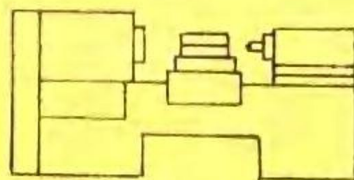
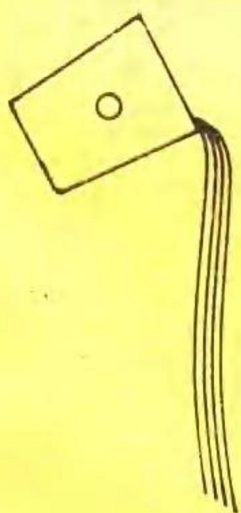


# 金属工艺学

主 编 胡崇善 殷立仁

副主编 胡宗范 马兴尧



延边大学出版社

1988. 12

责任编辑 安承业

责任校对 胡崇善 殷立仁 马兴尧

### 内 容 提 要

本书系统地讲述了金属零件的各种加工工艺,内容包括:金属材料性质、铸造、金属压力加工、焊接和金属切削加工。为便于学习,每章前面都编有学习要点;每章后面都附有复习题。

本书可作为高等院校机械类专业的教学用书和职工大学、函授大学、广播电视大学机械类专业的教学用书,也可供有关专业的工程技术人员参考。

### 金 属 工 艺 学

主编 胡崇善 殷立仁 副主编 胡宗范 马兴尧

---

延边大学出版社出版发行  
(吉林省延吉市延边大学院内)  
吉林科技大学印刷厂印刷

---

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 18.25

字数: 408千字 印数: 1—3300

1988年12月第1版 1988年12月第一次印刷

ISBN 7—5634—0033—8/TG·1 (课)

定价: 4.90元

# 前 言

本书依据金属工艺学教材编审小组1984年4月审订的“金属工艺学教学大纲（机械类）补充说明”的精神，并参照工程材料与机械制造基础教学指导小组87年4月制订的课程教学的基本要求编写而成，为了适应教学改革的需要，在内容及安排上作了某些改进。

本书有如下特点：

（1）考虑到省属高等学校金工教学时数减少的情况，将实习与讲课有关内容在每章之前用提示办法作了分工，防止不必要的重复。实践性强的内容建议在实习中讲授，这样既有利于提高实习质量，又可减少讲课时数。

（2）为了适应函授与自学的需要，对每章的重点内容都有明确的提示，以利于培养提高同学自学能力。

（3）在每章之后都附有复习题，着重于对已学知识的灵活运用。其中较大型的作业题用于培养学生初步的工艺分析能力，还可以在老师指导下进行课堂讨论。

本书由吉林工学院、吉林职业师范学院、东北电力学院、吉林林学院合作编写。由胡崇善、殷立仁担任主编、胡宗范、马兴尧担任副主编。其中绪论、第五章、第六章由胡崇善编写，第一章由胡宗范编写，第二章由潘素珍、张建平编写，第三章由殷立仁、单慧荣编写，第四章由杨向博编写，第七章、第八章由尹熙根编写，第九章由金洪官编写，第十章、第十一章、第十二章由马兴尧编写。

吉林工业大学苏玉林教授主审热加工部分，吴鹏副教授主审切削加工部分，对此我们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，难免有错误与欠妥之处，敬请有关同志与读者提出批评与建议。

编 者

1988年6月

# 目 录

|     |     |
|-----|-----|
| 绪 论 | (1) |
|-----|-----|

## 热 加 工 部 分

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 第一章 金属材料性质        | (2)   |
| 学习要点              | (2)   |
| 第一节 金属材料的主要性能     | (2)   |
| 第二节 金属及合金的晶体结构和结晶 | (8)   |
| 第三节 铁碳合金          | (13)  |
| 第四节 钢的热处理概念       | (18)  |
| 第五节 钢的分类与用途       | (24)  |
| 复习题               | (28)  |
| 第二章 铸造            | (30)  |
| 学习要点              | (30)  |
| 第一节 砂型铸造          | (30)  |
| 第二节 合金的铸造性能       | (40)  |
| 第三节 常用合金铸件的生产     | (47)  |
| 第四节 铸件结构工艺性       | (59)  |
| 第五节 特种铸造          | (65)  |
| 复习题               | (71)  |
| 第三章 压力加工          | (73)  |
| 学习要点              | (73)  |
| 第一节 金属的塑性变形       | (74)  |
| 第二节 自由锻造          | (79)  |
| 第三节 模型锻造          | (88)  |
| 第四节 板料冲压          | (99)  |
| 第五节 锻压件结构工艺性      | (106) |
| 第六节 锻压新工艺简介       | (111) |
| 复习题               | (117) |
| 第四章 焊接            | (119) |
| 学习要点              | (119) |
| 第一节 手工电弧焊         | (120) |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 第二节 其他焊接方法简介 .....  | (125) |
| 第三节 焊接质量分析 .....    | (133) |
| 第四节 常用金属材料的焊接 ..... | (138) |
| 第五节 焊接结构设计 .....    | (143) |
| 复习题 .....           | (149) |

## 冷 加 工 部 分

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第五章 切削刀具</b> .....       | (156) |
| 学习要点 .....                  | (156) |
| 第一节 刀具材料 .....              | (156) |
| 第二节 车刀切削部分的形状 .....         | (158) |
| 第三节 其它刀具 .....              | (161) |
| 复习题 .....                   | (164) |
| <b>第六章 金属切削过程</b> .....     | (166) |
| 学习要点 .....                  | (166) |
| 第一节 切屑的形成与种类 .....          | (166) |
| 第二节 积屑瘤 .....               | (167) |
| 第三节 切削力与切削功率 .....          | (168) |
| 第四节 切削热 .....               | (169) |
| 第五节 刀具的磨损与耐用度 .....         | (170) |
| 第六节 切削用量的选择 .....           | (171) |
| 第七节 工件材料的切削加工性 .....        | (172) |
| 复习题 .....                   | (173) |
| <b>第七章 切削加工常用夹具</b> .....   | (174) |
| 学习要点 .....                  | (174) |
| 第一节 夹具设计定位原理 .....          | (174) |
| 第二节 车床常用夹具 .....            | (176) |
| 第三节 铣床常用夹具 .....            | (179) |
| 第四节 专用夹具实例 .....            | (184) |
| 复习题 .....                   | (185) |
| <b>第八章 金属切削机床基础知识</b> ..... | (186) |
| 学习要点 .....                  | (186) |
| 第一节 机床的分类与编号 .....          | (186) |
| 第二节 基本机床的结构 .....           | (192) |
| 第三节 机床的机械传动机构 .....         | (194) |
| 第四节 机床液压传动 .....            | (205) |

|                            |              |
|----------------------------|--------------|
| 第五节 自动机床及数控机床概念 .....      | (206)        |
| 复习题 .....                  | (209)        |
| <b>第九章 常用加工方法综述 .....</b>  | <b>(210)</b> |
| 学习要点 .....                 | (210)        |
| 第一节 回转面加工方法 .....          | (210)        |
| 第二节 平面加工方法 .....           | (223)        |
| 第三节 其它表面加工方法综述 .....       | (227)        |
| 第四节 几种常用机床的主要工作 .....      | (234)        |
| 第五节 光整加工简介 .....           | (235)        |
| 复习题 .....                  | (238)        |
| <b>第十章 齿轮加工综述 .....</b>    | <b>(239)</b> |
| 学习要点 .....                 | (239)        |
| 第一节 渐开线齿轮概述 .....          | (239)        |
| 第二节 渐开线直齿圆柱齿轮的齿形加工 .....   | (242)        |
| 第三节 齿形精加工简介 .....          | (248)        |
| 复习题 .....                  | (251)        |
| <b>第十一章 机械加工工艺过程 .....</b> | <b>(252)</b> |
| 学习要点 .....                 | (252)        |
| 第一节 工艺过程概念 .....           | (252)        |
| 第二节 零件表面加工方法分析 .....       | (255)        |
| 第三节 基准选择 .....             | (259)        |
| 第四节 切削加工的零件结构工艺性 .....     | (262)        |
| 第五节 典型零件工艺过程举例 .....       | (266)        |
| 复习题 .....                  | (275)        |
| <b>第十二章 特种加工简介 .....</b>   | <b>(276)</b> |
| 学习要点 .....                 | (276)        |
| 第一节 电火花加工 .....            | (276)        |
| 第二节 电化学加工 .....            | (278)        |
| 第三节 超声波加工 .....            | (279)        |
| 第四节 激光加工 .....             | (280)        |
| 第五节 特种加工方法的比较 .....        | (281)        |
| 复习题 .....                  | (283)        |

## 绪 论

金属工艺学是研究金属加工规律的一门综合性课程，它是高等工科院校多数专业学生必修的技术基础课。其内容包括金属材料、铸造、压力加工、焊接、切削加工等部分。课程的目的是使学生获得金属材料性质及主要加工设备与加工工艺的基础知识，为学习其它课程、课程设计、毕业设计以及以后从事机械设计、机械制造奠定必要的工艺基础。

在机器的生产过程中，一般是先用铸造、压力加工或焊接等方法制成毛坯，再经切削加工与热处理得到较精确的外形与理想内部质量的零件，最后将各种零件装配成机器。

金属工艺学是在实践中发展起来的，我国历代劳动人民在生产中作出了很大贡献。早在公元前一千七百年的商代就用金属制造刀、斧等生产及生活用具。1935年在河南安阳武官村出土的司母戊大方鼎，重达875公斤，由青铜铸成，作工精细。可见当时冶铸技术已相当发达。战国初期创造的生铁柔化处理技术，使硬和脆的白口铁变为展性铸铁（相当于当今可锻铸铁），而西方在二千三百年之后才有此项技术。春秋战国时代的越王勾践剑，历经千百年尚且保存完好，说明我国很早就掌握炼钢、锻造、热处理和防腐蚀等工艺技术。唐代应用的锡焊、银焊也比欧洲早用一千余年。明朝宋应星所著“天工开物”一书叙述冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等金属加工方法是世界上最早有关金属工艺的科学著作之一，书中记载了我国劳动人民在金属工艺方面的卓越成就。

我国自解放以来，机械制造业获得迅猛发展，已建立起汽车、造船、航空、重型机械、精密轴承、精密机床等现代工业，人造卫星、洲际导弹发射成功都与机械制造工艺发展水平有关，可见“四化”建设离不开机械制造工艺的进步。

金属工艺学的特点是实践性强，内容广博，是工艺入门课。因此必须通过实习与现场参观获得感性知识，熟悉金属材料的常用加工方法、所用设备和工具的一般原理，并掌握一定的操作技能，在此基础上再进行理论讲课。

为此要求学生：

（1）掌握各种主要加工方法的特点、基本原理，常用设备大致结构和加工范围，并有选用材料，选择毛坯、拟定零件加工方案，以及初步的工艺分析能力。

（2）熟悉零件结构工艺性对结构设计的要求。

金属工艺学内容十分丰富，各种工艺方法皆具特色。为了掌握其规律性，要密切联系实际，完成综合性作业，切实达到本课程的要求。

# 热 加 工 部 分

## 第一章 金属材料性质

### 学 习 要 点

本章学习要点是：了解常用金属材料的机械性能及影响金属性能的内在因素；懂得金属的晶体结构及结晶过程，掌握晶格类型和晶粒度对机械性能的影响；对铁碳合金状态图及铁碳合金的机械性能与成分和组织之间的关系要明确了解；对钢的热处理首先要掌握钢在加热和冷却过程中的组织变化规律，其次要熟悉常用热处理方法的实质、工艺特点和应用范围；对钢的分类、编号和应用，要一般了解，在今后材料选用时，会查阅资料即可，达到正确选择材料、合理使用金属材料的目的，并为学习本课程的铸造、压力加工、焊接和切削加工等部分奠定必要的基础知识。

金属材料包括纯金属和合金两大类。合金是在一种金属元素的基础上，加入其它的金属或非金属元素，经过熔炼或其它方法而获得的具有金属特征的材料。最常用的金属材料有钢、铸铁、铜合金和铝合金等。

金属材料是制造机器的最主要材料。为了合理地选用金属材料，首先要了解金属材料有哪些性能。

金属材料的性能可分为两类：一类为使用性能，是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，包括机械性能（如强度、硬度、塑性、冲击韧性等）、物理性能（如比重、熔点、导热性、导电性等）和化学性能（如耐热性、耐蚀性等）；另一类为工艺性能，是指金属材料在加工过程中所表现的性能，包括铸造性、可锻性、可焊性、和切削加工性等。使用性能决定了材料的应用范围，安全可靠程度与使用寿命。

### 第一节 金属材料的主要性能

#### 一、金属材料的机械性能

金属材料在使用过程中，往往受到各种外力的作用。金属材料在外力作用时所反映出来的性能，称为机械性能（或称力学性能）。它是衡量材料好坏的重要标志，是设计零件时选择材料的重要依据。金属材料的机械性能主要有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

##### 1. 强度和塑性

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。按照外力作用性质不同，强度可分抗拉强度、抗弯强度和抗压强度等。工程上一般常以抗拉强度作为最基本的强度指标。

金属材料的抗拉强度和塑性是通过拉伸试验测定的。试验时，先将金属材料加工成标准拉伸试样，如图1-1所示。图中 $d_0$ 为试样原直径， $l_0$ 为试样原标距长度。

试验时，把试样夹在拉伸试验机的两个夹头上进行拉伸，随着外力不断增加，试样不断被拉长，直到拉断为止。图1-2所示为用低碳钢试样做拉伸试验时测得的拉力 $F$ 和伸长量 $\Delta l$ 的关系曲线，称为低碳钢拉伸曲线。

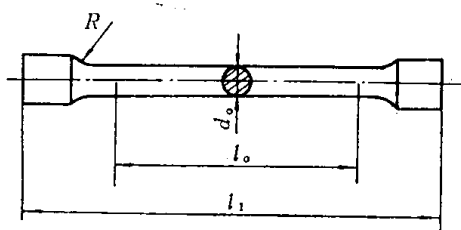


图1-1 标准拉伸试样

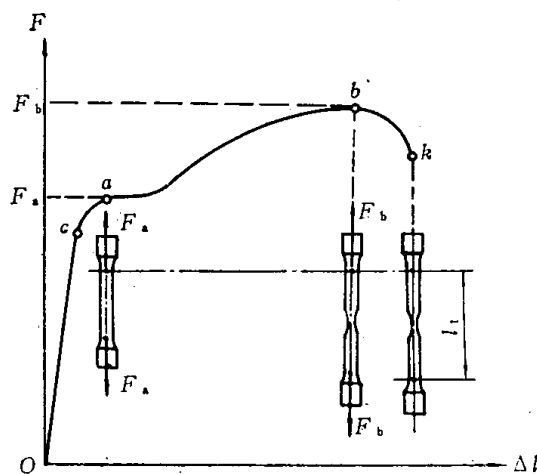


图1-2 低碳钢拉伸曲线

从图1-2可以看出，在开始的 $oc$ 阶段，试样的伸长量随拉力成正比例增加。若去除外力后，试样恢复原状，这种变形称为弹性变形，当超过 $c$ 点后，若去除外力，试样不能恢复原状，尚有一部分伸长量被保留下来。这种在外力消除后仍存在的变形，称为塑性变形。当外力增加到 $F_a$ 时，拉伸曲线在 $a$ 点出现水平线段，即表示外力不增加，试样继续伸长，这种现象称为屈服现象。屈服过后，试样又随外力增加而逐渐伸长，在曲线 $b$ 点外力为 $F_b$ ，试样开始出现局部变细的缩颈现象。由于截面减小，所需外力开始下降，变形主要集中于颈部，外力达到 $F_k$ 时，试样便在缩颈处断裂。

根据拉伸曲线可以求得材料的强度指标，常用强度指标有屈服强度和抗拉强度。

#### (1) 屈服强度

屈服强度是材料产生屈服现象时的应力，用符号 $\sigma_s$ 表示，即

$$\sigma_s = \frac{F_a}{A_0} \text{ (MPa)}$$

式中  $F_a$ ——试样产生屈服时的拉力 (N)

$A_0$ ——试样原截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

由于许多金属材料如铸铁、高碳钢等没有明显的屈服现象，因此很难测定 $\sigma_s$ ，所以，工程上规定产生0.2%残余塑性变形时的应力，称为该材料的条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 的确定如图1-3所示。在拉伸曲线横座标上截取 $c$ 点，使 $oc = 0.2\% l_0$ ，过 $c$ 点作斜线的平行线，交于拉伸曲线 $S$ 点，则可找出相应的拉力 $F_{0.2}$ ，从而计算出

$\sigma_{0.2}$ , 即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

式中  $F_{0.2}$ ——产生 0.2% 塑性变形的  
外力 (N)

## (2) 抗拉强度:

抗拉强度是材料在断裂前所能承受  
的最大应力, 用  $\sigma_b$  表示, 即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \text{ (MPa)}$$

式中  $F_b$ ——试样断裂前的最大拉力  
(N)。

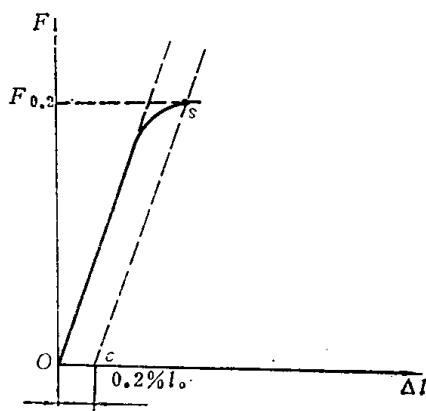


图1-3 条件屈服强度的测定

屈服强度和抗拉强度是选用金属材料的依据, 视零件的工作要求而定。若只要求零件在使用时不断, 如钢丝绳等, 则以材料的  $\sigma_b$  来计算强度; 若零件在使用时, 不允许有塑性变形, 如内燃机气缸盖、螺栓等, 则以材料的  $\sigma_s$  来计算强度。

## (3) 塑性:

塑性是金属材料在外力作用下, 产生塑性变形而不破坏的性能。拉伸时塑性用延伸率  $\delta$ , 或用断面收缩率  $\psi$  来表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中  $l_1$ ——试样拉断后长度 (mm);

$A_1$ ——试样拉断后截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

$\delta$ 、 $\psi$  愈大, 表示材料塑性愈好。由于  $\delta$  值与试样尺寸有关, 故试样必须作成统一标准才好比较。常用  $l_0 = 5d_0$  或  $l_0 = 10d_0$  的标准试样进行测试, 分别用  $\delta_5$  或  $\delta_{10}$  表示,  $\delta_{10}$  通常写成  $\delta$ 。

## 2. 硬度

硬度是指金属材料抵抗更硬物体压入其表面的能力, 也表示抵抗局部塑性变形的能力。通常用压痕深度, 或压痕单位面积所承受的外力值作为硬度指标。根据压头和压力的不同, 常用硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。

### (1) 布氏硬度

布氏硬度测定原理, 是用直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球, 在规定外力  $P$  的作用下压入被测试样的表面, 停留一定时间后去除外力, 测量试样表面的压痕直径  $d$ , 如图 1-4 所示。布氏硬度值是以压痕面积  $A$  去除载荷  $P$  得到单位面积上所受的应力, 即为所测的布氏硬度值, 以 HB 表示。

$$\text{HB} = \frac{P}{A} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

布氏硬度单位为 $\text{kgf/mm}^2$ ，一般只标其数值而不注明单位。根据国家标准(GB231-84)规定：硬度值写在布氏硬度符号前。当压头用淬火钢球时，符号为HBS；压头用硬质合金球时，符号为HB。

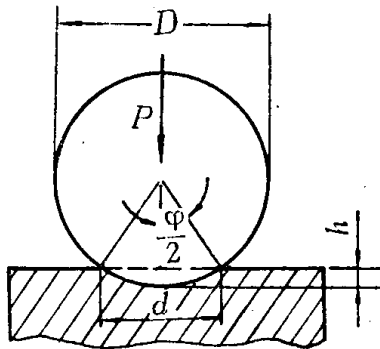


图1-4 布氏硬度试验原理图

布氏硬度试验的测量误差小，测定的硬度值准确，特别是对于组织比较粗大且不均匀的材料，如铸铁、轴承合金等，更是其它硬度试验法所不能代替的。

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度是用一个顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥形压头或用一定直径的钢球压头，在规定的压力作用下压入被测材料表面，由压头在金属材料表面所形成的压痕深度来确定其硬度值。

图1-5表示用金刚石圆锥压头时洛氏硬度的试验原理。先加予载荷 $10\text{kgf}$ ，将顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥形压头紧密接触试样表面，并压入深度 $h_0$ 。再加上主载荷 $140\text{kgf}$ ，经规定的保持时间后，卸去主载荷，待材料回弹少许，此时的压入深度为 $h_1$ ，就以 $(h_1 - h_0)$ 来衡量硬度值。 $(h_1 - h_0)$ 愈大，则硬度值愈低。在实际测试时，可以从硬度计刻度盘上直接读出洛氏硬度值。洛氏硬度用符号HR表示。

为了用一种硬度计能测量从软到硬的金属材料，采用了不同的压头和不同的载荷，因而组成了HRA、HRB和HRC三种不同的洛氏硬度标尺。三种标尺的试验规范和应用范围如表1-1所示。

洛氏硬度HRC和布氏硬度HBS在数值上有以下近似关系：

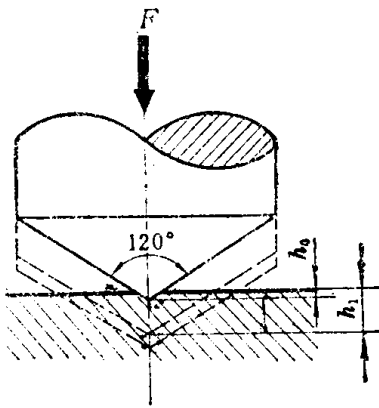


图1-5 洛氏硬度试验原理图

表1-1 三种标尺测量规范

| 标 尺 | 测 量 范 围 | 总载荷 $\text{kgf (N)}$ | 压 头 类 型                        |
|-----|---------|----------------------|--------------------------------|
| HRA | 60~85   | 60(588)              | 金刚石圆锥体                         |
| HRB | 25~100  | 100(980)             | 钢球 ( $\phi = 1.588\text{mm}$ ) |
| HRC | 20~67   | 150(1470)            | 金刚石锥体                          |

$$\text{HRC} \approx \frac{1}{10} \text{HBS}$$

实践证明，金属材料的布氏硬度和强度之间存在一定的内在联系，下列经验公式可供参考：

低碳钢  $\sigma_b = 3.6 \text{HBS}$

高碳钢  $\sigma_b = 3.4 \text{HBS}$

灰口铁  $\sigma_b = 1 \text{HBS}$

硬度试验比较简单、迅速、经济，并且一般不破坏试样或零件；根据测定的硬度值还可以大致估计出材料的抗拉强度，这在生产实践中是很重要的。

### 3. 冲击韧性

金属材料在使用过程中，往往受到冲击载荷的作用。为了防止冲击载荷引起的突然破坏，一些重要零部件，如起重机吊钩、变速齿轮、内燃机的活塞连杆、曲轴等，都需要有一定的冲击韧性。

冲击韧性就是金属材料抵抗冲击载荷的能力。为了确定材料的冲击韧性值，必须进行冲击试验。目前，工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定冲击值。

一次摆锤冲击弯曲试验，是将金属材料制成如图 1-6 所示的带缺口冲击试样。然后把试样放在试验机的支座上，试样缺口背向摆锤的冲击方向，如图 1-7 所示。

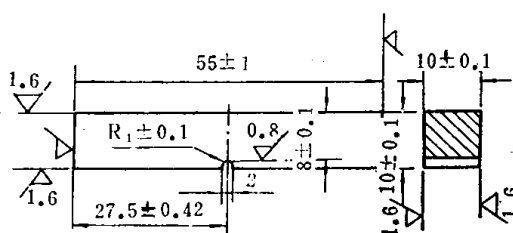


图1-6 带缺口的冲击试样

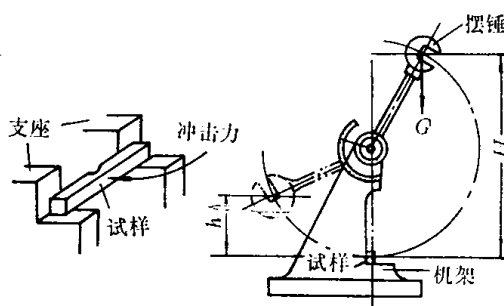


图1-7 冲击试验原理图

最后，把摆锤从一定高度落下，冲断试样后，又升起一定的高度。摆锤冲断试样时，在试样横截面的单位面积上所消耗的功，称为冲击韧性值，用符号  $a_k$  表示，即

$$a_k = \frac{A_k}{F} = \frac{G(H-h)}{F} \quad (\text{J}/\text{cm}^2)$$

式中  $A_k$ ——冲断试样所消耗的功 (J)

$F$ ——试样缺口处横截面积 ( $\text{cm}^2$ )

$G$ ——摆锤重量 (N)

$H, h$ ——冲断前、后摆锤的高度 (m)

$a_k$  的大小，表示材料的韧性好坏。 $a_k$  值大，表示材料韧性好，在断裂前有较大的塑性变形，试样的断口呈暗灰色纤维组织，称韧性断口。 $a_k$  值小，表示材料韧性差，在断裂前没有明显的塑性变形，断口呈银白色结晶并有金属光泽，称脆性断口。

### 4. 疲劳强度

机械中有些零件在工作过程中受到方向、大小反复变化的交变应力的作用，如图1-8所示。虽然零件中的交变应力数值远小于材料的屈服强度，但在长时间工作后也会断裂，这种断裂称为疲劳断裂。疲劳断裂在断裂前不产生明显的塑性变形，而是突然发生的，具有很大的危险性，因此，必须引起足够的重视。

疲劳试验可以测出材料的疲劳强度，疲劳强度是指材料经受 $N$ 次应力循环而不断裂时的最大应力，即材料承受的应力低于疲劳强度时，则可经受无限次应力循环而不断裂，如图1-9所示。工程上规定，材料经受相当循环次数，对钢铁来说 $N = 10^7$ 次，对有色金属 $N = 10^8$ 次，而不断裂，就可认为它能经受无限次应力循环而不断裂。对称交变循环应力的疲劳强度以 $\sigma_{-1}$ 表示。经测定，钢材的 $\sigma_{-1}$ 只有 $\sigma_b$ 的50%左右。

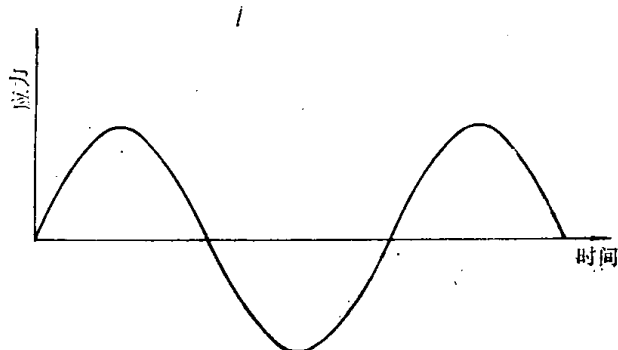


图1-8 对称循环交变应力

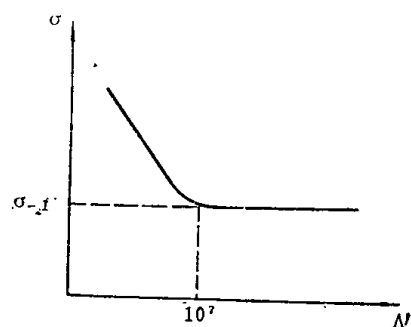


图1-9 钢的疲劳曲线

影响疲劳强度的因素很多，内在因素有材料的组织和内部缺陷等；外在因素有几何形状、表面粗糙度和工作环境等。

## 二、金属材料的物理性能和化学性能

### 1. 金属材料的物理性能

金属材料的物理性能有比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。由于零件的工作条件及用途不同，对材料的物理性能要求也有所不同。如飞机零部件，为了减轻自重，需要选用比重小的材料；如电器零件，则要求材料具有良好的导电性和磁性等等。因此，在设计时，应根据零件的不同用途，选用具有所要求的物理性能的材料。

金属材料的物理性能，对热加工也有一定的影响，如碳钢、合金钢的导热性不同，在锻造或热处理时的加热速度就不同；铸钢、铸铁和铝合金的熔点不同，铸造时的熔炼工艺和浇注温度就不同。

### 2. 金属材料的化学性能

化学性能主要指耐腐蚀性，即金属材料在常温或高温时抵抗各种介质的化学侵蚀能力。主要化学性能有耐酸性、耐碱性和抗氧化性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的零件，比在空气或室温下的腐蚀更为强烈，因此，在设计或制造这类零件时，应特别注意金属材料的化学性能，要选用化学稳定性良好的材料，如化工设备、电力设备通常选用不锈钢和耐热钢等。

### 三、金属材料的工艺性能

工艺性能是物理、化学和机械性能的综合，是指金属材料能够适应加工工艺要求的能力，是决定它能否进行加工或如何进行加工的重要依据。按工艺方法不同，工艺性能可分为铸造性、可锻性、可焊性和切削加工性能等。这些性能不能单用一个物理参数表示。

在设计零件和选择零件加工方法时，都要充分考虑金属材料的工艺性能。这些性能将在以后各章分别进行讨论和叙述。

## 第二节 金属及合金的晶体结构和结晶

不同材料或相同材料在外力作用下都会表现出不同的机械性能。这是由其化学成份和内部结构所决定的。因此，要了解金属材料的性能，必须首先了解其内部结构。

### 一、金属晶体结构

一切物质都是由原子组成的，固体物质按其原子排列的特点，可分为晶体和非晶体两类。晶体的原子按一定次序作有规则的排列，如金刚石、食盐、石墨和所有的固态金属等。非晶体的原子呈无规则的排列，如玻璃、松香等。晶体的特点是有固定的熔点和各向异性。

晶体中原子排列的情况，如图1-10a)所示。

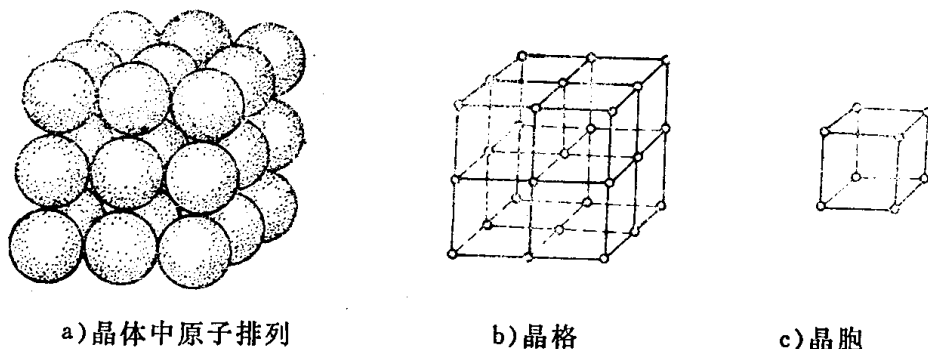


图1-10 晶体结构示意图

为了表明晶体内部原子排列规律，以便分析比较各种晶体的内部结构，把每个原子看成一个点，把这些点用假想线连接起来，便形成一个空间格子，叫做晶格，如图1-10b)所示。晶体中原子有重复排列的特点，因此，可以根据组成晶格最基本的几何单元来确定原子排列的规律，这个单元叫做晶胞，如图1-10c)所示。晶胞中各棱边的长度叫做晶格常数，用晶格常数表示晶胞的大小，以 $\text{\AA}$ （埃）为单位来度量（ $1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$ ）。各种金属晶体结构的主要差别，就在于晶格类型和晶格常数不同。金属的晶格类型很多，最常见的有以下两种：

#### 1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞是一个立方体，在立方体的顶角上和立方体的中心各有一个原

子，如图1-11所示，属于这种晶格类型的金属有铬、钼、钨、钒和 $\alpha$ 铁（温度在 $912^{\circ}\text{C}$ 以下的纯铁）等。

## 2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是一个立方体，原子分布在立方体的各顶点和各面的中心处，如图1-12所示。属于这种晶格的金属有铝、铜、镍和 $\gamma$ 铁（温度在 $1394\sim 912^{\circ}\text{C}$ 之间的纯铁）等。

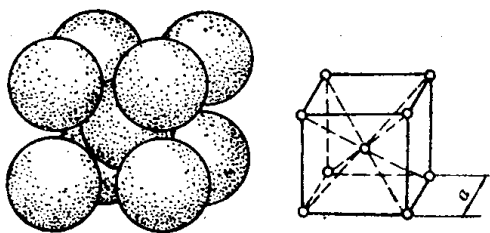


图1-11 体心立方晶胞

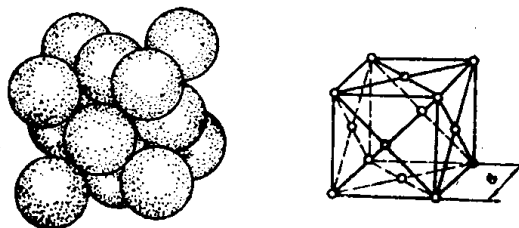


图1-12 面心立方晶胞

各种晶体由于原子结构、晶格类型和晶格常数不同，所以表现出不同的物理、化学和机械性能。

## 二、金属的结晶过程

金属的结晶是指金属由液态转变为固态的过程，即原子由不规则排列状态转变为有规则排列状态的过程。

纯金属结晶是在一定温度下进行的，它的结晶过程可用热分析方法测定。先将金属熔化，然后进行冷却，每隔一定时间，测定一次温度。将数据描绘在温度——时间坐标上，即可绘制出纯金属的冷却曲线。

图1-13为在极其缓慢冷却条件下测得的冷却曲线，当冷却到a点时，液态金属开始结晶。结晶时金属内部放出结晶潜热，补偿了冷却时散失在空气中的热量使温度保持不变，直到b点结晶全部结束，温度才继续下降。在冷却曲线上，ab为水平线段，它对应的温度称为理论结晶温度 $T_0$ 。

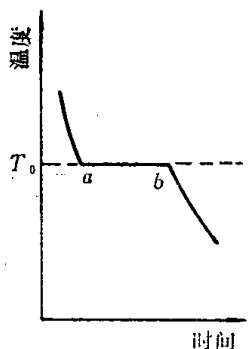


图1-13 缓慢冷却时冷却曲线

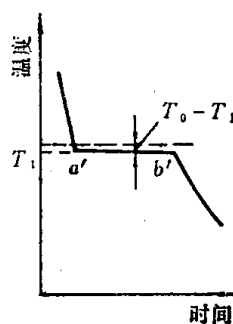


图1-14 实际冷却时冷却曲线

在实际生产中，液态金属冷却速度不可能极其缓慢，而是较快，冷却曲线，如图1-14所示。实际结晶温度 $T_1$ 总要低于理论结晶温度，这种现象称为过冷。理论结晶温度与实

实际结晶温度之差称为过冷度，即 $\Delta T = T_0 - T_1$ 。金属的过冷度与冷却速度有关。冷却速度愈快，过冷度愈大；反之，冷却速度愈慢，过冷度愈小。

金属的结晶过程，可分为两个阶段：即晶核的形成和晶核的成长。在晶核成长的同时，新晶核又陆续产生，而且不断地长成晶体，如图1-15所示。当它们长大到与相邻晶体互相接触，就形成了具有不规则外形的晶粒。晶粒之间的接触面叫晶界。

晶粒的粗细对于金属的机械性能有很大影响。晶粒细的金属强度高，塑性亦好。结晶时，液态金属中形成的晶核愈多，长成的晶粒愈细。故可用增大冷却速度或将某些高熔点物质的微粒加到液金属内以增加晶核的方法细化晶粒，改善其机械性能。加入高熔点物质细化晶粒的操作，称为变质处理。

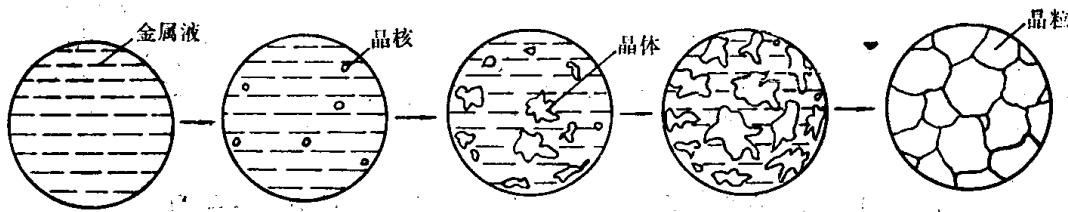
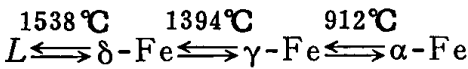


图1-15 金属结晶过程示意图

### 三、金属的同素异晶转变

大多数金属在结晶以后的晶格类型都保持不变，但有些金属，如铁、锡、钛、锰等，在加热和冷却过程中，会发生晶格类型的转变。金属由一种晶格类型转变成另一种晶格类型的过程叫做同素异晶转变。

同素异晶转变是在固态下金属原子重新排列的过程，与结晶过程相似，亦遵守晶核的形成与成长的结晶规律，也有过冷现象，转变时也放出潜热，使转变在恒温下进行，因而在冷却曲线上同样出现水平线段。纯铁的冷却曲线如图1-16所示。在1538℃以上为液体，用符号L表示；在1538~1394℃时，纯铁具有体心立方晶格，叫做 $\delta$ -Fe；在1394~912℃时，纯铁具有面心立方晶格，叫做 $\gamma$ -Fe；在912℃以下，纯铁又具有体心立方晶格，叫做 $\alpha$ -Fe。其转变过程可概括为：



原子排列方式不同，原子排列密度就不一样，面心立方晶格比体心立方晶格排列得紧密，即 $\gamma$ -Fe的比容比 $\alpha$ -Fe小，所以，铁在同素异晶转变时，会产生体积的变化。由 $\alpha$ -Fe变为 $\gamma$ -Fe时，体积要缩小；而由 $\gamma$ -Fe转变为 $\alpha$ -Fe时，体积会增大。这种体积变化会引起内应力，是钢在淬火时产生变形或开裂的重要原因。

纯铁的同素异晶转变具有重要意义，正是由于铁具有这一特性，才使钢能通过热处理

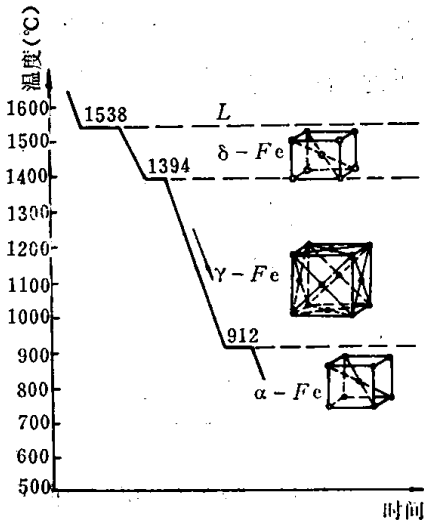


图1-16 纯铁的冷却曲线

理的方法来改变其内部组织，以改善其机械性能。因此，同素异晶转变是钢能进行热处理的主要根据。

#### 四、合金的晶体结构

合金是以一种金属元素为基础，加入其它金属或非金属元素，经过熔炼或其它方法而组成的具有金属特性的材料。

组成合金的元素称为组元，一般来说，组成合金的元素就是该合金的组元。铁碳合金中的铁和碳都是组元。按组元的数目，合金可分为二元合金，三元合金和多元合金等。

合金的结构比纯金属复杂，它由各组元在结晶时的相互作用而决定。由于各组元相互作用不同，可以形成化合物、固溶体和机械混合物。

##### 1. 化合物

它是合金各组元的原子按一定的整数比化合而成的一种新的金属化合物。它具有与组元原来晶格不同的复杂的新晶格。如铁碳合金中的渗碳体就是铁和碳组成的化合物  $\text{Fe}_3\text{C}$ 。

由于金属化合物具有与各组元晶格完全不同的特殊晶格，所以有比各组元高的熔点和硬度。如铁的硬度  $\text{HBS} = 80$ ，以石墨形式存在的碳硬度  $\text{HBS} = 3$ ，而由它们形成的化合物  $\text{Fe}_3\text{C}$  的硬度可达  $\text{HBS} = 800$ 。

##### 2. 固溶体

固溶体的含义与液溶体相似，当两种组元构成合金时，在液态下，一般可以彼此溶解，而形成均匀的溶液。在固态下，组元之间彼此仍可以溶解或部分溶解，而形成固溶体。如碳的原子能溶解在铁的晶格里，这时铁是溶剂，碳是溶质。这种溶质原子溶入溶剂晶格里而仍保持溶剂晶格类型的金属晶体，叫做固溶体。

溶质原子溶入溶剂晶格间隙中形成的固溶体叫做间隙固溶体，如图1-17所示；溶质原子取代溶剂晶格结点上的原子形成的固溶体叫做置换固溶体，如图1-18所示。

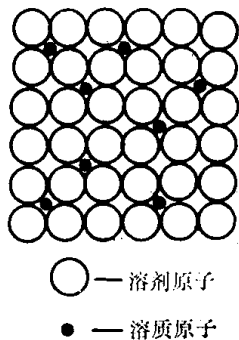


图1-17 间隙固溶体示意图

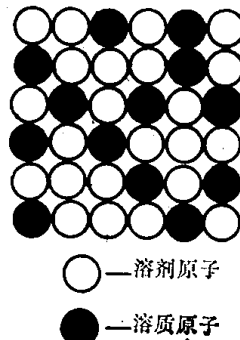


图1-18 置换固溶体示意图

置换固溶体中溶质原子能以任何比例溶入溶剂中的叫做无限固溶体，否则叫做有限固溶体。有限固溶体的溶解度有一个限度，此限度通常随温度的降低而下降。间隙固溶体的溶解度总是有限的。

由于溶质原子和溶剂原子的大小不一，性质不同，形成固溶体后，会使溶剂晶格发生畸变。这种畸变会使金属晶体塑性变形的阻力增加，使固溶体的强度和硬度比纯金属