

工程材料 学习指导书

李鸿珠 等编

机械工业出版社

工程材料学习指导书

李鸿珠 等编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印装

*

开本787×1092 1/16 印张8 千字197

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

印数 1—8,000

定价 2.40 元

ISBN 7—304—00540—8/TB·8

前 言

本书是中央广播电视大学工程材料课程的配套教材,作为机械工程类各专业学生学习本课程的参考书,与中央广播电视大学的《工程材料》教材(中央广播电视大学出版社出版,饶孝权主编)配套使用。本书内容包括:工程材料教学大纲、学习指导(含习题与思考题)、实验指导书、课堂讨论指导书、期末复习自检题及答案共六部分。

学习指导部分主要对电视授课的各章内容作归纳,并指出教学要求;同时,对各章均安排了若干习题和思考题。希望读者在收看电视授课并阅读教材有关的内容后,再按本书进行自学,以期达到深入理解并掌握本课程教学要求的目的。

实验指导部分包括实验目的、内容、步骤等内容。是教师安排实验,学生完成实验的依据。

课堂讨论指导部分,是对铁碳相图、钢的热处理、材料的选择和使用等重点章节内容的综合讨论,拟出了讨论提纲并提出了要求,以便学生深入理解有关各章的内容,争取获得较好的教学效果。

复习自检题是根据近年中央电大的考试试题整理而成的,基本上反映了电大工程材料课程的教学要求,可供读者在学完本课程后参考使用。

在本书的编写过程中,饶孝权副教授提出了许多宝贵的修改意见,并审定了全部书稿,在此谨致衷心的感谢!

本书的学习指导部分及复习自检题由李鸿珠编写;习题与思考题、课堂讨论指导由陶静编写;实验指导由陈慧芳编写。

由于编者水平有限,疏漏错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1990.3.

目 录

工程材料教学大纲	(1)
工程材料学习指导	(6)
第一章 工程材料的性能	(6)
习题与思考题	(9)
第二章 工程材料的结构及凝固	(12)
习题与思考题	(13)
第三章 金属的塑性变形和再结晶	(14)
习题与思考题	(17)
第四章 二元合金	(18)
习题与思考题	(22)
第五章 铁碳合金	(25)
习题与思考题	(32)
第六章 钢的热处理	(33)
习题与思考题	(38)
第七章 合金钢	(40)
习题与思考题	(43)
第八章 有色金属及其合金	(46)
习题与思考题	(47)
第九章 非金属材料	(48)
习题与思考题	(51)
第十章 零件的失效分析与材料选择	(52)
习题与思考题	(57)
工程材料实验指导	(64)
实验一 铁碳合金平衡组织分析	(64)
附录一 显微镜的基本原理、构造及应用	(66)
附录二 金相样品的制备	(70)
实验二 钢的热处理	(71)
附录三 洛氏硬度计的使用	(73)
实验三 碳钢热处理后的显微组织的观察	(77)
实验四 常用金属材料的显微组织的观察	(80)
工程材料课堂讨论指导	(85)
课堂讨论一 铁碳相图	(85)
课堂讨论二 钢的热处理	(85)
课堂讨论三 材料的选择和使用	(87)
工程材料复习自检题	(90)
第 I 套自检题	(90)
第 II 套自检题	(92)
第 III 套自检题	(94)
第 IV 套自检题	(97)

工程材料复习自检题答案	(100)
第 I 套自检题答案	(100)
第 II 套自检题答案	(102)
第 III 套自检题答案	(103)
第 IV 套自检题答案	(105)
附：工程材料实验报告	(107)

工 程 材 料 教 学 大 纲

一、课 程 内 容

(一) 讲授内容

第一章 绪论

材料科学的发展及工程材料的概念

学习本课程的目的、要求和方法

工程材料的分类

第二章 工程材料的机械性能

静载时的机械性能

动载时的机械性能

变载时的机械性能

断裂韧性

蠕变

第三章 工程材料的结构

晶体学基础

晶体结构

晶体缺陷

无定形固体

第四章 结构的形成和转化

结晶

扩散

同素异构转变

非晶化

第五章 二元相图

平衡系相变

二元相图的建立

匀晶相图

共晶相图

其它相图

合金性能和相图之间的关系

第六章 工程材料的永久变形

单晶体的塑性变形

多晶体的塑性变形

冷作硬化

冷变形金属在加热时的变化

非晶材料的粘性流动

强化机制

第七章 铁碳合金

铁碳相图

典型铁碳合金结晶过程分析

铁碳相图的应用

碳钢

铸铁

第八章 钢的热处理及表面技术

钢在加热时的转变

过冷奥氏体等温转变产物与C曲线

过冷奥氏体连续冷却转变曲线

退火与正火

淬火与回火

淬透性

表面技术

第九章 合金钢

概述

合金元素在钢中的作用

结构钢

工具钢

特殊性能钢

第十章 有色金属及其合金

铝及铝合金

铜及铜合金

其它有色金属

第十一章 高分子材料

高分子材料的基本结构及性能

常用高分子材料

第十二章 陶瓷材料

概述

常用陶瓷材料的性能及应用

第十三章 复合材料

概述

常用复合材料

第十四章 机械零件的失效与材料选用

机械零件的失效

选材的一般原则

选材方法

典型零件的选材

复习

(二) 实验

1. 铁碳合金平衡组织分析
2. 钢的热处理(退火、正火、淬火及回火)
3. 碳钢热处理后显微组织的观察
4. 常用金属材料显微组织的观察

(三) 课堂讨论

1. 铁碳相图
2. 钢的热处理
3. 工程材料的选择和使用

二、大纲说明

(一) 课程的性质和任务

工程材料是广播电视大学机械类各专业学生必修的技术基础课。本课程的目的使学生获得有关工程材料的基本理论和基本知识;掌握常用工程材料成分-组织-性能间关系的一般规律;了解材料分析的基本方法;具有能根据机械零件的服役条件和性能要求正确、合理选用工程材料的初步能力。

(二) 课程的基本教学要求

1. 对各章的教学要求

(1) 绪论

本章介绍工程材料的概况及学习本课程的意义,可由学生自学。

(2) 工程材料的机械性能

本章以静载下的机械性能为重点;对于其它载荷下的机械性能,只要求学生了解其物理意义,可部分地由学生自学。

(3) 工程材料的结构

本章以金属的晶体结构为重点。学生应掌握有关晶体结构的基本知识及晶体缺陷的种类和特点;非晶体结构可部分地由学生自学。

(4) 结构的形成和转化

本章主要叙述工程材料结构的形成以及从一种状态转变为另一种状态的转变方式,其中最重要的是结晶和同素异构转变;其它转变可由学生自学。

(5) 二元相图

本章说明材料之所以具有这种或那种形态的本质——热力学上的平衡,并进一步说明平衡状态的图示法——相图。重点讲述二元匀晶共晶相图的形成、特点和分析方法等。其它类型的相图可部分地由学生自学。

(6) 工程材料的永久变形

本章阐明工程材料永久变形的主要特点及意义。重点讲述金属材料的塑性变形及其对性能的影响,随后的加热过程中性能的变化。其它内容可部分地由学生自学。

(7) 铁碳合金

本章讲述铁碳合金相图、化学成分和组织对性能影响的规律,常用铁碳合金的牌号、成

分、组织、性能及用途。典型铁碳合金结晶过程分析可部分地由学生自学。

(8) 钢的热处理及表面技术

本章讲述钢的热处理原理及有关常用热处理工艺的基本知识及其在机械零件加工工艺过程中的位置和作用。材料的表面技术可部分地由学生自学。

(9) 合金钢

本章讲述常用合金钢的分类、牌号和成分,常用热处理工艺、性能及用途。合金元素在钢中的作用等内容可由学生自学。

(10) 有色金属及其合金

本章讲述常用有色金属材料的性能及应用。

(11) 高分子材料

本章主要讲述高分子材料的基本性能、特点及应用。其基本结构等内容可部分地由学生自学。

(12) 陶瓷材料

本章主要讲述陶瓷材料的性能特点及其应用。有关的基本理论知识可部分地由学生自学。

(13) 复合材料

本章主要讲述复合材料的性能特点及应用。

(14) 机械零件的失效与材料选用

本章主要讲述机械零件的失效类型,选材的基本原则和方法,并以典型零件的实例说明选材方法的具体运用。

2. 课程的实验要求

本课程要求做四个实验(共 8 学时)。

实验一 铁碳合金的平衡组织(2 学时,建议在学习第七章时进行);

实验二 钢的热处理(2 学时,建议在学习第八章时进行);

实验三 碳钢热处理后显微组织的观察(2 学时,建议在学习第八章时进行);

实验四 常用金属材料显微组织的观察(2 学时,建议在学习第十章后进行)。

实验是本课程必不可少的组成部分,不完成以上四个实验(以是否获得实验指导教师的书面认可为依据),不能获得本课程的学分。

3. 课程的课堂讨论要求

课堂讨论是教学工作的一个重要环节,学生通过对课程中一些重点和难点的讨论,得以进一步掌握本课程的基本概念和基本理论。本课程要求进行三次课堂讨论:即:

(1) 铁碳相图(建议在学习第七章后进行);

(2) 钢的热处理(建议在学习第八章后进行);

(3) 工程材料的选择和使用(建议在学习第十四章后进行)。

(三) 本课程要求的先修课

本课程应安排在金属工艺学和材料力学两门课程之后进行,即学生应具有关于材料的力学性能及金属加工工艺方面的基本知识。

(四) 教学法的基本要求和教学建议

本课程的课内外学时合计为 162 学时。课外学时主要用于自学、辅导(包括课堂讨论)及实验等教学环节。学时分配如下:

1. 教学环节的时数分配

讲课(电视播出)

45 学时

实验课

8 学时

自学及辅导

109 学时

2. 各章授课时数分配

课 程 内 容		授课时数
第 一 章	绪 论	1
第 二 章	工程材料的机械性能	1
第 三 章	工程材料的结构	3
第 四 章	结构的形成和转化	2
第 五 章	二元相图	3
第 六 章	工程材料的永久变形	4
第 七 章	铁碳合金	6
第 八 章	钢的热处理及表面技术	6
第 九 章	合 金 钢	5
第 十 章	有色金属及其合金	2
第十一章	高分子材料	3
第十二章	陶瓷材料	2
第十三章	复合材料	1
第十四章	机械零件的失效与材料选用	5
复 习		1
合 计		45

注：为便于教师系统讲授和学生自学，教材《工程材料》在保证教学大纲要求的前提下，对某些章节的内容作了部分调整。如实验一铁碳合金的平衡组织，大纲建议在学习第七章(铁碳合金)时进行。现在则应安排在学习第五章时进行。教学顺序以教材为准。

工 程 材 料 学 习 指 导

工程材料是中央广播电视大学机械类各专业学生必修的技术基础课。它的主要任务是阐述各种常用工程材料的化学成分、显微组织、使用性能及实际应用等方面的基础理论和基本知识。为工程结构、机器零件等的设计、制造和使用提供有关正确选材、合理用材的必要理论指导和实际帮助。因此,它也是学习机械零件、机械设计等课程前必不可少的课程之一。

本课程所讨论的工程材料,主要是指那些用来制造各种工程构件、机器零件以及工、模具的常用金属材料和非金属材料。对这类工程材料的使用性能,人们通常主要考查它们的硬度、强度、塑性、韧性等机械性能指标。

工程材料有各种不同的分类方法。根据材料的本性和结合键的性质进行分类是比较科学的。对于工程材料,一般都将其分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类。本课程讨论的重点是当前应用最为广泛的金属材料。特别是黑色金属的钢铁,它们仍是目前最主要的工程材料。

工程材料是一门主要建立在实验观察和工业实践基础上的、以定性描述为主的、涉及面较宽的课程。其主要内容基本上是采用文字、图表、照片等进行讲解,并且还有较多的术语和概念。在课程的主要内容是系统地阐述工程材料的性能与其内部结构之间的联系;说明如何通过工艺手段改变材料的内部结构以达到提高材料性能的目的;介绍各种常用工程材料并为工程结构和机械零件的合理设计和制造提供科学的、正确的选材途径及方法。有关工程材料的基本知识和基本原理是加工工艺和合理选材、用材的理论依据。

根据本课程学习的总体要求,可将各章节内容在整个课程中的重要性划分为三类。当前,金属材料,特别是钢铁材料在工程材料中仍占主导地位,是国民经济的重要物质基础,所以,我们将第五章、第六章、第七章和第十章列为课程的重点章节,属第一类。第八章和第九章的内容多为描述性的,较容易理解,列为第三类。其余四章(即第一章、第二章、第三章和第四章)主要讨论工程材料的基础理论或共性问题,属次重点内容,列为第二类。至于各章节的基本内容与具体教学要求则在下文单独列出。

第一章 工程材料的机械性能

机械性能是工程材料最为重要的性能,本章是在学习材料力学课程的基础上,介绍部分测定材料机械性能的常用试验方法,并着重阐述材料常用机械性能指标,特别是静载和动载荷条件下机械性能指标的物理意义及应用。

一、静拉伸试验的应力-应变图

静拉伸试验的实质是表达材料在缓慢加载的情况下,材料的应变(变形)与应力(外加载荷)间关系的试验。

(一) 弹性极限和弹性模量

弹性极限 (σ_e) 材料产生完全弹性变形时(无永久变形产生)所能承受的最大应力值。

即

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad \text{MN/m}^2$$

式中 P_e ——试样发生完全弹性变形的最大载荷；

F_0 ——试样的原始横截面积。

弹性模量(E) 材料在弹性状态下应力 σ 与应变 ε 的比值。即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{MN/m}^2$$

因此,在应力-应变图上,弹性模量 E 就是试样在弹性变形阶段应力-应变线段的斜率。弹性模量 E 是衡量材料抵抗弹性变形能力的指标, E 值越大,其抵抗弹性变形的能力就越强,亦即材料的刚度越大。

绝大多数的机械零件都是在弹性状态下工作的,工作时一般不允许有过大的弹性变形,更不允许有明显的塑性变形。为此,对材料的刚度均有一定的要求。提高零件刚度的方法,除了增加零件的截面积或改变截面形状外,从材料的性能方面考虑,就需增加材料的弹性模量 E 。弹性模量是各种材料固有的属性,受热处理、合金化和塑性变形的影响很小。在常用工程材料中钢的弹性模量是较高的,室温下为 $(1.9 \sim 2.2) \times 10^5 \text{MN/m}^2$ 。

(二) 强度

1. **屈服强度(σ_s)** 材料在外力作用下发生塑性变形的最低应力值。即

$$\sigma_s = P_s / F_0 \quad \text{MN/m}^2$$

式中 P_s ——试样发生屈服时的载荷；

F_0 ——试样的原始横截面积。

有些材料在拉伸试验中无明显的屈服现象发生,此时规定试样在拉伸过程中标距部分产生 0.2% 塑性变形的应力值为该材料的条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。即

$$\sigma_{0.2} = P_{0.2} / F_0 \quad \text{MN/m}^2$$

一般机械零件在发生少量塑性变形后,零件的精度或与其它零件的配合受到影响而失效。所以,屈服强度便成为零件设计和评定材料强度的重要依据。

2. **强度极限(σ_b)** 材料在破断前所承受的最大应力值。即

$$\sigma_b = P_b / F_0 \quad \text{MN/m}^2$$

式中 P_b ——试样在破断前所承受的最大载荷；

F_0 ——试样的原始横截面积。

强度极限表示材料抵抗断裂的能力,工程上常称为抗拉强度,它也是零件设计的重要依据和评定材料强度的重要指标之一。

(三) 塑性

1. **延伸率(δ)** 试样拉断后的相对伸长量。即

$$\delta = (l_1 - l_0) / l_0 \times 100\%$$

式中 l_1 ——试样拉断后的长度；

l_0 ——试样原始的标距长度。

2. **断面收缩率(ψ)** 试样拉断后横截面积的相对收缩量。即

$$\psi = (F_0 - F_1) / F_0 \times 100\%$$

式中 F_1 ——试样拉断处的最小横截面积；

F_0 ——试样原始的横截面积。

材料断裂前发生塑性变形的能力称塑性。因此,延伸率 δ 与断面收缩率 ψ 越大,则材料的塑性越好。塑性对材料进行冷塑性变形有着重要的意义。此外,工件的偶然过载,可因塑性变形而防止突然断裂;工件的应力集中处,也可因塑性变形使应力松弛,降低最大应力值,从而保证工件不致过早断裂。这就是大多数工件对材料除了要求有一定强度指标外,还要求有一定塑性指标的道理。

二、硬度的物理意义及应用

硬度是指材料的表面抵抗塑性变形或断裂的能力。

硬度是材料的一项重要机械性能指标。它不仅检测简便,不破坏工件,而且可通过硬度指标估算材料的近似强度和耐磨性能。此外,材料的硬度与其冷成型性、切削加工性及可焊性等工艺性能间也存在一定的联系,因此硬度可作为选择加工工艺时的参考数据。

目前,最常用的硬度测定法为压入硬度法。硬度值的物理意义即为材料表面抵抗更硬物体压入的能力,它随试验方法不同而异。工程上常用的有布氏硬度和洛氏硬度等。

布氏硬度试验的优点是压痕面积较大,不受微小不均匀因素的影响,结果较准确。但它的测量操作麻烦,且不能测试 HB 450 以上的较硬材料。布氏硬度通常用于结构钢、铸铁、有色金属及非金属材料等。

洛氏硬度试验的优点是操作简便,可测定的硬度范围宽广。缺点是压痕较小,对组织粗大或不均匀的材料,试验结果不准确。洛氏硬度试验应用范围很广,可应用于淬火钢、有色金属及工程塑料等材料。

三、动载时材料的机械性能指标——冲击韧性

冲击韧性(α_k)是反映材料抵抗冲击载荷能力的性能指标。冲击载荷是动载荷的一种形式,载荷是突然施加到工件上的。通常,随着加载速度的增加,材料的塑性下降,脆性增大。

通常采用一次摆锤冲击弯曲试验测定材料抗冲击载荷的能力。即

$$\alpha_k = A_k / F J / m^2$$

式中 A_k ——冲击载荷冲断试样所作的功,即冲击功;

F ——试样缺口处的横截面积。

冲击韧性除取决于材料本身以外,还与环境温度、加载速度、试样尺寸、缺口形状等因素有关。所以切记:不同试验条件、不同型式试样的冲击值,不能相互换算和直接比较。

冲击韧性因加载速度大,试样又带有缺口,所以能较灵敏地反映金属在冶金和热处理等方面的质量问题,是鉴定材料质量和设计选材时不可缺少的性能依据之一。

四、材料承受交变载荷时的机械性能指标——疲劳强度(σ_{-1})

交变载荷即是大小和方向均作周期性变化的动载荷。

承受交变载荷的零件,经过一定的循环周次的载荷的作用,即使工作应力较低(如低于屈服极限),也会发生断裂破坏。因此,这一类零件的破坏,除了与工作应力的大小有关,还与交变载荷作用的循环周次有关。即工作应力越低,零件承受交变载荷作用的循环周次越高。当应力低于某数值时,交变载荷可无限次的施加于零件,而零件却不会发生破坏。此应力值即称作疲劳强度(或疲劳极限),以 σ_{-1} 表示,单位为 MN/m^2 。下角标(-1)表示最小应力与最大应力的比值。

实际应用时,是在实验的基础上,对各类材料规定一个循环周次的基数,如钢为 10^7 ,有

色金属及部分高强钢为 10^8 。对应于该循环周次基数的工作应力,可认为经无数次循环后,材料不发生疲劳破坏,此即为该材料的疲劳强度(或疲劳极限)。

五、材料的断裂韧性(K_{Ic})指标的物理意义及其应用

材料的断裂韧性是表征材料在有裂纹存在时,抵抗发生脆性断裂的能力的物理量,它是材料的固有属性,只和材料的成分、热处理及加工工艺等因素有关。

断裂力学中,对有张开型裂纹存在的材料,在应力作用下,裂纹尖端应力场的大小,用应力强度因子 K_I 来表示;

$$K_I = Y \sigma \sqrt{a} \text{ MN/m}^{3/2}$$

式中 Y ——和裂纹形状、加载方式及试样几何尺寸有关的系数;

σ ——外加的名义应力,单位为 MN/m^2 ;

a ——裂纹的半长,单位为 m 。

由上式可知, K_I 受外加应力和裂纹长度的影响。当应力增大或裂纹扩展时, K_I 也随之增大,及至使裂纹扩展到发生脆性断裂时达到最大,则此临界值即为材料的断裂韧性。也就是说,某具有张开型裂纹的结构的名义应力强度因子,超过材料的断裂韧性 K_{Ic} ,则发生快速脆性断裂。因此,应用中必须使: $K_I < K_{Ic}$ 。

六、材料的抗蠕变性能及相互接触物体间的摩擦与磨损的物理意义

材料的抗蠕变性能是用来评定材料在持续载荷作用下抵抗塑性变形的能力。金属材料的蠕变强度是一个条件应力值,它以在某温度下,1000小时内产生 0.1% 应变所需要的应力来表示(如 $\sigma_{0.1}^{700^\circ\text{C}}/1000$)。提高温度或提高工作应力都会加速蠕变或使断裂提前。

当两个相互接触的物体或物体与介质之间相对运动时,所出现的阻碍运动的作用称为摩擦。它有静摩擦和动摩擦(滑动摩擦、滚动摩擦)之分,在工程上还有有润滑摩擦和干摩擦之分。

摩擦的必然结果是磨损,如氧化磨损、咬合磨损、热磨损、磨粒磨损、表面疲劳磨损(即接触磨损)等。磨损量超过容许值时,将使机器精度下降、功率降低、零件断裂,最后造成机器失效。在设计和选材时应注意这个问题。

习 题 与 思 考 题

1. 什么是材料的拉伸强度? 为什么它不如屈服强度重要?
2. 一根直径为 2.5 mm 的 3 m 长钢丝受拉伸载荷 4900 N 后有多大的变形? (钢丝的弹性模量为 205000 MN/m^2)
3. 某铝合金在拉伸试验中测得数据如下表。试样直径为 11.28 mm, 标距长度为 50 mm。(1) 画出应力-应变图;(2) 求 E ;(3) 求 $\sigma_{0.2}$;(3) 求 σ_b ;(4) 求 δ 。

载荷(kN)		0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0
标距伸长(10^{-2}mm)		0	1.8	4.0	6.2	8.4	10.0	12.5	14.6	16.6
22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0	37.5	38.5	39.0	39.0	40.0
19.0	21.2	23.5	25.7	28.1	31.5	35.0	40.0	61.0	86.0	

温度(°C)	-100	-80	-40	-20	-10	0	10	20	40	60	80	100
冲击功(J)	20	22	25	30	50	110	140	155	170	180	182	185

4. 说明布氏、洛氏硬度试验的优点及其使用的局限性。
5. 某钢材在不同温度下进行缺口冲击试验,所得数据如上表所示。画出该钢材的冲击功-温度曲线;结合曲线分析 100°C及-100°C 时试验现象的不同及原因。
6. 判断下列说法是否正确并说明原因。
 - (1) 金属材料的弹性模量 E 越大,则其塑性越差。
 - (2) 金属材料的强度越高,则其冲击韧性越低。
塑性好的材料,其冲击韧性也好;
强度高,塑性也好的材料,其冲击韧性也好。
 - (3) 相同材料和相同尺寸的试样,表面光滑者比表面有微裂纹者的疲劳强度为高。
7. 何谓脆性临界转变温度? 此温度低有什么实际意义?
8. 在什么样的情况下应考核材料的断裂韧性?
9. 20和40热轧钢棒料在运输过程中被混淆了。你能利用一台拉伸试验机、一台布氏硬度计、普通机加工设备及材料手册将这两种材料区分开吗?
10. 现用 A 、 B 两种钢材制成形状、尺寸相同的两个轴类零件,且均在弹性范围内承受相同的拉力。 A 钢的硬度高于 B 钢。问哪个零件产生的弹性变形大些? 为什么?

第二章 工程材料的结构与凝固

工程材料的微观结构是决定材料性能的根本性的因素,所以重点学习材料的内部结构特点、特别是实际材料(而不是理想材料)的结构及其液-固的转变过程等基本理论是十分重要的。本章以金属材料(晶体)的结构及结晶的内容为重点,也需初步了解非晶态物质的结构和凝固的特点。

一、晶体与非晶体的本质区别

根据微观结构中原子(或分子)排列方式的不同各类工程材料可分为晶体和非晶体。

晶体是原子在三维空间呈周期性规则排列的固体。其原子排列具有长程有序(即原子规则排列的距离大大超过原子或分子的尺寸)的特征。非晶体也称无定形体,其原子(或分子)的排列仅具短程有序的特征。因此,非晶体实际上是一种过冷的液体。

二、离子键、共价键、金属键、分子键的特性及其晶体的主要性能

材料呈固态晶体时,原子(离子或分子)之间产生较强的相互作用,这种使原子稳定地结合在一起的作用力称为结合键。

离子键 元素周期表中相距较远的元素的原子在相互接近时,通过电子的转移形成正、负离子,它们由于静电引力的作用而结合,这种结合力称为离子键。

靠离子键结合的离子晶体,因离子键的结合力很大,故离子晶体硬度高,强度大,热膨胀系数小,但脆性大。离子晶体中很难产生自由电子,故离子晶体都是良好的绝缘体。

共价键 由共用价电子对产生的化学键称为共价键。

共价键的结合力很大,靠此力结合的共价晶体强度高,硬度大,脆性大,熔点、沸点高并挥发性低,结构较为稳定。由于共用的价电子不能自由运动,故共价晶体的导电性较差。

金属键 失去价电子而形成的金属正离子与自由运动的公有化的自由电子(电子气)间强烈的静电吸引力,使正离子结合,这种结合力称为金属键。

金属键中大量存在的自由电子使金属晶体表现出良好的导电性、导热性;受热时,金属离子的振动增强,电子运动受阻,造成金属具有正的电阻温度系数;金属键没有方向性,对原子也没有选择性,所以外力作用产生原子相对移动时金属键不会破坏,金属表现出良好的承受塑性变形的能力;金属键中的自由电子具有良好的反射能力,致使晶体具有特殊的金属光泽。

分子键 存在于中性原子或分子间的物理键,其结合力为微弱的范氏力。这种结合键不同于化学键,它没有电子的得失、电子的共有和电子的公有化,所以分子晶体的结合力很弱,其晶体熔点很低,硬度也很低。

三、理想的金属晶体结构及立方晶系晶面、晶向的表示方法

(一) 理想的金属晶体结构

金属的性能不仅取决于其组成原子的本性和原子间的结合键的类型,同时也取决于原子规则排列的方式。晶体中原子(或离子)在空间呈规则排列的方式即称为晶体的结构。

金属晶体结构的不同,在于其晶格类型和晶格常数的不同。

绝大多数金属具有体心立方、面心立方和密排六方等典型的紧密的结构。

1. 体心立方晶格(α Fe、Cr、Mo、W、V等)。

2. 面心立方晶格(γ Fe、Al、Cu、Ni、Pb等)。

3. 密排六方晶格(Mg、Zn、Cd、Be等)

为了熟悉上述三种晶格类型,特别是两种立方晶系晶格中金属离子(或原子)作规则排列的规律及紧密的程度,尚应了解晶胞、晶格常数、晶胞原子数、原子半径、配位数、致密度等晶体学特征参数的概念。

(二) 立方晶系晶面、晶向的表示

晶体结构的规律性可以通过晶体中晶面及晶向予以反映,而特定的晶面、晶向又与金属的许多性能和金属中发生的许多现象密切联系。因此,晶面、晶向的表达及晶面、晶向上原子分布的特性具有特殊的重要性。

1. 表达立方晶系中的晶面时应注意的问题

(1) 空间坐标系的原点可任意确定,晶格的三条棱边为空间三坐标轴,但以欲定晶面与该三坐标轴有明显的交点(截距)之坐标原点位置为最简便。

(2) 晶面指数为欲定晶面在三坐标轴上截距的倒数(平行于某坐标轴时截距为 ∞ ,故该晶面在此坐标轴上的晶面指数为0),以 (hkl) 表示。

(3) 某晶面指数所表达的实际上是一组原子排列相同的平行晶面。

(4) 立方晶系中,原子排列具有高度的对称性,把原子排列相同而彼此互不平行的晶面总称为晶面族,以 $\{hkl\}$ 示之。

2. 立方晶系中晶向的表达方式(即晶向指数)可理解为该晶向上某点在空间坐标系中的三个坐标,以 $[uvw]$ 表示。实际上它也表示一组原子排列相同的平行晶向。而彼此互不平行,原子排列又完全相同的晶向称为晶向族,以 $\langle uvw \rangle$ 示之。

(三) 理想晶体的各向异性

金属晶体的不同晶面和晶向上原子排列的方式和密度各不相同,因此原子之间结合力的大小也不相同,这就使得金属晶体沿不同方向的性能各不相同,这个现象即是理想晶体

(单晶体)的各向异性现象。非晶体材料,因其原子排列无固定的规律可言,故其各方向上的性能也无差异,这称作非晶体的各向同性。

四、晶体缺陷的种类及其特点

实际金属材料并不具有理想的晶体结构。杂质的存在、冷却方式的差异、外加载荷的作用等都会使晶体结构的理想状况受到破坏而形成各种晶体缺陷。

按照几何特征,晶体缺陷可以分为三类:

点缺陷 包括空位和间隙原子两种。空位即晶格中没有原子的结点,由热的作用、塑性变形、高能粒子的幅射等作用形成。空位的存在为在金属中进行与原子迁移有关的过程创造了便利的条件,间隙原子系位于晶格间隙中的原子。金属中存在的间隙原子主要是杂质间隙原子。晶体中的点缺陷可造成晶格畸变,提高金属的强度。

线缺陷 包括刃型位错和螺型位错两种。位错是在金属结晶、塑性变形和相变等过程中产生的原子空缺管道,直型管道称刃型位错,螺旋型管道称螺型位错。位错是影响金属机械性能最重要的晶体缺陷,它使金属的强度值降低2~3个数量级。

面缺陷 包括晶界和亚晶界两种。实际金属为多晶体,由诸多小晶体(即晶粒)组成。晶粒与晶粒间的接触界面称晶界。晶界原子排列的特点是采取相邻两晶粒位向的折衷(过渡)位置。晶界上一般积累较多的位错,晶界结构具不规则性。亚晶界是晶粒内部位向差极小($<1\sim2^\circ$)的晶块之间的边界。亚晶界是位错规则排列的结构。在晶界及亚晶界上,原子排列偏离平衡位置,晶格畸变较大,位错密度较高,故对金属中的许多过程的进行,具有重要的意义。

“缺陷”仅是对理想晶体结构而言,就其实际意义来说,并非是件坏事。强化金属的主要方法(如固溶强化、细晶强化、冷作硬化等)就是有意识地造成晶体缺陷,以满足人们对金属材料的各种使用要求。

五、凝固与结晶的概念及金属结晶的过程

物质由液态转变为固态的过程称为凝固;而物质由液态转变为固态晶体的过程称作结晶。工程材料在其存在的过程中不仅有液-固的转变过程,有些材料还存在着固-固转变的过程。为此,结晶的概念应包含两层意义:物质由液态凝固为固态晶体,或者固态物质(或晶体,或非晶体)转变为另一种固态晶体的过程均称为结晶。为区别这两种情况,前者称为一次结晶,而后者称作二次结晶。二次结晶亦称同素异构转变。

金属结晶的过程实际上是不断生成晶体核心(生核)及核心不断长大(长大),直至转变结束的过程。

六、结晶的条件及细化晶粒的方法

热力学定律指出,自然界的一切自发转变过程,总是由一种较高的能量状态趋向于能量最低的稳定状态。在恒温条件下,只有那些引起体系自由能降低的过程才得以自发进行。结晶的过程也是体系自由能降低的过程。

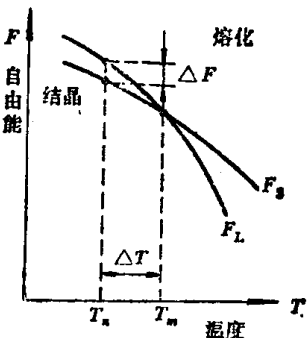


图 2-1 金属在聚集状态时自由能与温度的关系示意图

图 2-1 表示金属在聚集状态时自由能与温度的关系。它说明体系在较高温度下($>T_m$),液态的自由能低于同温度下固态的自由能($F_L < F_S$),体系处于液态为更稳定状态;在 T_m 温度下 $F_S = F_L$,体系处于液-固并存状态;而当温度低于 T_m 时,因 $F_S < F_L$,体系只有向固态转化,才可趋于稳定状态。 T_m 即为理论结晶温度或称熔点。此时, $\Delta F = F_L - F_S$ 自由