

工程材料习题与辅导

(第三版)

**EXERCISES AND TUTORSHIP FOR
ENGINEERING MATERIALS(3rd)**

朱张校 主编 郑明新 主审

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是《工程材料》第三版(朱张校主编,清华大学出版社出版,2001.1)的配套教材,内容包括《工程材料》教材的各章内容提要与习题、课堂讨论指导书和实验指导书三部分。本书可作为大专院校机械类及近机类专业学生学习《工程材料》、《机械工程材料》、《材料学概论》、《金属材料及热处理》、《金属材料学》等课程的参考教材。

Exercises and Tutorship for Engineering Materials

Brief Introduction of the Content

This supplies a complete set of teaching materials with the“ Engineering Materials ”textbook (third edition, chief editor: Zhu Zhangxiao, Tsinghua University publishing company . 2001 .1) . There are three parts of this book, that is, the summary of each chapter and exercises of“ Engineering Materials ”textbook, classroom discussion guidance and instructions of experiment . The book is a reference textbook of such courses as“ Engineering Materials ”,“ Mechanical Engineering Materials ”,“ An Introduction to Materials ”,“ Metallic Materials and Heat Treatment ”and“ Metallic Materials ”.

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料习题与辅导/朱张校主编. —3版. —北京:清华大学出版社,2002
ISBN 7-302-05801-6

I .工… II .朱… III .工程材料 - 高等学校 - 教学参考资料 IV .TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 062462 号

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

[http:// www .tup .tsinghua .edu .cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn)

责任编辑:宋成斌

版式设计:肖 米

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:6.5 字数:149千字

版 次:2002年9月第3版 2004年3月第3次印刷

书 号:ISBN 7-302-05801-6/O·269

印 数:10001~14000

定 价:8.60元

本书是朱张校主编的《工程材料》第三版(清华大学出版社出版,2001.1)的配套教材。内容包括《工程材料》教材的各章内容提要、习题、课堂讨论指导书和实验指导书三部分,是根据规定的高等工业学校《机械工程材料》课程教学大纲和教学基本要求编写的。内容提要部分阐述《工程材料》教材各章的基本内容和学习重点。习题采用多种形式,突出重点,既考虑有助于对基本理论的学习与掌握,又充分重视对实际生产问题的了解与分析,以逐渐培养学生分析问题和解决问题的能力。课堂讨论是组织学生有准备地讨论课程中的一些重点和难点,使学生掌握课程的重点、基本概念和基本理论,也是学生应用所学知识解决材料问题的一种模拟实践。书中拟定了四次课堂讨论的题目,供参考选用。实验指导书部分编了八个实验,实验1、2、3为基本实验,其余为选修实验。实验着重于培养学生动手能力、分析问题的能力和创新精神。

本书可作为工科大专院校机械类及近机类专业本科生和大专生学习《工程材料》、《机械工程材料》、《材料学概论》、《金属材料及热处理》、《金属材料学》等课程的参考教材。

本书是在清华大学出版社出版(1993.6)的《工程材料习题与辅导》第二版的基础上改编的,根据新教材的体系进行了调整,增加了部分内容,同时参考了一些兄弟院校的教学资料。编者分工如下:

朱张校: 金属材料的结构与性能、结晶、塑性加工、合金化、金属材料、弹簧、切削工具选材、课堂讨论指导书、实验4~6、实验8。

王昆林: 高分子材料的结构与性能、高分子材料、轴类选材、汽车、热能、化工设备用材、实验3。

张华堂: 陶瓷材料的结构与性能、陶瓷材料、复合材料、功能材料、齿轮选材。

王振家: 热处理、机床、仪器仪表、航空航天器用材、实验2、实验7。

张人佶: 表面技术、零件失效与选材原则。

丁莲珍: 实验1。

书中显微组织照片由丁莲珍、朱张校提供。郑明新教授审阅了全书。全体编者对郑明新教授表示衷心的感谢。书中有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编者

2002年1月

第 1 篇 内容提要和习题 1

1 材料的结构与性能 1

2 金属材料组织和性能的控制 5

3 金属材料..... 17

4 高分子材料..... 24

5 陶瓷材料..... 27

6 复合材料..... 29

7 功能材料..... 31

8 机械零件的失效与选材原则..... 32

9 典型工件的选材及工艺路线设计..... 34

10 工程材料的应用 36

第 2 篇 课堂讨论指导书 39

课堂讨论 1 铁碳相图 40

课堂讨论 2 钢的热处理 42

课堂讨论 3 合金钢 45

课堂讨论 4 材料的选择和使用 46

第 3 篇 实验指导书 49

实验 1 铁碳合金平衡组织分析 50

附录 1 金相显微镜的基本原理及使用..... 55

附录 2 金相试样的制备..... 61

实验 2 钢的热处理及热处理后的显微组织观察 65

附录 3 硬度计的使用..... 72

实验 3 常用工程材料的显微组织观察 80

* 实验 4 高分子材料的力学性能特点研究 87

* 实验 5 显微硬度计的原理及应用 89

* 实验 6 视频显微分析仪在金相分析中的应用 92

* 实验 7 合金钢连续冷却转变曲线的测定 94

* 实验 8 综合实验 97

注：* 为选修实验

第 1 篇

内容提要 and 习题

1 材料的结构与性能

1.1 内容提要

材料的性能决定于材料的化学成分和其内部的组织结构。固态物质按其原子(离子或分子)的聚集状态可分为两大类:晶体与非晶体。原子(离子或分子)在三维空间有规则地周期性重复排列的物体称为晶体,原子(离子或分子)在空间无规则排列的物体则称为非晶体。

1. 金属材料结构与性能

金属由金属键结合,其内部的金属离子在空间有规则地排列,因此固态金属一般情况下均是晶体。固态金属有下列特性:良好的导电、导热性;良好的塑性;不透明、有光泽;正的电阻温度系数。

1) 三种常见金属的晶体结构:

体心立方晶格(胞): 晶格常数 a 、 90° , 晶胞原子数为 2 个, 原子半径 $r_{\text{原子}} = \frac{3}{4}a$, 致密度为 68%, 最大空隙半径 $r_{\text{四}} = 0.29 r_{\text{原子}}$, 配位数为 8。

面心立方晶格(胞): 晶格常数 a 、 90° , 晶胞原子数为 4 个, 原子半径 $r_{\text{原子}} = \frac{2}{4}a$, 致密度为 74%, 最大空隙半径 $r_{\text{八}} = 0.414 r_{\text{原子}}$, 配位数为 12。

密排六方晶格(胞): 晶格常数 a 、 c 、 90° 、 120° , 晶胞原子数为 6 个, 原子半径 $r_{\text{原子}} = \frac{1}{2}a$, 致密度为 74%, 最大空隙半径 $r_{\text{八}} = 0.414 r_{\text{原子}}$, 配位数为 12。

2) 晶面与晶向可用晶面指数与晶向指数来表达。不同晶面、不同晶向上的原子排列情况不同。

体心立方晶格的最密面为 $\{110\}$, 最密方向为 $\langle 111 \rangle$ 。

面心立方晶格的最密面为 $\{111\}$, 最密方向为 $\langle 110 \rangle$ 。

密排六方晶格的最密面为 $\{0001\}$,最密方向为 $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 。

3) 实际金属中含有点缺陷(空位、间隙原子、异类原子)、线缺陷(位错)、面缺陷(晶界、亚晶界)三类晶体缺陷。位错密度增加,材料强度增加。晶界越多,晶粒越细,金属的强度越高(即细晶强化),同时塑性越好。

4) 合金中有两类基本相:固溶体和金属化合物。固溶强化是金属强化的一种重要形式。细小弥散分布的金属化合物可产生弥散强化或第二相强化。材料的微观组成和微观形貌称组织,材料的组织取决于化学成分和工艺过程。

5) 金属材料的性能特点:强度高,韧性好,塑性变形能力强,综合机械性能好,通过热处理可以大幅度改变机械性能。金属材料导电、导热性好。不同的金属材料耐蚀性相差很大,钛、不锈钢耐蚀性好。碳钢、铸铁耐蚀性差些,但一般条件下是较稳定的。

2. 高分子材料的结构与性能

高分子材料(又称为高聚物)是主要由分子质量很大的有机化合物即高分子化合物组成的材料。高分子化合物是由低分子化合物通过聚合反应获得的,主要呈长链状,称为大分子链。大分子链之间的相互作用力为分子键,分子链的原子之间、链节之间的相互作用力为共价键。高分子材料的大分子链结构、聚集态与其性能密切相关。高分子材料的聚集态结构有晶态、部分晶态和非晶态三种。不同的聚集态结构对高聚物的性能产生重要影响。线型非晶态高聚物在不同温度下表现三种物理状态:玻璃态、高弹态、粘流态。

高分子材料的性能特点是:质量轻、具有高弹性和粘弹性。粘弹性的主要表现形式是蠕变、应力松弛和内耗。高聚物依靠粘性流变能产生较大的塑性变形。由于可以处于不同的力学状态,高分子材料可以是硬脆、强硬、强韧、柔韧或软弱的,刚度小,强度不高,韧性较低。温度和变形速度对材料强度有很大影响。高分子材料耐磨、减摩性能好,绝缘,绝热,隔音,耐蚀性能好,但耐热性不高,存在老化问题。

3. 陶瓷材料的结构与性能

陶瓷材料的生产过程包括原料的制备、坯料的成形和制品的烧结三大步骤。典型陶瓷的组织由晶体相、玻璃相和气相组成。晶体相是陶瓷的主要组成,决定材料的基本性能。普通陶瓷的晶体相主要是硅酸盐,特种陶瓷的晶体相为氧化物、碳化物、氮化物、硼化物和硅化物,金属陶瓷则还有金属。玻璃相为非均质的酸性和碱性氧化物的非晶态固体,起粘结剂作用。气相是陶瓷组织中残留的孔洞,极大地破坏材料的机械性能。

陶瓷的性能特点,具有不可燃烧性、高耐热性、高化学稳定性、不老化性、高的硬度和良好的抗压能力,但脆性很高,温度急变抗力很低,抗拉、抗弯性能差,不易加工等。

本章重点掌握金属材料的结构与性能部分的内容。掌握三种常见金属的晶体结构、实际金属中三类晶体缺陷、合金中的两类基本相(固溶体和金属化合物),以及金属材料的性能特点。掌握细晶强化、固溶强化、第二相强化(弥散强化)的概念。

熟悉高分子材料的结构特征,包括其化学组成及其分类、大分子链的三种形态及其对性能的影响、大分子链的空间构型。掌握高聚物的三种聚集状态及其对性能的影响。熟悉高聚物的机械性能、物理和化学性能的特点。

了解陶瓷材料的结构与性能特点。

1 2 习 题

1 . 解释名词

金属键、致密度、晶体的各向异性、刃型位错、疲劳强度、断裂韧性、单体、链节、热塑性、热固性、柔性、玻璃态、高弹态、粘流态

2 . 填空题

- 1) 同非金属相比,金属的主要特性是()。
- 2) 晶体与非晶体结构上的最根本的区别是()。
- 3) 在立方晶系中, $\{120\}$ 晶面族包括()等晶面。
- 4) γ -Fe 的一个晶胞内的原子数为()。
- 5) 高分子材料大分子链的化学组成以()为主要元素,根据组成元素不同,可分为三类,即()、()和()。
- 6) 大分子链的几何形状主要为()、()和()。热塑性聚合物主要是()分子链,热固性聚合物主要是()分子链。
- 7) 高分子材料的聚集状态有()、()和()三种。
- 8) 线型非晶态高聚物在不同温度下的三种物理状态是()、()和()。
- 9) 与金属材料比较,高分子材料的主要机械性能特点是强度()、弹性()、弹性模量()等。
- 10) 高分子材料的老化,在结构上是发生了()和()。

3 . 选择正确答案

- 1) 晶体中的位错属于:
a . 体缺陷; . 面缺陷; . 线缺陷; . 点缺陷
- 2) 在面心立方晶格中,原子密度最大的晶向是:
a . $\langle 100 \rangle$; b . $\langle 110 \rangle$; c . $\langle 111 \rangle$; d . $\{111\}$
- 3) 在体心立方晶格中,原子密度最大的晶面是:
a . $\{100\}$; b . $\{110\}$; c . $\{111\}$; d . $\{120\}$
- 4) 线型非晶态高聚物温度处于 $T_g \sim T_f$ 之间时的状态是:
a . 玻璃态,表现出高弹性; b . 高弹态,表现出不同弹性;
c . 粘流态,表现出非弹性; d . 高弹态,表现出高弹性
- 5) 高聚物的粘弹性指的是:
a . 应变滞后于应力的特性; b . 应力滞后于应变的特性;
c . 粘性流动 特性; d . 高温时才能发生弹性变形的特性

- 6) 高聚物受力变形后所产生的应力随时间而逐渐衰减的现象被称为:
a . 蠕变; b . 柔顺性; c . 应力松弛; d . 内耗
- 7) 热固性塑料与热塑性塑料比较, 耐热性:
a . 较低; b . 较高; c . 相同; d . 不能比较
- 8) 高分子材料中结合键的主要形式是:
a . 分子键与离子键; b . 分子键与金属键;
c . 分子键与共价键; d . 离子键与共价键

4 . 综合分析题

- 1) 在立方晶胞中画出(110)、(120)晶面和 $[211]$ 、 $[\bar{1}20]$ 晶向。
- 2) α -Fe、Al、Cu、Ni、V、Mg、Zn 各属何种晶体结构?
- 3) 画出体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格中原子最密的晶面和晶向。
- 4) 已知 α -Fe 的晶格常数 $a = 2.87 \times 10^{-10} \text{ m}$, 试求出 α -Fe 的原子半径和致密度。
- 5) 在常温下, 已知铜的原子直径 $d = 2.55 \times 10^{-10} \text{ m}$, 求铜的晶格常数。
- 6) 实际金属晶体中存在哪些晶体缺陷? 它们对性能有什么影响?
- 7) 什么是固溶强化? 造成固溶强化的原因是什么?
- 8) 间隙固溶体和间隙相有什么不同?
- 9) 说明洛氏硬度的测试原理。
- 10) 简介冲击弯曲试验的试验方法和冲击韧度的计算方法。
- 11) 金属的理化性能有哪些?
- 12) 简述高聚物大分子链的结构和形态, 它们对高聚物的性能有何影响?
- 13) 说明晶态聚合物与非晶态聚合物性能上的差别, 并从材料结构上分析其原因。
- 14) 高聚物的强度为什么低?
- 15) 何谓高聚物的老化? 说明老化的原因, 提出改进高聚物抗老化能力的措施。
- 16) 说明塑料在减摩、耐磨性方面的特点。
- 17) 画出高聚物大分子链的三种形态。
- 18) 画出线型非晶态高聚物的变形随温度变化的曲线。
- 19) 陶瓷的典型组织由哪几种相组成?
- 20) 为什么陶瓷的实际强度比理论强度低得多? 指出影响陶瓷强度的因素和提高强度的途径。

2 金属材料组织和性能的控制

2.1 内容提要

本章介绍结晶、塑性变形、热处理、合金化、表面处理等工艺对金属材料组织与性能的影响规律。实际生产中可以通过采用不同的工艺方法和工艺参数对金属材料组织与性能进行控制,以获得所需的工艺性能和使用性能。

1. 金属的结晶

1) 纯金属的结晶

液态金属结晶的条件是要有一定的过冷度,结晶过程的推动力是液相和固相之间的自由能差。液态金属结晶是由生核和长大两个密切联系的基本过程来实现的。晶核的形成有两种方式:自发形核和非自发形核。在实际金属和合金中,非自发形核往往起优先的、主导的作用。晶体的长大有平面长大和树枝状长大两种方式,实际金属结晶时,晶体一般均以树枝状长大方式长大。

金属在固态下随温度的改变,由一种晶格转变为另一种晶格的现象,称为同素异构转变。

典型铸锭明显地分为三个各具特征的晶区:细等轴晶区、柱状晶区、粗等轴晶区。

细化铸态金属晶粒的措施有:增大金属的过冷度,变质处理,振动,电磁搅拌。

2) 二元合金的结晶

运用合金相图分析合金的结晶过程。二元合金的基本相图有:匀晶相图、共晶相图、包晶相图、共析相图等。从液相中结晶出固溶体的反应叫匀晶反应。由一种液相在恒温下同时结晶出两种固相的反应叫做共晶反应。由一种液相和一种固相在恒温下生成另一种固相的反应叫做包晶反应。由一种固相转变成完全不同的两种相互关联的固相叫做共析反应。合金处于二相时,可用杠杆定律计算出二种相分别在合金中的质量分数。

合金的工艺性能、使用性能与相图有密切的关系。

3) 铁碳相图

铁碳相图是研究钢和铸铁的基础,对于钢铁材料的应用以及热加工和热处理工艺的制定具有重要的指导意义。 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 相图中存在五种相:液相 L、 δ 相、 α 相、 γ 相、 Fe_3C 相。

根据铁碳相图对典型铁碳合金结晶过程进行分析,研究铁碳合金的成分、组织、性能之间的关系。

工业纯铁的室温平衡组织为 F,由于其强度低、硬度低,不宜用作结构材料。

共析钢的室温平衡组织全部为 P。亚共析钢室温平衡组织为 F + P。过共析钢室温

平衡组织为 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{P}$ 。碳钢的强韧性较好,应用广泛。

亚共晶白口铸铁的室温平衡组织为 $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{Le}'$ 。共晶白口铸铁的室温平衡组织为 Le' ,过共晶白口铸铁的室温平衡组织为 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{I}} + \text{Le}'$ 。白口铸铁的室温平衡组织中含有莱氏体(Le'),硬度高、脆性大,应用较少。

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图在生产中具有很大的实际意义,主要应用在钢铁材料的选用和加工工艺的制定两个方面。

本节应掌握结晶过程中生核和长大的概念,特别是非自发生核和树枝状长大的观点;过冷度对结晶过程的影响规律及获得细晶的方法。掌握具有匀晶相图、共晶相图的合金的结晶过程,熟练运用杠杆定律。熟悉铁碳相图。会根据铁碳相图对典型铁碳合金结晶过程进行分析,掌握铁碳合金的成分、组织、性能之间的关系。

2. 金属的塑性变形

单晶体金属塑性变形的的基本方式是滑移和孪生。滑移是位错运动的结果。多晶体塑性变形时,由于晶界对位错运动的阻碍作用,增大了对塑性变形的抗力。细晶粒金属材料晶界多,故强度较高、塑性好、韧性比较好。

塑性变形造成晶格歪扭、晶粒变形和破碎,出现亚结构,甚至形成纤维组织。当外力去除后,金属内部还存在残余内应力。塑性变形使位错密度增加,从而使金属的强度、硬度增加而塑性、韧性下降,即产生加工硬化。

塑性变形后的金属在再加热时,随加热温度的升高,将发生回复、再结晶与晶粒长大等过程。再结晶后,金属形成新的无畸变的并与变形前相同晶格形式的等轴晶粒,同时位错密度降低,加工硬化现象消失。

再结晶的开始温度主要取决于变形度。变形度越大,再结晶开始温度越低。大变形度(70%~80%)的金属的再结晶温度与熔点的关系为:

$$T_{\text{再}}(\text{K}) = (0.35 \sim 0.4) T_{\text{熔}}(\text{K})$$

再结晶后的晶粒大小与加热温度和预先变形度有关。加热温度越低或预先变形度越大,其再结晶后晶粒越细。但要注意临界变形度的情况。对于一般金属,当变形度为2%~10%时,由于变形很不均匀,会出现晶粒的异常长大,导致性能急剧下降。

本节重点要掌握塑性变形的机制;加工硬化的本质及实际意义;再结晶的概念和应用;冷加工与热加工的区别等。

3. 钢的热处理

热处理是将固态金属或合金在一定介质中加热、保温和冷却,以改变其整体或表面组织,从而获得所需性能的一种工艺。热处理是改善金属材料的使用性能和加工性能的一种非常重要的工艺方法。

用过冷奥氏体的等温转变曲线分析过冷奥氏体在不同条件下转变为各种产物(珠光体型、贝氏体型和马氏体)的转变过程、产物特征及其性能。

过冷奥氏体的高温转变产物是珠光体型组织。珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物,转变温度越低,层间距越小。按层间距珠光体型组织分为珠光体(P)、索氏体(S)和屈

氏体(T)。

过冷奥氏体的中温转变产物是贝氏体型组织,分为上贝氏体和下贝氏体二种。

过冷奥氏体的低温转变产物是马氏体,马氏体是碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体。马氏体转变的特点:是一种非扩散型转变,马氏体的形成速度很快,马氏体转变是不彻底的,总要残留少量奥氏体。马氏体形成时体积膨胀,在钢中造成很大的内应力,严重时将使被处理零件开裂。

马氏体的形态有板条状和针状(或称片状)两种。碳质量分数在 0.25% 以下时,基本上是板条马氏体(亦称低碳马氏体);碳质量分数在 1.0% 以上时,基本上是针状马氏体(亦称高碳马氏体)。

马氏体的性能特点:高碳马氏体由于过饱和度大,内应力高和存在孪晶结构,所以硬而脆,塑性、韧性极差。但晶粒细化得到的隐晶马氏体却有一定的韧性。低碳马氏体由于过饱和度小,内应力低和存在位错亚结构,则不仅强度高,而且塑性、韧性也较好。马氏体的比容比奥氏体大。马氏体是一种铁磁相。马氏体的晶格有很大的畸变,因此它的电阻率高。

亚共析钢和过共析钢与共析钢不同,在奥氏体转变为珠光体之前,有先共析铁素体或渗碳体析出。因此在亚共析钢的 C 曲线上多一条铁素体析出线,过共析钢的 C 曲线上则多一条渗碳体析出线。

改变金属整体组织的热处理有退火、正火、淬火和回火四种;改变金属表面或局部组织的热处理工艺有表面淬火和化学热处理两种。

本节的重点是运用 C 曲线分析过冷奥氏体在不同条件下转变为各种产物的转变过程、产物特征及其性能,以及回火转变后各种组织的本质、形态和性能特点。在工艺方面,要抓住各类热处理工艺—组织—性能—应用的规律和特点;熟悉退火、正火、淬火、回火、表面淬火和化学热处理等热处理工艺。掌握钢的淬透性的概念和应用。能制定热处理工艺规范,并对实际问题具有一定的工艺分析能力。

4. 钢的合金化

合金元素在钢中主要有两种存在形式:合金元素溶入铁碳合金三个基本相(铁素体、渗碳体和奥氏体)中,分别形成合金铁素体、合金渗碳体和合金奥氏体。合金元素在铁素体和奥氏体中起固溶强化作用。合金元素与碳形成碳化物。合金碳化物熔点高、硬度高,加热时难以溶入奥氏体,故对钢的性能有很大的影响。

V、Ti、Nb、Zr、Al 等元素强烈阻止奥氏体晶粒长大,Mn、P 促使奥氏体晶粒长大;Si、Ni、Cu 对奥氏体晶粒长大影响不大。

除 Co 以外,所有的合金元素都使 C 曲线往右移动,降低钢的临界冷却速度,从而提高钢的淬透性。除 Co、Al 以外,所有的合金元素都使 M_s 和 M_f 点下降,其结果使淬火后钢中残余奥氏体量增加。残余奥氏体量过高时,钢的硬度下降,疲劳强度下降,因此应很好地控制其含量。

合金元素可提高钢的回火稳定性。回火稳定性即是钢对于回火时所发生的软化过程

的抗力。提高回火稳定性 强的元素有 V、Si、Mo、W、Ni、Mn、Co 等。

若钢中含有大量的碳化物形成元素如 W、V、Mo 等,在 400℃以上回火时形成和析出如 W_2C 、 Mo_2C 和 VC 等高弥散度的合金碳化物,使钢的强度、硬度升高,即产生二次硬化现象。Mo、W 可以避免高温回火脆性出现。

合金元素可以通过细晶强化、固溶强化、第二相强化使钢的强度增加。马氏体相变加上回火转变是钢中最经济最有效的综合强化手段。合金元素使钢能更容易地获得马氏体。只有得到马氏体,钢的综合强化才能得到保证。

合金元素可通过下列途径使钢的韧性提高:细化晶粒、细化碳化物、提高钢的回火稳定性、改善基体(铁素体)的韧性(加 Ni)、消除回火脆性(加 Mo)。

本节重点掌握合金元素在钢中的作用和对钢的相变过程的影响规律,合金元素提高钢的强度和韧性的原因。

5. 表面技术

表面技术主要包括电刷镀、热喷涂、气相沉积和激光强化等。

电刷镀:使用专门的镀液和阳极(镀笔),工件接直流电源负极、镀笔接直流电源正极,依靠浸满镀液的镀笔在工件表面擦拭获得镀层。

热喷涂:利用热源将金属或非金属材料加热到熔化或半熔化状态,用高速气流将其吹成微小颗粒(雾化),喷射到工件表面,形成牢固的覆盖层的表面加工方法。

气相沉积:从气相物质中析出固相并沉积在基材表面的一种新型表面镀膜技术,分为化学气相沉积(CVD)及物理气相沉积(PVD)两大类。利用气态化合物(或化合物的混合物)在基体受热表面发生化学反应,并在该基体表面生成固态沉积物的方法称为化学气相沉积。在真空环境中,以物理方法产生的原子或分子沉积在基材上,形成薄膜或涂层的方法称为物理气相沉积。

激光强化:激光具有 $10^4 \text{ W/cm}^2 \sim 10^8 \text{ W/cm}^2$ 的高功率密度,使被照射材料表面的温度瞬时上升至相变点、熔点甚至沸点以上,并产生一系列物理或化学的现象。激光强化技术包括激光相变硬化、激光熔覆、激光熔凝等。

激光相变硬化(激光淬火):激光束照射工件,需要硬化的部位温度急剧上升,形成奥氏体,而工件基体仍处于冷态。停止激光照射,加热区因急冷而实现工件的自冷淬火,获得超细化的隐晶马氏体组织。

激光熔覆:用激光在基体表面覆盖一层薄的具有特定性能的涂覆材料。

激光熔凝:用激光束加热工件表面,使工件表面熔化到一定深度后自冷,使熔层凝固,获得细化均质的熔凝层组织。

表面技术可以大大提高工程材料的耐蚀、耐磨、耐疲劳性能,延长工件的使用寿命,具有重要的经济意义。本节重点掌握气相沉积和激光强化技术。

本章的重点是铁碳相图、典型铁碳合金结晶过程、钢的热处理和钢的合金化等内容。

2 2 习 题

1 . 解释名词

过冷度、非自发生核、变质处理、滑移、加工硬化、再结晶、硬位向、固溶体、金属化合物、固溶强化、铁素体、珠光体、本质晶粒度、球化退火、马氏体、淬透性、淬硬性、调质处理、回火稳定性、二次硬化、回火脆性、固溶处理、CVD、激光相变硬化

2 . 填空题

- 1) 结晶过程是依靠两个密切联系的基本过程来实现的,这两个过程是()和()。
- 2) 当对金属液体进行变质处理时,变质剂的作用是()。
- 3) 液态金属结晶时,结晶过程的推动力是(),阻力是()。
- 4) 过冷度是指(),其表示符号为()。
- 5) 典型铸锭结构的三个晶区分别为()、()和()。
- 6) 钢在常温下的变形加工称为()加工,而铅在常温下的变形加工称为()加工。
- 7) 造成加工硬化的根本原因是()。
- 8) 滑移的本质是()。
- 9) 变形金属的最低再结晶温度与熔点的关系是()。
- 10) 再结晶后晶粒度的大小主要取决于()和()。
- 11) 固溶体的强度和硬度比溶剂的强度和硬度()。
- 12) 固溶体出现枝晶偏析后,可用()加以消除。
- 13) 共晶反应式为(),共晶反应的特点是()。
- 14) 珠光体的本质是()。
- 15) 一块纯铁在 912°C 发生 $\alpha\text{-Fe} \rightarrow \gamma\text{-Fe}$ 转变时,体积将()。
- 16) 在铁碳合金室温平衡组织中,含 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 最多的合金成分点为(),含 Le' 最多的合金成分点为()。
- 17) 用显微镜观察某亚共析钢,若估计其中的珠光体含量体积分数为 80%,则此钢的碳的质量分数为()。
- 18) 在过冷奥氏体等温转变产物中,珠光体与屈氏体的主要相同点是(),不同点是()。
- 19) 用光学显微镜观察,上贝氏体的组织特征呈()状,而下贝氏体则呈()状。
- 20) 马氏体的显微组织形态主要有()、()两种。其中()的韧性较好。
- 21) 钢的淬透性越高,则其 C 曲线的位置越(),说明临界冷却速度越

- ()。
- 22) 球化退火的主要目的是(), 它主要适用于()钢。
- 23) 亚共析钢的正常淬火温度范围是(), 过共析钢的正常淬火温度范围是()。
- 24) 淬火钢进行回火的目的是(), 回火温度越高, 钢的强度与硬度越()。
- 25) 合金元素中, 碳化物形成元素有()。
- 26) 促进晶粒长大的合金元素有()。
- 27) 除()、()外, 几乎所有的合金元素都使 M_s 、 M_f 点下降, 因此淬火后相同碳质量分数的合金钢与碳钢相比, 残余奥氏体(), 使钢的硬度()。
- 28) 一些含有合金元素()的合金钢, 容易产生第二类回火脆性, 为了消除第二类回火脆性, 可采用()和()。
- 29) 在电刷镀时, 工件接直流电源()极, 镀笔接直流电源()极, 可以在工件表面获得镀层。
- 30) 利用气体导电(或放电)所产生的()作为热源进行喷涂的技术叫等离子喷涂。

3. 是非题

- 1) 凡是由液体凝固成固体的过程都是结晶过程。()
- 2) 室温下, 金属晶粒越细, 则强度越高、塑性越低。()
- 3) 在实际金属和合金中, 自发生核常常起着优先和主导的作用。()
- 4) 当形成树枝状晶体时, 枝晶的各次晶轴将具有不同的位向, 故结晶后形成的枝晶是一个多晶体。()
- 5) 晶粒度级数数值越大, 晶粒越细。()
- 6) 滑移变形不会引起金属晶体结构的变化。()
- 7) 因为 B.C.C 晶格与 F.C.C 晶格具有相同数量的滑移系, 所以两种晶体的塑性变形能力完全相同。()
- 8) 孪生变形所需要的切应力要比滑移变形时所需的小得多。()
- 9) 金属铸件可以通过再结晶退火来细化晶粒。()
- 10) 再结晶过程是有晶格类型变化的结晶过程。()
- 11) 间隙固溶体一定是无限固溶体。()
- 12) 平衡结晶获得的质量分数为 20% Ni 的 Cu-Ni 合金比质量分数为 40% Ni 的 Cu-Ni 合金的硬度和强度要高。()
- 13) 一个合金的室温组织为 $\alpha + \beta_{II} + (\alpha + \beta)$, 它由三相组成。()
- 14) 铁素体的本质是碳在 α -Fe 中的间隙相。()
- 15) 20 钢比 T12 钢的碳质量分数要高。()
- 16) 在退火状态(接近平衡组织)45 钢比 20 钢的塑性和强度都高。()

- 17) 在铁碳合金平衡结晶过程中,只有碳质量分数为 4.3%的铁碳合金才能发生共晶反应。()
- 18) 马氏体是碳在的 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体。当奥氏体向马氏体转变时,体积要收缩。()
- 19) 当把亚共析钢加热到 A_{c1} 和 A_{c3} 之间的温度时,将获得由铁素体和奥氏体构成的两相组织,在平衡条件下,其中奥氏体的碳质量分数总是大于钢的碳质量分数。()
- 20) 当原始组织为片状珠光体的钢加热奥氏体化时,细片状珠光体的奥氏体化速度要比粗片状珠光体的奥氏体化速度快。()
- 21) 当共析成分的奥氏体在冷却发生珠光体转变时,温度越低,其转变产物组织越粗。()
- 22) 高合金钢既具有良好的淬透性,也具有良好的淬硬性。()
- 23) 经退火后再高温回火的钢,能得到回火索氏体组织,具有良好的综合机械性能。()
- 24) 钢的淬透性高,则其淬透层的深度也越大。()
- 25) 表面淬火既能改变钢的表面组织,也能改善心部的组织和性能。()
- 26) 所有的合金元素都能提高钢的淬透性。()
- 27) 合金元素 Mn、Ni、N 可以扩大奥氏体区。()
- 28) 合金元素对钢的强化效果主要是固溶强化。()
- 29) 60Si2Mn 钢比 T12 和 40 钢有更好的淬透性和淬硬性。()
- 30) 所有的合金元素均使 M_s 、 M_f 下降。()
- 31) 电弧喷涂技术可以在金属表面喷涂塑料。()
- 32) 气相沉积技术是从气相物质中析出固相并沉积在基材表面的一种表面镀膜技术。()

4. 选择正确答案

- 1) 金属结晶时,冷却速度越快,其实际结晶温度将:
a. 越高; b. 越低; c. 越接近理论结晶温度
- 2) 为细化晶粒,可采用:
a. 快速浇注; b. 加变质剂; c. 以砂型代金属型
- 3) 能使单晶体产生塑性变形的应力为:
a. 正应力; b. 切应力; c. 复合应力
- 4) 面心立方晶格的晶体在受力变形时的滑移方向是:
a. $\langle 100 \rangle$; b. $\langle 111 \rangle$; c. $\langle 110 \rangle$
- 5) 变形金属再结晶后:
a. 形成等轴晶,强度增大; b. 形成柱状晶,塑性下降;
c. 形成柱状晶,强度升高; d. 形成等轴晶,塑性升高
- 6) 固溶体的晶体结构:

- a .与溶剂相同; b .与溶质相同; c .为其他晶'型
- 7) 间隙相的性能特点是:
- a .熔点高、硬度低; b .硬度高、熔点低; c .硬度高、熔点高
- 8) 在发生 $L \rightarrow (\alpha + \beta)$ 共晶反应时,三相的成分:
- a .相同; b .确定; c .不定
- 9) 共析成分的合金在共析反应 $\gamma \rightarrow (\alpha + \beta)$ 刚结束时,其组成相为:
- a . $\gamma + \alpha + \beta$; b . $\alpha + \beta$; c . $(\alpha + \beta)$
- 10) 奥氏体是:
- a .碳在 γ -Fe 中的间隙固溶体; b .碳在 α -Fe 中的间隙固溶体;
- c .碳在 α -Fe 中的有限固溶体
- 11) 珠光体是一种:
- a .单相固溶体; b .两相混和物; c .Fe 与 C 的化合物
- 12) T10 钢的碳的质量分数为:
- a .0 .1%; b .1 .0%; c .10%
- 13) 铁素体的机械性能特点是:
- a .强度高、塑性好、硬度低; b .强度低、塑性差、硬度低;
- c .强度低、塑性好、硬度低
- 14) 奥氏体向珠光体的转变是:
- a .扩散型转变; b .非扩散型转变; c .半扩散型转变
- 15) 钢经调质处理后获得的组织是:
- a .回火马氏体; b .回火屈氏体; c .回火索氏体
- 16) 共析钢的过冷奥氏体在 $550^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 的温度区间等温转变时,所形成的组织是:
- a .索氏体; b .下贝氏体; c .上贝氏体; d .珠光体
- 17) 若合金元素能使 C 曲线右移,钢的淬透性将:
- a .降低; b .提高; c .不改变
- 18) 马氏体的硬度取决于:
- a .冷却速度; b .转变温度; c .碳含量
- 19) 淬硬性好的钢:
- a .具有高的合金元素含量; b .具有高的碳含量;
- c .具有低的碳含量
- 20) 对形状复杂、截面变化大的零件进行淬火时,应选用:
- a .高淬透性钢; b .中淬透性钢; c .低淬透性钢
- 21) 直径为 10mm 的 40 钢的常规淬火温度大约为:
- a . 750°C ; b . 850°C ; c . 920°C
- 上述正确淬火后的显微组织为:
- a .马氏体; b .铁素体 + 马氏体; c .马氏体 + 珠光体
- 22) 完全退火主要适用于:

- ## 5. 综合分析题

- 1) 金属结晶的条件和动力是什么？
- 2) 金属结晶的基本规律是什么？
- 3) 在实际应用中, 细晶粒金属材料往往具有较好的常温力学性能, 细化晶粒提高金属材料使用性能的措施有哪些？
- 4) 如果其他条件相同, 试比较在下列铸造条件下铸件晶粒的大小:
 - (1) 金属模浇注与砂模浇注;
 - (2) 变质处理与不变质处理;
 - (3) 铸成薄件与铸成厚件;
 - (4) 浇注时采用震动与不采用震动。
- 5) 为什么钢锭希望尽量减少柱状晶区？
- 6) 将 20kg 纯铜与 30kg 纯镍熔化后慢冷至如图 1-1 温度 T_1 , 求此时:
 - (1) 两相的化学成分;
 - (2) 两相的质量比;
 - (3) 各相的质量分数;
 - (4) 各相的质量。

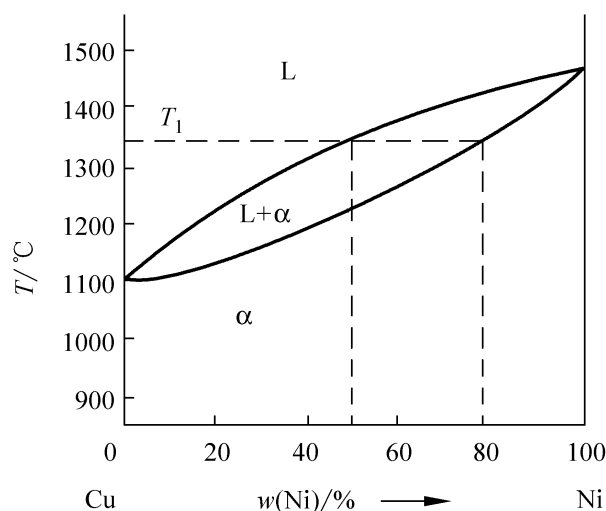


图 1-1