

★课程考试大纲要求

考试内容

1) 金属学理论

- a: 金属与合金的晶体结构及晶体缺陷
- b: 纯金属的结晶理论
- c: 二元合金相图及二元合金的结晶
- d: 铁碳合金及 Fe-Fe₃C 相图
- e: 三元合金相图
- f: 金属的塑性变形理论及冷变形金属加热时的组织性能变化
(前六章, 去掉 6.7 节 超塑性)

2) 热处理原理及工艺

- a: 钢的加热相变理论
- b: 钢的冷却相变理论
- c: 回火转变理论
- d: 合金的时效及调幅分解
- e: 钢的普通热处理工艺及钢的淬透性
(后三章)

题型结构

- a: 基本知识与基本概念题 (约 30 分)
- b: 理论分析论述题 (约 60 分)
- c: 实际应用题 (约 30 分)
- d: 计算与作图题 (约 30 分)

试题形式

- a: 选择题
- b: 判断题
- c: 简答与计算
- d: 综合题等

★样题

一、**选择题** (在每小题的五个备选答案中, 选出一个或一个以上正确的答案, 将其标号填入括号内。正确的答案没有选全或选错的, 该题无分。)

1. 与固溶体相比, 金属化合物的性能特点是()。
 - ① 熔点高、硬度低; ② 硬度高、塑性高; ③ 熔点高、硬度高;
 - ④ 熔点高、塑性低; ⑤ 硬度低、塑性高
2. 若体心立方晶胞的晶格常数为 a , 则其八面体间隙 ()。
 - ① 是不对称的; ② 是对称的; ③ 位于面心和棱边中点;
 - ④ 位于体心和棱边中点; ⑤ 半径为 $\frac{2-\sqrt{3}}{4}a$

3. 奥氏体是()。
 - ① 碳在 γ -Fe 中的间隙固溶体; ② 碳在 α -Fe 中的间隙固溶体;
 - ③ 碳在 α -Fe 中的有限固溶体; ④ 碳在 γ -Fe 中的置换固溶体;
 - ⑤ 碳在 α -Fe 中的有序固溶体
4. 渗碳体是一种 ()。
 - ① 间隙相; ② 金属化合物; ③ 正常价化合物; ④ 电子化合物; ⑤ 间隙化合物
5. 六方晶系的[100]晶向指数, 若改用四坐标轴的密勒指数标定, 可表示为 ()。
 - ① $[\bar{2}1\bar{1}0]$; ② $[11\bar{2}0]$; ③ $[\bar{1}2\bar{1}0]$; ④ $[\bar{2}110]$; ⑤ $[10\bar{1}0]$
6. 晶面(110)和(111)所在的晶带, 其晶带轴的指数为()。
 - ① $[\bar{1}10]$; ② $[1\bar{1}0]$; ③ $[01\bar{1}]$; ④ $[0\bar{1}1]$; ⑤ $[\bar{1}01]$
7. 在室温平衡状态下, 碳钢的含碳量超过 0.9%后, 随着含碳量增加, 其 ()。
 - ① 强度、塑性均下降; ② 硬度升高、塑性下降; ③ 硬度、塑性均下降;
 - ④ 强度、塑性均不变; ⑤ 强度、塑性均不确定
8. 共晶成分的合金通常具有如下特性 ()。
 - ① 铸造性能好; ② 锻造性能好; ③ 焊接性能好;
 - ④ 热处理性能好; ⑤ 机械加工性能好
9. 钢的淬透性取决于 ()。
 - ① 淬火冷却速度; ② 钢的临界冷却速度; ③ 工件的尺寸、形状;
 - ④ 淬火介质; ⑤ 奥氏体的稳定性
10. 淬火+高温回火被称为 ()。
 - ① 时效处理; ② 变质处理; ③ 调质处理; ④ 固溶处理; ⑤ 均匀化处理
11. 铁素体在加热到 A3 温度时将转变为奥氏体, 这种转变称为()。
 - ① 同素异晶转变; ② 再结晶; ③ 结晶; ④ 回复; ⑤ 重结晶
12. 下贝氏体是 ()。
 - ① 过饱和的 α 固溶体; ② 过饱和的 α 固溶体和碳化物组成的复相组织;
 - ③ 呈现羽毛状; ④ 呈现板条状; ⑤ 呈现竹叶状
13. 铸铁与碳钢的区别在于有无()。
 - ① 渗碳体; ② 珠光体; ③ 铁素体; ④ 莱氏体; ⑤ 马氏体
14. 实际金属一般表现出各向同性, 这是因为实际金属为()。
 - ① 固溶体; ② 单晶体; ③ 理想晶体; ④ 多晶体; ⑤ 金属化合物
15. 合金元素碳溶入铁素体, 将引起铁素体 ()。
 - ① 晶格畸变; ② 固溶强化; ③ 韧性提高; ④ 硬度提高; ⑤ 塑性下降
16. 通常情况下, 随回火温度提高, 淬火钢的 ()。
 - ① 强度下降; ② 硬度下降; ③ 塑性提高; ④ 韧性基本不变; ⑤ 硬度变化较小
17. 完全退火主要适用于 ()。
 - ① 亚共析钢; ② 共析钢; ③ 过共析钢; ④ 非铁合金; ⑤ 铸铁合金

18. 钢的回火处理工艺是 ()。

- ① 正火后进行; ② 淬火后进行; ③ 是退火后进行;
④ 预备热处理工序 ⑤ 最终热处理工序

19. 共析碳钢加热转变为奥氏体后, 冷却时所形成的组织主要取决于 ()。

- ①奥氏体化加热温度; ②冷却时的转变温度; ③冷却时的转变时间;
④冷却速度; ⑤ 奥氏体化时的均匀化程度

20. 马氏体的硬度主要取决于

①马氏体的亚结构; ② 马氏体相变的起始温度; ③马氏体相变的终了温度; ④ 马氏体的正交度; ⑤ 马氏体的含碳量

二、判断题(判断下列各小题, 正确的在题前括号内打“√”, 错的打“×”。)

1. () 过冷度越大, 晶体生长速度越快, 晶粒长得越粗大。
2. () 晶界处原子处于不稳定状态, 故其腐蚀速度一般都比晶内快。
3. () 微观内应力是由于塑性变形时, 工件各部分之间的变形不均性所产生的。
4. () 回复可使冷变形金属的加工硬化效果及内应力消除。
5. () 马氏体与回火马氏体的一个重要区别在于: 马氏体是含碳的过饱和固溶体, 回火马氏体是机械混合物。
6. () 几乎所有的钢都会产生第一类回火脆性, 若回火后采用快冷的方式可以避免此类脆性。
7. () 回火索氏体与索氏体相比有更好的综合力学性能。
8. () 淬透性好的钢, 其淬硬性也高。

三、简答与计算题

1. 已知面心立方晶格的晶格常数为 a , 分别计算 (100)、(110) 和 (111) 晶面的晶面间距; 并求出 (100)、(110) 和 (111) 晶向上的原子排列密度 (某晶向上的原子排列密度是指该晶向上单位长度排列原子的个数); 写出面心立方结构的滑移面和滑移方向, 并说明原因 (计算结果保留两位有效数字)。
2. 简述金属塑性变形后组织和性能的变化。
3. 简述板条马氏体具有高强度的原因。
4. 什么是成分过冷? 画出示意图分析成分过冷的形成, 并说明成分过冷对晶体长大方式及铸锭组织的影响。

1.

四、综合题 (20 分)

1. 画出 Fe-Fe₃C 相图的示意图, 分析含碳量 $w_C = 1.2\%$ 的碳钢合金平衡结晶过程, 画出冷却曲线, 标明每一阶段该合金的显微组织示意图, 并分别计算室温下该合金的相组成物及组织组成物的相对含量 (10 分)
2. 图 2 为组元在固态下互不溶解的三元共晶合金相图的投影图, 分析 0 点成分合金的平衡结晶过程及室温组织, 并写出该合金在室温下组织组成物的相对含量表达式 (10 分)。

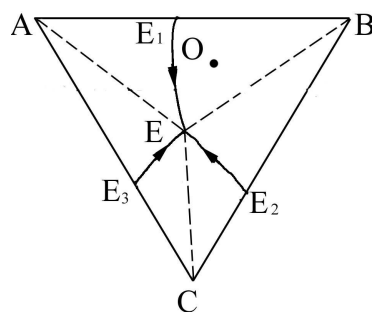


图 2 三元共晶合金相图的投影图

综合题

3. 甲乙两厂都生产同一种轴类零件，均选用 45 钢（含有 0.45%C， $AC_3=810^\circ\text{C}$ ），硬度要求 220~240HB，甲厂采用正火，乙厂采用调质处理，均能达到硬度要求，试制定正火和调质处理工艺参数（包括加热温度、冷却方式），并分析甲、乙两厂产品的组织和性能差别。
4. 归纳细化合金晶粒组织的热加工工艺方法（15 分）；

考试要求：

要求考生全面、系统地掌握“金属学与热处理”课程的基础理论，基本知识和基本技能，并能灵活运用金属学热处理理论分析和解决工程实际的问题的综合能力。

熟悉常用术语和基本概念，掌握金属材料主要热加工工艺原理，并能制定常规热处理工艺。

本课程所涉及的基本概念、基本理论总结归纳如下：

★加工工艺过程：

1. 浇铸（铸件）→退火（均匀化扩散、去应力）→机械加工 气缸

①铸造：将液态材料（如金属、塑料等）注入模具中的成型方法。铸造性能主要用材料的流动性来衡量。

②焊接和胶接：将分离的部件连接到一起的成型方法。通常用可焊性来衡量材料的焊接性能。

③机械加工：采用切削加工（如车、铣、钳、刨、镗、磨等）使固态材料成型，通常用材料的硬度来衡量其机械加工性能。

2. 浇铸（铸锭）→（塑性加工）拉拔→中间退火→拉拔→去应力退火 钢丝绳

热处理：通过对材料加热（加热温度通常在熔点以下）、保温和冷却来调整其性能的工艺方法。

塑性加工：锻、拉、挤、轧、弯；包括两类：冷变形，热加工（高于再结晶温度）

3. 浇铸（铸锭）→（塑性加工）锻造→预备热处理（正火或退火）→机械加工→最终热处理（淬火和回火、固溶和时效）→精加工→装配 机器零件

影响材料组织结构工艺：铸造、锻造、热处理

★强化理论：概念、机理、规律、方法、使用实际意义

1. 固溶强化：

概念：通过形成固溶体而产生晶格畸变，使金属强度和硬度提高的现象称为固溶强化。

机理：形成间隙式或置换式固溶体，均产生晶格畸变（点缺陷），阻碍位错移动，引起变形抗力增加。

规律：随固溶度而增大。固溶度越大，晶格畸变比率越大，固溶强化程度越大。

方法：冶金（熔炼）→ 合金化

使用实际意义：固溶强化是金属强化的最基本方式。固溶体的综合力学性能较好，常作为结构合金的基体相。

2. 第二相质点强化：

概念：通过在固溶体基体上弥散分布金属化合物（第二相，正常价化合物、电子化合物、间隙相和间隙化合物），使金属强度和硬度进一步提高的现象称为第二相质点强化。

机理：相界面（面缺陷：共格、半共格、非共格相界）阻碍位错移动，引起变形抗力增加。

规律：随第二相的密度（多少）和弥散度增大而增加。（种类共格>半共格>非共格相界）

方法：（1）沉淀：从过饱和固溶体中析出。（2）粉末冶金：粉末混合烧结。

使用实际意义：在固溶强化基础上进一步强化金属材料最常用方法。

3. 细晶强化：

概念：通过细化晶粒，增加单位体积中晶界的面积，使金属强度和硬度进一步提高的现象称为细晶强化。

机理：晶界（取向差通常大于 10° ）（包括亚晶界：取向差通常小于 2° ）阻碍位错移动，引起变形抗力增加。

规律：（霍尔-派奇公式） $\sigma = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$

方法：（1）铸件：增大过冷度；变质处理；搅拌、振动和超声波。

（2）冷变形+中间退火：控制冷变形量和退火温度，避开临界变形度， $T_{\text{再结晶}} + (30-50)^\circ\text{C}$

（3）锻件：控制轧制（热加工，成形，改善铸态组织缺陷）

（4）热处理件：控制奥氏体晶粒度，加热（奥氏体化）温度，相变点+ $(30-50)^\circ\text{C}$

使用实际意义：使金属材料的室温强度和塑性韧性同步提高的唯一的强化方法，适于材料的各种加工工艺方法。

4. 形变强化：

概念：金属在塑性变形过程中，随着变形程度的增加，金属的强度、硬度显著升高，而塑性、韧性显著下降的现象称为形变强化或加工硬化。

机理：随着塑性变形的进行，位错的密度不断增加，位错间产生交割、塞积、缠结，均阻碍位错移动，引起变形抗力增加。

规律：随变形量（或位错密度）增加而增强。

方法：冷塑性变形（拉拔、冲压、冷轧）

使用实际意义：（1）使冷变形成形成为可能；（2）提高了构件服役的安全性。（3）对不能通过热处理强化的零件，这是金属材料强化最有效的方法。

5. 马氏体相变强化:

概念: 钢从奥氏体状态快速冷却, 在较低温度下发生非扩散型相变生成马氏体, 使金属的强度、硬度显著升高, 而塑性、韧性显著下降的现象称为马氏体相变强化。

机理: 包含了上述强化机制。

规律: 随马氏体含量的增加而增强。

方法: 淬火+回火

使用实际意义: 对钢铁材料而言, 这是最常用的强化方法。

第一章

★金属的定义: 金属是具有正的电阻温度系数的物质, 通常具有良好的导电性、导热性、延展性、高的密度和高的光泽

★金属原子的结构特点: 其最外层的电子(价电子)数很少, 一般为1~2个, 不超过3个。

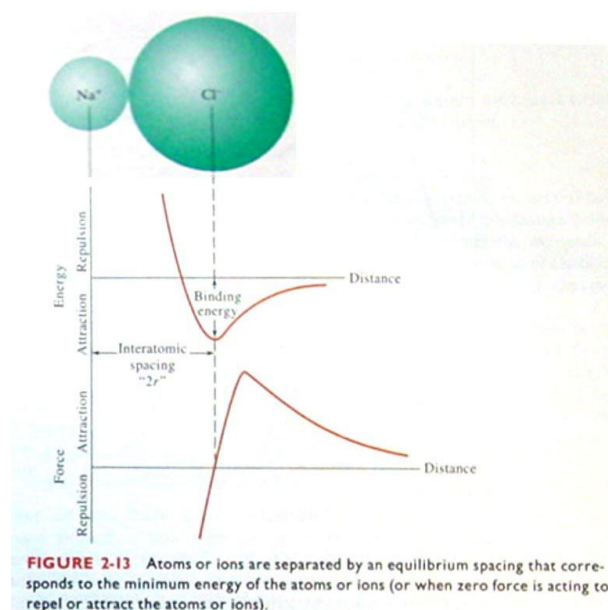
★结合力: (1) 金属键: 共有价电子→电子云→键无方向性和饱和性

(2) 离子键: 得失价电子→正负离子

(3) 共价键: 共有电子对→键有饱和性

(4) 范德瓦耳键: 一个分子的正电荷部位与另一分子的负电荷部位间以微弱静电引力相引而结合在一起称为分子键

★ 金属的键能 熔点、强度、模量也越高; 原子半径热膨胀系数小



★ 影响置换式固溶体溶解度的因素有:

(1) 尺寸差 (2) 电负性差 (3) 电子浓度 (4) 晶体结构:

★立方晶系晶向、晶面

晶面及晶向的原子密度

不同晶体结构中不同晶面、不同晶向上的原子排列方式和排列紧密程度是不一样的。

表 1-3 体心立方、面心立方晶格主要晶面的原子排列和密度				
晶面族	体心立方晶格		面心立方晶格	
	晶面原子排列示意图	晶面原子密度 (原子数/面积)	晶面原子排列示意图	晶面原子密度 (原子数/面积)
{100}		$\frac{4 \times \frac{1}{4}}{a^2} = \frac{1}{a^2}$		$\frac{4 \times \frac{1}{4}}{a^2} = \frac{1}{a^2}$
{110}		$\frac{4 \times \frac{1}{4} + 1}{\sqrt{2}a^2} = \frac{1.4}{a^2}$		$\frac{4 \times \frac{1}{4} + 2 \times \frac{1}{2}}{\sqrt{2}a^2} = \frac{1.4}{a^2}$
{111}		$\frac{3 \times \frac{1}{6}}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{0.58}{a^2}$		$\frac{3 \times \frac{1}{6} + 3 \times \frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}a^2} = \frac{2.3}{a^2}$

表 1-4 体心立方、面心立方晶格主要晶面的原子排列和密度				
晶面族	体心立方晶格		面心立方晶格	
	晶面原子排列示意图	晶面原子密度 (原子数/长度)	晶面原子排列示意图	晶面原子密度 (原子数/长度)
<100>		$2 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{a}$		$2 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{a}$
<110>		$2 \times \frac{1}{2} = \frac{0.7}{\sqrt{2}a}$		$2 \times \frac{1}{2} = \frac{1.4}{\sqrt{2}a}$
<111>		$2 \times \frac{1}{2} = \frac{1.16}{\sqrt{3}a}$		$2 \times \frac{1}{2} = \frac{0.58}{\sqrt{3}a}$

★晶带轴：平行于或者相交于同一直线的一组晶面组成一个晶带，而该直线叫做晶带轴。

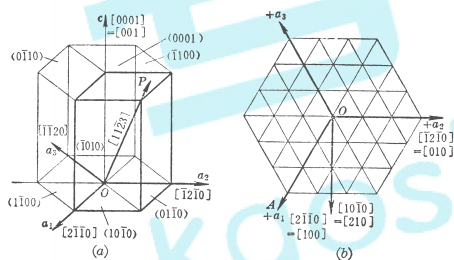
$$(h_1 k_1 l_1); (h_2 k_2 l_2) \Leftrightarrow [uvw]$$

$$u = \begin{vmatrix} k_1 & l_1 \\ k_2 & l_2 \end{vmatrix}$$

$$v = \begin{vmatrix} l_1 & h_1 \\ l_2 & h_2 \end{vmatrix}$$

$$w = \begin{vmatrix} h_1 & k_1 \\ h_2 & k_2 \end{vmatrix}$$

★ 六方晶系的晶向指数密勒指数



$$u = \frac{1}{3}(2U - V)$$

$$v = \frac{1}{3}(2V - U)$$

$$t = -(u + v)$$

$$w = W$$

$$[UVW] \Leftrightarrow [uvw]$$

★多晶型转变：当外部的温度和压强改变时，有些金属会由一种晶体结构向另一种晶体结构转变，称之为多晶型转变，又称为同素异构转变（重结晶，二次结晶）

第二章：

凝固：金属由液态转变为固态的过程。

结晶：结晶是指从原子不规则排列的液态转变为原子规则排列的晶体状态的过程。

宏观现象：过冷 热力学条件：

微观过程：形核和长大

影响金属结晶过冷度的因素：

(1) 金属的本性 (2) 金属的纯度 (3) 冷却速度； (4) 铸造模具所用材料

形核方式：均匀与非均匀

液固界面的微观结构：具有粗糙界面(杰克逊因子<2)：垂直方式长大；

光滑界面(杰克逊因子 >5)、台阶长大：二维晶核、螺型位错；

正温度梯度：平面状界面、

负温度梯度：树枝状

第三章：

二元相图

匀晶相图：固溶体合金，适于变形成形

选择性结晶规律：

不平衡结晶：成分偏析

成分过冷：正温度梯度下可能长成树枝晶

共晶相图：适于铸造成形

伪共晶：由非共晶成分的合金所得到的共晶组织

离异共晶：共晶体中的一相依附于先析出相生长，使共晶组织特征消失

包晶相图：

铸锭三晶区的形成过程

表层细晶区：当高温液态金属倒入铸模后，靠近模壁一层的液体产生较大的过冷，结晶先从铸模壁开始，并且模壁可以作为非均匀形核的基底，因此，在此薄层中会形成大量的晶核，同时向各个方向生长，形成了表面细晶区。

柱状晶区：在表层细晶区形成的同时，铸模温度迅速升高，液态金属冷却速度减慢，结晶前沿沿模壁方向过冷度迅速减小，只有垂直模壁方向上得散热最快，因而，晶体沿垂直与模壁方向生长而形成柱状晶。

中心等轴晶区：随着柱状晶的生长，中心部位的液体温度分布逐渐趋于平缓，各向的散热速度趋于一致，从而晶核长大成等轴晶。

第四章

分析碳铁碳合金（钢、铁）的平衡结晶过程，画出组织示意图。

相：铁素体、奥氏体、渗碳体（共晶渗碳体、一次渗碳体，二次渗碳体、共析渗碳体）、液相

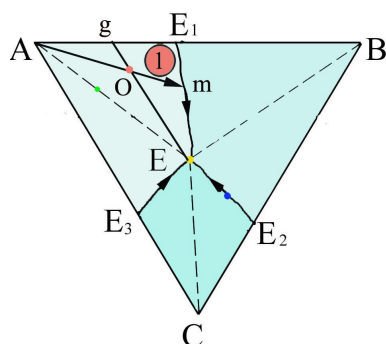
组织：铁素体、奥氏体、珠光体、莱氏体

计算相组成与组织组成物相对含量。

第五章：

相律： $f=c-p+2$

组织转变过程（一般了解）



第六章：

滑移系概念：

冷塑性变形对金属组织结构和性能的影响规律：

组织结构 形成纤维组织

形成变形组织

亚结构细化：随着变形量的增加，位错交织缠结，在晶粒内形成胞状亚结构，叫形变胞

点阵畸变严重：金属在塑性变形中产生大量点阵缺陷（空位、间隙原子、位错等），使点阵中的一部分原子偏离其平衡位置，而造成的晶格畸变。

性能：形变强化：变形过程中，位错密度升高，导致形变胞的形成和不断细化，对位错的滑移产生巨大的阻碍作用

各向异性：形成了纤维组织和变形组织

耐腐蚀性下降。

塑性变形后的金属随着加热温度的升高和时间的延长，可能会发生组织性能变化规律

回复：强度下降较少，塑性、韧性提高。

再结晶：性能恢复到冷塑性变形前的性能。

晶粒长大：性能恶化。

再结晶的温度及影响因素

（1）纯度越高（2）冷变形量；（3）加热速度（4）金属本性

临界变形度及其在工业生产中的意义

明确定义，避开。

热加工作用：锻造或热轧制

（1）成形（2）改善铸态组织缺陷

第七章

共析钢过冷奥氏体等温转变与连续冷却转变及区别

珠光体:

马氏体

贝氏体

包括定义、相变机制，形成温度、显微组织特征、亚结构、性能特点

第八章

合金固溶与时效概念:

一般过程: 过饱和固溶体 \rightarrow 饱和 α_1 固溶体 + 溶质富集区 \rightarrow 饱和 α_2 固溶体 + 亚稳相 \rightarrow 饱和 α 固溶体 + 平衡相

调幅分解概念: 按扩散偏聚机制和无形核过程直接长大, 由一种固溶体分解为两种结构相同而成分不同的固溶体。

第九章

预备: 正火、退火

最终: 淬火、回火。

明确各热处理的目的、得到什么组织, 工艺参数 (加热温度和冷却方式)