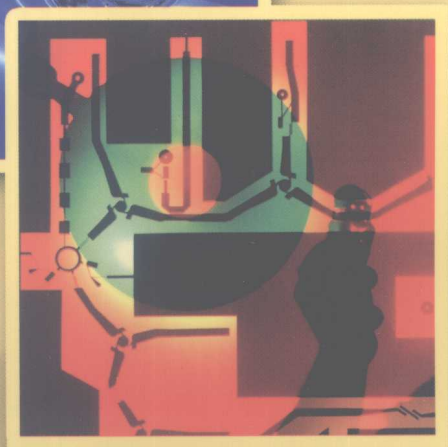
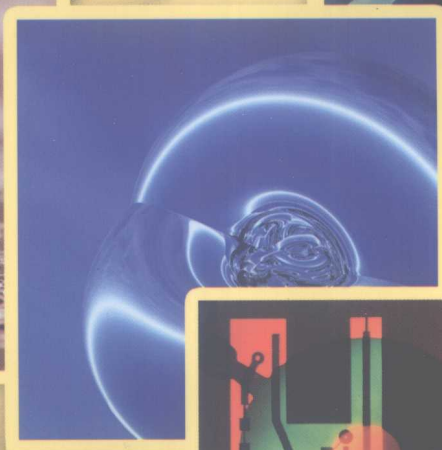
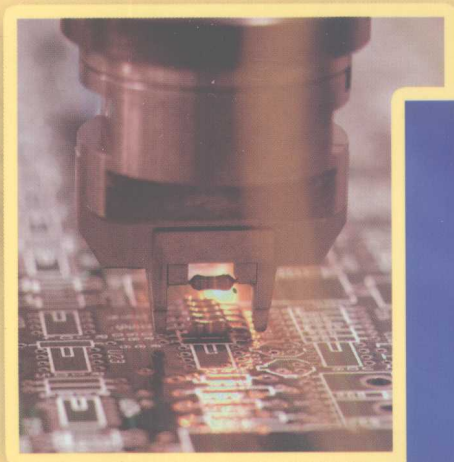


高职高专规划教材

机械设计基础

朱运利 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高 职 高 专 规 划 教 材

机 械 设 计 基 础

主 编 朱运利

副主编 李雪梅 诸 刚 张福顺

参 编 张 萍 欧阳志红 张文兵



机 械 工 业 出 版 社

本书对工程力学、工程材料和机械设计三门课程进行了整合。全书共分六章,分别是机械常用金属材料及热处理,物体的受力分析与平衡,构件的变形及强度、刚度计算,常用机构,机械传动,轴系零件等基本内容。各章配有适量的例题、思考题与习题。

本书主要作为高等职业技术教育机械设计基础课程的教材,也可作为相关专业和成人高等专科教育的选用教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/朱运利主编. —北京:机械工业出版社, 2006.8
高职高专规划教材
ISBN 7-111-19592-2

I. 机… II. 朱… III. 机械设计-高等学校:技
术学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 079152 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:宋学敏
责任编辑:崔占军 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新
封面设计:鞠 杨 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2006 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·8 印张·197 千字
0 001—4000 册
定价:13.00 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) 68326294
编辑热线电话(010) 68354423
封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是机械工业出版社职教分社组织编写的高职高专系列教材之一。在编写过程中,编者遵循对专业基础课程进行合理整合和优化的原则,打破了原课程的界限和体系,突出了工程力学、工程材料与机械设计间的紧密联系,进行了课程整合,力求体现“淡化理论、够用为度、培养技能和重在应用”的原则,以充分体现高职高专教育的特点。

本书覆盖面较大,在阐述机械设计知识前,提供了必要的基础知识,例如工程材料和工程力学方面的内容,使学生在有限的时间内最大限度地获取这三门课程的基本知识和基本技能,并能够完成简单的机械设计课题。

本书编写时充分考虑了使用对象和专业特点,在引出抽象的定义和概念时,尽可能从常见的物理现象和工程实际出发,力求做到严格、严密和严谨。在列出定理、定律和公式时,将数学推导过程尽量简化或从略,而主要着力于物理意义的阐述和定性分析。

本书所涉及的标准均为最新国家标准,并使用国家标准规定的名词术语和符号。

本书由北京电子科技职业学院朱运利担任主编,北京电子科技职业学院李雪梅、北京农业职业技术学院清河分院诸刚和北京电子科技职业学院张福顺担任副主编,参加编写的还有长治职业技术学院张萍、北京市计划劳动管理干部学院欧阳志红和北京工业职业技术学院张文兵。本书由北京工业职业技术学院张小亮主审。

由于编者水平有限和时间仓促,书中错误和不足之处在所难免,恳请大家批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论 1

- 0.1 机器的特征和组成 1
- 0.2 本课程的性质、任务 and 基本要求 3
- 思考与练习 3

第1章 机械常用金属材料

及热处理 4

- 1.1 金属材料的力学性能及工艺性能 4
- 1.2 钢的热处理 7
- 1.3 常用的金属材料 10
- 思考与练习 14

第2章 物体的受力分析与平衡 15

- 2.1 静力学基本概念 15
- 2.2 静力学公理 15
- 2.3 约束 16
- 2.4 受力图 19
- 2.5 平面汇交力系 20
- 2.6 力矩和平面力偶系 21
- 2.7 平面任意力系的简化 23
- 思考与练习 25

第3章 构件的变形及强度、

刚度计算 28

- 3.1 概述 28
- 3.2 基本概念 28
- 3.3 构件基本变形形式 29
- 思考与练习 40

第4章 常用机构 42

- 4.1 机构的结构分析 42
- 4.2 铰链四杆机构的基本类型和应用 45
- 4.3 凸轮机构 52
- 思考与练习 59

第5章 机械传动 61

- 5.1 带传动 61
- 5.2 齿轮传动的工作原理 69
- 5.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动 73
- 5.4 渐开线齿轮的切齿原理
及根切现象 78
- 5.5 斜齿圆柱齿轮传动 80
- 5.6 直齿锥齿轮传动 83
- 5.7 蜗杆传动机构 85
- 5.8 齿轮传动的失效、常用材料
及润滑 89
- 5.9 圆柱齿轮传动精度简介 91
- 5.10 轮系 92
- 思考与练习 97

第6章 轴系零件 100

- 6.1 轴 100
- 6.2 滑动轴承 105
- 6.3 滚动轴承 109
- 6.4 联轴器和离合器 118
- 思考与练习 123

参考文献 124

绪 论

0.1 机器的特征和组成

人类通过长期的生产实践，发明和制造了机器。在日常生活中，常见的机器有自行车、缝纫机、洗衣机和搅面机等；在生产生活中，常见的机器有汽车、拖拉机、各种机床和内燃机等。

机器的类型很多，用途也各不相同，但可以发现它们有很多共同的特征。

如图 0-1 所示的卷扬机，由电动机 1 通过联轴器 2 驱动减速器 4，减速器又通过联轴器 5 带动卷筒 6，卷筒的转动使钢丝绳完成升降来牵引重物的动作。一个机器主要是由电动机（原动机）、齿轮减速器（传动部分）、卷筒和钢丝绳（工作部分）等组成。

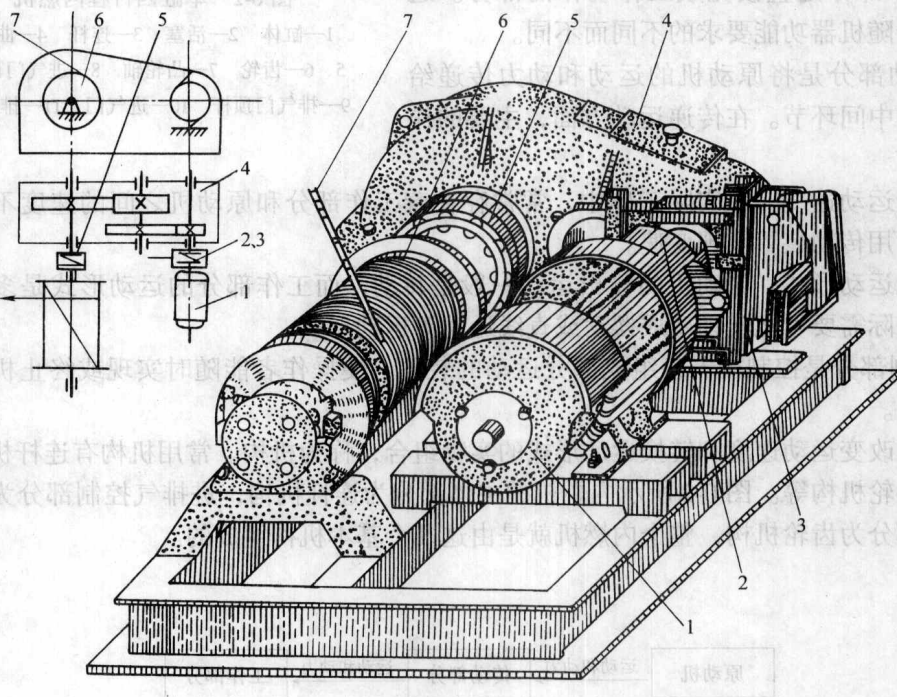


图 0-1 卷扬机

1—电动机 2、5—联轴器 3—制动器 4—减速器 6—卷筒 7—钢丝绳

又例如图 0-2 所示为单缸四行程内燃机，其中活塞 2、连杆 3、曲轴 4 和缸体 1（连同机架）组成主体部分，缸内燃烧的气体膨胀，推动活塞下行，通过连杆使得曲轴转动；凸轮轴 7、进排气阀顶杆 8、9 和机架组成进排气的控制部分，凸轮轴转动，使得气阀按时启闭，分别控制进气和排气；凸轮轴上的齿轮 5、曲轴上的齿轮 6 和机架组成传动部分，曲轴转动，

通过齿轮将运动传给凸轮轴。上述三个部分相互配合，共同保证整个内燃机协调地工作。

由以上两个实例可以说明，机器（Machine）具有三个共同特征。

- 1) 它们都是人为的各个实物的组合。
- 2) 各个实物之间具有确定的相对运动。
- 3) 它们都能代替或减轻人类的劳动，去完成机械功（如卷扬机牵引重物）或转换机械能（如内燃机将热能转换为机械能）。

同时可知，任何一台完整的机器通常都是由原动机、工作部分、传动部分和控制部分所组成，如图 0-3 所示。

1) 原动机是整个机器的动力部分，如卷扬机中的电动机。除最常用的电动机外，还有内燃机和蒸汽机等。原动机的作用是把其他形式的能转变为机械能，以驱动机器运动和做功。

2) 工作部分是直接完成工作动作的部分。通常工作部分随机器功能要求的不同而不同。

3) 传动部分是将原动机的运动和动力传递给工作部分的中间环节。在传递运动方面，主要的作用有：

①改变运动速度。在实际工作中，常常存在着工作部分和原动机之间的速度不协调现象，这时可用传动装置实现变速。

②转化运动形式。原动机的输出运动一般是转动，而工作部分的运动形式是多种多样的，根据实际需要可把转动变成摆动或直线运动等运动形式。

4) 控制部分是控制机器各组成部分运动的装置，使操作者能随时实现或终止机器的各种预定功能。

通常把改变运动速度和转换运动形式的实物组合，称为机构。常用机构有连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等。图 0-2 所示内燃机的主体部分为连杆机构，进排气控制部分为凸轮机构，传动部分为齿轮机构，整个内燃机就是由这几个基本机构组成的。

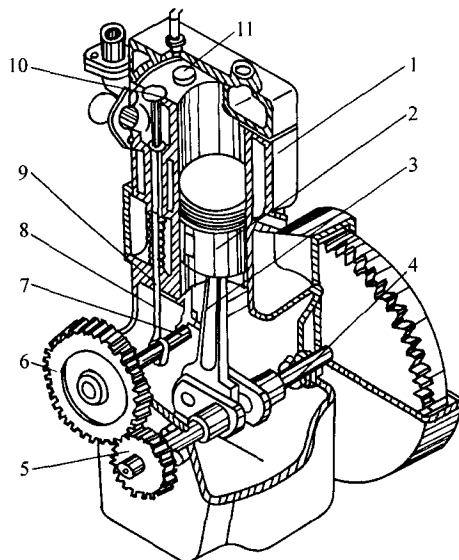


图 0-2 单缸四行程内燃机

- 1—缸体 2—活塞 3—连杆 4—曲轴
5、6—齿轮 7—凸轮轴 8—进气门顶杆
9—排气门顶杆 10—进气门 11—排气门

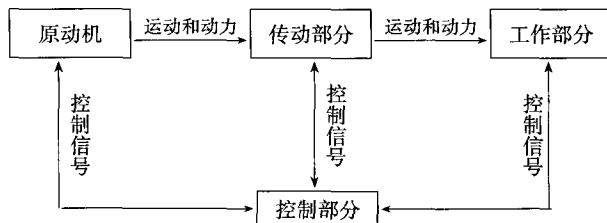


图 0-3 机器组成

组成机构的相互间做确定运动的各个实物，称为构件。构件可以是单一的整体，也可以是由几个实物组成的彼此间没有相对运动的整体，这些实物被称为零件，零件是机械中制造的单元。

零件分为通用零件和专用零件两种。

0.2 本课程的性质、任务和基本要求

0.2.1 本课程的性质、目的和任务

机械设计基础是一门专业基础课，在培养机械类专业与一些非机械类专业，如化工、建筑和电子等各种工程技术人才掌握机械的基本知识方面，起着一定的作用，是必不可少的课程。

随着经济的发展，生产过程机械化和自动化水平不断提高，机械设备在各个行业中得到了广泛的应用。对于从事各方面工作的工程技术人员来说，在生产管理中必然会遇到机械设备的管理问题；在生产过程中，必然会遇到机械设备的正确使用、维护和充分发挥其效能的问题；在技术革新和改造中，也必然要相应地解决有关机械设备方面的问题。总之，为了保证生产的正常进行，为了不断地改进工艺和提高技术水平，各种专业的工程技术人员都必须掌握有关机械方面的基本知识。

本课程的目的和任务是：

- 1) 了解机械常用工程材料和热处理的基本知识。
- 2) 掌握物体的受力分析与平衡条件，了解杆件基本变形和应力分析的基本概念和方法。
- 3) 掌握机械传动中常用机构和主要通用零部件的类型、工作原理、特点、应用和简单计算，并具有运用和分析简单传动装置的能力。

0.2.2 本课程的学习方法

要学好本课程，首先要给予必要的重视，培养学习本课程的兴趣。

本课程涉及知识面很广，应用和实践性极强，重点是将诸多知识综合运用，提高学生分析问题、解决问题的能力。学习时要勤于观察各种机械和零件，结合课程内容多思考，理论联系实际，增加感性知识，将有助于本课程的学习。在学习过程中，要多做练习和简单设计，以加深对所学内容的理解。

思考与练习

- 0-1 一般机器主要由哪些部分组成？各部分的作用是什么？试举例分析说明。
- 0-2 学习本课程的目的、要求是什么？

第 1 章 机械常用金属材料及热处理

一部机器往往由多个零件组成，每个零件由于其要实现的功能不同而选用不同的材料。零件的材料可以分为金属材料和非金属材料（塑料、橡胶、陶瓷及复合材料），在机械领域以金属材料的应用最广泛。

材料的使用性能与成分、组织及加工工艺密切相关，尤其是金属材料，可通过不同热处理方法来改变金属的表面成分和内部组织结构，以获得不同的性能，改善工艺性能和延长使用寿命等。

本章主要介绍机械常用金属材料的成分、性能及其应用的基本知识和热处理的原理及工艺。

1.1 金属材料的力学性能及工艺性能

金属材料的主要性能是指力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能等。

纯金属与合金统称为金属材料，纯金属材料应用较少（价贵且强度较低），而合金材料较为常用。

力学性能是指金属材料在外力作用下所表现的抵抗能力（旧称为机械性能），如弹性、塑性、强度、硬度和韧性等，这些性能指标是机械设计、材料选择、工艺评定和材料检验的主要依据。

工艺性能是指金属材料具有的能够适应各种加工工艺要求的能力，实质上是力学、物理和化学性能的综合表现，包括铸造性能、锻造性能、热处理性能和切削加工性能等。

1.1.1 金属材料的力学性能

1.1.1.1 强度

强度是指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力，强度大小可按国家标准的规定通过拉伸试验来测定。

1. 屈服点

当负荷不再增加时，而试样的塑性变形量明显增加的现象叫屈服。产生屈服现象的应力称为屈服点，通常用 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时的载荷 (N)；

S_0 ——试样原截面积 (mm^2)。

除低碳钢、中碳钢及少数合金钢有屈服现象外，大多数金属材料没有明显的屈服现象，因此，规定产生 0.2% 残余伸长时的应力作为屈服强度替代 σ_s 。

2. 抗拉强度

试样在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 通常用 σ_b 来表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_b ——试样拉断前的最大拉力 (N);

S_0 ——试样原截面积 (mm^2)。

显然, 材料不能在承受 σ_b 的载荷条件下工作, 这样将导致构件的破坏。

1.1.1.2 塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形, 通常用两种方法来表示。

(1) 断后伸长率 试样拉断后, 标距的伸长与原始长度的百分比称为断后伸长率。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 L_1 ——试样拉断后的长度 (mm);

L_0 ——试样的原长度 (mm);

d_0 ——试样直径 (mm)。

由于 δ 值与试样尺寸有关, 故一般规定 $L_0 = 5d_0$ (短试样) 或 $L_0 = 10d_0$ (长试样) 分别以 δ_5 或 δ_{10} 表示伸长率, δ_{10} 通常写成 δ 。

(2) 断面收缩率 试样拉断后, 缩颈处横截面积的最大减缩量与原横截面积的百分比称为断面收缩率。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 S_0 ——试样原横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样断口面处最小截面积 (mm^2)。

δ 和 ψ 的数值越大, 说明金属材料的塑性越好, 良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件, 一般 δ 达 5% 或 ψ 达 10% 即可以满足要求。

1.1.1.3 硬度

硬度是指金属材料表面抵抗硬物压入的能力, 或者说是指金属表面对局部塑性变形的抗力, 是检验毛坯或成品件、热处理件的重要性能指标。常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。

1. 布氏硬度

将一定直径 (10mm, 5mm, 2.5mm, 2mm 或 1mm) 的淬火钢球加以一定载荷, 压入被测金属材料的表面, 根据所用载荷的大小和所得压痕面积来计算压痕球面上的平均压力, 即表示布氏硬度的高低, 用符号 HBS (淬火钢球) 或 HBW (硬质合金球) 表示, 如图 1-1 所示。

$$\text{布氏硬度} = 0.102 \frac{F}{S} \quad (1-5)$$

式中 F ——所加压力 (N);

S ——压痕表面积 (mm^2), 可以通过钢球直径 D (mm) 和压痕直径 d (mm) 来计算。

$$S = \frac{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \quad (1-6)$$

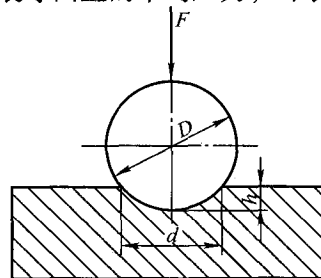


图 1-1 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度可以查表，习惯上不标单位。布氏硬度测量的数值较准确，但不宜于测太薄、太硬的材料。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验是在一特定的压头上加上压力压入被测材料，根据压痕的深度来度量材料的硬度值。压痕愈深，材料愈软，硬度值愈低。

按照压头种类和所加载荷不同，可以分为 HRA、HRB 和 HRC 等不同洛氏硬度符号，工程上常采用 HRC 洛氏硬度指标，洛氏硬度试验如图 1-2 所示。

洛氏硬度试验操作简便迅速，可直接从表盘上读出硬度值，没有单位。由于压痕小，可用于成品及薄件检验，但不如布氏硬度试验准确。

1.1.1.4 冲击韧度

前面讨论的是在静载荷作用下的力学性能指标，但是许多机械还经常受到各种冲击载荷的作用，对承受冲击载荷的工件不仅要求有高的强度和一定的硬度，还必须具有抵抗冲击载荷而不破坏的能力。

冲击韧度是金属材料抵抗冲击载荷的能力。由于外力的瞬时冲击作用所引起的变形和应力比静载荷作用下大得多，因此，在设计受冲击载荷的零件时必须考虑所用材料的冲击韧度。

工程上常用一次摆锤冲击测定冲击韧度，利用升高的摆锤将带有 U 形缺口的标准试样打断，计算所需的冲击功 A_K ，再除以试样断口处的截面积 S 即为冲击韧度值， a_K 值愈大，表示材料的韧性愈好，如图 1-3 所示。

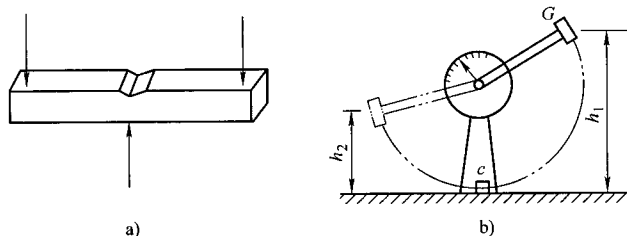


图 1-3 冲击试验原理图
a) 冲击试样 b) 冲击实验示意图

$$a_K = \frac{A_K}{S} \quad (1-7)$$

式中 A_K ——冲断试验所消耗的冲击功 (J)；

S ——试样断口处原始截面积 (cm^2)。

冲击韧度不直接用于设计计算，因为 a_K 值不仅决定于材料本身，同时还随试样缺口深浅、加工精度和试样温度等因素变化。事实上摆锤冲击试样所消耗的冲击功不是全部用于试样变形和断裂，故 a_K 值并不能准确代表材料所吸收的冲击能量。在冲击载荷下的机器零件很少是一次冲击破坏的，所以 a_K 值只作为设计和选材的参考性指标。

1.1.1.5 疲劳强度

很多机械零件如各种轴、齿轮、连杆、弹簧和钢轨等，经常受到大小及方向随时间周期性变化的载荷，在交变载荷下工作的机器零件虽然工作应力远低于其抗拉强度 σ_b ，甚至低于屈服点 σ_s ，但在长时间工作后会突然发生断裂，这种现象称为疲劳。

疲劳断裂时不发生明显的塑性变形，断裂是突然发生的，具有很大的危险性，常常造成严重的事故。据统计损坏的机器零件中，约有 80% 是由于金属疲劳而造成的。因此，研究

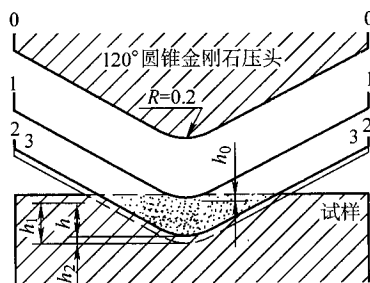


图 1-2 洛氏硬度试验原理示意图

疲劳破坏的原因,防止疲劳事故发生是非常重要的。

疲劳强度是在一定的循环次数下不发生断裂的最大应力,一般规定钢铁材料的循环次数为 10^7 次,非铁金属为 10^8 次,当循环应力对称时,疲劳强度用 σ_{-1} 表示。

疲劳破坏常发生在金属材料最薄弱的部位,如材料的内部缺陷或是由于加工过程中所形成的磨痕、刀痕,或是由于零件局部应力集中导致产生的裂纹等。

1.1.2 金属材料的工艺性能

1. 铸造性能

铸造是将熔融金属浇注、压射或吸入铸造型腔中,待其凝固后得到一定形状和性能铸件的方法。铸造性能是浇注时液态金属的流动性、凝固时的收缩性和偏析倾向等。流动性好的金属材料有良好的充满铸型的能力,能够铸出大而薄的铸件。收缩是液态金属凝固时体积收缩和凝固后的线收缩,收缩小可提高液态金属的利用率,减小铸件产生变形或裂纹的可能性。偏析是铸件凝固后各处化学成分的不均匀,若偏析严重,将使铸件的力学性能变差。在常用的金属材料中,灰铸铁和青铜有良好的铸造性能。

2. 锻造性能

金属材料的锻造性能是材料在压力加工时,能改变形状而不产生裂纹的性能,是材料塑性好坏的表现。低碳钢有良好的锻造性能,碳钢的锻造性一般较合金钢好,铸铁则没有锻造性能。

3. 焊接性能

金属材料的焊接性能是材料在通常的焊接方法和焊接工艺条件下,能否获得质量良好焊缝的性能。焊接性能好的材料,易于用一般的焊接方法和工艺进行焊接,焊缝中不易产生气孔、夹渣或裂纹等缺陷,其强度与母材相近。在常用的金属材料中,低碳钢有良好的焊接性,高碳钢和铸铁的焊接性较差。

4. 切削加工性能

切削加工性能是对工件材料进行切削加工的难易程度。金属材料的切削加工性能,不仅与材料本身的化学成分、金相组织有关,还与刀具的几何形状等有关。通常可根据材料的硬度和韧性对材料的切削加工性能作大致的判断,硬度过高或过低、韧性过大的材料,其切削加工性能较差。灰铸铁具有良好的切削加工性能。

1.2 钢的热处理

热处理是将钢在固态下通过加热、保温和不同的冷却方式,改变金属内部组织结构,从而获得所需性能的操作工艺,其工艺曲线如图 1-4 所示。

热处理与铸造、压力加工、焊接和切削加工等不同,它不改变工件的形状和尺寸,只改变工件的性能,如提高材料的强度和硬度,增加耐磨性,或者改善材料的塑性、韧性和加工性能等。

材料给人们提供的性能是有限的,经过热处理的零件,可以使材料的各种性能得到很大的改善和提高,充分发挥出金属材料的潜力,延长机器的使用寿命和节约金属材料。在

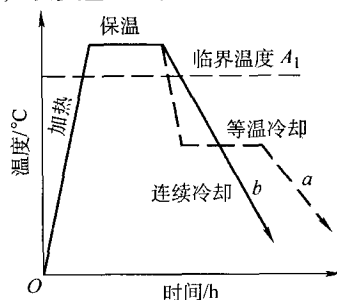
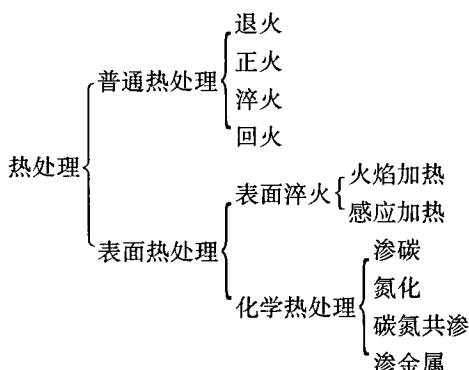


图 1-4 热处理工艺曲线

机床、汽车和拖拉机制造中，80%的零件要热处理，刀具、量具、模具和滚动轴承等则要全部进行热处理，热处理已成为机械制造过程的重要工序。

钢的热处理方法很多，根据加热和冷却方式的不同，常用钢的热处理大致分类如下：



在工厂里各种机器零件和工具一般都要经过如下的过程：选原料—锻造—预先热处理—机械加工—最终热处理。

退火和正火经常作为钢的预先热处理工序，安排在铸造、锻造和焊接之后或粗加工之前，消除前一工序所造成的某些组织缺陷及内应力，为后续切削加工及热处理做好组织准备。对于某些不太重要的工件，退火和正火也可作为最终热处理工序。

1.2.1 退火

退火是将钢加热到高于或低于临界温度，保温一段时间后缓慢冷却（如随炉或埋入导热性能较差的介质中），从而获得接近于平衡组织的一种热处理工艺。

退火可获得接近平衡状态的组织，与其他热处理工艺比较，退火钢的硬度最低，内应力可全部消除，可提高钢材冷变形后的塑性。又由于退火过程中发生重结晶，故可细化晶粒，改善组织，所以退火可以达到各个不同的目的。

1.2.2 正火

正火是将钢加热到 Ac_3 （亚共析钢）或 Ac_{cm} （过共析钢）以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温后从炉中取出在空气中冷却的一种操作方法。

正火的冷却速度较退火快些，所得到的组织较细，强度和硬度较高。

此外，正火是在炉外冷却，不占用加热设备，生产周期比退火短，生产效率高，能量消耗少，工艺简单经济，所以低碳钢多采用正火来代替退火。

1.2.3 淬火

将钢加热到 Ac_3 （亚共析钢）或 Ac_1 （过共析钢）以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，保温后在水或油中快速冷却的操作工艺称为淬火。

淬火的目的是为了获得马氏体组织，随后再配合适当的回火，获得多种多样的使用性能。如刀具和量具要求有高的硬度和耐磨性，各种轴和齿轮等要求有较好的韧性等，都是通过淬火和回火来达到的，淬火回火通常作为最终热处理。

淬透性是钢获得淬硬层深度的能力，淬硬层越深，表明钢的淬透性越好。钢的淬透性好

坏对力学性能影响很大，当工件整个截面都淬透时，回火后表面和心部得到完全一致的力学性能；若不能全部淬透，表面和心部的组织不同，经回火后的性能就不一致。

钢的淬透性与淬硬性是两个不同的概念，淬硬性指淬火后获得的最高硬度，主要取决于马氏体中的含碳量。淬透性好的钢，它的淬硬性不一定高，如高碳工具钢与低碳合金钢相比，前者淬硬性高但淬透性低，后者淬硬性低但淬透性高。

1.2.4 回火

经过淬火后的钢应及时进行回火，以保证达到所需要的性能要求。工件淬火后，其性能是硬而脆，存在着由于冷却过快而造成的内应力，会引起工件变形甚至开裂。

回火是将淬火的钢重新加热到 A_{c1} 以下的某一温度，保温一段时间，然后置于空气或水中冷却。

回火的目的：

1) 降低淬火钢的脆性和内应力，防止变形或开裂。

2) 调整和稳定淬火钢的结晶组织以保证工件不再发生形状和尺寸的改变。

3) 获得不同需要的力学性能，通过适当的回火来获得所要求的强度、硬度和韧性，以满足各种工件的不同使用要求。淬火钢经回火后，硬度随回火温度的升高而降低，回火一般也是热处理的最后一道工序。

根据工件的不同性能要求，按照回火温度的范围，可将回火大致分为以下三种。

(1) 低温回火 ($150 \sim 250^{\circ}\text{C}$) 低温回火的组织为回火马氏体，主要为了降低淬火钢的应力和脆性，提高韧性，而保持高硬度和耐磨性，主要用于各类高碳钢的刀具、冷作模具、量具、滚动轴承和渗碳或表面淬火件等。

(2) 中温回火 ($350 \sim 500^{\circ}\text{C}$) 中温回火的组织为回火托氏体，可显著减少工件的淬火应力，具有较高的弹性极限和屈服点，并有一定的韧性，主要应用于各种弹簧、弹性夹头和锻模的热处理。

(3) 高温回火 ($500 \sim 650^{\circ}\text{C}$) 高温回火的组织为回火索氏体，可使工件获得强度、硬度、塑性和韧性都较好的综合力学性能。淬火后高温回火的热处理称为调质处理，简称调质，常用于受力情况复杂的重要零件，如各种轴类、齿轮和连杆等。

由于 $250 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 是钢容易发生低温回火脆性的温度指标，所以避开了这一温度范围。

1.2.5 钢的表面热处理

有些零件既要求具有耐磨的高硬度，同时又要求具有抗冲击的高韧性。在扭转和弯曲等交变负荷、冲击负荷作用下工作的机械零件，表层承受着比内部高的应力；在有摩擦的场合，表面层还不断被磨损，因此，对零件的表面层提出了强化的要求，即表面具有高的强度、硬度、耐磨性和疲劳极限，而内部仍保持足够的塑性和韧性，要达到上述要求，经常通过表面热处理进行强化。

1. 表面淬火

表面淬火的零件材料是中碳钢或中碳合金钢。工艺特点是快速加热，使工件表面迅速升温至淬火温度后立即喷水冷却，使工件表面层被淬硬成为马氏体，心部仍是原来的组织，保持着良好的韧性。

根据加热方法不同，表面淬火法主要有感应加热表面淬火、火焰加热表面淬火、电接触加热表面淬火和电解液加热表面淬火等几种，工业中应用最多的是感应加热和火焰加热表面淬火法。

2. 化学热处理

化学热处理是将工件置于特定介质中加热和保温，使一种或几种元素渗入工件表面，以改变表层化学成分组织和性能，并用低廉的碳钢或合金钢来代替某些较昂贵的高合金钢。

常见的化学热处理有渗碳、渗氮和碳氮共渗等，通过这些化学热处理能有效提高钢件表层的耐磨性、耐蚀性和疲劳强度等。

(1) 渗碳 渗碳是向低碳钢 ($w(\text{C}) = 0.1\% \sim 0.25\%$) 或合金钢的表面层渗入碳原子的过程。

按渗碳剂的不同，渗碳法可分为气体渗碳、固体渗碳和液体渗碳三种，前两种应用较广泛。

(2) 氮化 氮化是向钢的表面渗入氮原子的过程，目的是提高工件表面硬度、耐磨性、耐蚀性和疲劳强度。氮化又叫渗氮。

1.3 常用的金属材料

机械上常用的金属材料分为钢铁材料和非铁金属两类。钢铁材料是指钢和铸铁，其中钢在机械工业中的应用最为广泛，非铁金属则包括除钢以外的金属及其合金。本节只介绍钢铁材料。

1.3.1 碳素钢

碳素钢（简称碳钢）是 $w(\text{C})$ 小于 2.11% 的铁碳合金，实际使用的含碳量小于 1.5%，其中还含有少量 Si、Mn、P 和 S 等杂质。

1. 碳素钢的分类

碳钢有以下三种分类方法。

(1) 按钢的 $w(\text{C})$ 分类

1) 低碳钢。 $w(\text{C}) \leq 0.25\%$ 。

2) 中碳钢。 $w(\text{C}) = 0.25\% \sim 0.6\%$ 。

3) 高碳钢。 $w(\text{C}) > 0.6\%$ 。

(2) 按钢的质量分类 根据钢中有害杂质 S 和 P 的含量分类。

1) 普通钢。 $w(\text{S}) \leq 0.055\%$ ， $w(\text{P}) \leq 0.045\%$ 。

2) 优质钢。 $w(\text{S})$ 、 $w(\text{P}) \leq 0.04\%$ 。

3) 高级优质钢。 $w(\text{S})$ 、 $w(\text{P}) \leq 0.03\%$ 。

(3) 按用途分类

1) 碳素结构钢用于制造工程结构（如桥梁、船舶和建筑等）和机械零件（如齿轮、轴和连杆等），一般为低、中碳钢。

2) 碳素工具钢用于制造各种工具（如刀具、模具和量具等），一般为高碳钢。

2. 碳钢的牌号和用途

与合金钢相比,碳钢在机械工业上的应用最为广泛,碳钢冶炼方便,价格低廉,产量大,且具有优良的可锻性、焊接性和切削加工性能,能满足许多场合机械加工用钢的要求,应用非常广泛。

为了生产、选用和管理不致造成混乱,对各种钢材进行了合理的命名和编号。

(1) 碳素结构钢 碳素结构钢是工程中应用最多的钢种,其产量约占钢总产量 70% ~ 80%。

根据国标 (GB/T700—1988) 规定,碳素结构钢牌号由以下四部分组成。

1) 屈服点字母

Q——钢屈服强度“屈”,汉语拼音字首。

2) 屈服点数值 (单位 MPa)。

3) 质量等级符号。A、B、C、D 级,从 A 到 D 依次提高。

4) 脱氧方法符号

F——沸腾钢。

b——半镇静钢。

Z——镇静钢。

TZ——特殊镇静钢。

在牌号中若为 Z 和 TZ 则予以省略。

例如 Q235AF 表示屈服点为 235MPa 的 A 级沸腾钢,广泛应用于工程建筑、车辆和船舶等金属结构。

(2) 优质碳素结构钢 钢中有害杂质及非金属夹杂物含量较少,塑性、韧性较好,用于制造较重要的机械零件。钢的牌号用两位数字表示平均含碳量 (质量分数) 的万分数,如 45 钢即表示 $w(C) = 0.45\%$ 的优质碳素结构钢。

15 钢、20 钢是一般的表面渗碳钢,用于制造导套、挡块和摩擦片等耐磨零件;40 钢、45 钢、50 钢属于调质钢,主要用于制造齿轮、丝杠、连杆和各种轴类零件;65 钢 ~ 85 钢则是碳素弹簧钢。

(3) 碳素工具钢 碳素工具钢主要用于制造刀具、量具和模具,具有较高的硬度和耐磨性,其平均含碳量 (质量分数) 为 0.7% ~ 1.3%,属于高碳钢。

碳素工具钢的牌号是在“碳”字汉语拼音首位字母“T”的后面附加数字表示,数字表示平均含碳量 (质量分数) 的千分数,例如 T12 表示平均含碳量 (质量分数) = 1.2% 的碳素工具钢,若为高级优质碳素工具钢,则在其牌号后加符号 A 如 T12A。所有碳素工具钢都要经过热处理后,才能进一步提高硬度和耐磨性。

(4) 铸钢 铸造碳钢 (简称为铸钢) 主要用于受冲击负荷作用的形状复杂件,如轧钢机架、重载大型齿轮和飞轮等。

铸钢的牌号由“ZG”即“铸钢”两字的汉语拼音字首和两组数字组成,前一组数字表示为铸件屈服强度 ($\sigma_{0.2}$),后一组数字表示抗拉强度 (σ_b),例如 ZG200—400 表示 $\sigma_{0.2} \geq 200\text{MPa}$ 和 $\sigma_b \geq 400\text{MPa}$ 的铸钢。

1.3.2 合金钢

合金钢是在碳钢的基础上加入一些合金元素的钢,常加入元素有锰 (Mn)、硅 (Si)、铬

(Cr)、镍 (Ni)、钼 (Mo)、钨 (W)、钒 (V)、钛 (Ti)、铌 (Nb)、锆 (Zr) 和稀土 (Xt) 等元素, 目前世界上已有数千种合金钢。

1. 合金钢的分类

合金钢种类繁多, 现介绍常用的分类方法。

(1) 按用途分类

1) 合金结构钢。合金结构钢是用于制造各种机器零件和各类工程结构的钢, 通常分为低合金结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢等几种。这类钢用途最广, 用量最大。

①合金渗碳钢。合金渗碳钢主要用于制造受冲击载荷和受到强烈的摩擦和磨损的条件下工作的零件, 含碳量 (质量分数) 一般在 0.1% ~ 0.25% 之间, 经渗碳、淬火和低温回火后, 表面具有高硬度、高耐磨性而心部具有足够的塑性和韧性。

渗碳钢按淬透性的高低分为低淬透性钢 (如 15、20、20Cr 等)、中淬透性钢 (如 20CrMnTi、20CrMnMo 等) 和高淬透性钢 (如 18Cr2Ni4WA、20Cr2Ni4A 等) 等三类。

②合金调质钢。合金调质钢的含碳量 (质量分数) 一般在 0.25% ~ 0.5% 之间, 常加入的合金元素有 Mn、Si、Cr 和 Ni 等, 提高了钢的淬透性。调质钢广泛用于制造各种负荷较大、受冲击的重要机器零件, 如轴类件、连杆和高强度螺栓等。

常用的合金调质钢 40Cr 具有良好的塑性, Cr 的存在使淬透性提高, 故应用较为广泛。

2) 合金工具钢。合金工具钢比碳素工具钢具有更高硬度、耐磨性, 特别是具有更好的淬透性、热硬性和回火稳定性等, 可以制造截面大、形状复杂和性能要求高的刀具、模具、量具等。

①低合金工具钢。低合金工具钢是在碳素工具钢的基础上, 加入少量的合金元素 Cr、Mn、Si、W 和 V 等提高钢的淬透性和回火稳定性, 提高钢的强度、耐磨性和热硬性, 使其在 230 ~ 260℃ 回火后硬度仍保持 60HRC 以上, 从而保证一定的热硬性。

常用的低合金工具钢有 CrWMn 等。

②高速钢。高速钢俗称锋钢, 可以进行高速切削, 主要特性是具有良好的热硬性, 当切削温度高达 600℃ 左右时硬度仍无明显下降, 高速钢中含有大量的合金元素 W、Mo、Cr 和 V 等, 具有高的硬度和耐磨性、较高的热硬性、足够的强度和韧性等。

常用的高速钢有 W18Cr4V、W9Cr4V2 和 W6Mo5Cr4V2 等。

3) 特殊性能钢。是一些具有特殊的物理和化学性能的钢又称为特殊用途钢, 简称特殊钢。

①不锈钢。不锈钢是指在大气和一般介质中具有高耐蚀性能的钢。

不锈钢按组织状态分为铁素体不锈钢、马氏体不锈钢和奥氏体不锈钢。典型的不锈钢为 1Cr13、2Cr13、3Cr13 和 4Cr13 等。

②耐热钢。耐热钢是抗氧化钢和热强钢的总称, 金属材料的耐热性包含高温抗氧化性和高温强度两方面性能, 主要用于高压锅炉、汽轮机、内燃机和热处理炉等设备。

③耐磨钢。耐磨钢是在冲击载荷下发生冲击硬化的高锰钢。高锰钢常用来制造破碎机齿板、大型球磨机衬板、挖掘机铲齿、履带和铁轨道岔等。由于在受力变形时, 耐磨钢吸收大量能量, 不易被击穿, 因此, 可制造防弹装甲车板和保险箱板等。

(2) 按合金元素总含量