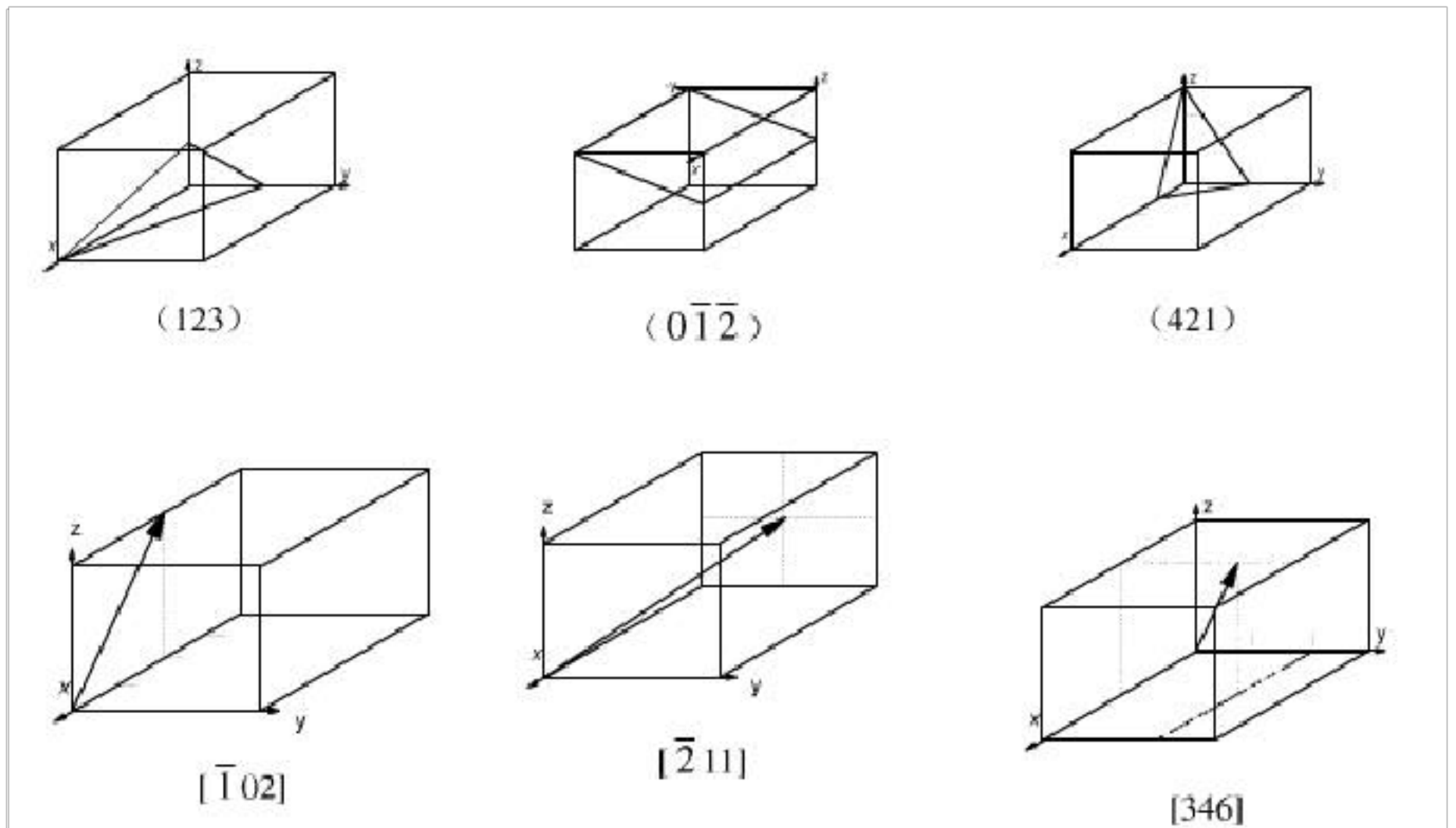


《金属学及热处理》-崔忠圻编-
机械工业出版社-课后习题答案

第一章习题

1. 作图表示出立方晶系 $(1\ 2\ 3)$ 、 $(0\ \bar{1}\ \bar{2})$ 、 $(4\ 2\ 1)$ 等晶面和 $[-1\ 0\ 2]$ 、 $[\bar{2}\ 1\ 1]$ 、 $[3\ 4\ 6]$ 等晶向



3. 某晶体的原子位于正方晶格的节点上，其晶格常数 $a=b \neq c$ ， $c=2/3a$ 。今有一晶面在 X、Y、Z 坐标轴上的截距分别是 5 个原子间距，2 个原子间距和 3 个原子间距，求该晶面的晶面参数。

解：设 X 方向的截距为 $5a$ ，Y 方向的截距为 $2a$ ，则 Z 方向截距为

$3c=3 \times 2a/3=2a$ ，取截距的倒数，分别为

$1/5a$ ， $1/2a$ ， $1/2a$

化为最小简单整数分别为 2, 5, 5

故该晶面的晶面指数为 $(2\ 5\ 5)$

4. 体心立方晶格的晶格常数为 a ，试求出 $(1\ 0\ 0)$ 、 $(1\ 1\ 0)$ 、 $(1\ 1\ 1)$ 晶面的晶面间距，并指出面间距最大的晶面

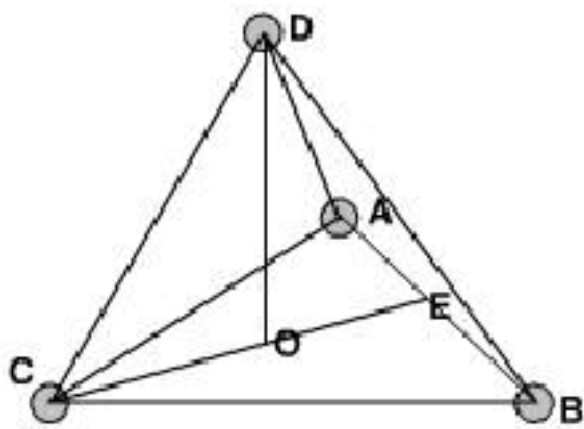
解： $(1\ 0\ 0)$ 面间距为 $a/2$ ， $(1\ 1\ 0)$ 面间距为 $\sqrt{2}a/2$ ， $(1\ 1\ 1)$ 面

间距为 $\sqrt{3}a/3$

三个晶面晶面中面间距最大的晶面为 (1 1 0)

7. 证明理想密排六方晶胞中的轴比 $c/a=1.633$

证明：理想密排六方晶格配位数为 12，即晶胞上底面中心原子与其下面的 3 个位于晶胞内的原子相切，成正四面体，如图所示



则 $OD=c/2$ ， $AB=BC=CA=CD=a$

因 $\triangle ABC$ 是等边三角形，所以有 $OC=2/3CE$

由于 $(BC)^2=(CE)^2+(BE)^2$

$$\text{则 } CE = \frac{\sqrt{3}}{2}a, \quad OC = \frac{2}{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2}a = \frac{\sqrt{3}}{3}a$$

有 $(CD)^2=(OC)^2+(1/2c)^2$ ，即

$$(CD)^2 = \left(\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)^2 + \left(\frac{1}{2}c\right)^2 = (a)^2$$

因此 $c/a = \sqrt{8/3} = 1.633$

8. 试证明面心立方晶格的八面体间隙半径为 $r=0.414R$

解：面心立方八面体间隙半径 $r=a/2 - \sqrt{2}a/4 = 0.146a$

面心立方原子半径 $R = \sqrt{2}a/4$ ，则 $a=4R/\sqrt{2}$ ，代入上式有

$$R=0.146 \times 4R / \sqrt{2} = 0.414R$$

9. a) 设有一刚球模型，球的直径不变，当由面心立方晶格转变为体心立方晶格时，试计算其体积膨胀。b) 经 X 射线测定，在 912°C 时 γ -Fe 的晶格常数为 0.3633nm， α -Fe 的晶格常数为 0.2892nm，当由 γ -Fe 转化为 α -Fe 时，求其体积膨胀，并与 a) 比较，说明其差别的原因。

解：a) 令面心立方晶格与体心立方晶格的体积及晶格常数分别为 $V_{面}$ 、 $V_{体}$ 与 $a_{面}$ 、 $a_{体}$ ，钢球的半径为 r ，由晶体结构可知，对于面心晶胞有

$$4r = \sqrt{2}a_{面}, a_{面} = 2\sqrt{2}/2r, V_{面} = (a_{面})^3 = (2\sqrt{2}r)^3$$

对于体心晶胞有

$$4r = \sqrt{3}a_{体}, a_{体} = 4\sqrt{3}/3r, V_{体} = (a_{体})^3 = (4\sqrt{3}/3r)^3$$

则由面心立方晶胞转变为体心立方晶胞的体积膨胀 ΔV 为

$$\Delta V = 2 \times V_{体} - V_{面} = 2.01r^3$$

B) 按照晶格常数计算实际转变体积膨胀 $\Delta V_{实}$ ，有

$$\Delta V_{实} = 2 \Delta V_{体} - V_{面} = 2 \times (0.2892)^3 - (0.3633)^3 = 0.000425 \text{nm}^3$$

实际体积膨胀小于理论体积膨胀的原因在于由 γ -Fe 转化为 α -Fe 时，Fe 原子的半径发生了变化，原子半径减小了。

10. 已知铁和铜在室温下的晶格常数分别为 0.286nm 和 0.3607nm，求 1cm³ 中铁和铜的原子数。

解：室温下 Fe 为体心立方晶体结构，一个晶胞中含 2 个 Fe 原子，Cu 为面心立方晶体结构，一个晶胞中含有 4 个 Cu 原子

$$1\text{cm}^3 = 10^{21}\text{nm}^3$$

令 1cm^3 中含 Fe 的原子数为 N_{Fe} ，含 Cu 的原子数为 N_{Cu} ，室温下一个 Fe 的晶胞体积为 V_{Fe} ，一个 Cu 晶胞的体积为 V_{Cu} ，则

$$N_{\text{Fe}} = 10^{21} / V_{\text{Fe}} = 10^{21} / (0.286)^3 = 3.5 \times 10^{18}$$

$$N_{\text{Cu}} = 10^{21} / V_{\text{Cu}} = 10^{21} / (0.3607)^3 = 2.8 \times 10^{18}$$

11. 一个位错环能不能各个部分都是螺型位错或者刃型位错，试说明之。

解：不能，看混合型位错

13. 试计算 $\{110\}$ 晶面的原子密度和 $[111]$ 晶向原子密度。

解：以体心立方 $\{110\}$ 晶面为例

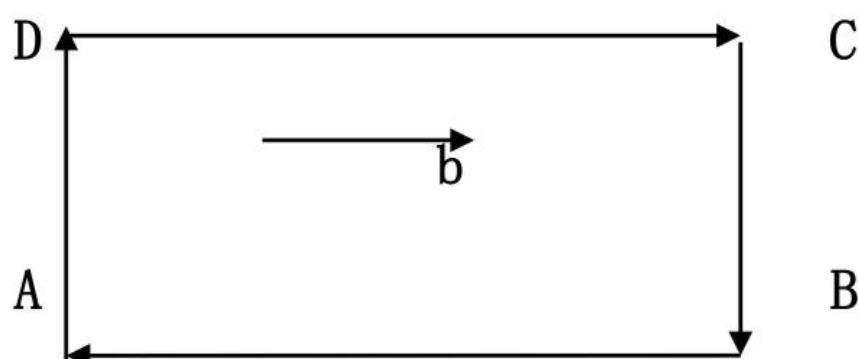
$$\{110\} \text{ 晶面的面积 } S = a \times \sqrt{2}a$$

$$\{110\} \text{ 晶面上计算面积 } S \text{ 内的原子数 } N = 2$$

$$\text{则 } \{110\} \text{ 晶面的原子密度为 } \rho = N/S = \frac{2}{\sqrt{2}a^2}$$

$$[111] \text{ 晶向的原子密度 } \rho = 2 / \sqrt{3}a$$

15. 有一正方形位错线，其柏式矢量如图所示，试指出图中各段线的性能，并指出任意位错额外串排原子面所在的位置。



AD、BC 段为刃型位错；

DC、AB 段为螺型位错

AD 段额外半原子面垂直直面向里

BC 段额外半原子面垂直直面向外

第二章习题

1. 证明均匀形核时，形成临界晶粒的 ΔG_k 与其体积 V 之间的关系为 $\Delta G_k = V/2\Delta G_v$

证明：由均匀形核体系自由能的变化

$$\Delta G = -V\Delta G_v + \sigma S \quad (1)$$

可知，形成半径为 r_k 的球状临界晶粒，自由能变化为

$$\Delta G_k = -\frac{4}{3}\pi r_k^3 \Delta G_v + 4\pi r_k^2 \sigma \quad (2)$$

对 (2) 进行微分处理，有

$$\frac{d(\Delta G)}{dr_k} = \frac{d(-\frac{4}{3}\pi r_k^3 \Delta G_v)}{dr_k} + \frac{d(4\pi r_k^2 \sigma)}{dr_k}$$

$$0 = -\frac{4}{3}\pi r_k^2 \Delta G_v \times 3 + 4\pi r_k \sigma \times 2, \quad \text{即 } \sigma = \frac{r_k \Delta G_v}{2} \quad (3)$$

将 (3) 带入 (1)，有

$$\Delta G_k = -V\Delta G_v + \frac{r_k \Delta G_v}{2} S \quad (4)$$

由于 $V = \frac{4}{3}\pi r_k^3 = \frac{r_k}{3} S$ ，即 $3V = r_k S$ (5)

将 (5) 带入 (4) 中, 则有

$$\Delta G_k = -V\Delta G_v + \frac{3V}{2}\Delta G_v = \frac{V}{2}\Delta G_v$$

2. 如果临界晶核是边长为 a 的正方形, 试求其 ΔG_k 和 a 的关系。
为什么形成立方晶核的 ΔG_k 比球形晶核要大?

证明: $\Delta G = -V\Delta G_v + \sigma S = -a^3\Delta G_v + 6a^2\sigma$

上式做微分处理, 有 $0 = -3a^2\Delta G_v + 12a\sigma$, 则 $\sigma = \frac{1}{4}a\Delta G_v$

因此 $\Delta G_k = -a^3\Delta G_v + \frac{1}{4}a\Delta G_v \cdot 6a^2 = \frac{1}{2}a^3\Delta G_v$

当形成球型晶核时

$\Delta G^{\text{球}} = -\frac{4}{3}\pi r^3\Delta G_v + 4\pi r^2\sigma$, 则有 $\sigma = \frac{r_k\Delta G_v}{2}$, 则

$\Delta G_k^{\text{球}} = -\frac{4}{3}\pi r_k^3\Delta G_v + 4\pi r_k^2 \frac{r_k\Delta G_v}{2} = \frac{2}{3}\pi r_k^3\Delta G_v$

当形成立方晶核时

$\Delta G^{\text{立}} = -a^3\Delta G_v + 6a^2\sigma$, 则有 $\sigma = \frac{a_k\Delta G_v}{4}$, 则

$\Delta G_k^{\text{立}} = -a_k^3\Delta G_v + 6a_k^2 \frac{a_k\Delta G_v}{4} = \frac{1}{2}a_k^3\Delta G_v$

液态金属固定, σ 值就固定不变了, 所以 $\sigma = \frac{a_k\Delta G_v}{4} = \frac{r_k\Delta G_v}{2}$, 则有

$a_k = 2r_k$, 代入 $\Delta G_k^{\text{立}} = -a_k^3\Delta G_v + 6a_k^2 \frac{a_k\Delta G_v}{4} = \frac{1}{2}a_k^3\Delta G_v$, 则

$\Delta G_k^{\text{立}} = 4r_k^3\Delta G_v$, 又

$\Delta G_k^{\text{球}} = \frac{2}{3}\pi r_k^3\Delta G_v$, 所以

$\Delta G_k^{\text{立}} > \Delta G_k^{\text{球}}$

3. 为什么金属结晶时一定要有过冷度, 影响过冷度的因素是什么, 固态金属融化时是否会出现过热, 为什么?

答: 由热力学可知, 在某种条件下, 结晶能否发生, 取决于固相的自

由度是否低于液相的自由度，即 $\Delta G = G_S - G_L < 0$ ；只有当温度低于理论结晶温度 T_m 时，固态金属的自由能才低于液态金属的自由能，液态金属才能自发地转变为固态金属，因此金属结晶时一定要有过冷度。

影响过冷度的因素：影响过冷度的因素：1) 金属的本性，金属不同，过冷度大小不同；2) 金属的纯度，金属的纯度越高，过冷度越大；3) 冷却速度，冷却速度越大，过冷度越大。固态金属熔化时会出现过热度。原因：由热力学可知，在某种条件下，熔化能否发生，取决于液相自由能是否低于固相的自由能，即 $\Delta G = G_L - G_S < 0$ ；只有当温度高于理论结晶温度 T_m 时，液态金属的自由能才低于固态金属的自由能，固态金属才能自发转变为液态金属，因此金属熔化时一定要有过热度。

4. 试比较均匀形核和非均匀形核的异同点。

相同点：均匀形核与非均匀形核具有相同的临界晶核半径，非均匀形核的临界形核功也等于三分之一。

不同点：非均匀形核要克服的位垒比均匀形核的小得多，在相变的形核过程通常都是非均匀形核优先进行。核心总是倾向于以使其总的表面能和应变能最小的方式形成，因而析出物的形状是总应变能和总表面能综合影响的结果。

5. 说明晶体成长形状与温度梯度的关系

(1)、在正的温度梯度下生长的界面形态：

光滑界面结晶的晶体，若无其它因素干扰，大多可以成长为以密排晶面为表面的晶体，具有规则的几何外形。粗糙界面结构的晶体，

在正的温度梯度下成长时，其界面为平行于熔点等温面的平直界面，与散热方向垂直，从而使之具有平面状的长大形态，可将这种长大方式叫做平面长大方式。

(2)、在负的温度梯度下生长的界面形态粗糙界面的晶体在负的温度梯度下生长成树枝晶体。主干叫一次晶轴或一次晶枝。其它的叫二次晶或三次晶。对于光滑界面的物质在负的温度梯度下长大时，如果杰克逊因子 α 不太大时可能生长为树枝晶，如果杰克逊因子 α 很大时，即使在负的温度梯度下，仍有可能形成规则形状的晶体。

6. 简述三晶区形成的原因及每个晶区的性能特点

形成原因：1) 表层细晶区：低温模壁强烈地吸热和散热，使靠近模壁的薄层液体产生极大地过冷，形成原因 形成原 模壁又可作为非均匀形核的基底，在此一薄层液体中立即产生大量的晶核，并同时向各个方向生长。晶核数目多，晶核很快彼此相遇，不能继续生长，在靠近模壁处形成薄层很细的等轴晶粒区。

2) 柱状晶区：模壁温度升高导致温度梯度变得平缓；过冷度小，不能生成新晶核，但利于细晶区靠近液相的某些小晶粒长大；远离界面的液态金属过热，不能形核；垂直于模壁方向散热最快，晶体择优生长。

3) 中心等轴晶区：柱状晶长到一定程度后，铸锭中部开始形核长大——中部液体温度大致是均匀的，每个晶粒的成长在各方向上接近一致，形成等轴晶。

性能特点：1) 表层细晶区：组织致密，力学性能好；

2) 柱状晶区：组织较致密，存在弱面，力学性能有方向性；

3) 中心等轴晶区：各晶粒枝杈搭接牢固，无弱面，力学性能无方向性。

7. 为了得到发达的柱状晶区应采用什么措施，为了得到发达的等轴晶区应采取什么措施？其基本原理如何？

答：为了得到发达的柱状晶区应采取的措施：1) 控制铸型的冷却能力，采用导热性好与热容量大的铸型 为了得到发达的柱状晶区应采取的措施： 材料，增大铸型的厚度，降低铸型的温度。2) 提高浇注温度或浇注速度。3) 提高熔化温度。 基本原理： 基本原理：1) 铸型冷却能力越大，越有利于柱状晶的生长。2) 提高浇注温度或浇注速度，使温度梯度增大，有利于柱状晶的生长。3) 熔化温度越高，液态金属的过热度越大，非金属夹杂物溶解得越多，非均匀形核数目越少，减少了柱状晶前沿液体中的形核的可能，有利于柱状晶的生长。

为了得到发达的等轴晶区应采取的措施： 为了得到发达的等轴晶区应采取的措施：1) 控制铸型的冷却能力，采用导热性差与热容量小的铸型材 等轴晶区应采取的措施 料，增大铸型的厚度，提高铸型的温度。2) 降低浇注温度或浇注速度。3) 降低熔化温度。

基本原理： 基本原理：1) 铸型冷却能力越小，越有利于中心等轴晶的生长。2) 降低浇注温度或浇注速度，使温度梯度减小，有利于等轴晶的生长。3) 熔化温度越低，液态金属的过热度越小，非金属夹杂物溶解得越少，非均匀形核数目越多，增加了柱状晶前沿液

体中的形核的可能，有利于等轴晶的生长。

第三章习题

1. 在正温度梯度下，为什么纯金属凝固时不能呈树枝状生长，而固溶体合金却能呈树枝状成长？

纯金属凝固时，要获得树枝状晶体，必需在负的温度梯度下；在正的温度梯度下，只能以平面状长大。而固溶体实际凝固时，往往会产生成分过冷，当成分过冷区足够大时，固溶体就会以树枝状长大。

2. 何谓合金平衡相图，相图能给出任一条件下的合金显微组织吗？

合金平衡相图是研究合金的工具，是研究合金中成分、温度、组织和性能之间关系的理论基础，也是制定各种热加工工艺的依据。

其中二元合金相图表示二元合金相图表示在平衡状态下，合金的组成相或组织状态与温度、成分、压力之间关系的简明图解。平衡状态：合金的成分、质量份数不再随时间而变化的一种状态。合金的极缓慢冷却可近似认为是平衡状态。

三元合金相图是指独立组分数为 3 的体系，该体系最多可能有四个自由度，即温度、压力和两个浓度项，用三维空间的立体模型已不足以表示这种相图。若维持压力不变，则自由度最多等于 3，其相图可用立体模型表示。若压力、温度同时固定，则自由度最多为 2，可用平面图来表示。通常在平面图上用等边三角形(有时也有用直角坐标表示的)来表示各组分的浓度。

不能，相图只能给出合金在平衡条件下存在的合金显微组织

4. 何谓成分过冷？成分过冷对固溶体结晶时晶体长大方式和铸锭组织有何影响？

在固溶体合金凝固时，在正的温度梯度下，由于固液界面前沿液相中的成分有所差别，导致固液界面前沿的熔体的温度低于实际液相线温度，从而产生的过冷称为成分过冷。

这种过冷完全是由于界面前沿液相中的成分差别所引起的。温度梯度增大，成分过冷减小。成分过冷必须具备两个条件：第一是固~液界面前沿溶质的富集而引起成分再分配；第二是固~液界面前方液相的实际温度分布，或温度分布梯度必须达到一定的值。

对合金而言，其凝固过程同时伴随着溶质再分配，液体的成分始终处于变化当中，液体中的溶质成分的重新分配改变了相应的固液平衡温度，这种关系有合金的平衡相图所规定。利用“成分过冷”判断合金微观的生长过程。

第四章 习题

1. 分析分析 $\omega_c=0.2\%$, $w_c=0.6\%$, $w_c=1.2\%$ 的铁碳合金从液态平衡冷却到室温的转变过程。

$\omega_c=0.2\%$: $L \rightarrow L + \delta \rightarrow \delta \rightarrow \gamma$ (1495 度) $\rightarrow \gamma + L \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha + \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ (727 度) $\rightarrow \alpha + Fe_3C$; ($\gamma=A$, $\alpha=F$; 下同)

$\omega_c=0.6\%$: $L \rightarrow \gamma + L \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha + \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ (727 度) $\rightarrow \alpha + Fe_3C$;

$\omega_c=1.2\%$: $L \rightarrow \gamma + L \rightarrow \gamma \rightarrow Fe_3C + \gamma \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ (727 度) $\rightarrow \alpha + Fe_3C$;

室温下相组成物的相对含量:

$\omega_{\text{C}}=0.2\%$, 渗碳体相对含量 $= (0.2-0.02)/6.67\%$, 余量铁素体

$\omega_{\text{C}}=0.6\%$, 渗碳体相对含量 $= (0.6-0.02)/6.67\%$, 余量铁素体

$\omega_{\text{C}}=1.2\%$ 渗碳体相对含量 $= (1.2-0.02)/6.67\%$, 余量铁素体

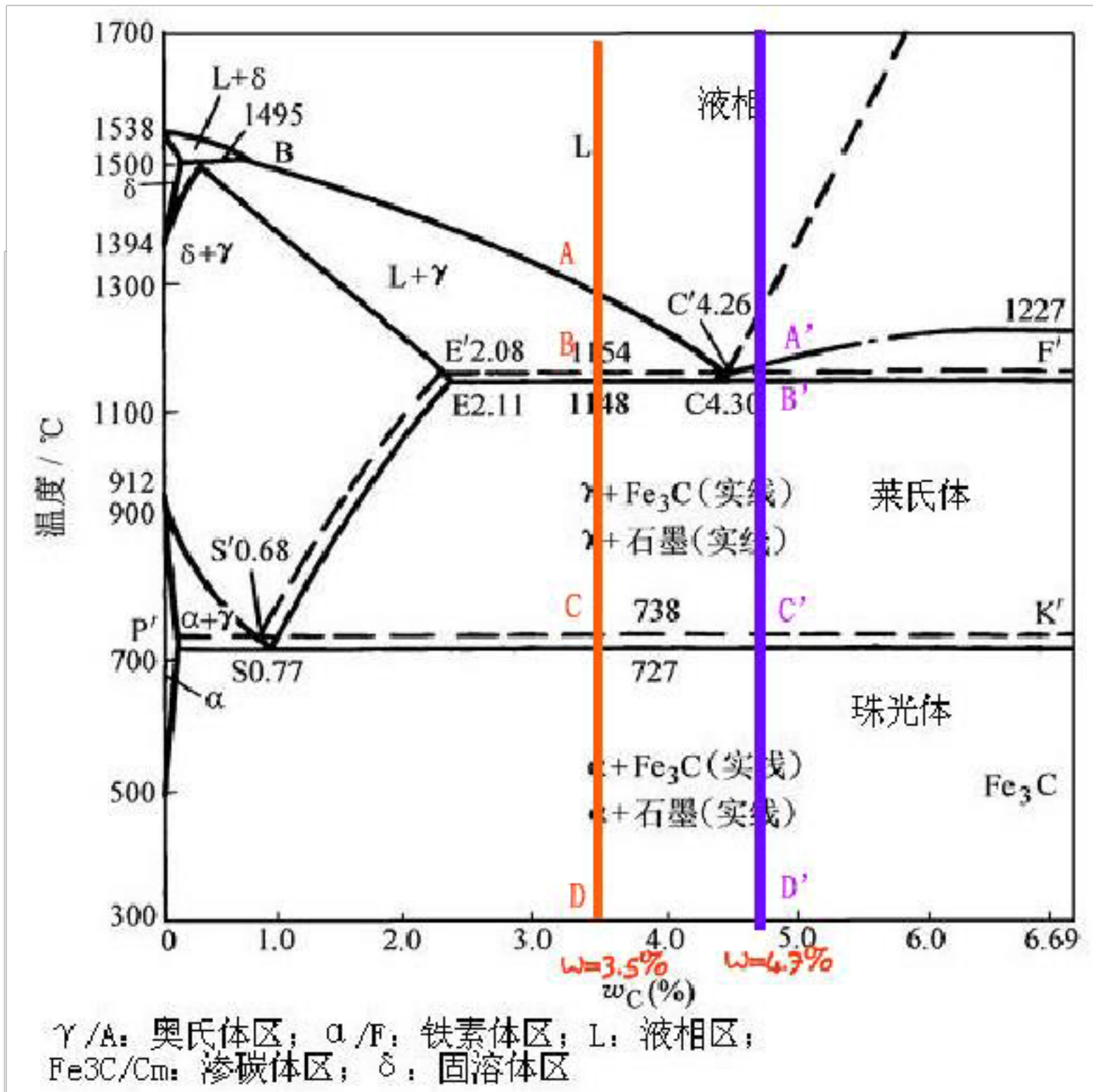
室温下组织组成物的相对含量:

$\omega_{\text{C}}=0.2\%$, 珠光体相对含量 $= (0.2-0.02)/0.77\%$, 余量铁素体

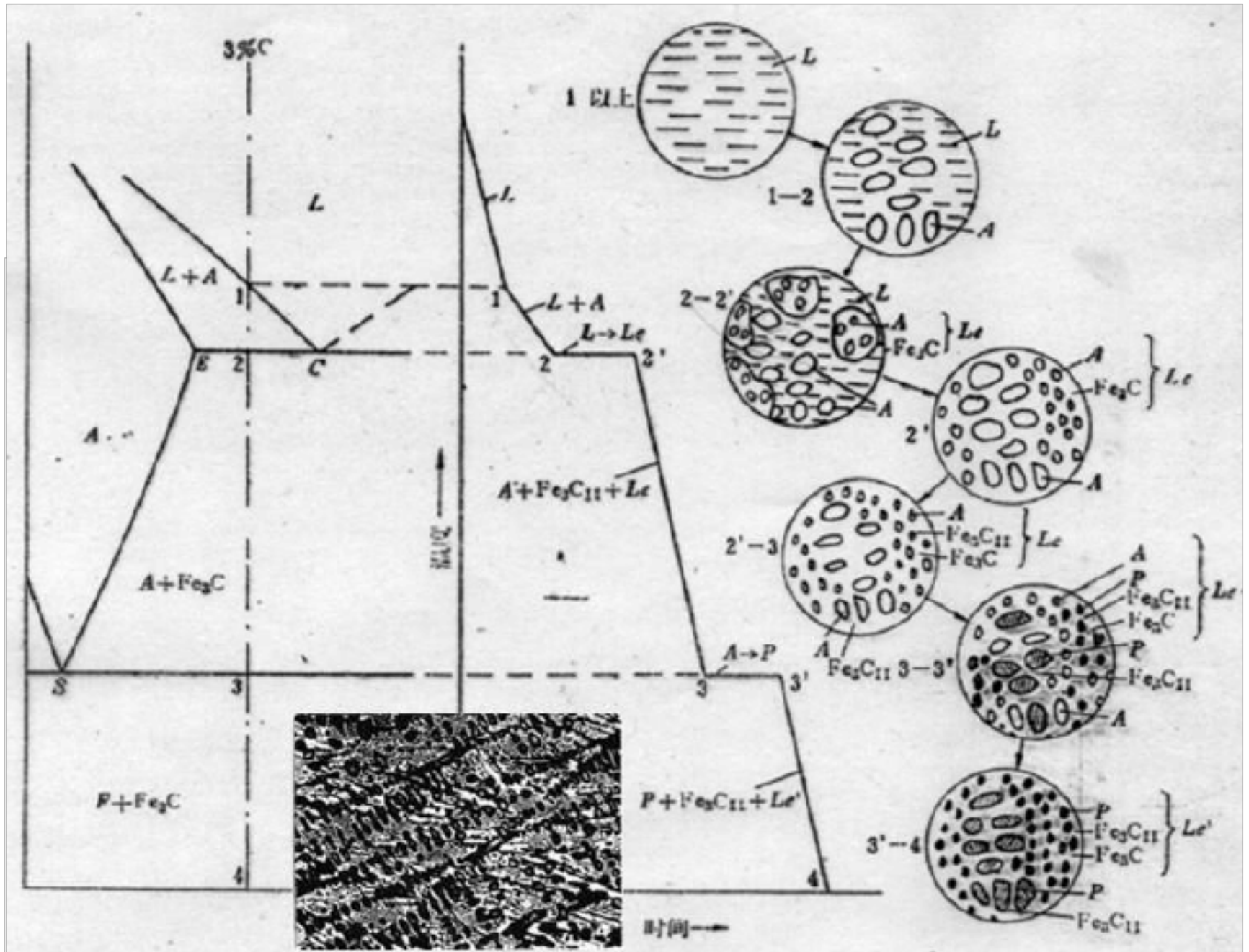
$\omega_{\text{C}}=0.6\%$, 珠光体相对含量 $= (0.6-0.02)/0.77\%$, 余量铁素体

$\omega_{\text{C}}=1.2\%$, 渗碳体相对含量 $= (1.2-0.77)/6.67\%$, 余量珠光体

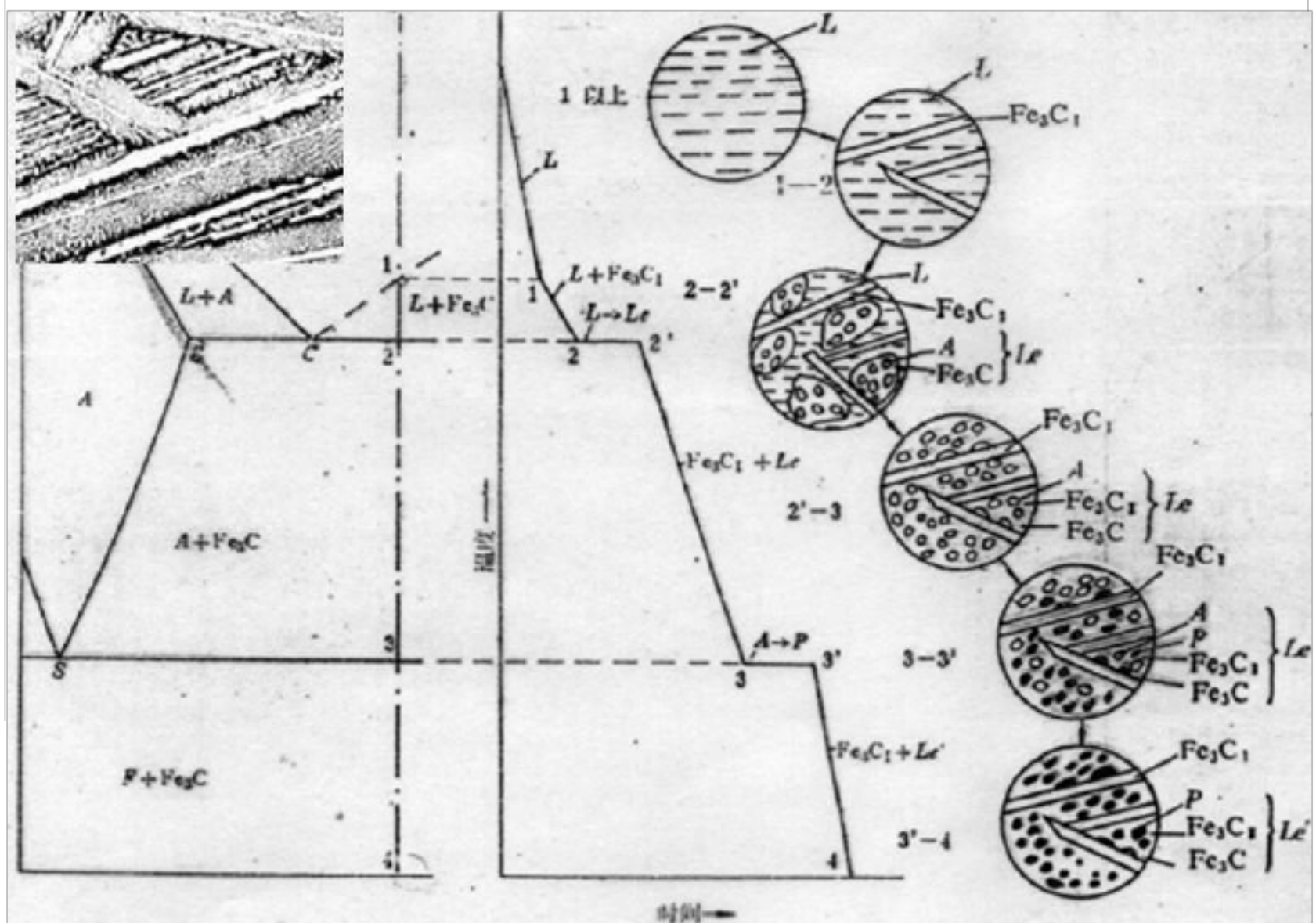
2. 分析 $\omega_{\text{C}}=3.5\%$ 、 $\omega_{\text{C}}=4.7\%$ 的铁碳合金从液态到室温的平衡结晶过程, 画出冷却曲线和组织转变示意图, 并计算室温下的组织组成物和相组成物。



解：下图表示 $\omega_c=3.5\%$ 的铁碳合金从液态到室温的平衡结晶过程：



下图表示 $\omega_c=4.7\%$ 的铁碳合金从液态到室温的平衡结晶过程：



3. 计算铁碳合金中二次渗碳体和三次渗碳体最大可能含量。

答：铁碳合金中二次渗碳体即 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 的最大可能含量产生在

2.11%C 的铁碳合金中，因此

$$(\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}})_{\text{max}} = (2.11 - 0.77) / (6.69 - 0.77) \times 100\% = 22.64\%$$

三次渗碳体即 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 的可能最大含量在 0.0218%C 的铁碳合金中，

因此

$$(\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}})_{\text{max}} = (0.0218 - 0.006) / (6.69 - 0.006) \times 100\% = 0.24\%$$

4. 分别计算莱氏体中共晶渗碳体、二次渗碳体、共析渗碳体的含量。

解：在莱氏体中，

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} \% = (4.3 - 2.11) / (6.69 - 2.11) \times 100\% = 47.8\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = [(6.69 - 4.3) / (6.69 - 2.11)] \times [(2.11 - 0.77) / (6.69 - 0.77)] \times 100\% = 11.8\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共析}} \% = [(6.69 - 4.3) / (6.69 - 2.11) - 11.8\%] \times [(0.77 - 0.0218) / (6.69 - 0.0218)] \times 100\% = 4.53\%$$

5. 为了区分两种弄混的钢，工人分别将 A、B 两块碳素钢试样加热至 850 °C 保温后缓冷，金相组织分别为：A 试样的先共析铁素体面积为 41.6%，珠光体面积为 58.4%；B 试样的二次渗碳体面积为 7.3%，珠光体面积为 92.7%；设铁素体和渗碳体的密度相同，铁素体的含碳量为零，求 A、B 两种碳素钢的含碳量。

解：这两个试样处理后都是得到的平衡态组织，首先判断 A 试样为亚共析钢，根据相图杠杆原理列出方程如下：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/108133073015006041>