

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

金属工艺学 学习指导书

华中工学院
天津大学 编

高等教育出版社

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

金属工艺学 学习指导书

华中工学院
天津大学 编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是高等学校试用教材邓文英主编《金属工艺学》(1981年修订版)上、下册(高等教育出版社出版)的学习指导书。

本书根据函授、自学的特点,详细地阐明了各篇、章学习的目的和要求,指出各章学习的重点和难点,对各章的主要部分补充了必要的说明和实例。同时,还结合各篇的特点,在学习方法上给予相应的指导。各章末补充了若干自我检查题,以便于自我检查掌握教材内容的程度,每篇末还附有综合性的测验题,可用来检查自学的效果。

本书可作为高等工业学校机械类专业函授学生用书,也可供自学者参阅。

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

金 属 工 艺 学 学 习 指 导 书

华中工学院
天津大学 编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 5.375 字数 130,000

1983年3月第1版 1983年8月第1次印刷

印数 00,001—34,000

书号 15010·0484 定价 0.64 元

前 言

教育部于1981年12月在石家庄召开的高等工业学校函授教学工作会议上,推荐了华中工学院邓文英主编的《金属工艺学》(1981年修订版)作为高等学校机械类专业函授教材,兼作高等教育自学用书;并确定华中工学院和天津大学为该书编写一本符合函授、自学要求的学习指导书,以帮助函授学生和自学读者学好金属工艺学。

金属工艺学是一门研究制造金属零件工艺方法的综合性技术基础课程,具有实践性较强并与机器制造过程紧密联系的特点。因此,函授学生在学习本课程以前,应该在有关教师或工程技术人员指导下,有目的地参观2~3个不同类型的机器制造厂(参观要求见各篇的“学习方法”),以便对机器制造冷、热加工的主要工艺方法及其设备,具有一定的感性认识基础。

为了适应函授、自学的特点,本书详细地阐明了各篇、章学习的目的与要求;指出了各章学习的重点和难点;并着重对每章的主要部分补充了必要的说明和实例;对教材中次要或较易理解的内容,则不多赘述。同时还结合各篇的特点,在学习方法上给予相应的指导,以帮助学生正确地理解和领会教材的内容。各章末补充了若干自我检查题,以便于自行检查掌握教材内容的程度;每篇末还附有综合性的测验练习题,可用来考查自己学习的效果。此外,推荐天津大学张力真主编的《金属工艺学实习教材》作为函授、自学读者的学习参考书。

本书是在邓文英、张力真同志指导下编写的。其中第一至第四篇由华中工学院彭爱平、沈其文、徐龙啸、郑兆昭编写;第五篇由

天津大学张力真、杨万春、张文曙、宋力宏编写，并由徐鸿本、宋力宏进行了统稿工作。

本书由南京工学院戴枝荣、刘增堂、陈辉华、王德品、陈毓龙等同志进行了详细的审阅。

本书与邓文英主编的《金属工艺学》(1981年修订版)配套使用，作为高等工业学校机械类函授学生和自学读者学习金属工艺学的指导书；亦可供全日制工科院校以及电视、职工大学师生参考。

由于编审者的水平所限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

一九八二年七月

目 录

第一篇	金属材料性质	1
第一章	金属及合金的主要性能.....	1
第二章	金属的结晶和合金的构造.....	8
第三章	铁碳合金.....	14
第四章	钢的热处理概念.....	19
第二篇	铸造	24
第一章	砂型铸造工艺.....	25
第二章	合金的铸造性能.....	34
第三章	常用合金铸件的生产.....	41
第四章	铸件结构设计.....	51
第五章	特种铸造.....	55
第三篇	金属压力加工	59
第一章	金属的塑性变形.....	60
第二章	自由锻.....	65
第三章	模锻.....	70
第四章	板料冲压.....	74
第五章	压力加工先进工艺简介.....	78
第四篇	焊接	83
第一章	熔化焊.....	85
第二章	压力焊与钎焊.....	97
第三章	常用金属材料的焊接.....	100
第四章	焊接结构设计.....	103
第五篇	金属切削加工	107
第一章	金属切削加工的基础知识.....	111
第二章	金属切削机床的基础知识.....	121

第三章	各种加工方法综述.....	128
第四章	齿轮齿形的加工.....	146
第五章	零件的结构工艺性.....	151
第六章	工艺过程的基本知识.....	155
第七章	特种加工简介.....	162

第一篇 金属材料性质

I. 学习目的

了解常用金属材料的一般性质，懂得金属的晶体构造及结晶过程，对铁碳合金状态图，对钢的热处理及应用范围有基本的概念，从而为学习本课程的铸造、压力加工、焊接和切削加工等部分准备必要的基础知识。

II. 学习方法

由于以后还要学习“金属学及热处理”等课程，为了避免不必要的重复，本篇内容仅有一定的深广度，在学习本篇时，只要能掌握和理解本教材上的内容即可，不宜去钻研过深过广的内容。

本篇中有相当多的名词术语，如晶格、过冷度、固溶体等等，应着重于理解这些名词的物理意义，而不要死记硬背它们的定义。

第一章 金属及合金的主要性能

I. 学习要求

了解金属及合金各种机械性能的物理意义，熟悉几个主要的机械性能指标，以便在设计机器零件时，具有根据零件的技术要求合理地选用所需金属材料的基础知识。

II. 重点和难点

本章的重点是阐述金属及合金的机械性能，主要有弹性、塑性、强度、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。有关金属及合金的物理、化学及工艺性能，不是本章的重点，只要求作一般的阅读，了解其概念。

III. 内容的解释和提示

所谓金属及合金的机械性能，是指金属及合金在外力作用下所表现出来的性能。在不同的外力作用下反映出不同的机械性能指标，例如就强度而言，按照作用力性质的不同，可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪切强度和抗扭强度等，其中以抗拉强度最常用，它是在材料试验机上作拉伸试验测定的。

拉伸图

首先把金属材料做成拉伸试样如教材图1-1所示，将试样置于试验机夹头内，于试样两端施加拉力 P ，试样产生伸长量 Δl ，随着 P 值增加， Δl 亦相应增加直至断裂为止，根据载荷(拉力)与变形量(伸长量)的变化关系，可绘出拉伸图，如图1所示，称为载荷-伸长图。

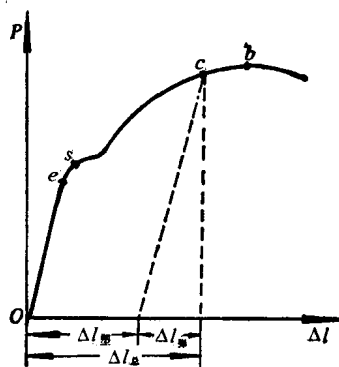


图1 低碳钢载荷-伸长图

如果纵坐标以应力 σ 表示，横坐标以应变 ϵ 表示，其中 $\sigma = \frac{4P}{\pi d_0^2}$ (单位面积上的拉力)， $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ (单位长度上的伸长量)，则得到另一种拉伸图如图2所示，称为应力-应变图。此两种拉伸图相似，只是坐标不同，后者不受试样尺寸的影响，可以直接读出

材料的一些机械性能指标如 σ_s 和 σ_b 等。拉伸图完整地反映了金属在拉伸过程中的机械性能指标,是判断金属材料性能的重要手段。

弹性、塑性及塑性指标

什么是弹性和塑性?什么是弹性变形和塑性变形?教材中已有叙述,两者虽都是反映变形的状态,但意义不同。从两种拉伸图

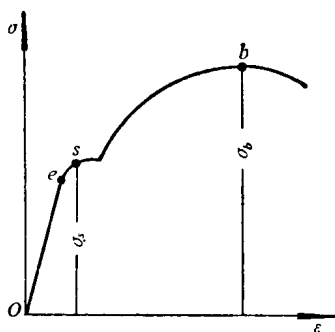


图2 低碳钢应力-应变图

均可看出,当拉力达到曲线上 e 点以前,曲线为直线段, σ 与 e 成正比关系,遵守虎克定律,材料处于弹性阶段。当拉力超过 e 点以后,则材料处于弹、塑性变形阶段,两种变形同时存在,一旦外力去除,则只有塑性变形被保留下来,例如当拉力 P 加到 c 点时(见图1),总变形量为 $\Delta l_{\text{总}}$,它包括弹性变形量 $\Delta l_{\text{弹}}$ 和塑性变形量 $\Delta l_{\text{塑}}$,当外力卸除后产生的永久变形量即为 $\Delta l_{\text{塑}}$ 。在拉伸过程中,当拉力达到最大值 b 点时,试样开始产生缩颈然后断裂,试样被拉断后的长度为 l ,则总的塑性变形量为 $(l-l_0)$,把这个总的塑性变形量与试样原始长度之比的百分数定义为延伸率 δ ,即 $\delta = \frac{l-l_0}{l_0} \times$

100%,延伸率是最常用的衡量金属材料的塑性指标, δ 愈大,材料的塑性愈好。此外,断面收缩率 ψ 也是衡量塑性的指标,

$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$,式中 F_0 和 F 分别表示试样原来的截面积和

断裂后缩颈处的截面积。

屈服强度和抗拉强度

一、屈服强度(屈服极限)

从拉伸图上可以看到,在 s 点出现了一段水平线段,表明虽然

拉力不再增加,但变形仍在进行,这是金属从弹性状态转向塑性状态的标志,称为屈服现象, s 点称为屈服点, s 点所对应的应力乃是金属抵抗微量塑性变形的应力,称为屈服强度,以 σ_s 表示, $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{MPa}$ (P_s 的单位为 N , F_0 的单位为 mm^2)^①, σ_s 是衡量金属材料重要的强度指标,工程上绝大部分金属结构和机器零件,都是在弹性状态下工作,它所承受的工作应力不能超过它自身的屈服强度,否则过量的塑性变形会引起机件失效,故 σ_s 是设计和选材的主要依据。

工程上使用的金属和合金作拉伸试验时,拉伸图上多数没有明显的屈服现象,如图3所示。没有明显的水平线

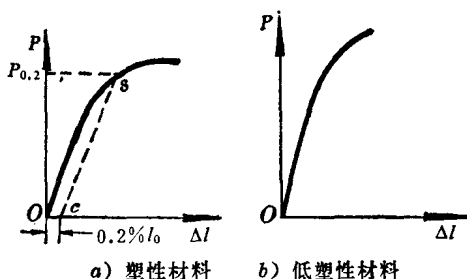


图3 塑性材料及低塑性材料的拉伸图

段, σ_s 很难测定,故规定以试样产生永久伸长量为试样原长度的 0.2% 时的应力为该材料的屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。在拉伸图横坐标上截取 $\overline{Oc}$, 使 $\overline{Oc} = 0.2\% l_0$, 再作 cs 线平行于拉伸曲线直线段,交曲线于 s 点,则可找出对应于 s 点的拉力 $P_{0.2}$,从而可算出 $\sigma_{0.2}$ 。

二、抗拉强度(强度极限)

抗拉强度 $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{MPa}$ (P_b 的单位为 N , F_0 的单位为 mm^2), σ_b

表示材料在拉断前所能承受的最大应力,如果机件在超过 σ_b 的条件下工作,就会引起机件的破坏,甚至可能造成重大事故,故 σ_b 也是一个重要的强度指标,特别是对那些低塑性和脆性材料来说,屈服强度很难确定。 σ_b 便是设计的重要依据。

① $1 \text{MPa} = 10^6 \text{Pa} = 0.102 \text{kgf/mm}^2$ 。

布氏硬度和洛氏硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种指标,生产上应用很广泛,测量硬度的方法以布氏硬度法和洛氏硬度法最为多见,它们都是将某一更硬的物体压入被测金属的表面,所以其硬度值实质上是指金属材料在表面局部体积内抵抗塑性变形的能力,故硬度与强度有一定的关系,材料的强度愈高,硬度值亦愈高。

一、布氏硬度法

布氏硬度试验是用一定大小的压力,把直径为 D 的淬火钢球压入金属表面,如图4所示,保持一定时间后卸除载荷,根据压

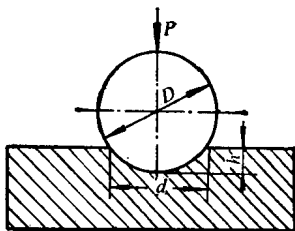


图4 布氏硬度试验原理图

痕的表面积 F 算出硬度值,以HB表示,即 $HB = \frac{P}{F} \text{ kgf/mm}^2$ ①,由于 $F = \pi Dh = \frac{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$,故只要测出压痕直径 D 就可算出HB,实际上HB可以直接查表得到,不需要再作计算。

由于材料有硬有软,工件有厚有薄,应根据材料种类、试样厚度和硬度范围,按照布氏硬度试验的规范要求,选择钢球直径 D 、载荷 P 和载荷保持时间。

布氏硬度试验的压头为淬火钢球,故不能试验太硬($HB > 450$)的金属材料,通常用于测量铸铁、有色金属、碳素钢和低合金结构钢等原材料的硬度。

二、洛氏硬度法

洛氏硬度试验法的压头采用 120° 锥角 of 的金刚石圆锥或直径为1.588mm的淬火钢球,在一定的总载荷下压入被测金属表面,根

① 因我国硬度值测定标准采用米制单位,故本书中凡与硬度有关各值仍沿用米制单位。

据压入深度 h 值的大小来衡量。若直接以深度 h 作为硬度值, 则出现硬的材料 h 值小, 软的材料 h 值大的现象, 为了适应人们习惯上硬度愈高数值愈大的概念, 人为地用一常数 k 减去深度 h 的值作为洛氏硬度值的指标, 以 HR 表示, 故 HR 没有单位。

有以下三种洛氏硬度值, 当压头用金刚石圆锥总载荷为 150 kgf 时称为 HRC, 总载荷 60 kgf 时称为 HRA, 当压头用 $\phi 1.588$ mm 钢球总载荷 100kgf 时称为 HRB。这三种洛氏硬度各有不同的适用范围: HRC 应用于测量 HRC=20~70 的金属, HRA 则用于 HRA=70~85 的硬金属及硬而薄的金属, HRB 只用于 HRB=25~100 的退火钢及有色金属, 生产上以 HRC 应用最广。

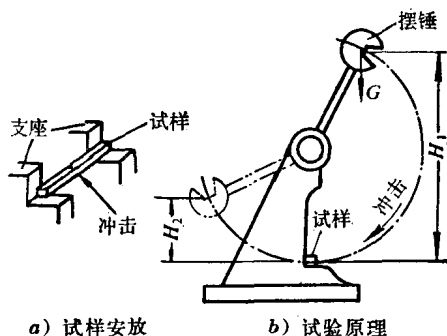
与布氏硬度法比较, 洛氏硬度试验操作简单迅速, 可直接读数, 不会损坏零件表面, 可测量成品或半成品, 可测薄试样和从极软到极硬的材料, 但因压痕小, 当金属的组织不均匀时, 会使测量值不十分准确, 故通常要在不同部位测量多次取其平均值。洛氏硬度测量法目前广泛用于检查热处理零件的机械性能。

冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性。工程上常用一次摆锤弯曲冲击来测定冲击韧性, 如图 5 所示。摆锤冲断试样所消耗的能量称为冲击功,

以 A_k 表示, $A_k = G(H_1 - H_2)$ J, 以试样缺口处截面积 $F\text{cm}^2$ 去除 A_k , 即得到冲击韧性, 以 a_k 表示, $a_k = \frac{A_k}{F}$ J/cm²①。

塑性材料的试样都开缺口, 测试时保证在缺



a) 试样安放 b) 试验原理
图 5 冲击试验示意图

① $1 \text{ J/cm}^2 = 10^4 \text{ J/m}^2 = 0.102 \text{ kgf} \cdot \text{m/cm}^2$ 。

口处冲断,以便正确评定材料能够承受冲击的能力,脆性材料则常采用不带缺口的试样。

冲击韧性并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、加工精度和试验温度等因素在很大的范围内变化。事实上摆锤冲断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 值并不能正确代表材料所吸收的冲击能量。在冲击载荷下的机器零件,很少是受大能量一次冲击而破坏的,往往是受小能量多次重复冲击而破坏,因此在一次冲断条件下确定的 a_k 值,只能作为抵抗冲击能力的参考性指标。

疲劳强度(疲劳极限)

所谓金属疲劳,是指在交变载荷下工作的机器零件,虽然工作应力低于屈服强度,但在长时间工作后发生断裂,这种现象称为疲劳。因此在交变载荷作用下工作的零件,选材和设计时,不仅要考虑材料的屈服强度,还要考虑它的疲劳强度。

金属材料在无数次重复的交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力称为疲劳强度。通常是在旋转对称弯曲疲劳试验机上进行测定,试验时规定,钢在经受 $10^6 \sim 10^7$ 次,有色金属经受 $10^7 \sim 10^8$ 次交变载荷作用时,不发生断裂的最大应力称为疲劳强度,以 σ_{-1} 表示,一般钢铁的弯曲疲劳强度 σ_{-1} 只有 σ_s 的一半左右。

由于金属表面是疲劳裂纹核心易于产生的地方,故构件的表面状态对疲劳强度的影响很大,为了提高零件的疲劳强度,需要改善零件结构形状,避免断面的急剧变化,零件表面需经过精细加工使具有高的表面光洁度,并避免表面伤痕。采用表面强化工艺(如表面喷丸、表面滚压和表面热处理等),是提高疲劳强度的有效途径。

自我检查题

- (1) σ_s 和 σ_b 是两个重要的强度指标, 你怎样理解?
- (2) 如何测定塑性材料的塑性指标 δ 和 ψ ?
- (3) HB 和 HR 的测定方法和应用范围有何不同?
- (4) 何谓金属疲劳和疲劳强度?

第二章 金属的结晶和合金的构造

I. 学习要求

了解常用金属的晶体结构及结晶过程, 掌握纯铁同素异晶转变规律, 了解合金的基本构造, 从而为学习铁碳合金打基础。

II. 重点与难点

本章重点为金属的晶体结构及结晶过程; 纯铁的同素异晶转变; 合金的基本结构和铅铋合金状态图的概念。

III. 内容的解释和提示

金属的晶体结构

金属的晶体和晶格是两个不同的概念。晶体是原子在空间有规律排列着的物体, 但由于金属晶体中的原子总是结合得很紧凑很密集, 密密麻麻地堆积在一起, 故很难看清内部的排列规律及特点, 人们为了便于分析和描述晶体中原子排列的情况, 把每个原子看成一个小点, 并用假想线条将这些点连接起来, 得到一个抽象化了的空间格子, 称此为晶格, 如教材图 1-3b 所示。晶格的最小单元

称为晶胞,如教材图 1-3c 所示,晶胞中原子排列的规律能完全代表整个晶格中原子排列的规律。人们研究金属的晶体结构,一般都是取出晶胞来研究的。

常见的金属晶体结构类型有以下三种:

(1) 体心立方晶格,见教材图 1-4a;

(2) 面心立方晶格,见教材图 1-4b;

(3) 密排六方晶格,见教材图 1-5。

上述三种晶格的结构特点以及属于这几类晶格的主要金属,教材上均有叙述。

金属的结晶过程

我们要明确两点:(1) 金属在结晶时一定存在着过冷度;(2) 结晶的过程就是不断形成晶核以及晶核不断长大的过程。

教材图 1-6 表示纯金属的冷却曲线,曲线上有一水平段,就是纯金属的实际结晶温度,水平段的长度就是实际结晶所需要的时间,结晶完了以后曲线又连续下降。出现水平段的原因是由于结晶潜热的放出补偿了冷却散失的热量。图中虚线表示理论结晶温度,也就是指金属的结晶速度恰好等于它的熔化速度时所对应的温度,显然当高于这个温度时,固态金属便不断熔化,只有当低于这个温度时,液态金属才会不断结晶。所以实际结晶温度必须在理论结晶温度以下,这种现象称为过冷,其温度差称为过冷度 ΔT

($\Delta T = T_{\text{理}} - T_{\text{实}}$),过冷是结晶的必要条件, ΔT 越大,结晶的推动力也愈大,结晶速度愈快。

金属结晶过程如教材图 1-7 所示,首先在液态金属中出现第

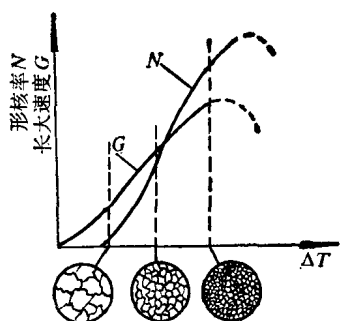


图 6 金属结晶时形核率和长大速度与过冷度的关系

一批晶核,并且不断长大,同时又有新的晶核形成和长大,使液态金属愈来愈少,直到所有晶体彼此相遇,液态金属耗尽,结晶完毕。由此可知一块金属是由很多的小晶体组成的,这些小晶体叫做晶粒,一个晶粒是由一个晶核成长起来的,其内部原子晶格排列的方位完全一致,但是相邻的晶粒内部原子晶格排列的方位则不同,所以也可以说金属是由很多大小、外形和晶格排列方向均不相同的晶粒所组成的多晶体。

金属结晶的速度取决于晶核形成的速度和晶核长大的速度,过冷度愈大,金属晶核形成速度和晶核长大速度均愈大。由于结晶条件的不同,有两种晶核形成的方式:自发形核和非自发形核,如果液态金属中存在某些微细的固态质点,则这些质点就可以作为形成晶核的基底,这种晶核称为非自发晶核或外来晶核,这种形成晶核的方式比自发形核容易进行。关于晶体长大的方式,一般是以树枝状晶体生长的方式,教材图 1-7 已示意地表示了每个晶粒的生长过程。通过这一部分的学习,要求对金属的结晶过程建立初步的概念。

金属结晶后的晶粒大小对机械性能影响很大,晶粒愈细,强度、硬度愈高,塑性、韧性也愈好,所以通常总是希望金属材料的晶粒愈细愈好。铸造生产中为了得到细晶粒的铸件,常采取以下几种办法:

(1) 控制过冷度 金属结晶过程中过冷度愈大,形核率和晶体长大速度也愈大,但两者的增长速度并不同,故过冷度 ΔT 愈大,晶粒愈细,如图 6 所示。因此降低浇注温度、增大冷却速度(如采用金属型、水冷铸型等),可使晶粒细化。

(2) 变质处理 在浇注时向液态金属中加入一定的变质剂,起到外来晶核的作用,并能在铸件的整个体积内都能得到均匀细化的晶粒。