

• 全国硕士研究生入学考试专业课讲义 •

西安理工大学

《816材料科学基础》真题、典型题解析

主讲老师：杨亮



关注考试点官方微博：

<http://weibo.com/kaoshidian>

意见及建议也可发送邮件至：service@kaoshidian.com



客服电话请拨打：

400-6885-365

周一至周日：8:00-24:00

第 1 讲 2009 年真题解析（一）

一、简答题（任选 8 题）

1. 氯化钠的晶体结构是否属于布拉菲点阵？为什么？如果不是，则其点阵为哪种点阵类型？
2. 写出 BCC 晶体中的配位数 (N)、致密度 (K)、原子半径 r 与点阵常数 a 的关系式，在一个 BCC 晶胞中画出其室温时的一组滑移系并标出密排面与密排方向。
3. 试从结合键的角度讨论一般情况下金属材料比陶瓷材料表现出更高塑性或延展性的原因。
4. 分析“在液态金属中，凡是涌现出小于临界晶核半径的晶胚都不能成核，但是只要有足够的能量起伏提供形核功，还是可以成核的。”这段话是否正确，并回答纯金属材料形核时必须满足哪些条件。
5. 金属材料生长形态的影响因素有哪些？在相同的温度梯度下纯金属和固溶体合金的生长形态是否相同？请说明原因。
6. 为细化某纯铝件的晶粒，将其冷变形 5% 后于 650℃ 退火 1h，组织反而粗化；增大冷变形量至 80% 再于 650℃ 退火 1h，仍然得到粗大晶粒。试分析其原因，指出上述两种工艺不合理之处及原因，并回答影响再结晶晶粒度的因素。
7. 对于固体材料将其晶粒细化后其力学性能会有何种变化？解释原因。并回答对于铸件能否采用再结晶的方法细化晶粒，为什么？
8. 为什么钢铁零件渗碳温度一般要选择在 γ 相区中进行？若不在 γ 相区进行会有什么结果？
9. 何为金属材料的加工硬化？如何解决加工硬化给后续加工带来的困难？
10. 简述碳钢的不同回火温度范围及其对应的回火组织类型。

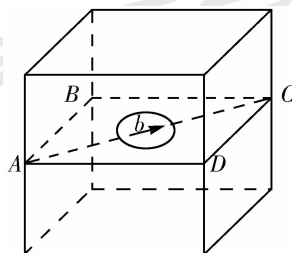
二、计算题

已知纯铜的滑移系的临界切应力 τ_c 为 1MPa，问：

1. 要使 $(\bar{1}11)$ 面上产生 $[101]$ 方向的滑移，则在 $[101]$ 方向上至少需施加多大的应力？
2. 要使 $(\bar{1}11)$ 面上产生 $[110]$ 方向的滑移，则在 $[110]$ 方向上至少需施加多大的应力？

第2讲 2009年真题解析（二）

三、如图所示的晶体中， $ABCD$ 滑移面上有一个位错环，位错线方向为逆时针方向，其柏氏矢量 b 平行于 \overrightarrow{AC} 。



第三题

1. 指出位错环各部分的位错类型。
2. 若柏氏矢量 b 垂直于位错环所在的水平面，指出位错环各部分的位错类型。
3. 在图中表示出使位错环向外运动所需施加的切应力方向。
4. 该位错环运动出晶体后，晶体外形如何变化？

四、Fe - Fe₃C 相图分析

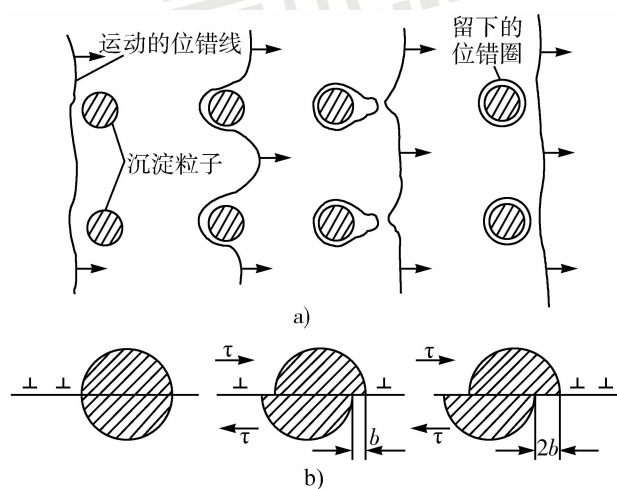
1. 默画 Fe - Fe₃C 相图，标出各点的含碳量并写出三条水平线上的反应。
2. 若有两个钢试样，经组织分析其珠光体的含量相同，能否得出这两种试样是同一种材料？为什么？
3. 计算含碳量为 4.28% 的铁碳合金在 1148℃ 温度的平衡分配系数，并说明其在该温度平衡凝固和非平衡凝固时组织上出现的差别。
4. 分析含碳量为 1.8% 的铁碳合金的平衡结晶过程，并计算其最终组织组成物和相组成物的相对含量。

五、利用位错理论分析论述第二相粒子对合金塑性形变及强度的影响。

如图所示，第二相粒子与位错的交互作用有如下两种情况：

第一种：如图所示，第二相粒子较硬，位错线无法通过，于是位错线就绕过去，如此反复。阻碍位错线通过的微粒的有效尺寸不断加大，使得位错先要绕过微粒的临界应力不断上升，后续的位错先绕过时越来越难，塑性变形抗力不断增大，材料的强度则显著提高。

第二种：如图所示，第二相粒子较软，位错线可以将第二相微粒切割并沿其滑移面通过，这样就增加了界面能、畸变能、位错应变能等能量的上升，则位错的滑移必须做额外的功才能克服上述能量的增加。因此材料的屈服强度上升，材料得到强化。



第五题解答图

a) 位错绕过微小的沉淀第二相粒子 b) 位错切割第二相粒子

第3讲 2008年真题解析（一）

一、名词解释

1. 成分过冷
2. 中间相
3. 离异共晶
4. 反应扩散
5. 动态再结晶

二、简答题（任选五题）

1. 原子间的结合键共有几种？各自特点如何？试从结合键的角度讨论金属的力学特性。
2. 写出 BCC 晶体中的配位数、致密度、原子半径 r 与点阵常数 a 的关系式，并在一个 BCC 晶胞中画出其室温时的一组滑移系，标出密排面与密排方向。
3. 在晶体中有一平面环状位错线，这个位错环上各点位错类型是否相同？为什么？若将其正向定义为原来的反向，此位错的柏氏矢量是否改变？位错的类型性质是否变化？
4. 依据反应温度由高到低，依次写出 $Fe-Fe_3C$ 合金系中三相平衡反应的反应式，并分别说明 Fe_3C_I 、 Fe_3C_{II} 、 Fe_3C_{III} 、 $Fe_3C_{共析}$ 和 $Fe_3C_{共晶}$ 的来源及形貌特征。
5. 简述碳钢的不同回火温度范围及其对应的回火组织类型。
6. 试分析冷变形量对再结晶晶粒尺寸的影响。
7. 某工厂对一大型零件进行淬火处理，经过 $1100^\circ C$ 加热后，用冷拉钢丝绳吊挂，由起重吊车送往淬火水槽，行至途中钢丝突然发生断裂。该钢丝是新的，且没有瑕疵，试分析该钢丝绳断裂的原因。

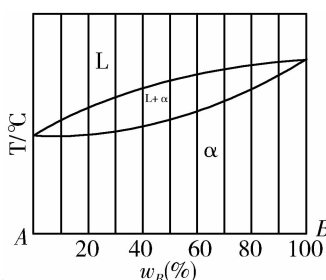
第 4 讲 2008 年真题解析（二）

三、计算题

一个直径为 1mm 的圆柱形面心立方金属单晶体试样，写出其在 (111) 晶面上可能存在的滑移系；当拉伸轴的方向为 [001]，临界分切应力为 0.64MPa，问多大拉伸力能使晶体开始滑移？

四、相图分析

某固溶体合金的相图如图所示，试根据相图确定：



1. 在平衡结晶过程中，若首先凝固出来的固体成分含 70% B，则合金的成分为多少？计算此时合金凝固的平衡分配系数。
2. 合金成分为 50% B，凝固到某温度时液相含有 40% B，固体含有 80% B，此时液体和固体各占多少分数？
3. 成分分别为 10% B 和 50% B 的合金，若凝固时均发生偏析，哪种合金的偏析程度更大，为什么？

五、论述（任选两题）

1. 什么是固溶体？影响固溶度的原因有哪些？固溶体与其纯组元相比，其结构、力学性能和物理性能发生了哪些变化？
2. 用柯氏气团理论解释低碳钢存在的屈服平台现象。
3. 简述马氏体高强度的本质。

第5讲 2007年真题解析（一）

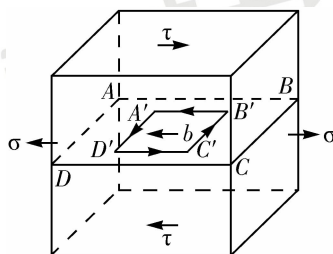
一、简答题

1. 简述原子间四种结合键各自的特点，并从结合键的角度讨论金属的力学特性。
2. 空间点阵和晶体结构有何区别？常见金属晶体结构中有哪一种不属于空间点阵？为什么？
3. Ni 的晶体结构为面心立方结构，其原子半径为 $r=0.1243\text{nm}$ ，试求 Ni 的晶格常数和致密度。
4. 若合金凝固过程中形成一半径为 r 的球形晶核，试计算临界晶核半径和形核功的大小。（已知该合金的体积形核功为 ΔG_v ，表面能为 σ ）
5. 有两尺寸相同、形状相同的铜合金铸件，一个含 Ni90%，一个含 Ni50%，铸后自然冷却，问哪个铸件固态下偏析严重？为什么？
6. 结晶、重结晶和再结晶三者概念上有何区别？
7. 说明金属材料经冷塑性变形后在不同回复阶段各种晶体缺陷的行为表现以及对应的材料物理、化学及力学性能的变化。
8. 为什么钢铁零件渗碳温度一般要选择在 γ 相区中进行？若不在 γ 相区进行会有什么后果？
9. 说明奥氏体的概念，简述奥氏体转变的形成过程及影响奥氏体晶粒长大的因素。
10. 简述碳钢的回火转变与回火组织。

二、已知位错环 $A'B'C'D'$ 的柏氏矢量为 b ，外应力为 τ 和 σ ，如图所示。

试求：

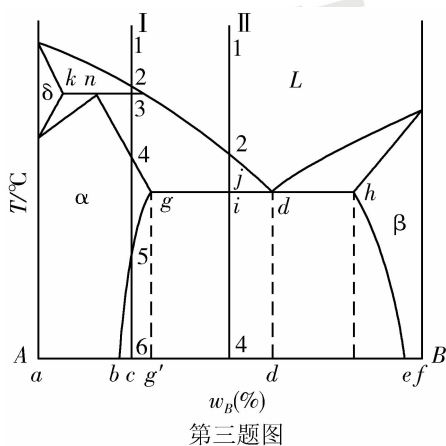
1. 位错环的各边分别是什么性质的位错？
2. 在足够大的切应力 τ 的作用下，位错环如何运动？晶体如何变形？
3. 在足够大的正应力 σ 的作用下，位错环如何运动？晶体如何变形？



第二题图

第 6 讲 2007 年真题解析（二）

三、在图所示相图中：



1. 写出水平线上反应式。
2. 写出各区域的组织组成物。
3. 分析合金 I 的冷却过程，写出室温时的组织组成物，并计算该合金在 T_3 温度（高温水平线）时的平衡分配系数。
4. 写出室温时合金 I 和合金 II 组织组成物的相对含量的表达式。

四、论述题

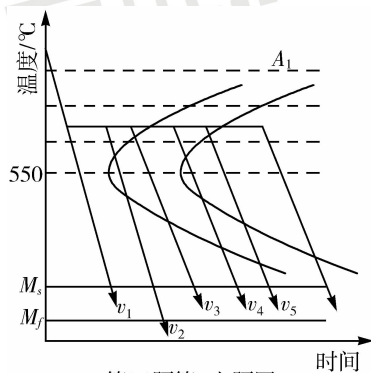
1. 在面心立方晶体中：

(1) 分别画出 (101) $[\bar{1}0\bar{1}]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ $[\bar{1}10]$ 和 (111) $[0\bar{1}1]$ ，指出哪些是滑移面、滑移方向，并就图中情况分析它们能否构成滑移系。

(2) 若外力沿 $[001]$ 方向，材料的临界分切应力为 0.64MPa ，请问需要多大的拉伸应力可以使晶体开始滑移？

2. 将共析钢加热至 780°C ，经保温后，请回答：

(1) 若以图所示的 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 和 v_6 的速度进行冷却，各得到什么组织？



第四题第2小题图

(2) 如将 v_1 冷却后的钢重新加热至 530°C ，经保温后冷却后又得到什么组织？力学性能有何变化？

(3) 论述影响钢的淬透性的因素。

3. (1) $v_1: M + A_{\text{残留}}$; $v_2: T + M$; $v_3: S + T + M + A_{\text{残留}}$; $v_4: S + T$; $v_5: S$; $v_6: S_0$ 。

(2) S 回火，硬度有所下降，塑性、韧性等上升，综合力学性能提高。

(3) 影响材料淬透性的因素有：

1) 钢的化学成分

①碳含量：碳含量增加，淬透性增加。

②合金元素：除 Ti、Zr、Co 外，其他元素的加入会增加淬透性。

2) 奥氏体晶粒度：奥氏体晶粒度越大，淬透性越大。

3) 奥氏体化温度，奥氏体化温度越高，淬透性越大。

第 7 讲 2011 年真题解析（一）

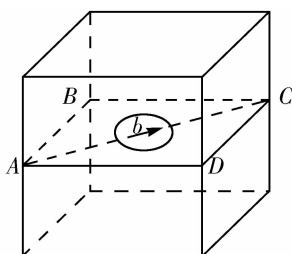
一、选择正确的答案：（10 × 3 分 = 30 分，请将答案按照题号写到答题纸上）

1. 晶格参数 $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 的晶体属于（ ）
A. 正方晶系 B. 立方晶系 C. 菱方晶系
2. 柏氏矢量是位错的符号，它代表（ ）
A. 位错线的方向 B. 位错线的运动方向 C. 晶体的滑移方向
3. 在同一合金系中要区分各种不同的相，主要依据是（ ）
A. 具有不同晶体的结构
B. 具有不同的形态
C. 原子在晶格中是否有序排列
4. 固溶体结晶与纯金属结晶相比有自己的特点（ ）
A. 固溶体结晶时溶质需要重新分配，因此是一个恒温下的扩散过程
B. 固溶体结晶后，同一母相在不同温度下形核长大所得的各晶粒成分是不同的
C. 固溶体结晶是异分结晶，是在变温下形成的
5. 共晶系相图中选取铸造合金的最佳成分是（ ）
A. 具有共晶成分的合金
B. 单相固溶体成分的合金
C. 共晶或端点成分的合金
6. 三元系中如果出现三相平衡，其三维空间形貌是（ ）
A. 直边三角形 B. 三棱柱体 C. 曲边三角形
7. 金属塑性变形产生大量位错和空位，并使部分原子脱离平衡位置造成点阵畸变所产生的内应力属于（ ）
A. 第一类内应力 B. 第二类内应力 C. 第三类内应力
8. 冷变形金属经重新加热发生再结晶时的驱动力是（ ）
A. 储存能 B. 界面能 C. 结构变化的自由能
9. 扩散使固溶体溶质浓度超过其溶解度极限而形成新相的扩散称为（ ）
A. 上坡扩散 B. 化学扩散 C. 反应扩散
10. 晶粒长大的驱动力是（ ）
A. 储存能的下降 B. 弹性应变能的下降 C. 界面能的下降

二、简答题 (6 × 15 分 = 80 分)

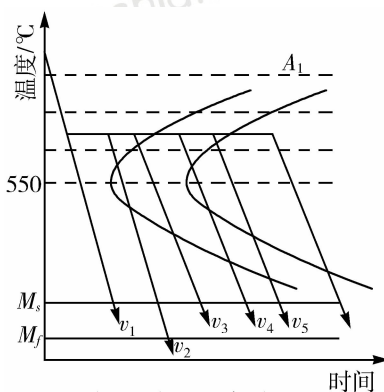
从 8 题中任选 6 题回答，多选择按回答顺序计前 6 题的分数

1. 空间点阵和晶体结构有何异同？常见纯金属晶体结构中那一种不属于布拉菲点阵？为什么？
2. 若在液相中形成边长为 a 的立方体晶核时，试求出“临界晶核”立方体边长 a^* 和形核功 ΔG^* 。
并说明当形成体积相同的晶核时，易于形成球形的晶核而非是立方体晶核？
3. 如图所示的晶体中， $ABCD$ 滑移面上有一个位错环，位错线方向为逆时针方向，其柏氏矢量 b 平行于 AC 。
 1) 指出位错环各部分的位错类型。
 2) 若柏氏矢量 b 垂直于 $ABCD$ 面，指出位错环各部分的位错类型。
 3) 在图中表示出使位错环向外运动所需施加的切应力方向。
 4) 该位错环运动出晶体后，晶体外形如何变化？



晶体位错环

4. 将共析钢加热至 780°C 。经保温后，请回答：

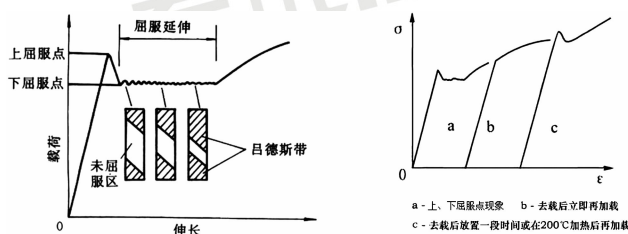


共析钢加热冷却曲线

- 1) 若以图所示的 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 和 v_6 的速度进行冷却，各得到什么组织？
- 2) 如将 v_1 冷却后的钢重新加热至 350°C ，经保温后冷却后又得到什么组织？力学性能有何变化？

第 8 讲 2011 年真题解析（二）

- 请画出冷加工金属随温度升高时微观组织的变化，并从微观组织和宏观性能两个方面对此变化加以解释。
- 结合 $\sigma - \varepsilon$ 曲线，已退火态低碳钢拉伸曲线为例，运用位错理论说明低碳钢的屈服现象及应变时效现象。



- 依据反应温度由高到低，依次写出 $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ 合金系中三相平衡反应的反应式，并分别说明 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{III}$ 、 Fe_3C 共析和 Fe_3C 共晶来源及形貌特征。
- 利用位错理论分析金属材料的细晶强化基本原理？并说明金属材料在凝固过程中可以细化晶粒的基本途径。

三、(20 分) 现有直径为 5mm 的圆柱形面心立方金属晶体试样：

- 写出该金属晶胞的配位数 (N)、致密度 (K) 以及原子半径 (r) 与晶格半径 (a) 的关系式。
- 在其晶胞中画出晶面及其 $[101]$ 晶向。
- 若沿晶胞的 $[123]$ 方向施加 40N 的拉力时，晶体开始滑移，求金属晶体滑移时所需的临界分切应力。

四、(20 分) 二元合金相图如图 3 所示：

- 分析 5.5% Cu 合金和 5.8% Cu 合金在平衡结晶和快速冷却不平衡结晶时的组织特点；
- Al - Cu 合金中存在哪几种固溶体？若 Al 为 fcc 结构，图中的 α 相为何种晶体结构？
- 计算出过共晶合金在温度为 TE （共晶反应前）时的平衡分配系数；
- 设 X 合金平衡凝固完毕时的组织为 α 初晶 + $(\alpha + \theta)$ 共晶，其中 α 初晶占 80%，则此合金中 θ 组元的含量是多少？

第9讲 2012年真题解析（一）

一、名词解释

1. 晶体结构与空间点阵
2. 间隙化合物与间隙固溶体
3. 伪共晶与离异共晶
4. 晶内偏析与区域偏析
5. 几何硬化与几何软化
6. 静态再结晶与动态再结晶
7. 自扩散、上坡扩散、下坡扩散
8. 上屈服点、下屈服点与吕德斯带

二、简答题

1. 晶体的长大方式与长大形态各有什么？
2. 写出三种常见晶体结构的原子数、致密度、原子半径、配位数。

晶体结构	每个晶胞中的原子数	配位数	堆积系数	八面体间隙		四面体间隙	
				数量/原子数	大小 r/R	数量/原子数	大小 r/R
<i>FCC</i>	4	12	0.74	$4/4 = 1$	0.414	$8/4 = 2$	0.225
<i>BCC</i>	2	8	0.68	$6/2 = 3$	0.155	$12/2 = 6$	0.291
<i>HCP</i>	6	12	0.74	$6/6 = 1$	0.414	$12/6 = 2$	0.225

原子半径： $R = 2a/4$ ； $R = 3a/4$ ； $R = 1a/2$

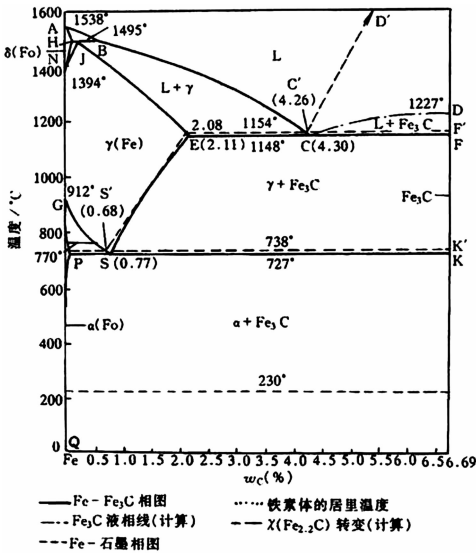
3. 若合金凝固过程中形成一半径为 r 的球形晶核，试计算临界晶核半径和形核功的大小。（已知该合金的体积形核功 ΔG_V ，表面能为 σ ）
4. 高压输电线用的铜线与家庭照明用电所用铜线的热处理工艺有何不同？为什么？

第 10 讲 2012 年真题解析（二）

5. 某工厂对一大型零件进行淬火处理，经过 1100℃ 加热后，用冷拔钢丝绳吊挂，由起重机车送往淬火水槽，行至途中钢丝突然发生断裂。该钢丝绳是新的，且没有瑕疵，试分析该钢丝绳断裂的原因。

三、论述计算

- 1. 根据位错理论解释四种强化机制。
- 2. 画出铁碳相图，标出各点的含碳量并写出三条水平线上的反应。分析含碳量为 1.8% 的铁碳合金的平衡结晶过程，并计算最终的组织组成物及相组成物的相对含量。



铁-碳相图

3. 已知位错环 ABCD 的柏氏矢量为 b ，外应力为 τ 和 σ ，如图所示。试求：
- (1) 位错环的各边是什么性质的位错？
 - (2) 在足够大的切应力 τ 的作用下，位错环如何运动？晶体如何变形？
 - (3) 在足够大的正应力 σ 的作用下，位错环如何运动？晶体如何变形？

第 11 讲 典型题解析（一）

1. 利用刚球密堆模型，求证球可能占据的最大体积与总体积之比为

(1) 简单立方 $\frac{\pi}{6}$ ；(2) 体心立方 $\frac{\sqrt{3}\pi}{8}$ ；(3) 面心立方 $\frac{\sqrt{2}\pi}{6}$ ；(4) 六角密积 $\frac{\sqrt{2}\pi}{6}$

2. Ni, Pb, Sn 等元素与溶剂 Cu 组成固溶体（各参数信息如表所示），估计各固溶体固溶度的大小顺序，那些元素有可能与 Cu 形成连续固溶体？

元素	Cu	Ni	Pb	Sn
原子序数	29	28	82	50
原子半径 nm	0.128	0.144	0.175	0.158
晶体结构	Fcc	Fcc	Fcc	体心四方
电负性	1.9	1.88	2.33	1.96

3. 写出溶解在 γ -Fe 中碳原子所处的位置，若此类位置全部被碳原子占据，那么试问在这种情况下， γ -Fe 能溶解多少重量百分数的碳？而实际上在 γ -Fe 中最大的溶解度是多少？两者在数值上有差异的原因是什么？

4. 间隙相和间隙固溶体的区别之一是（ ）

- A. 间隙相结构比间隙固溶体简单
- B. 间隙相的间隙原子比间隙固溶体中的间隙原子大
- C. 间隙相的固溶度比间隙固溶体大
- D. 间隙相的结构和其组元的结构不同

5. 熔点和硬度最高的中间相是（ ）

- A. 正常价化合物
- B. 电子化合物
- C. 间隙相
- D. 间隙化合物

6. 名词解释：

- (1) 固溶体
- (2) 拓扑密堆积
- (3) 电子浓度
- (4) 间隙相
- (5) 间隙化合物
- (6) 间隙固溶体

7. 含 w (Mn) 为 12.3%（重量百分比）、 w (C) 为 1.34% 的奥氏体钢，点阵常数为 0.3624nm，

密度为 7.83g/cm^3 ，C、Fe、Mn 的相对原子质量分别为 12.01、55.85、54.94，试判断此固溶体的类型。

8. 何谓成分过冷？成分过冷对晶体生长形态有何影响？
9. 试证明：在同样过冷度下均匀形核时，球形晶核较立方晶核更易形成。
10. 为什么在正温度梯度下凝固时，纯金属以平面状方式生长，而固溶体合金却通常以树枝晶方式长大？
11. 什么是晶胚？金属结晶时晶胚转变成晶核需满足哪些条件？

第 12 讲 典型题解析 (二)

1. 若在液态金属中形成一个半径为 r 的球形晶核, 证明临界形核功 ΔG^* 与临界晶核体积 V^* 之间的关系为 $\Delta G^* = -\frac{1}{2}V^*\Delta G_V$ 。
2. 如果结晶时形成的晶胚是边长为 a 的正方体, 求临界晶核边长和临界形核功, 并与球形晶核进行比较。
3. 已知: 铝的熔点为 $993K$, 结晶潜热为 $1.836 \times 10^9 J/m^3$, 液固界面比表面能为 $93mJ/m^2$, 当过冷度为 $1^\circ C$ 和 $10^\circ C$ 时, 试计算:
 - (1) 从液态向固态转变时单位体积自由能变化;
 - (2) 临界形核半径和临界形核功, 并比较随过冷度增大它们的变化关系;
 - (3) 若结晶时铝的晶格常数为 $2.8nm$, 求临界晶核中的原子个数。
4. 试比较均匀形核与非均匀形核的异同。
5. 分析晶体生长形态与温度梯度的关系?
6. 铁素体 (F), 奥氏体 (A), 渗碳体 (Fe_3C), 珠光体 (P), 莱氏体 (Ld) 的结构、组织形态、性能等各有何特点?
7. $Fe-Fe_3C$ 合金相图有何作用? 在生产实践中有何指导意义? 又有何局限性?
8. 一碳钢试样, 室温平衡组织为 $P + Fe_3C_{II}$, 且 Fe_3C_{II} 的重量分数约为 1% , 估算钢的含碳量。
9. 有一含碳 2.2% 的铁碳合金, 室温组织为珠光体和厚网络状渗碳体没有发现莱氏体, 试分析其原因。