

# 西南交通大学 2016 年研究生入学试题解析

## 考试科目：材料科学基础一

### 一、名词解释

**1.层错和肖克莱不全位错：**实际晶体结构中，密排面的正常堆垛顺序有可能遭到破坏和错排，成为堆垛层错，简称层错（《材料科学基础》P.364）。在 FCC 晶体中位于 $\{111\}$ 晶面上伯氏矢量为  $b=1/6\langle 112 \rangle$  的位错成为小螺线不全位错（《材料科学基础》P.366）。

**2.晶体结构和空间点阵：**晶体结构是晶体材料中原子（或离子、分子）在三维空间呈周期性重复排列而形成的空间排列形式（长程有序）（《材料科学基础》P.3）。将实际晶体结构看成完整无缺的理想晶体，并将其中的每个质点抽象为规则排列于空间的几何点，称之为阵点。这些阵点在空间呈周期性规则排列，并具有完全相同的周围环境，这种由它

们在三维空间规则排列的阵列称为空间点阵（《材料科学基础》 P.3）。

**3.共晶反应：**共晶反应指一定成分的液体合金，在一定温度下，同时结晶出成分和晶格均不相同的两种晶体的反应（《材料科学基础》 P.226）。

**共析反应：**指由特定成分的单相固态合金，在恒定的温度下，分解成两个新的，具有一定晶体结构的固相的反应（《材料科学基础》 P.232）。

**4.形变织构：**形变织构是多晶体变形过程中出现的晶体取向择优的现象。

**退火孪晶：**某些 FCC 结构的金属或合金，经再结晶退火后其组织中常常出现孪晶，这种在退火过程中形成的孪晶成为退火孪晶。

**5.热弹性马氏体：**在冷却转变与加热逆转变时呈弹性 长大与缩小的马氏体称热弹性马

氏体。

**回火马氏体：**淬火马氏体回火时，部分碳已经从固溶体中析出并形成了过渡碳化物的基体组织。

**6.成分过冷：**固溶体合金在冷却过程中，由于液相中溶质的分布发生变化，合金熔点也随之发生变化，即使实际温度分布不变，固液界面前沿的过冷度也会发生变化，固溶体合金的过冷度是由变化着的合金熔点与实际温度分布两方面的因素决定的。这种固液相成分变化而形成的过冷成为成分过冷。

**结构起伏：**由于能量起伏，液体中大量不停“游动”着的局域有序原子团簇时聚时散，此起彼伏而存在“结构起伏”。

**7.珠光体：**是铁素体与渗碳体的层片交替重叠的混合物。

**下贝氏体：**当过冷奥氏体的温度下降到 350

至  $230^{\circ}\text{C}$  范围时,所形成的产物叫下贝氏体。

**8.准晶:** 是一种介于晶态和非晶态之间的新的原子聚集状态的固态结构。

**非晶体:** 非晶体的组成物质的分子(或原子、离子)不呈空间有规则周期性的排列,即无长程有序的特点。

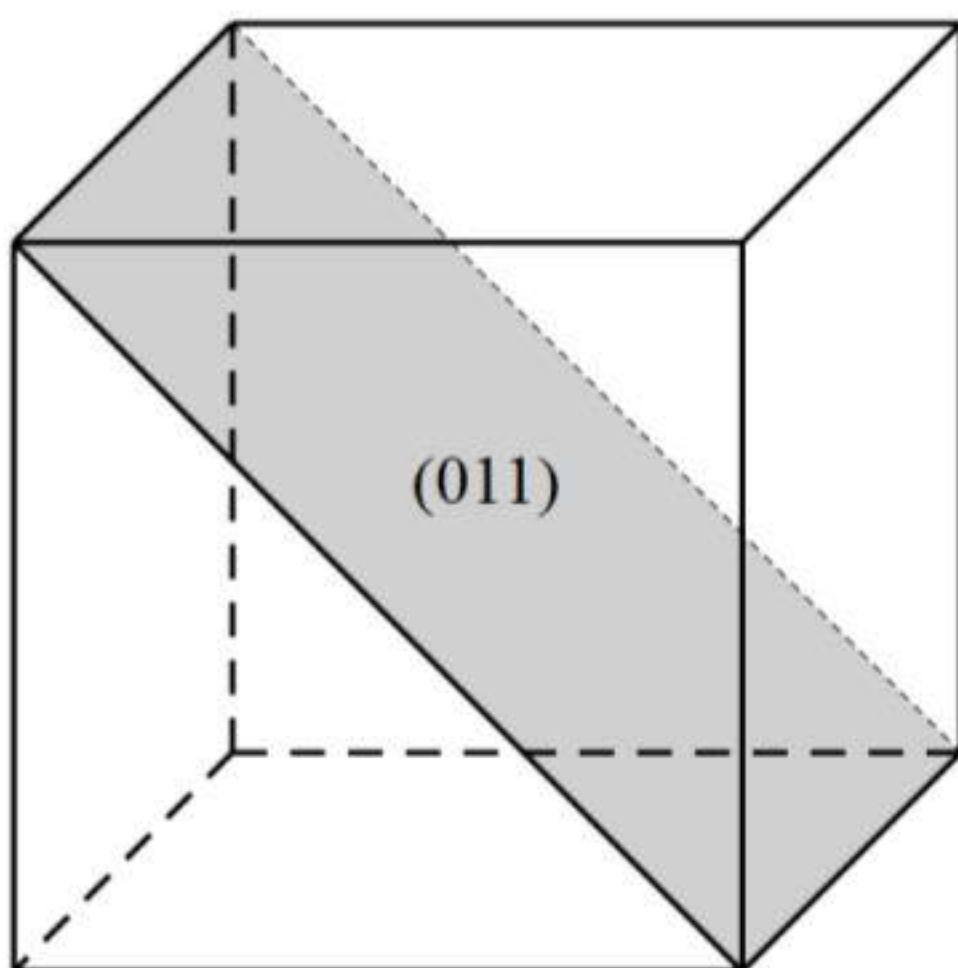
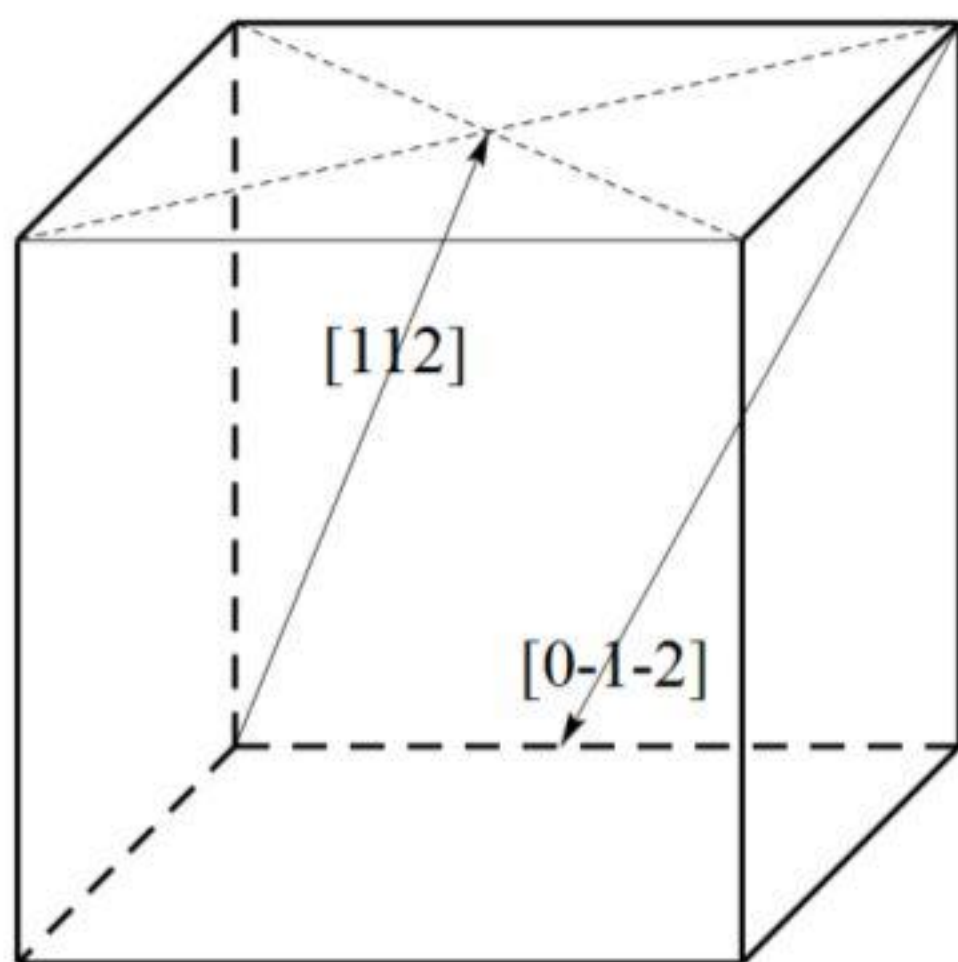
**二、在一个单胞内画出下列晶向和晶面指数**

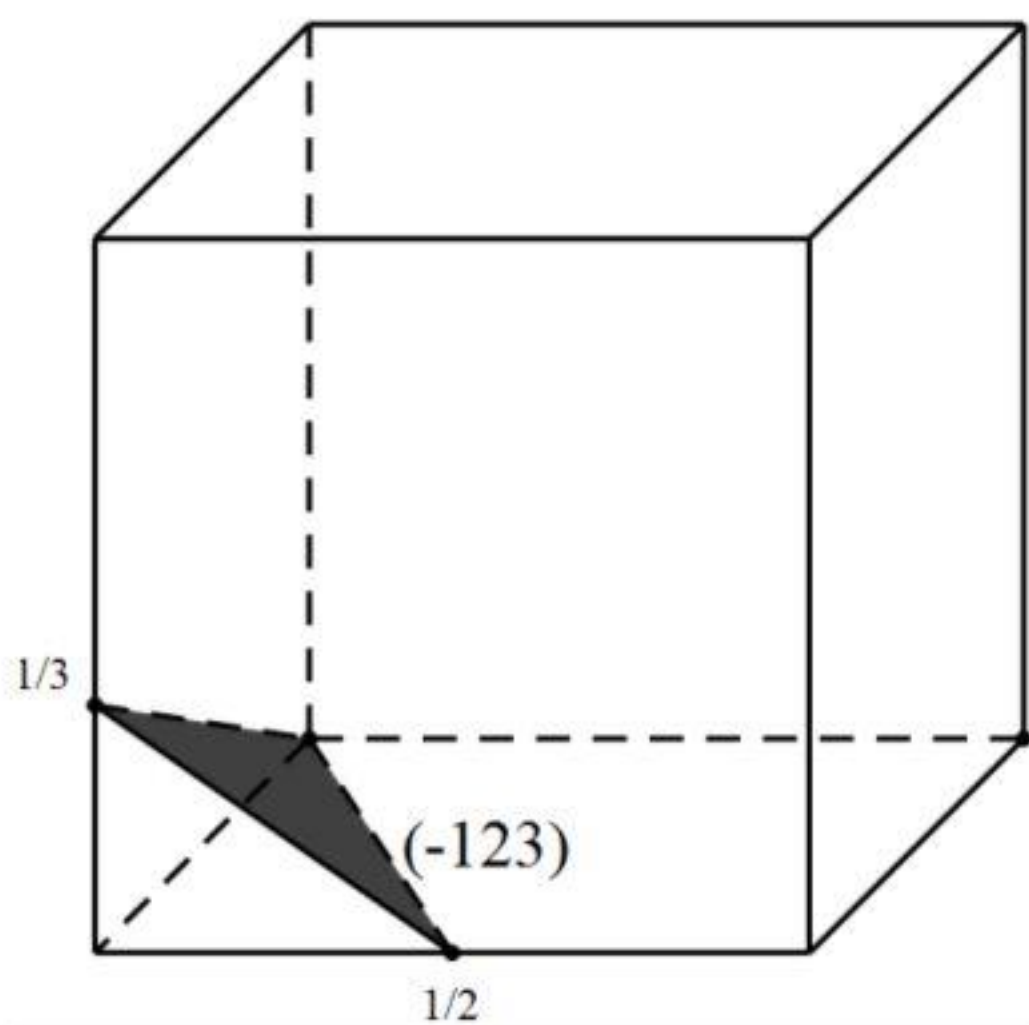
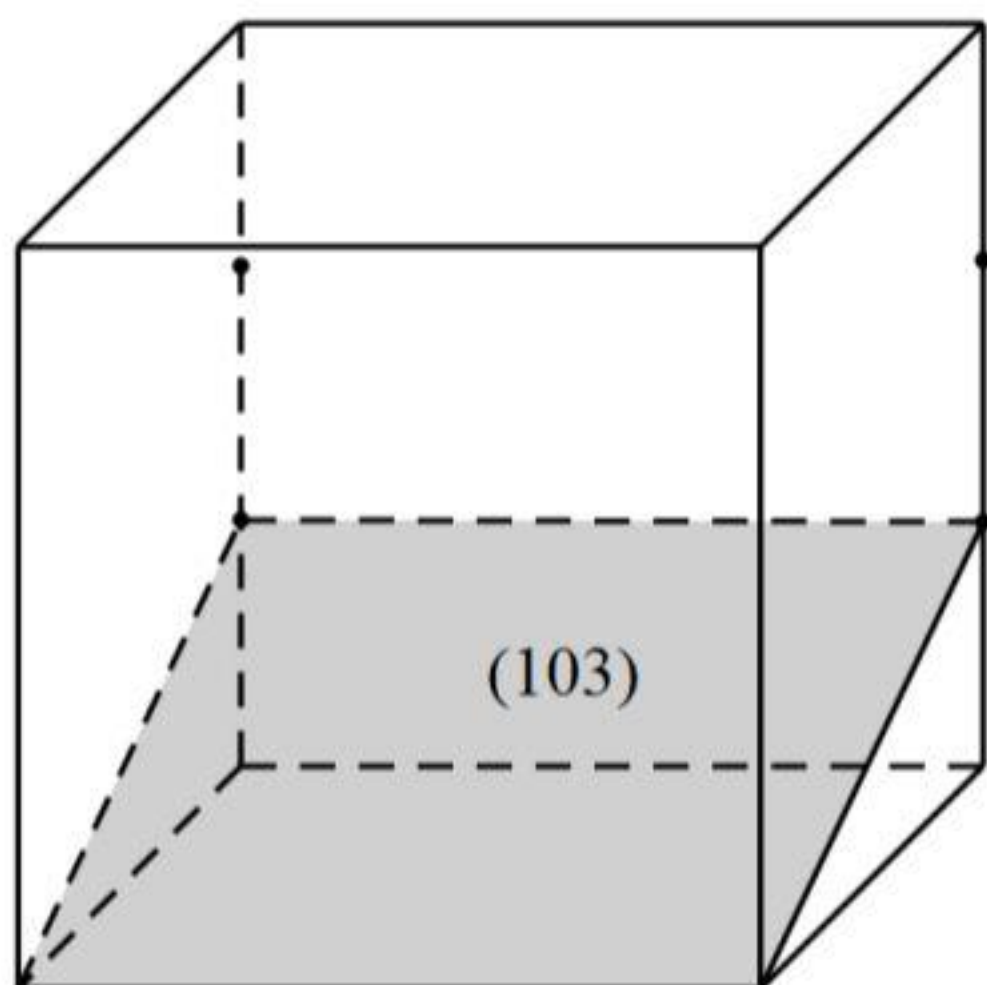
1.立方晶系中的 $[112]$ ,  $[0\bar{1}\bar{2}]$ ,  $(011)$ ,  $(103)$ ,  $(\bar{1}23)$ 。

2.六方晶系中的 $[11\bar{2}0]$ ,  $[11\bar{2}1]$ ,  $(01\bar{1}0)$ ,  $(1\bar{1}02)$ 。

**答:**

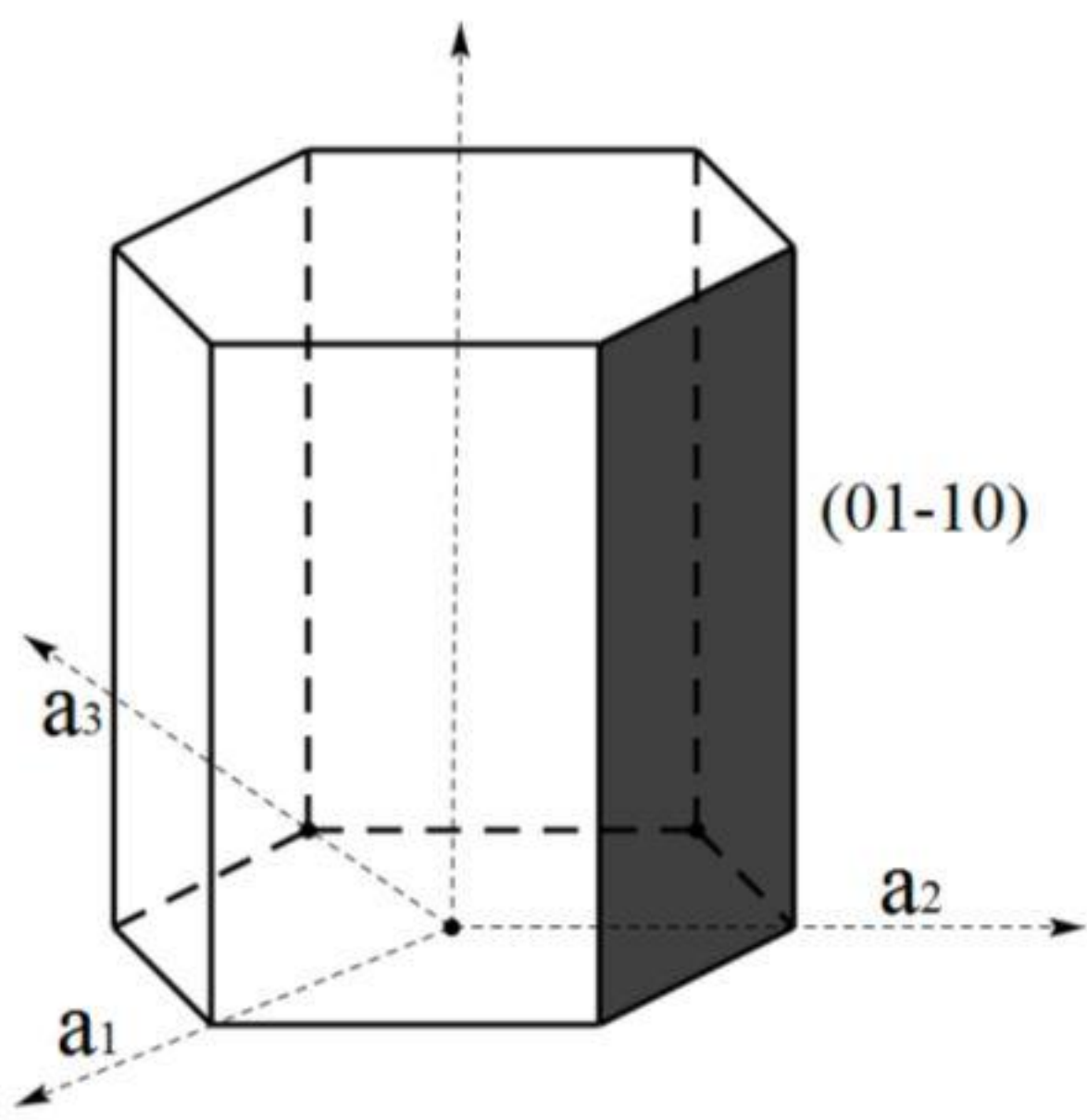
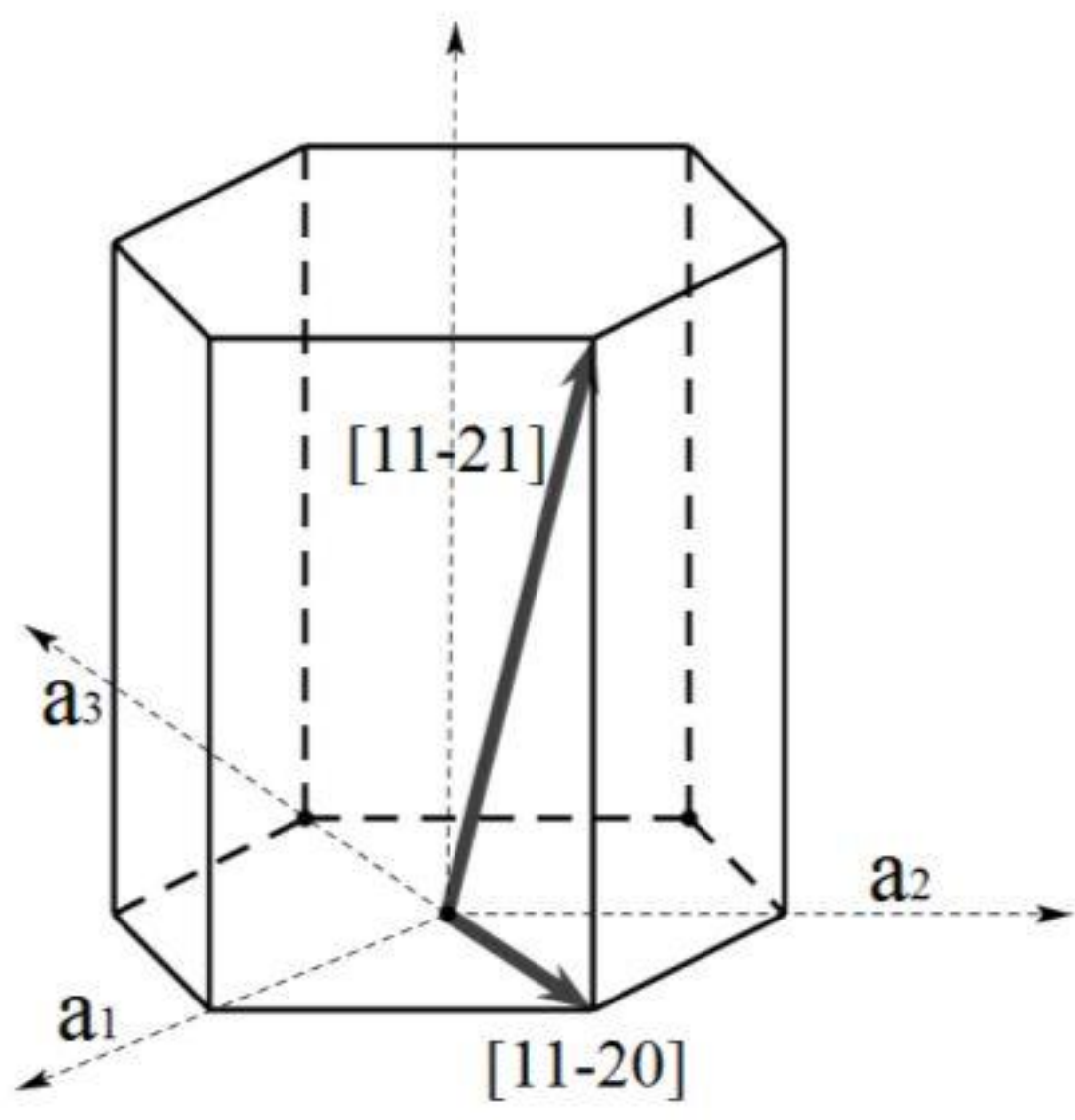
1.立方晶系中的 $[112]$ ,  $[0\bar{1}\bar{2}]$ ,  $(011)$ ,  $(103)$ ,  $(\bar{1}23)$ 。如下图所示。

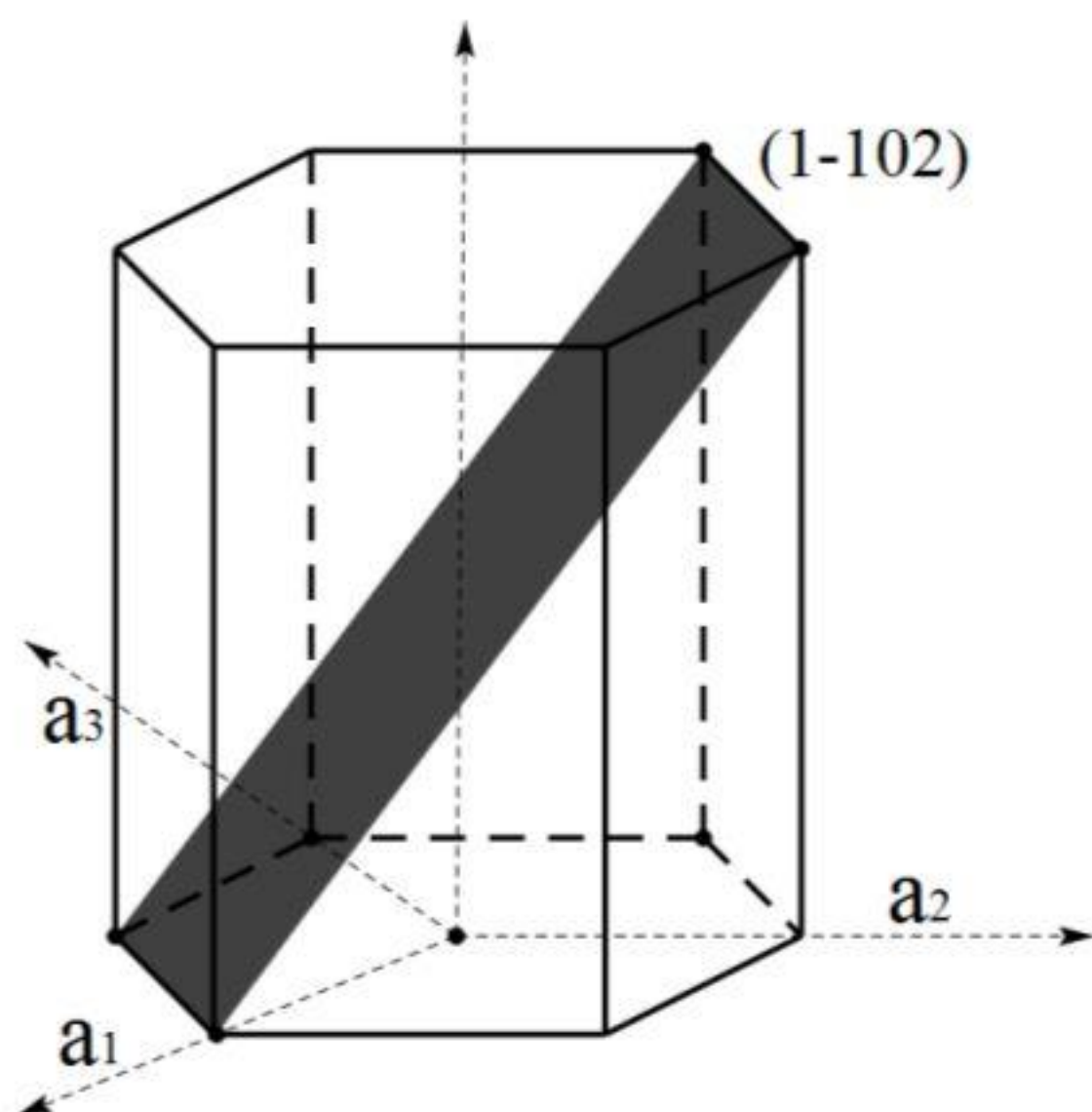




2. 六方晶系中的  $[11\bar{2}0]$ ,  $[11\bar{2}1]$ ,  $(01\bar{1}0)$ ,  $(1\bar{1}02)$ 。







三、试分析在 fcc 晶体中，下列位错反应能否进行？并指出其中三个位错的类型？反应后生成的新位错能否在滑移面上运动？

$$\frac{a}{2}[10\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] \rightarrow \frac{a}{3}[11\bar{1}]$$

**解析：**位错反应能否进行，取决于是否满足以下两个条件（a）几何条件：反应前的柏氏矢量和等于反应后的柏氏矢量和；（b）能量条件：反应后位错的总能量小于反应前位



错的总能量。注意：位错能量的大小等于相应柏氏矢量模的平方。

答：反应前： $b_1^2 + b_2^2 = a^2/2 + a^2/6 = 2a^2/3$

反应后： $b_3^2 = a^2/3$

$b_1^2 + b_2^2 > b_3^2$ ，且  $b_1 + b_2 = b_3$

反应前后伯氏矢量相等，且反应后能量小于反应前总能量，即该位错反应是一个能量降低的过程。因此该位错反应可以进行。

$b_1$  为单位位错， $b_2$  为肖克莱不全位错， $b_3$  为弗兰克不全位错。

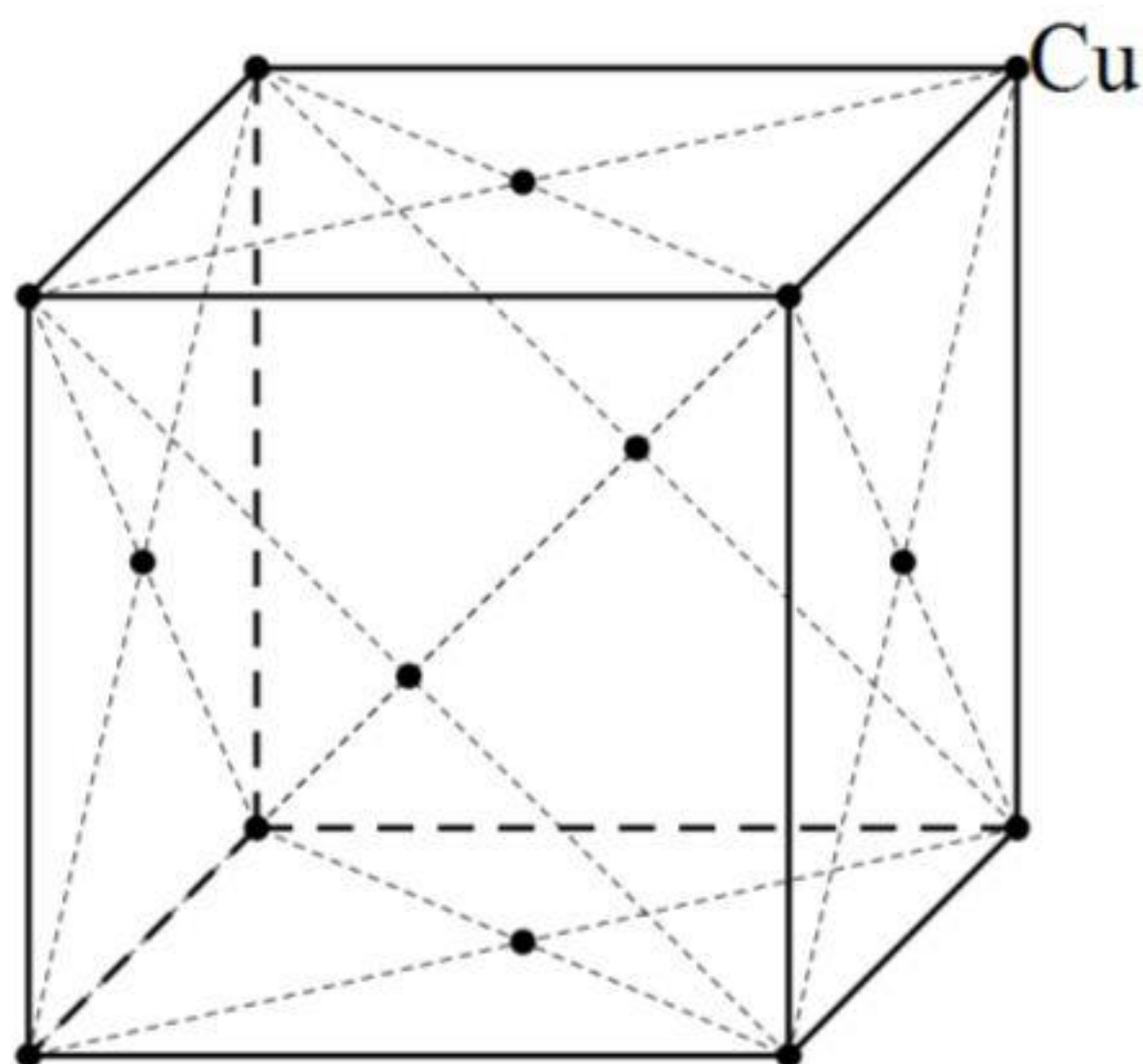
新位错  $a/3[1\bar{1}1]$  为弗兰克不全位错，其位错线为  $[\bar{1}10]$ ，位于  $(001)$  面上，属于纯刃型位错，其伯氏矢量垂直于滑移面。由于  $(001)$  面系 fcc 非密排面，故不能运动，系固定位错。

四、面心立方结构的铜（FCC 的 Cu），其晶格常数  $a=0.36\text{nm}$ ，铜的原子质量为 63.55，请回答下列问题

- 1.请画出单胞 FCC 结构的 Cu，并分别标注 Cu 原子的位置；
- 2.指出 Cu 晶体的原子密排面和密排方向，给出其配位数；
- 3.请估算 Cu 晶体的理论密度（要求写出计算过程）。

**解析:**利用晶胞参数可以计算晶体的理论密度其公式为  $\rho = \frac{MZ}{N_A V}$ ，其中 M 为相对分子质量，Z 为晶胞中的粒子数， $N_A$  为阿伏伽德罗常数，V 为晶胞的体积，计算结果注意单位。

**答:**1.FCC 结构的 Cu 单胞结构如下图所示，其中黑点位置即为 Cu 原子（《材料科学基础》P.49）。



2.密排面为 $\{111\}$ ，密排方向为 $\langle 110 \rangle$ ，配位数为 12

3.一个铜晶胞中的原子数为 $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ 个；

$$V=a^3 \quad N_A=6.022 \times 10^{23}$$

根据理论密度公式可知理论密度为  $\rho =$

$$\frac{MZ}{N_A V} \approx 9.0 \text{ g/cm}^3$$

五、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

解析：此题同往年题类似，只需计算出球形晶核与立方形核时的临界形核功并比较其相对大小即可。球形晶核与立方形核的临界形核功和临界晶核半径的推导可分别参考2014 年材料科学基础一，2015 年材料科学基础一中的推导。

证明：对于球形晶核

$$\Delta G_{\text{球}}^* = -\frac{4}{3}\pi r^{*3} \Delta G_V + 4\pi r^{*2} \sigma$$

临界晶核半径

$$r^* = \frac{2\sigma}{\Delta G_V}$$

则有  $\Delta G_{\text{球}}^* = -\frac{2}{3}\pi r^{*3} \Delta G_V$

所以

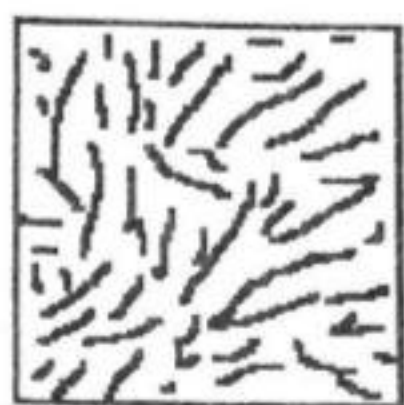
$$\Delta G_{\text{球}}^* / \Delta G_{\text{方}}^* = \frac{\frac{2}{3}\pi r^{*3} \Delta G_V}{\frac{1}{2}a^{*3} \Delta G_V}$$

将  $r^* = \frac{2\sigma}{\Delta G_V}$ ,  $a^* = \frac{4\sigma}{\Delta G_V}$  代入上式, 得

$$\Delta G_{\text{球}}^* / \Delta G_{\text{方}}^* = \pi / 6 < 1, \text{ 即 } \Delta G_{\text{球}}^* < \Delta G_{\text{方}}^*$$

所以球形晶核较立方晶核更易形成。

六、根据 Al-Si 共晶相图, 试分析下列三个金相组织属于什么成分并说出理由。指出细化此合金铸态的可能途径。



(a)



(b)



(c)

答: a 图为共晶组织, 因为两相交替生成针状组织;

b 图为过共晶组织, 初生相有小刻面块晶型, 应为非金属结晶特征。故此过共晶合金的初生相为 Si;

c 亚共晶组织, 因为初生相为树枝状, 应为金属结晶特征, 故为亚共晶合金的初生相固



溶体。

可采用晶粒细化剂(钠盐),增加冷却速率,或者在凝固时施加震动或者搅拌来细化 Al-Si 合金的铸态组织。

七、无共晶组织的变形铝合金(如 Al-4%Cu, Al-10%Mg)可以利用冷变形来强化合金,从而提高其屈服强度和韧性,根据位错理论回答以下问题:

- 1.形变铝合金主要运用了哪种强化机制?
- 2.为什么在这些合金进行冷变形前,要对其进行固溶+时效处理,其目的是什么?
- 3.如果是先冷变形在进行固溶+时效处理则与上述 2 相比强化效果有何不同?为什么?

**答:** 1.形变强化机制(冷变形)。冷变形后合金中位错密度增加,位错运动时易于发生相互交割,形成割阶,引起位错缠结,位错相互缠绕并形成胞状结构(形变亚晶),不但能

够阻碍位错滑移，而且是不能滑移的位错数量增加，造成位错运动的障碍，给继续塑性变形造成困难，从而提高了其强度。

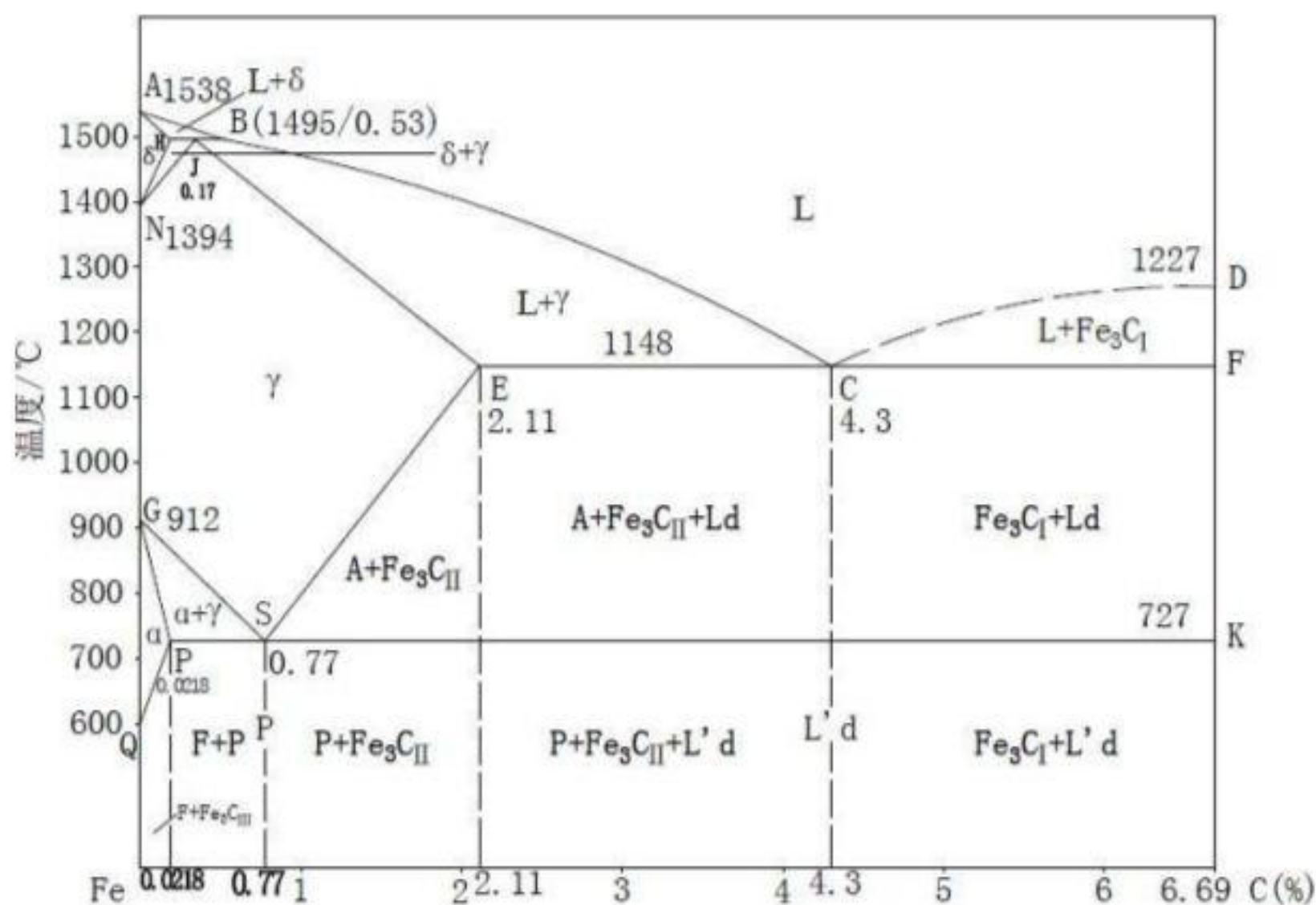
2.铝合金淬火后形成过饱和固溶体，其中存在大量空位，空位的存在加速了溶质原子的偏聚，会严重影响合金的力学性能。所以需要固溶处理来溶解固溶体中过饱和的溶质，使组织均匀化，时效更可以增加合金的力学性能。

变形铝合金固溶处理目的是为了获得最大饱和度的固溶体，细化晶粒，并经过时效后，具有较高的力学性能。

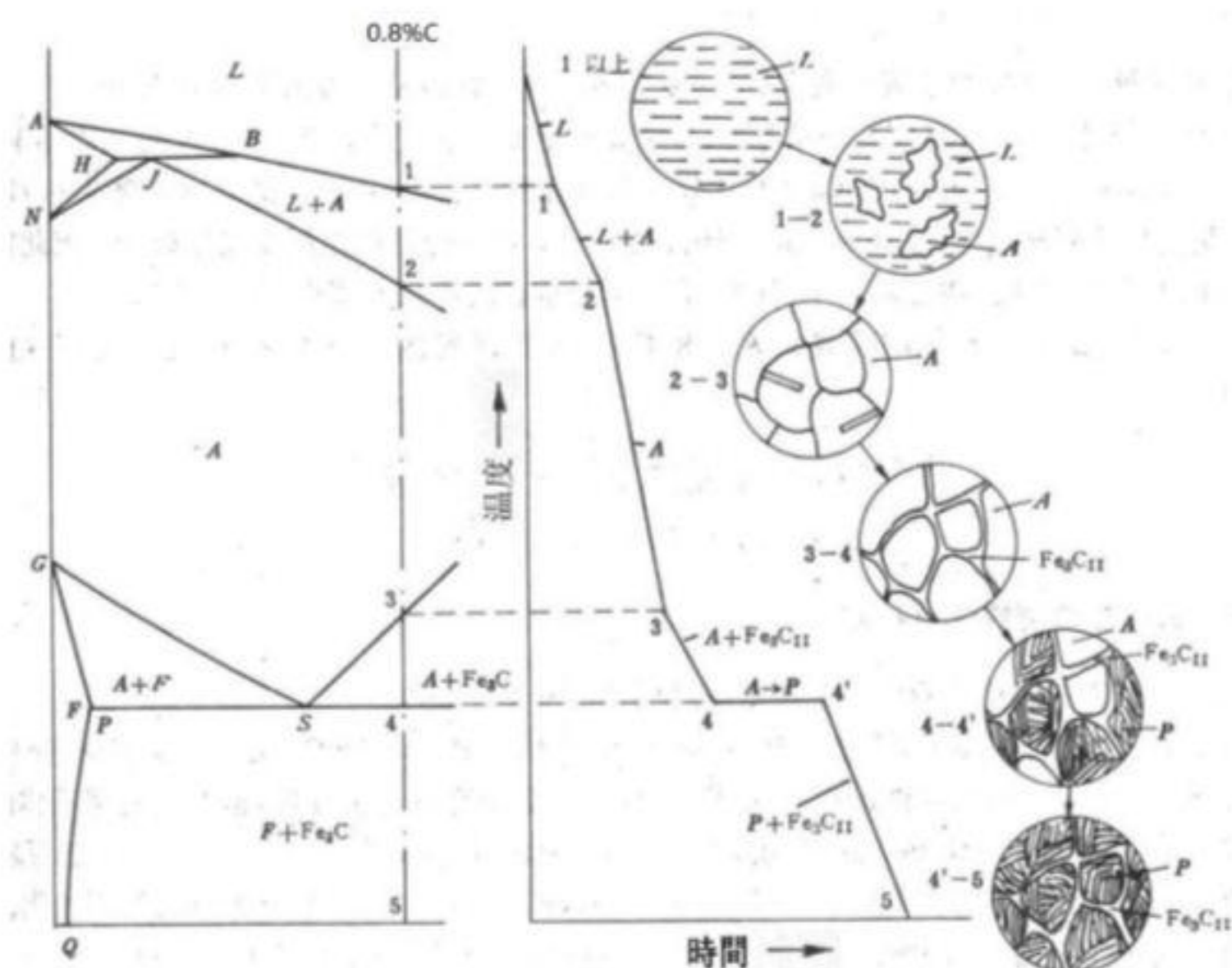
3.如果先冷变形会使合金中晶粒变形，产生织构，偏聚依然存在，后续的固溶+时效处理只会使晶粒继续长大，粗大且不均匀的晶粒使力学性能下降，缺陷增多。

八、根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，完成以下问题

- 1.画出 T8 钢从高温液态平衡冷却至室温的冷却曲线；
- 2.画出组织转变示意图；
- 3.说明其在室温下的相组成，并计算相对量；
- 4.说明其在室温下的组织组成，并计算其相对量。



答：铁碳相图如下



1.T8 钢从高温液态平衡冷却至室温的冷却曲线如下图所示

2.组织转变示意图如上图所示

3.相组成:  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$

$$\alpha\% = \frac{6.69-0.8}{6.69} \times 100\% = 88.04\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}\% = 100\% - \alpha\% = 11.96\%$$



4.组织组成:  $P+FeC_{II}$

$$P\% = \frac{6.69 - 0.8}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 99.49\%$$

$$FeC_{II}\% = 100\% - P\% = 0.51\%$$

九、请依据共析钢的 CCT 和 TTT 曲线, 分析并回答下列问题

1.从退火态出发(粗片状  $P$ ) 获得下列各种组织:  $B_{下}$ ,  $M+A'$ , 粒状  $P$ ,  $T_{回}$ , 请写出最简洁的热处理途径, 并比较上述各组织的硬度(排序);

2.从淬火态出发( $M+A'$ ) 获得下列各种组织: 细片状  $P$ ,  $M_{回}$ , 粒状  $P$ ,  $T_{回}$ , 请写出最简洁的热处理途径, 并比较上述各组织的硬度(排序)

答: 1.  $B_{下}$ : 较低温度(低于  $350^{\circ}C$ ) 下等温

$M+A'$ : 淬火

粒状  $P$ : 热处理工艺就是球化退火。



硬度： $M+A' > B_{下} > \text{粒状 } P$

参考 1：球化退火：球化退火是使钢中碳化物球化而进行的退火工艺。将钢加热到  $A_{c1}$  以上  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间，然后缓慢冷却到略低于  $A_{c1}$  的温度，并停留一段时间，使组织转变完成，得到在铁素体基体上均匀分布的球状或颗粒状碳化物的组织。

参考 2：如果原始组织为片状珠光体，将其加热到  $A_1$  稍下的较高温度长时间保温，片状珠光体能够自发地变为颗粒状的珠光体。

2. 细片状  $P$ ：逆转变为  $A$ ，然后退火。

参考：马氏体逆转变为母相奥氏体，然后在珠光体转变温度范围内以较大的冷却速度冷却，得到细片状  $P$ 。

$M_{回}$ ：低温回火。

粒状  $P$ ：热处理工艺就写高温回火工艺。

参考：马氏体、贝氏体组织的钢在  $A_1$  稍下温度进行高温回火使碳化物析出，经聚集、长大成颗粒状碳化物，均匀分布在铁素体基体中，成为粒状珠光体。

$T_{回}$ ：中温回火。

硬度： $M_{回} > T_{回} > \text{细片状 } P > \text{粒状 } P$