分比。

(2) 断面收缩率 ψ 材料在拉伸断裂后, 缩颈断口处横截面积与原横截面积的百分比。

3. 硬度

材料在外力作用下抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度, 它是衡量材料软硬程度的性能指标。材料的硬度可以用硬度试验机测定, 常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(1) 布氏硬度 布氏硬度试验采用淬硬钢球或硬质合金钢球为压头, 以规定的压力压入材料表面, 经过规定的载荷保持时间后卸载, 测量压痕直径。通过查压痕直径与布氏硬度对照表可得出布氏硬度。布氏硬度用 HB 表示, 当压头采用淬硬钢球时, 记为 HBS; 当压头采用硬质合金钢球时, 记为 HBW。

布氏硬度测量数值稳定、准确, 但操作慢, 不适用批量生产和薄形件。主要用于铸铁、有色金属以及经过退火、正火和调质处理的钢等零件的硬度测量。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度试验常采用顶角为 120° 的金刚石锥体或直径为 1.59mm 的淬硬钢球为压头。根据压头的种类和载荷的大小, 洛氏硬度常用表示方法见表 1-1。

洛氏硬度测量操作简便, 压痕小, 可用于成品和薄形件。主要用于淬火钢, 调质钢等。

表 1-1 洛氏硬度分类

符号	压头	载荷	适用范围
HRC	120° 的金刚石锥体	150N	淬火钢等
HRB	$\phi 1.59\text{mm}$ 的淬硬钢球	100N	退火钢及有色金属
HRA	120° 的金刚石锥体	60N	薄板或硬脆材料

(3) 维氏硬度 维氏硬度试验常采用顶角为 136° 的金刚石正四棱锥体为压头, 且所加压力较小。可测量从极软到极硬的各种金属材料, 也可测量薄形件, 还可测量渗碳、渗氮层的硬度。

4. 冲击韧度 a_k

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧度。国际标准规定, 用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的夏氏冲击试样 ($10 \times 10 \times 55\text{mm}$, 带 2mm 深的 V 形缺口) 进行一次性打击, 摆锤冲断试样所做的功称为冲击吸收功, 用 A_k 值表示, 单位为 J (焦耳)。试样断口处单位横截面积上所消耗的冲击功记为冲击韧度, 用 a_k 表示, 单位为 J/m^2 。

材料的韧度通常随着加载速度的提高、温度的降低、应力程度的加剧而下降。冲击韧度对材料内部的缺陷很敏感, 可用于鉴定材料的冶金质量、热处理质量等。

1.2 常用金属材料

常用的金属材料包括: 黑色金属, 即铁和以铁为基体的合金, 如钢、铸铁等, 是现代工业应用最为广泛的金属材料; 有色金属 (又称非铁金属), 如铜和铜合金、铝和铝合金等。

1.2.1 钢

工业上将含碳量小于 2.11% 的铁碳合金称为钢。下面简单介绍几种常用钢的牌号、性能和用途。

1. 碳素钢

碳素钢也称为碳钢,它除含铁、碳外,还含有少量的锰、硅、硫、磷、氧、氮和氢等元素。碳钢具有良好的力学性能和工艺性能,并且冶炼方便,价格便宜,所以应用十分广泛。

碳素钢的分类方法有多种,按照钢的含碳量可以分为:低碳钢(含碳量小于等于0.25%)、中碳钢(含碳量在0.25%~0.6%之间)和高碳钢(含碳量大于等于0.6%);按照钢的冶炼质量(即钢中杂质硫、磷的含量)可以分为普通碳素钢($S \leq 0.055\%$, $P \leq 0.045\%$)、优质碳素钢($S \leq 0.04\%$, $P \leq 0.04\%$)和高级优质碳素钢($S \leq 0.03\%$, $P \leq 0.035\%$);按照钢的用途可以分为碳素结构钢、碳素工具钢和特殊性能用钢。在实际使用中,钢厂在给钢的产品命名时,往往将成分、质量和用途这三种分类方法结合起来,如优质碳素结构钢、高级优质碳素工具钢等。

(1) 普通碳素结构钢 含碳量在0.06%~0.38%之间,硫、磷的含量较高,一般在供应状态下使用,不需进行热处理。

牌号用Q+数字表示,“Q”表示屈服点,数字表示屈服强度的数值,单位为MPa。若牌号后标注字母A、B、C、D,则表示钢材中硫、磷的质量分数不同,其中A级钢含硫、磷的质量分数最高,钢材质量最低。

普通碳素结构钢价格便宜、产量较大,大量用于金属结构和机械零件,主要用于制造各种型钢、薄板、焊接件、螺钉、螺母、垫圈等一些力学性能要求不高的机器零件。典型牌号为Q235A。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢中的杂质元素含量较少,表面质量、组织结构的均匀性较好。具有较好的综合力学性能,并可经过热处理进一步改善力学性能,常用于制造各种机器零件和工程构件,如齿轮、轴、连杆等。

牌号用两位数字表示钢的平均碳的质量分数(含碳量)的万分数,如20钢表示含碳量为0.2%。典型牌号40钢、45钢。

(3) 优质碳素工具钢 牌号为T+数字,数字表示钢的平均碳的质量分数的千分数,如T7表示含碳量0.7%。主要用于制造各种刀具、模具和量具。典型牌号T7、T8、T10等。

2. 合金钢

为了提高钢的性能,在碳素钢的基础上加入各种合金元素所获得的钢种。

(1) 合金结构钢 牌号用两位数字(平均碳的质量分数的万分数)+合金元素符号+数字(合金元素质量分数,小于1.5%不标;1.5%~2.5%标2;2.5%~3.5%标3,其余依次类推)表示。如40Cr,表示含碳量0.4%,含铬量<1.5%。

合金结构钢的力学性能高于碳素结构钢,包括低合金高强度结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢等。在制造机械零件、工具、模具以及特殊性能工件方面有广泛应用。

(2) 合金工具钢 当平均碳含量 $\geq 1.0\%$ 时,不标出碳含量,牌号用元素符号+数字(合金元素质量分数)表示,如Cr12;当平均碳含量<1.0%时,以碳质量分数的千分之几表示。如9Mn2V,表示碳的质量分数为0.9%,Mn含量为2%,钒含量<1.5%。

高速工具钢的钢号一般不标出碳含量,只标出各种合金元素平均含量的百分之几。例如钨系高速钢的钢号表示为W18Cr4V,其碳的平均质量分数为0.7%~0.8%。

(3) 特殊性能钢 具有特殊的物理性能和化学性能,或作特殊用途的钢称为特殊性能

钢。如不锈钢、耐热钢和耐磨钢等。

牌号与合金工具钢的表示方法相同,例如不锈钢 2Cr13,其平均碳含量为 0.2%,Cr 的平均质量分数为 13%。

当钢中含碳量 $\leq 0.01\%$ 时,牌号前加 0;当钢中含碳量 $\leq 0.03\%$ 时,牌号前加 00。例如 00Cr17Ni14Mo2、0Cr18 Ni9 等。

(4) 特殊专用钢 为表示钢的用途,在钢的牌号前加以汉语拼音字母,而不标明含碳量。例如滚动轴承钢前面标注“G”,如 GCr15SiMn。

1.2.2 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11%,并含有较多硅、锰、硫、磷等元素的铁碳合金。铸铁的抗拉强度较低,韧性和塑性差,不能锻造。但铸铁的生产设备和工艺简单,价格便宜,且具有良好的铸造性能、切削加工性、减震性、减磨性,因此应用广泛。

铸铁中的碳以渗碳体或游离态的石墨形式存在,按照碳的存在形式可分为如下几种。

1. 白口铸铁

碳除少量溶于铁素体外,其余全部以化合物状态的渗碳体形式存在,断口呈银白色,硬度高、脆性大、难切削,工业上很少直接用于制造机器零件,一般用作可锻铸铁的坯件。

2. 麻口铸铁

碳既以化合状态的渗碳体形式存在,又以游离状态的石墨形式存在,断口夹杂着银白色的渗碳体和暗灰色的石墨,故称为麻口铸铁。

3. 灰铸铁

碳大部分或全部以游离态的片状石墨存在于铸铁中,断口呈灰色。硬度较低,塑性和韧性较差,但铸造性能和切削性能较好。主要用于制造机床床身、齿轮箱、刀架等(如箱体等)。灰铸铁的牌号为 HT+数字,数字表示最低抗拉强度(单位 MPa)。典型牌号有 HT200、HT300 等。

4. 可锻铸铁

石墨以团絮状存在于铸铁中,性能优于灰铸铁(但并不可锻),工艺复杂。主要用于制造具有一定承载能力的结构件。可锻铸铁的牌号为 KT+字母+数字,字母表示类别,数字表示最低抗拉强度和最低伸长率。典型牌号有 KTH350-10。

5. 球墨铸铁(球铁)

石墨以球状存在于铸铁中,性能在铸铁中最好,综合力学性能接近钢,在冲击负荷不大时可代替钢(如柴油机曲轴)。主要用于制造受力比较复杂的零件,如曲轴、齿轮、连杆等。球墨铸铁的牌号为 QT+数字,数字表示最低抗拉强度和最低伸长率。典型牌号有 QT450-10。

6. 蠕墨铸铁

石墨以蠕虫状存在于铸铁中,力学性能明显优于灰铸铁、劣于球铁,加工性能等优于球铁。常用于生产汽缸套、汽缸盖、液压阀等铸件。典型牌号有 RuT300 等。

1.2.3 有色金属及其合金

1. 铝及铝合金

(1) 纯铝 纯铝为银白色轻金属,具有良好的导电性、导热性和抗大气腐蚀能力,较好

的塑性和加工工艺性,但强度和硬度较低,不适宜制造承受载荷的结构零件。

(2) 变形铝合金 具有较高的强度和良好的塑性,可以通过压力加工制造各种型材。常用的有防锈铝合金(LF)、硬铝铝合金(LY)和锻铝铝合金(LD)。

(3) 铸造铝合金 具有良好的铸造性能和抗蚀性,广泛应用于航空、仪表以及机械制造等工业部门。按照主加元素的不同,可以分为铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金和铝锌合金。

铸造铝合金的牌号为 ZL+三位数字表示,第一位数字表示合金类别,如1表示铝硅合金、2 表示铝铜合金、3 表示铝镁合金、4 表示铝锌合金,后两位数字表示铝合金的顺序号。如 ZL102 表示 2 号铝硅铸造铝合金。

2. 铜及铜合金

(1) 纯铜 纯铜(又称紫铜),具有良好的导电性、导热性和抗大气腐蚀能力,较好的塑性,易于进行冷、热压力加工。常用于制造电线、电缆、电刷、铜管、铜棒和配制合金,不适宜制造受力较大的机器零件。

(2) 黄铜 以锌为主要合金元素的铜合金称为黄铜,按化学成分可分为普通黄铜和特殊黄铜。

普通黄铜(Cu—Zn):铜和锌的合金,锌加入铜中提高了强度、硬度、塑性和耐蚀性,并改善了铸造性能和切削性能。牌号为H+数字,数字表示铜的平均含量百分数。常用于制造弹壳、热交换器等零件。

特殊黄铜:是在普通黄铜的基础上加入少量 Mn、Si、Pb、Sn、Al 等元素,具有更好的力学性能和耐蚀性。特殊黄铜可分为压力加工用黄铜和铸造用黄铜两种。压力加工黄铜加入的合金元素较少,以保证其具有足够的变形能力。而铸造黄铜对塑性要求不高,为提高其强度和铸造性能,可加入较多的合金元素。特殊黄铜的牌号为H+主加元素符号+数字,数字依次为铜和主加元素的平均含量百分数。典型牌号: H96(加工黄铜),HPb60—1(特殊黄铜),ZH(铸造黄铜)。主要用于船舶及化工零件,如冷凝管、齿轮、螺旋桨、轴承、衬套及阀体等。

(3) 青铜 除了黄铜和白铜以外的其他铜合金统称为青铜。按主加元素的不同可以分为锡青铜、铝青铜、硅青铜和铍青铜等。青铜也可分为压力加工青铜和铸造青铜两类。

压力加工青铜的牌号为 Q+主加元素符号和含量+其他加入元素含量,例如 QA15 表示平均 Al 含量为 5% 的铝青铜。铸造青铜的牌号用 ZCu+主加元素符号和含量+其他加入元素符号和含量表示。例如 ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 表示平均含 Sn 量为 3%、含 Zn 量为 8%、含 Pb 量为 6%、含 Ni 量为 1%的铸造青铜。

1.3 材料的选用

选择材料的基本原则是:在保证材料满足使用性能的前提下,考虑使材料的工艺性能尽可能良好和材料的经济性尽量合理。

1. 根据零件工作条件,确定其使用性能要求

使用性能是指材料能保证零件正常工作所必须具备的性能。一般选材时,首要任务是正确地分析零件的工作条件和主要的失效形式,以便准确地判断零件所要求的主要力学性能指标。

(1) 分析工作条件 工作条件主要包括:受力状态(拉、压、弯、扭等);载荷性质(静载、冲击载荷、交变载荷等);工作温度(低温、室温、高温、交变温度等);环境介质(加润滑剂、接触酸、碱、盐、海水、粉尘等)。

(2) 判断主要失效形式 零件的失效形式与其特定的工作条件是分不开的。要深入现场,收集整理有关资料,进行相关的实验分析,判断失效的主要形式及原因,找出原设计的缺陷,提出改进措施,确定所选材料应满足的主要力学性能指标,为正确选材提供具有实用意义的信息,确保零件的使用效能和提高零件抵抗失效的能力。

(3) 根据使用性能选材时应注意的问题

1) 特别注意性能数据的可靠性和使用范围。一般来说,手册中提供的数据在查取时应充分考虑各种因素,进行必要的修正。

2) 充分考虑材料的尺寸效应。随着截面尺寸的增大,金属材料的力学性能将下降的现象,称为尺寸效应。例如,灰铸铁件壁厚不同,其最低抗拉强度也不同。

3) 零件的力学性能指标受预期寿命的影响。寿命越长,要求的指标越高,零件的生产和使用成本也会越高,所以,要辩证处理制造成本与寿命的关系。

(4) 工作环境对不同材料组织和性能的影响。

2. 兼顾材料的工艺性能

所谓工艺性能,一般是指材料适应某种加工的能力,或加工成零部件的难易程度。

3. 充分考虑经济性

经济性是选材时不能回避的问题,正确处理,能实现经济高效。选材时应注意以下几点:

(1) 尽量降低材料及其加工成本 在满足零件对使用性能与工艺性能要求的前提下,能用铁不用钢,能用非合金钢不用合金钢,能用硅锰钢不用铬镍钢,能用型材不用锻件、加工件,且尽量用加工性能好的材料。能正火使用的零件就不必调质处理。需要进行技术协作时,要选择加工技术好,加工费用低的工厂。

(2) 用非金属材料代替金属材料 非金属材料资源丰富,性能在不断提高,应用范围不断扩大,尤其是发展较快的聚合物具有很多优异性能,在某些场合可代替金属材料,既改善了使用性能,又可降低制造成本和使用维护费用。

(3) 零件的总成本 零件的总成本包括原材料价格、零件的加工制造费用、管理费用、试验研究费和维修费等。选材时不能一味追求原材料低价而忽视总成本的其他各项。另外,环保因素也是不容忽视的。

1.4 金属材料热处理

金属材料的热处理是将固态金属或合金采用适当的方法进行加热、保温和冷却,从而获得所需要的组织结构与性能的工艺。

热处理的基本工艺过程可用温度——时间关系曲线表示,如图 1-2 所示。钢在加热和冷却过程中的温度变化如图 1-3 所示。

热处理工艺可以消除上一工艺过程所产生的金属材料内部组织结构上的某些缺陷,改

善切削性能,还可进一步提高金属材料的使用性能,充分发挥材料的潜力。因此,大部分机器零件都要进行热处理。

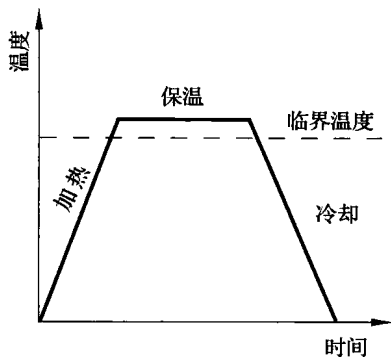


图1-2 热处理工艺曲线

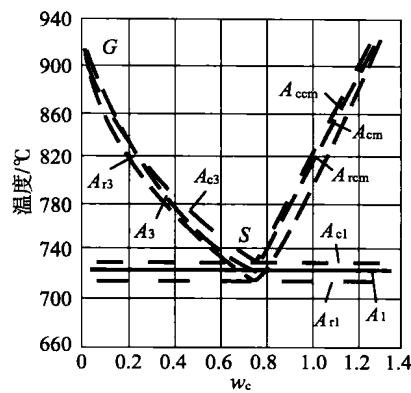


图1-3 钢在加热和冷却过程中的温度变化曲线

1.4.1 退火

退火是将金属或合金加热到适当温度,保温一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺。其目的是消除残余应力,稳定工件尺寸并防止其发生变形与开裂;降低硬度,提高塑性,改善切削加工性能;细化晶粒,改善组织,为最终热处理做准备。按金属成分和性能要求的不同,退火可分为如下几种。

1. 完全退火

完全退火的加热温度为 A_{c3} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$,保温一定时间后缓慢冷却(一般随炉冷却),获得接近平衡状态组织的退火工艺。完全退火的目的是通过完全重结晶细化晶粒,降低硬度,改善切削加工性能。完全退火主要用于亚共析钢的铸件、锻件、热轧型材和焊接件等。

2. 球化退火

球化退火的加热温度为 A_{c1} 以上 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$,保温一定时间后缓慢冷却到 600°C 以下出炉空冷,使钢件中碳化物球状化。球化退火主要用于共析、过共析钢的锻、轧件以及结构钢的冷挤压件,目的是使网状渗碳体球状化,降低硬度、提高韧性,改善切削性能,为淬火作组织准备。

3. 去应力退火

去应力退火是把零件缓慢加热到 A_{c1} 以下某一温度(一般为 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$),保温后缓慢冷却的热处理工艺。主要用于消除铸件、锻件、焊接件、冲压件和切削件的残余应力,以稳定尺寸,减少变形,防止开裂。

1.4.2 正火

正火是将金属或合金加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$,保温一定的时间后,在静止空气中冷却的热处理工艺。把钢件加热到 A_{c3} 以上 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 的正火则称为高温正火。

正火与退火类似,但冷却速度比退火快。钢件在正火后的强度和硬度比退火稍高,但消除残余应力不彻底。因为正火冷却较快、操作简便、生产效率高,所以,在可能的情况下,一般优先采用正火。低碳钢件多用正火代替退火。

各种退火与正火工艺的加热温度范围和工艺曲线如图 1-4 所示。

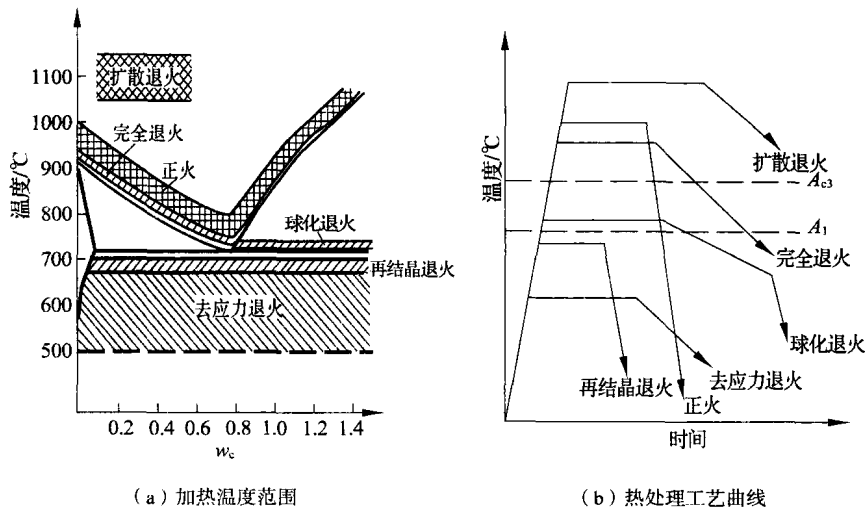


图1-4 各种退火与正火工艺示意图

1.4.3 淬火

淬火是将金属或合金加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上某一温度,保持一定时间,然后在水、油或其他无机盐溶液等介质中快速冷却获得马氏体和(或)贝氏体组织的热处理工艺。

淬火可以提高钢件的硬度和耐磨性,淬火与不同的回火工艺配合,可以获得各种需要的性能,是强化钢的主要方法。

1.4.4 回火

回火是钢件淬硬后,再加热至 A_{c1} 以下的某一温度,保温一定时间,然后冷却到室温的热处理工艺。其目的是稳定组织,减少内应力,降低脆性,获得所需性能。表 1-2 所示为常见的回火方法及其应用。

表1-2 常见的回火方法及其应用

回火方法	加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	力学性能特点	应用范围	硬度/HRC
低温回火	150~250	高硬度、耐磨性	刀具、量具、冷冲模等	58~65
中温回火	350~500	高弹性、韧性	弹簧、钢丝绳等	35~50
高温回火	500~650	良好的综合力学性能	连杆、齿轮及轴类	20~30

1.4.5 表面淬火

表面淬火是将钢件的表面层淬透到一定的深度,而心部仍保持未淬火状态的一种局部淬火方法。可以获得高硬度、高耐磨性的表面层和有利的残余应力分布,提高工件的硬度和耐磨性。

表面淬火加热的方法很多,如感应加热、火焰加热、电接触加热、激光加热等。目前应用最广的是电感应加热法,如图 1-5 所示。在一个感应线圈中通以一定频率的交流电(有高频、中频、工频三种),使感应圈周围产生频率相同的交变磁场,置于磁场之中的工件就会产生与感应线圈频率相同、方向相反的感应电流,这个电流叫作涡流。由于集肤效应,涡流主

要集中在工件表层。涡流所产生的电阻热使工件表层被迅速加热到淬火温度,随即向工件喷水,将工件表层淬硬。

感应电流的频率愈高,集肤效应愈强烈,故高频感应加热用途最广。高频感应加热常用频率为200~300kHz,其加热速度极快,通常只有几秒钟,淬硬层深度一般为0.5~2mm。主要用于要求淬硬层较薄的中、小型零件,如齿轮、轴等。

1.4.6 化学热处理

化学热处理是将金属或合金工件置于一定温度的活性介质中保温,使介质中分解出的一种或几种元素的活性原子渗入工件的表层,以改变其化学成分、组织结构和性能的热处理工艺。根据渗入元素的不同,可分为渗碳、渗氮、碳氮共渗和渗金属元素等,其中以渗碳应用最广。

渗碳是向钢的表层渗入碳原子,渗碳件都是低碳钢或低碳合金钢。其目的是提高钢件表层的含碳量和形成一定的碳浓度梯度。渗碳后工件表层的含碳量将增到1%左右,经过淬火和低温回火后,表面可以获得高硬度,而心部因仍然是低碳钢,故保持其良好的塑性和韧性。可以看出,渗碳工艺可使工件具有外硬内韧的性能。

渗碳的方法可以分为固体渗碳、盐浴渗碳和气体渗碳三种。应用较为广泛的为气体渗碳,如图1-6所示。渗碳时,通常是将钢件放入密闭的渗碳炉中,通入气体渗碳剂(如煤油、丙酮、甲醇等),加热到900~950℃,经较长时间的保温,使工件表层增碳。

渗碳主要用于既受强烈摩擦、又承受冲击或疲劳载荷的工件。如汽车变速箱齿轮、活塞销、凸轮、自行车和缝纫机零件等。

1.4.7 其他热处理工艺

1. 表面覆层处理

表面覆层热处理实质上是一种表面硬质材料沉积处理。通常用化学气相沉积法(CVD)和物理气相沉积法(PVD),在工件表层涂覆一层TiC、TiN等,能显著提高硬质合金及高速钢工具的耐磨性能,并获得优良的减摩性能。

2. 真空热处理

在真空中进行的热处理称为真空热处理。它包括真空淬火、真空退火、真空回火和真空化学热处理(真空渗碳、渗铬等)。

真空热处理是在1.331~0.0133Pa真空度的真空介质中加热工件,可以有效地减少钢件

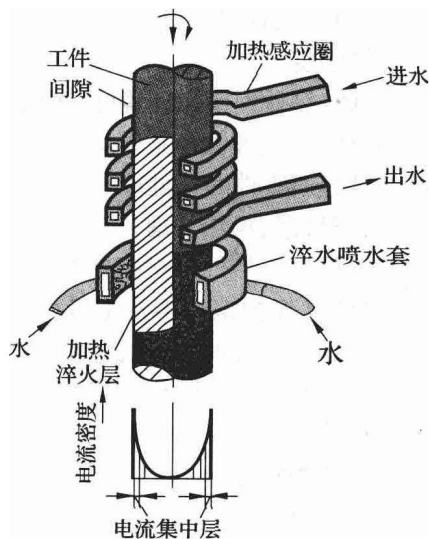


图1-5 电感应加热表面淬火

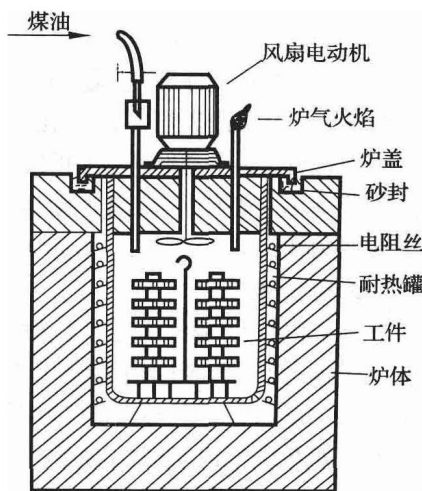


图1-6 气体渗碳法