

刘胜青 / 主编

GONGCHENG  
XUNLIAN

# 工程训练

(第二版)

四川大学校级重点教材

世界银行贷款“高等教育发展项目”配套教材

# 工 程 训 练

(第二版)

主 编 刘胜青

编 委 罗 阳 李天心 杨 怡

黄公佐 汤 洁 韩 英

四川大学出版社

责任编辑 周树琴  
责任校对 李晓琴  
封面设计 邹小工  
责任印制 曹琳

### 图书在版编目(CIP)数据

工程训练/刘胜青主编. —成都:四川大学出版社,  
2002.8

ISBN 7-5614-2455-8

I. 工... II. 刘... III. 工业技术—高等学校—教材 IV. T

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 062627 号

### 书名 工程训练(第二版)

---

主编 刘胜青  
出版 四川大学出版社  
地址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)  
印刷 成都宏明印刷厂  
发行 四川大学出版社  
开本 787mm×1 092mm 1/16  
印张 14.25  
字数 351 千字  
版次 2004 年 7 月第 2 版  
印次 2004 年 7 月第 1 次印刷  
印数 5 001~9 000 册  
定价 19.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科  
联系。电话:85408408/85401670/  
85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请  
寄回出版社调换。

◆网址:www.scupress.com.cn

---

版权所有◆侵权必究

# 内容简介

本书是按照原国家教委颁布的课程教学基本要求和重点高等工科院校金工系列课程改革指南的精神,结合国内及本校工程训练课程的改革实践,借鉴我国香港地区及国外同类课程的有益经验编写而成的。

本书的主要内容有:制造综述、铸造成形、锻造成形、连接成形、钳工、机械加工(含车、铣、刨、磨、钻等)、新材料新技术(含非金属材料、零件的模具成形、特种加工、快速原型制造技术、数控技术、机电一体化技术与产品、CAD/CAPP/CAM等)以及现代生产系统等。本书涉及制造、控制、管理及医学多方面。

本书主要用作高等院校文、理、工、医相关专业本科生和专科生学习“工程训练”课程的基础教材,也可供电视大学、职工大学、函授大学、网络大学及高职教育相关专业选用;还可作为工业企业及经贸管理人员了解生产制造技术和工程技术人员进行再培训的自修教材。

# 再 版 前 言

本书根据原国家教委颁布的“工程材料及机械制造基础”教学基本要求和“重点高等工科院校金工系列课程改革指南”编写。

本书是实践性课程《工程训练》的教学用书。《工程训练》实践课是在原有《金工实习》上拓展和深化的,它是高等院校相关专业学生一门必修的工艺性技术基础课和实践课。

随着市场对“强基础、宽专业”且具有创新意识的实用型、复合型人才需求的增加,越来越多的高等院校为非机械类工科和部分文理医科专业的学生开设了“工程训练”实践课。根据人才培养目标,结合教学改革实践,为学生们提供一本适用的教材是我们编写此书的初衷。

本书以建立工程观点、培养动手能力、启发创新思维为主线,向学生传授制造和管理的基础知识,使学生对整个工业生产有一个初步的认识;通过实习和实验,使他们了解进行科学研究的基本方法,培养学生分析和解决实际问题的能力,从而达到建立大工程意识,提高学生工程素质的目的。

参与本书编写的人员有教师、工程技术人员、管理人员和研究生。其中,刘胜青编写第一章第一节至第四节、第六节和第七节;第二章、第三章和第四章;第六章第二节至第四节;第九章第一节、第三节至第五节;第十章第三节、第四节及书中各章的学习提示、教学要求、电教片目录和实验项目。杨怡编写第一章第五节;第六章第一节。李天心编写第一章第八节;第五章第一节至第四节。罗阳编写第七章及第八章;第九章第六节、第七节。黄公佐编写第五章第五节;第九章第二节。汤洁编写第十章第一节、第二节、第五节、第六节。韩英参加了部分章节与段落的编写和绘图。

本书由刘胜青教授策划,并任主编和负责统稿工作。李天心负责第二章至第五章的文字核对及插图准备。杨怡负责第一章、第六章至第八章的文字校对。

本书系四川大学校级重点建设教材,得到了教务处的教材编写资助和实验室及设备管理处的实验立项资助,在此深表谢意。

在此教材修订再版之际,衷心感谢四川大学制造科学与工程学院和机械工程系的支持,感谢工程训练中心的同事们以及给予教材充分肯定和提出中肯建议和意见的同学们。编写过程中参考了大量的有关教材、手册及学术杂志等,所用参考文献均已列于书后。在此向所用参考文献资料的中外作者、译者和出版社致谢。书中难免有不尽人意之处,恳请同行及读者批评指正,谢谢。

编 者

2004年5月

# 目 录

<b>第一章 制造综述</b> .....	1
第一节 零件和毛坯.....	1
第二节 典型机械产品的组成.....	2
第三节 零件的材料选用.....	5
第四节 常用金属材料.....	7
第五节 金属切削机床.....	13
第六节 金属切削刀具.....	19
第七节 零件的加工质量.....	24
第八节 常用量具及测量.....	27
<b>第二章 铸造成形</b> .....	35
第一节 铸造概述.....	35
第二节 造型方法.....	38
第三节 型芯制造.....	42
第四节 开设浇注系统.....	44
第五节 熔炼与浇注.....	45
第六节 铸件的清理及质量分析.....	47
第七节 特种铸造.....	49
第八节 常用铸造方法的选用.....	53
第九节 铸造生产的发展.....	54
<b>第三章 锻压成形</b> .....	56
第一节 概述.....	56
第二节 锻造工艺.....	58
第三节 锻造方法.....	59
第四节 板料冲压.....	63
第五节 冲压模具的 CAD/CAM.....	66
<b>第四章 连接成形</b> .....	69
第一节 概述.....	69
第二节 熔化焊方法.....	70
第三节 压力焊简介.....	76
第四节 钎焊.....	78
第五节 常用金属材料的焊接性能.....	79
第六节 粘接成形.....	80
第七节 常用连接方法的比较.....	82
第八节 连接技术在汽车制造中的应用.....	83

第五章 钳工 .....	86
第一节 概述 .....	86
第二节 划线 .....	88
第三节 钳工基本操作 .....	89
第四节 装配与拆卸 .....	100
第五节 设备的管理 .....	104
第六章 车削加工 .....	107
第一节 概述 .....	107
第二节 车刀 .....	108
第三节 工件的安装 .....	110
第四节 表面的车削 .....	116
第五节 车床类机床简介 .....	127
第七章 刨削和铣削加工 .....	129
第一节 刨削加工 .....	129
第二节 铣削加工 .....	133
第八章 磨削和精密加工 .....	139
第一节 普通磨削 .....	139
第二节 磨削新工艺 .....	145
第三节 精密加工 .....	146
第九章 新材料新技术 .....	151
第一节 新材料 .....	151
第二节 零件的模具成形 .....	157
第三节 特种加工技术 .....	160
第四节 快速原型制造技术 .....	168
第五节 数控加工技术 .....	171
第六节 计算机辅助设计与制造技术 .....	177
第七节 机电一体化技术 .....	180
第十章 现代生产系统 .....	197
第一节 产品的概念 .....	197
第二节 产品的开发 .....	199
第三节 产品的设计 .....	201
第四节 产品的制造 .....	204
第五节 产品的质量 .....	208
第六节 产品的销售 .....	211
第七节 绿色工程 .....	215
附录 .....	217
(一)实验项目 .....	217
(二)实验报告示例 .....	218
参考文献 .....	219

# 第一章 制造综述

## 学习提示

在工业社会里,制造工程是一项重要工程。社会发展史证明,一个国家的发展及实力大小,在很大程度上取决于制造业的发展和竞争力。

本章的主要教学要求是:

- 1)熟悉毛坯与零件的关系,毛坯的种类以及组成零件的表面;
- 2)学会分析典型机械产品组成的方法及材料的选用;
- 3)掌握金属材料的分类和了解钢铁材料的改性方法及有色金属的一般知识;
- 4)掌握切削加工的原理及常用加工方法;
- 5)了解常用机床的结构及传动类型;
- 6)熟悉车刀的结构、种类、选用及刀具的演变;
- 7)了解零件加工质量的评定及有关国家标准;
- 8)掌握常用量具的使用和维护方法。

## 第一节 零件和毛坯

机械加工的具体对象不是机械产品本身,而是组成机械产品的各种零件。零件是机器、仪表以及各种设备的基本组成单元,不同类型的零件具有不同的形状及功能。

### 一、零件

生产中根据零件的结构,通常将形形色色的零件分为5大类,即轴类(图1-1)、盘套类(图1-2)、机体类(图1-3)、箱体支架类(图1-4)和其他类(图1-5)。

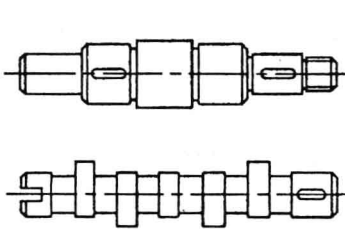


图 1-1 轴类零件

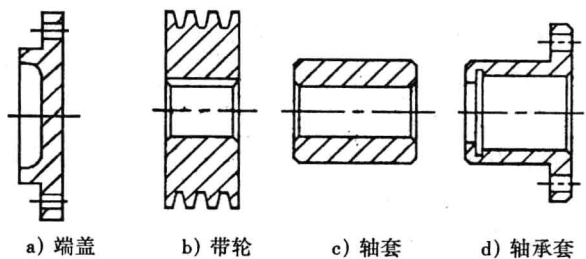


图 1-2 盘套类零件

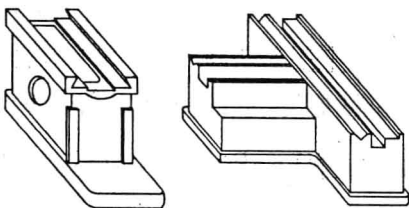


图 1-3 机身机座类零件

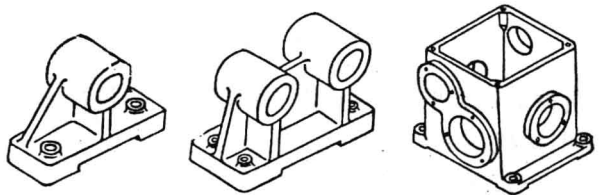


图 1-4 箱体支架类零件



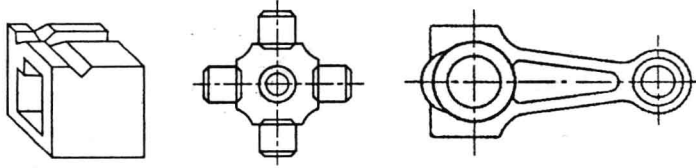


图 1-5 其他类零件

不同类型的零件都是由各种表面组成的。这些表面有外圆、内圆、锥面、螺纹、成形面以及沟槽(图1-6),还有平面、斜面(图1-7)等。生产中常常采用切削的方法在毛坯上加工出这些表面。

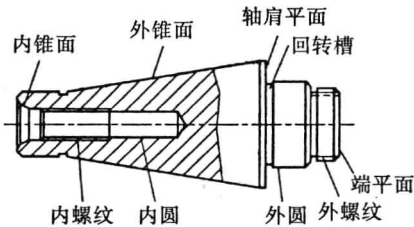


图 1-6 轴类零件组成表面

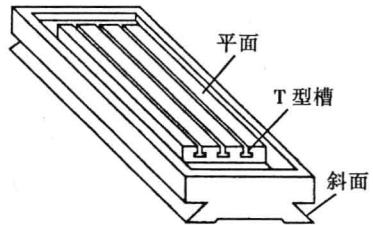


图 1-7 六面体类零件的组成表面

## 二、毛坯

毛坯是将工业产品或其零件、部件所要求的工艺尺寸、形状等略为放大,制成坯型,以供切削加工用的劳动对象。生产中常用毛坯的种类有:

(1)型材类 矿石经熔化、冶炼和浇注被制成铸锭或扁坯。铸锭和扁坯(统称原材料)通常不能直接用来加工零件。冶金厂将钢铸锭用轧制方法制成用来加工零件的型材。型材分为带材、板材、棒材、线材、管材等,可按规格型号和材料种类直接购买。

(2)铸件类 铸件是液态成形。它分为铸铁件、有色金属铸件和铸钢件,其中铸铁件应用最为广泛。在车床中铸件的重量大约占总重量的 70%~80%。

(3)锻件类 锻件是金属在固态下受力而塑性成形。用来制成锻件的材料必须具有良好的塑性。中低碳钢及部分铝合金和铜合金具有较好的塑性,均可用来制作锻件;铸铁因其塑性极差而不能做成锻件。

(4)焊件类 焊件是借助于金属原子间的扩散和结合作用,将两个构件连接成的一个整体。焊件一般采用低碳钢和低合金钢材料。

## 第二节 典型机械产品的组成

机械的种类繁多,这里以大家最常见的机械——汽车和机械加工中用量最大的普通车床为例,对机械的构成进行分析。

### 一、汽车的组成单元

汽车是 20 世纪最重要的交通工具和人们喜欢的机械产品,小轿车基本组成单元及功能和零件选材如图 1-8 所示。轿车主要由发动机、传动机构、行驶机构、电子/电气设备组成,

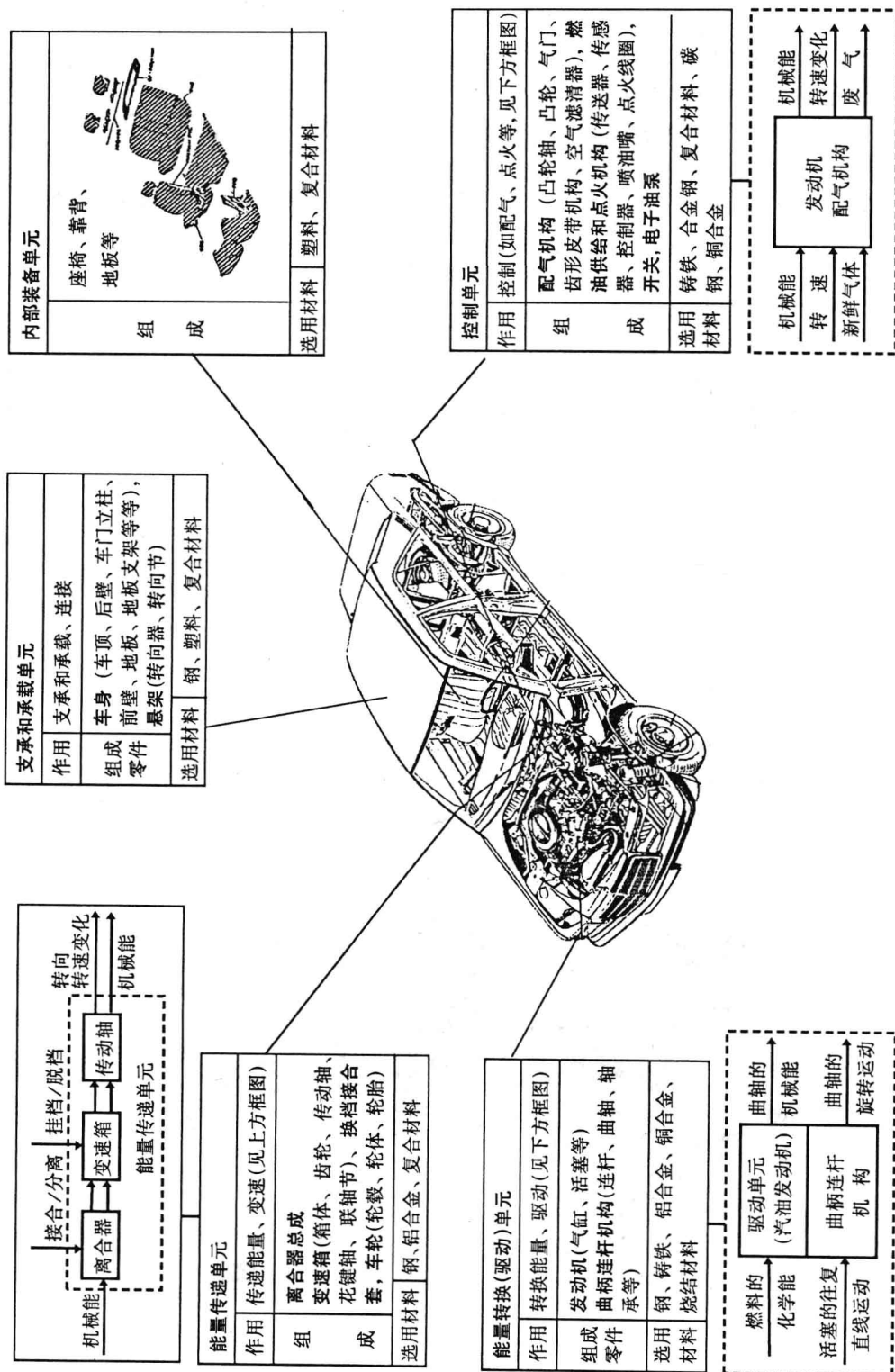


图 1-8 轿车的基本组成单元及功用

而这些机构总成又分别由内含许多零件的组件构成。

为便于分析,我们将轿车结构按功能分为驱动单元、能量传递单元、控制单元、支承和承载单元等(图 1-9),这些单元又是由若干机构和组件组成。汽车基本结构和工作原理框图如图 1-10 所示。

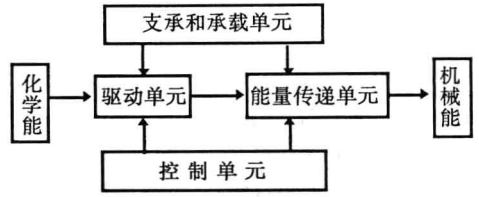


图 1-9 汽车组成的基本功能单元

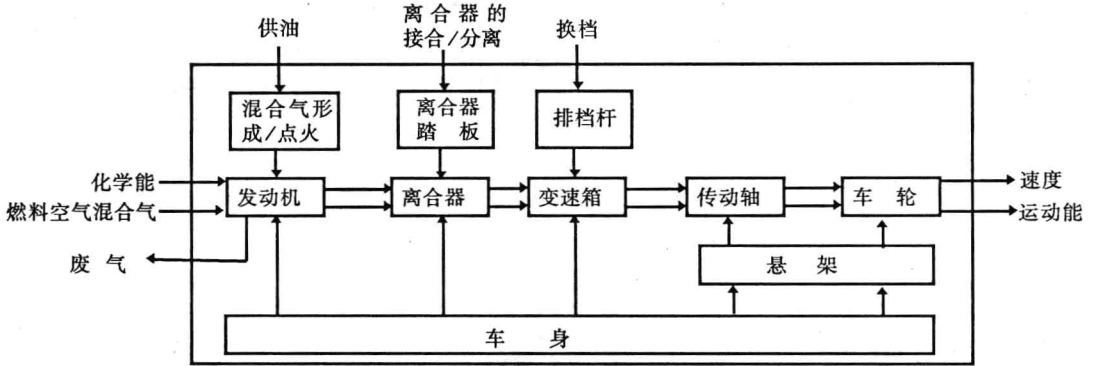


图 1-10 汽车基本结构和功能框图

## 二、车床的组成部件

图 1-11 是 CA6140 型普通车床的外形图。车床的主要组成部件如下:

(1)床身 它是用来支承和连接车床上各个部件的基础件。刀架和尾架可沿床身上的平行导轨相对于床头箱实现准确的移动。床身安装在床脚上,床脚是整台车床的支承件。

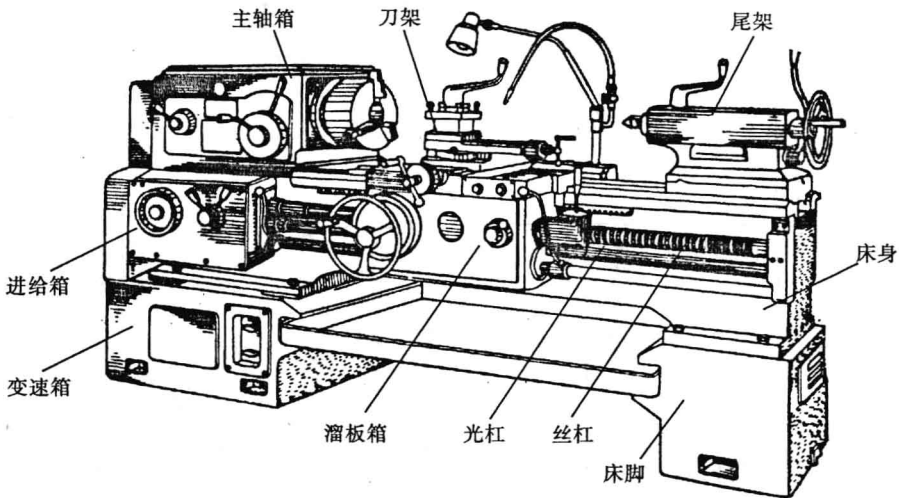


图 1-11 普通车床的外形

(2)变速箱 箱内装有将电机转速改变为不同主轴转速的变速齿轮,是实现主轴变速的主要部分之一。

(3)主轴箱(床头箱) 它位于车床左上方,内装主轴部件及主运动变速齿轮。调整箱内的变速机构,可改变主轴的转速。主轴的反向旋转是由电动机来实现的。

(4)进给箱(走刀箱) 箱内装有进给运动的变速机构。通过变换进给箱各手柄的位置,使丝杠和光杠分别获得不同的转速,从而调整刀具的进给量。

(5)溜板箱(拖板箱) 它与刀架相连,是车床进给运动的操纵箱。接通光杠可使车刀作横向或纵向直线进给运动。接通丝杠,闭合对开螺母可车削螺纹。溜板箱中有互锁机构,它使丝杠和光杠不能同时使用。

(6)刀架 它由大刀架、横刀架、转盘、小刀架和方刀架组成(图 1-12)。其作用是夹持车刀并使其作纵、横或斜向进给运动。

(7)尾架 它可以在床身导轨上移动,作用是用来安装顶尖、钻头和铰刀等附件或刀具(图 1-13)。

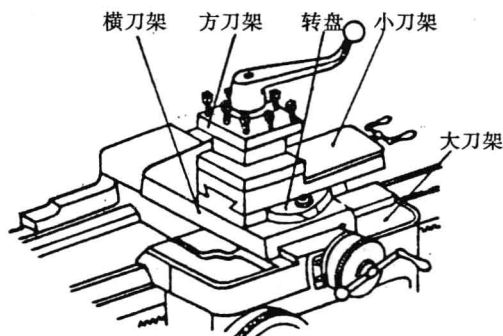


图 1-12 刀架

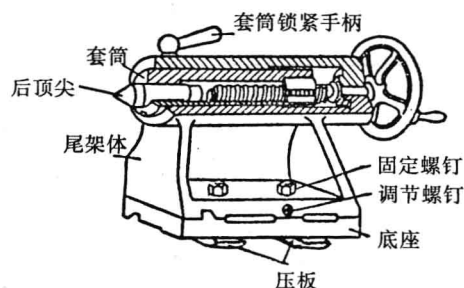


图 1-13 尾架

### 第三节 零件的材料选用

以一辆现代化轿车为例,它大约由 10 000 到 20 000 个各种不同材质的零件组成,所用材料<sup>①</sup>可见图 1-14。不难看出,其组成材料可分为金属材料和非金属材料两大类。生产中一种材料能否被选用,必须从以下三个方面考虑:

- 1)是否满足零件所需的使用性能;
- 2)是否具备制造零件所需的工艺性能;
- 3)在满足上述两方面的前提下,价格是否低廉。

#### 一、材料的使用性能

使用性能包括物理性能(密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、磁性等)、化学性能(耐腐蚀性、化学稳定性、氧化性、还原性等)和力学性能。本节主要讨论金属材料的力学性能。

金属材料的力学性能是指材料在外力作用下表现出的特征,又称机械性能。材料的力

<sup>①</sup> 材料是指经过人们劳动所取得的劳动对象,如经过工业加工的钢材、水泥等。

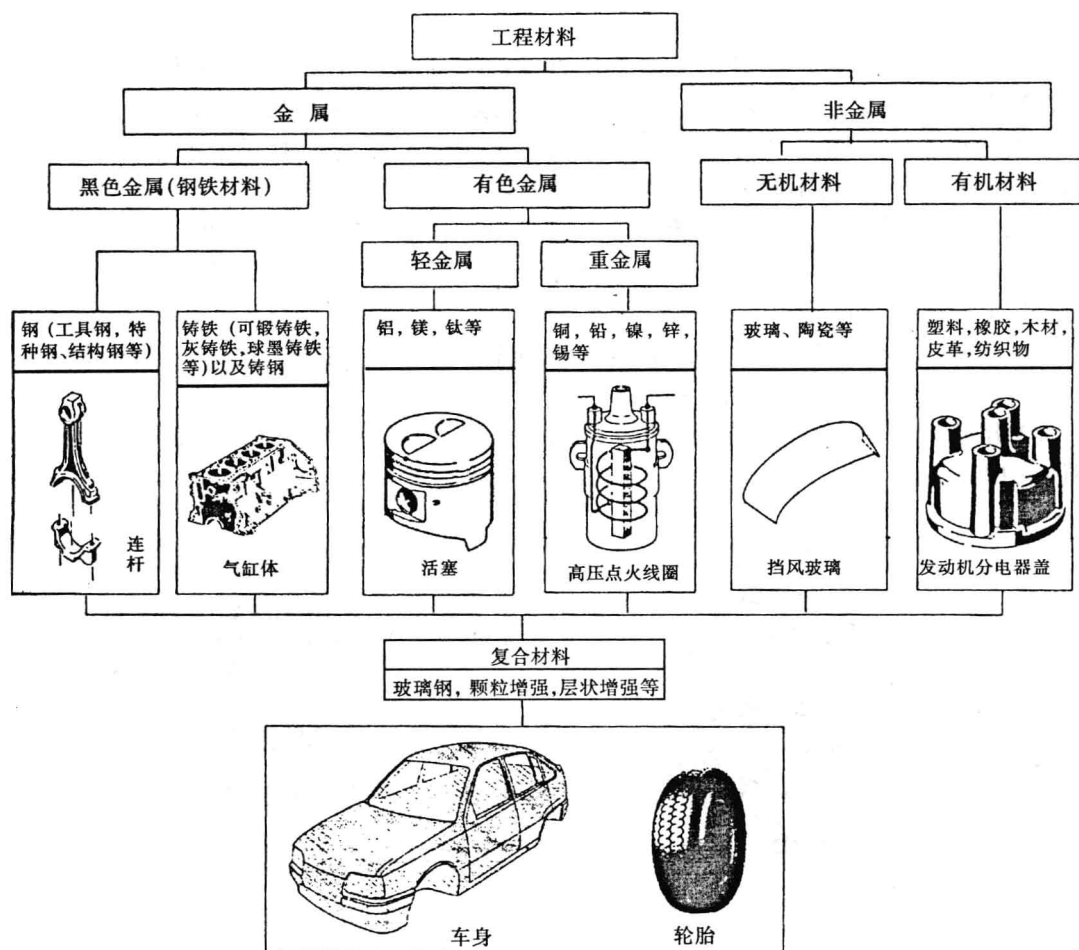


图 1-14 汽车用材料的分类

学性能是选材和零件设计的重要依据,它包括材料的强度、硬度、塑性、冲击韧性及疲劳强度。

1)强度是材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力。按外力作用方式不同,可分为抗拉、抗压、抗弯、抗扭强度等,单位均为 MPa。最常用的是抗拉强度(符号为  $\sigma_b$ ,用它来表示材料抵抗断裂的能力,生产中一般以  $\sigma_b$  作为最基本的强度指标)。

2)硬度是材料抵抗其他物体压入其表面的能力。硬度是衡量材料软硬程度的指标,同时也是设计机械零件时必须考虑的技术条件和选择加工工艺的参考。一般说来,硬度较高的材料,耐磨性较好,强度也较高。

生产中常用的硬度测量方法有布氏硬度法(所测得的硬度值用符号 HBS 或 HBW 表示)和洛氏硬度法(硬度值可以用 HRA,HRB 和 HRC 表示,其中常用的是 HRC)。

3)塑性是材料在外力作用下产生永久变形而不致破坏的能力。常用的塑性指标是伸长率  $\delta(\%)$  和断面收缩率  $\psi(\%)$ 。 $\delta$  和  $\psi$  越大,材料的塑性越好。

4)冲击韧性是材料抵抗冲击载荷的能力,用符号  $\alpha_k$  ( $J/cm^2$ )表示。其值主要取决于材料的塑性、硬度和承受的温度,其中温度对冲击韧性值的影响最为显著。 $\alpha_k$  值很大的材料称为塑性材料;反之,则称为脆性材料。脆性材料断裂时无明显塑性变形,破坏极大,生产中必须避免。

5)疲劳强度是指材料在多次交变载荷<sup>①</sup>作用下不会引起断裂的最大应力<sup>②</sup>。生产中承受交变载荷的大多数零件,常常出现材料在远低于屈服点<sup>③</sup>时就断裂的现象,这种现象叫做金属的疲劳。疲劳破坏是齿轮、连杆、弹簧等零件的主要破坏形式。

### 二、材料的工艺性能

工艺性能是物理、化学和机械性能的综合,是指材料加工时成形的难易程度。它直接影响材料和加工方法的选择以及能否实现优质、高产、低消耗、低成本。工艺性能主要指:铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

### 三、材料的经济性

生产实际中人们有时难于选择到既能满足所需功能而价格又低廉的材料,这是因为材料的性能和价格往往是一对矛盾。要解决此类矛盾,有效的方法是,当零件的功能需求确定后,通过选择改变材料性能的加工工艺(如热处理、表面涂层等),进而采用一些较价廉的材料。当设计一个产品时,必须考虑产品的形状和制造它的材料,考虑产品的制造工艺和使用场合。当确定制造方法时,还要考虑零件的技术要求以及制造的经济性和劳动力的安排等。

很显然在满足使用性能的前提下,选用成本较低的材料,是保证产品具有市场竞争能力和使企业获得良好效益的重要举措。

## 第四节 常用金属材料

生产中习惯把金属材料分为黑色金属和有色金属。

### 一、黑色金属

工业中使用最多的是黑色金属钢和铸铁,钢和铸铁都是以铁和碳为主要成分的合金,通常称其为铁碳合金。

#### (一)钢

钢是含碳量为 0.02%~2.11%的铁碳合金。其主要特点是固态高温组织具有很好的塑性。

#### 1. 钢的分类、牌号<sup>④</sup>及应用

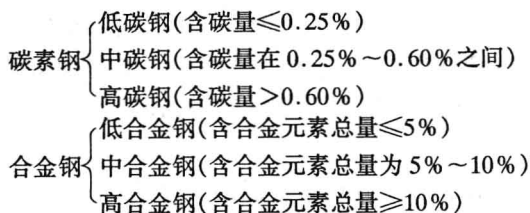
按化学成分,钢可以分为碳素钢和合金钢。

① 交变载荷——大小和方向呈周期性变化的载荷。

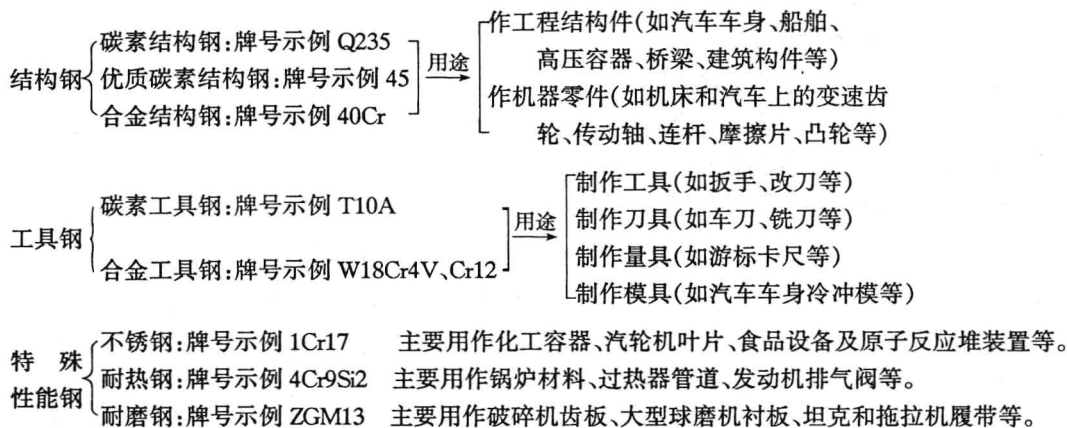
② 应力——材料受外力作用时,其内部会产生一个与外力大小相等、方向相反的力称为内力。单位截面上的内力称为应力,用符号  $\sigma$  表示。

③ 屈服点——材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值,用符号  $\sigma_s$  表示。

④ 各类钢铁材料牌号的编号方法可查阅相关资料,如机械零件设计手册、材料手册等。



按用途,钢可以分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。



按质量,钢分为普通、优质、高级优质等,其分类依据为钢中所含杂质元素 S、P 的多少。

此外,生产中常常用具有良好综合机械性能的铸钢(即用来铸造铸件的钢,又称浇钢)来制造形状复杂,要求具有更高强度、韧性、塑性或其他特殊性能的机器零件,如水轮机转子、燃气轮机叶片、大齿轮、箱体等。铸钢按化学成分,常分为碳素铸钢和合金铸钢。其中碳素铸钢应用最广。

## 2. 钢的热处理

钢的热处理是将固态金属或合金采用一定的方式进行加热、保温和冷却,从而改变材料整体或表面组织,获得所需性能的工艺方法。经过热处理可提高材料的使用性能,延长零件的使用寿命,充分发挥材料性能的潜力,显著提高经济效益。据统计,各类产品中需要热处理的零件的比例大致为:机床约 70%;汽车、拖拉机约 80%;刀具、量具和模具的工作部分,则为 100%。

根据热处理时加热、冷却以及获得性能的不同,热处理可分为:

(1)普通热处理 它包括退火、正火、淬火和回火等。

1)退火是将钢件加热到一定温度,保温后缓慢冷却(通常是随炉冷却)的工艺。其作用是降低硬度和脆性;细化晶粒,消除内应力。退火通常作为铸件、锻件和焊件切削加工前的预备热处理。

2)正火是将钢加热到一定温度,保温后在静止空气中冷却的工艺。由于冷却速度快于退火,故材料获得的强度、硬度高于退火,但消除内应力不如退火彻底。正火时钢件在炉外冷却,不占用设备,生产率较高。低碳钢零件常采用正火代替退火,以改善切削加工性能。对于比较重要的零件,正火可作为淬火前的预备热处理;普通零件常用正火作为最终热处理。



3) 淬火是将钢加热到一定温度,保温后在水、油或盐溶液中快速冷却的工艺。其作用是提高钢的强度和硬度、增加耐磨性。

4) 回火是将淬火后的工件加热到一定温度,保温后冷却至室温的工艺。由于淬火工件脆性大、内应力大且尺寸不稳定,所以必须进行回火。采用不同的回火温度,材料可得到不同的性能。生产中将淬火后进行高温回火(500℃~600℃)的工艺称为调质。调质后的材料可获得好的综合机械性能,常用于重要机械零件,如齿轮、传动轴、连杆等。需要提高弹性和韧性的工件,如弹簧、锻造模具等,则应在淬火后采用中温回火(350℃~500℃)。对于工作部分要求硬度高、耐磨性好的工件,如量具、模具、刀具等,则应在淬火后采用低温回火(150℃~250℃)。

普通热处理方法的工艺曲线如图 1-15 所示。

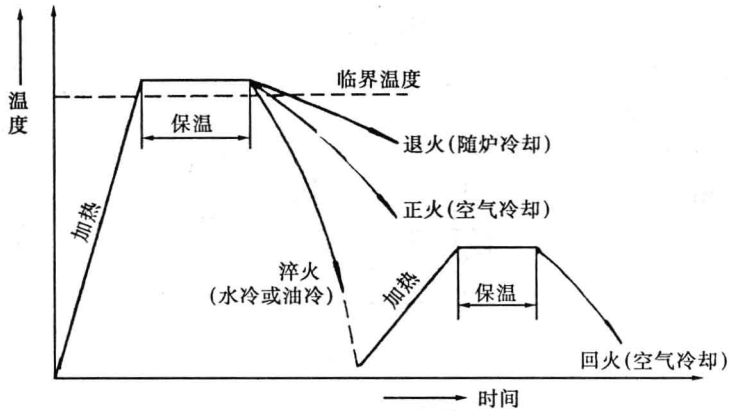


图 1-15 普通热处理方法的工艺曲线示意图

(2) 化学热处理 这是一种将工件置于一定温度的活性介质(固体或气体)

中保温,使所需的元素(如碳、氮)渗入工件表层,改变表层的化学成分,从而获得所需性能(如耐磨性、耐蚀性和抗氧化性等)的热处理工艺。常见的方法有渗碳、渗氮和碳氮共渗等。

1) 渗碳是将碳原子渗入到工件表层的热处理工艺。主要用于低碳钢和低合金工具钢工件,通过对表层渗碳后的淬火和低温回火,可在提高工件表层的硬度和耐磨性的同时,保持心部原有的性能,提高工件的使用寿命。采用渗碳工艺的典型零件有活塞销、齿轮、传动轴等。

2) 渗氮是将氮原子渗入工件表层的热处理工艺。渗氮层的强度、耐磨性和耐疲劳强度均高于渗碳层。目前主要用于精密机床的主轴、丝杠、齿轮及汽车和汽轮机的阀门、阀杆、活塞杆等。

3) 碳氮共渗是向工件表层同时渗入碳和氮的过程,又称氰化。由于工艺复杂,目前主要用于形状较复杂、要求变形较少的小尺寸耐磨零件,如仪表、仪器零件等。

(3) 表面淬火 这是一种仅对工件表层快速加热、急骤冷却的热处理工艺。达到既提高工件表层硬度和耐磨性,又使心部仍保持足够塑性和韧性的目的。如机床和汽车的传动齿轮和曲轴采用表面淬火后,就能达到表层有较高硬度和耐磨性而心部有足够塑性和韧性的技术要求。

表面淬火常用的方法有火焰淬火(图 1-16)、感应加热淬火(图 1-17)和电接触加热淬火(图 1-18)等。

### 3. 含碳量对钢性能的影响



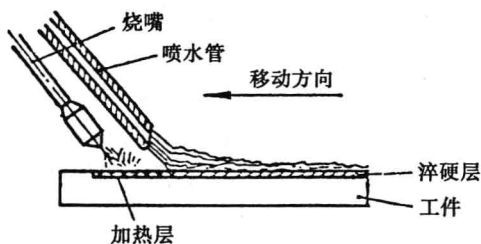


图 1-16 火焰淬火

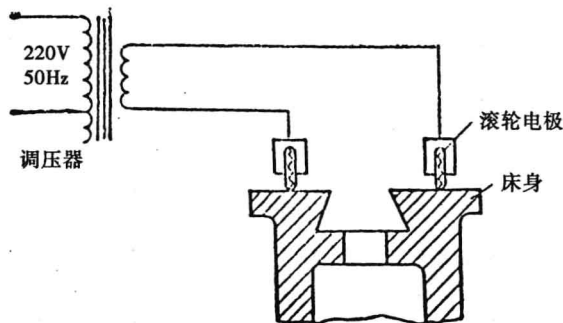


图 1-18 电接触加热淬火

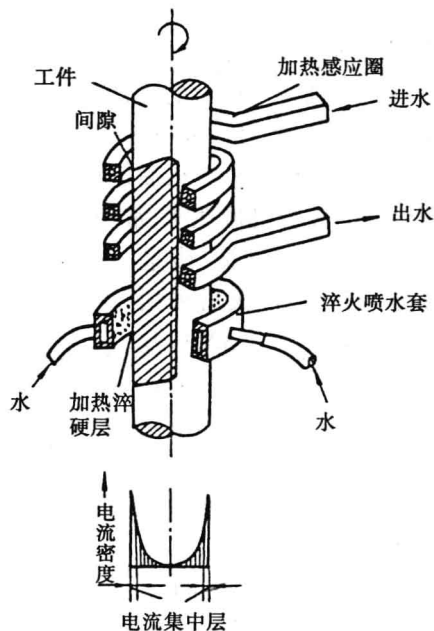


图 1-17 感应加热淬火

碳是影响钢的组织 and 性能的主要元素，钢的含碳量对其机械性能的影响如图 1-19 所示。当钢中含碳量  $\leq 0.9\%$  时，随着含碳量的增加，钢的强度、硬度增加，而塑性和韧性则下降。当含碳量  $> 0.9\%$  以后，钢中出现一种脆硬的组织渗碳体 ( $Fe_3C$ )，此时钢的硬度仍随含碳量的增加而增加，但强度却明显下降。所以生产中有使用价值的钢的含碳量为  $1.4\%$  以下。

含碳量对钢的工艺性能也有直接的影响。如用于压力加工的材料必须具有良好的塑性，所以适宜的材料是低碳钢和低合金钢；焊接时，随着含碳量的增加，材料的焊接性能则明显下降。焊接低碳钢 ( $C < 0.25\%$ ) 容易获得优质焊缝；焊接高碳钢，尤其是铸铁 ( $C > 2.11\%$ ) 就十分困难。

(二) 铸铁

含碳量大于  $2.11\%$ ，锰、硅、硫、磷等杂质含量高于钢的铁碳合金，称为铸铁。通常由生铁<sup>①</sup>、废钢、铁合金等以不同比例配合，

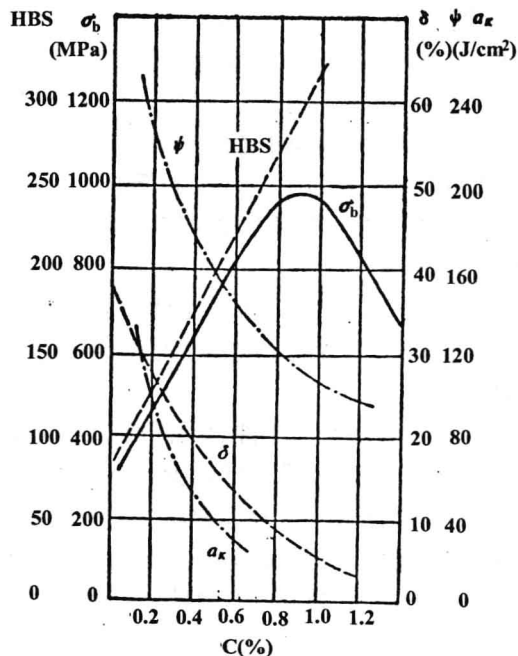


图 1-19 含碳量对钢机械性能的影响 (正火状态)

① 生铁——含碳量大于  $2.11\%$  的铁碳合金，由铁矿石在炼铁高炉内冶炼而成。