

一、填空题

1、中间相的三种类型:(正常价化合物)、(电子化合物)、(尺寸因素化合物)。

答案：合金相结构主要包括固溶体和中间相，固溶体可以分为间隙和置换固溶体，而中间相可以分为 4

类：a：正常价化合物（在元素周期表中，一些金属与电负性较强的 IVA，VA，VIA 族的一些元素按照原子价规律形成的化合物），b：电子化合物（由 IB 族的贵金属与 IIIA、IVA 族元素按照一定电子浓度形成的化合物。电子浓度相同则形成相的晶体结构相同）；c：与原子尺寸有关的化合物（具体又分为间隙相和间隙化合物、拓扑密堆相）；d：超结构(有序固溶体)。

2、相律是描述(体系中存在的相数与组元数以及温度、压力之间的关系)的法则。

答案：相率的表达式为： $f=C-P+1$ ；其中 f 为体系的自由度数， C 为体系的组元数， P 为相数。所以相率给出了平衡状态下体系中存在的相数与组元数以及温度、压力之间的关系。

3、相变驱动力是(新旧两相体积自由能的下降)，相变阻力是(形成新相界面能和应变能的增加)。

答案：固态相变时系统自由能的变化为： $\Delta G=\Delta G_v+S+E$ ，其中 ΔG 为系统总自由能的变化值， ΔG_v 为新旧两相体积自由能的下降，为相变驱动力， S 为形成新相时引起的新相界面能增加， E 为形成新相引起的应变能增加。 S 和 E 为相变阻力。

4、原子扩散的微观机制:(间隙扩散)、(空位扩散)、(置换扩散)。

答案：原子扩散的微观机制的机制主要有交换（置换）机制、间隙机制、空位机制、推填机制以及挤列机制，考生任选三种即可。

5、位错增殖的方式有(弗兰克-里德位错源机制)(双交滑移增值机制)。

答案：位错增值的机制有多种，主要有弗兰克-里德位错源机制、双交滑移增值机制、攀移增值等。任选两种即可。

6、置换固溶体中，溶质的溶解度大小与(组元晶体结构)、(尺寸因素)、(电负性差因素)、(电子浓度因素)等因素有关。

答案：对于置换固溶体，影响溶解度的因素很多，主要有晶体结构（晶体结构相同是组元形成无限固溶体的必要条件），化学亲和力或电负性因素（化学亲和力越强，倾向于形成化合物而不利于形成固

溶体），原子尺寸因素（原子半径差 $\Delta r < 15\%$ 时，有利于形成溶解度较大的固溶体），原子价因素或电子浓度（电子浓度越大，越不利于形成固溶体）。

7、再结晶后晶粒的大小主要取决于(变形程度)和(退火温度)。

答案：再结晶后的晶粒大小随着变形度的增加成先增后减的趋势。退火温度越高，晶粒增长越快，尺寸也越大。另外原始晶粒尺寸、微量溶质原子和杂质都会对再结晶晶粒大小有影响。

8、液态金属材料凝固条件有(结构起伏)、(能量起伏)、(过冷度)。

答案：金属结晶的条件为首先需要一定的过冷度，还需要结构起伏（相起伏）和能量起伏，三者缺一不可。

9、金属在正的温度梯度下，晶体生长呈(平面状或台阶状)向液相中推进，在负的温度梯度下，晶体呈(树枝状)向液体中生长。

答案：在正的温度梯度下，晶体生长有两种类型，若固液界面为光滑界面，则呈台阶状生长，若为粗糙界面，则呈平面状生长。在负温度梯度下，晶体呈树枝晶形式长大。

10、面心立方全位错的柏氏矢量为($a\langle 110 \rangle$)，体心立方为($a\langle 111 \rangle$)，密排六方为($a\langle 11-20 \rangle$)。

答案：典型晶体结构位错的柏氏矢量在《材料科学与基础》这本书上都有列举，考生应该熟记并理解其中要义，现列举如下：

结构类型	柏氏矢量	方向	数量
简单立方	$a\langle 100 \rangle$	$\langle 100 \rangle$	3
面心立方	$a/2\langle 110 \rangle$	$\langle 110 \rangle$	6
体心立方	$a/2\langle 111 \rangle$	$\langle 111 \rangle$	4
密排六方	$a/3\langle 11-20 \rangle$	$\langle 11-20 \rangle$	3

11、通常把晶体的界面分为(晶界)、(相界)、(表面) 三类。

答案：晶体的界面属于面缺陷的一种，主要包括晶界、亚晶界、相界、表面、孪晶界等，考生可以任选三种填空。

12、柏氏矢量表示位错原子的(畸变特征)。

答案：柏氏矢量是一个反映位错周围点阵畸变总累积的物理量。方向表示位错的性质和取向， b 表示畸变程度或者位错强度。

13、C 位于 α -Fe 中的（八面体）间隙。

答案： α -Fe 是体心立方结构，C 是半径较小的非金属元素，位于间隙内。体心立方结构主要有四面体和八面体两种间隙，但四面体间隙空间不足以容纳 C 原子，其只能存在于八面体间隙中。

二、判断题

1、扩散系数的单位是 cm^2/s 。

答案：错！根据菲克第一定律： $J = -D \frac{d\rho}{dx}$ ，其中 J 为扩散通量，表示单位时间内通过垂直于扩散方向的单位面积的扩散物质质量，单位是 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，D 为扩散系数，单位为 m^2/s ， ρ 是扩散物质的质量浓度，单位为 kg/m^3 。

2、平衡分配系数是任一温度下溶质在液/固相中的浓度之比。

答案：错！平衡分配系数是平衡凝固时固相质量分数和液相质量分数之比。

3、中间相只包括位于相图中间且可用分子式表示的相。

答案：错！中间相虽然在二元相图上的位置总是位于中间，但其还包括电子化合物、与原子尺寸有关的化合物和超结构，这些结果并不能用分子式表示，只有正常价化合物才能用分子式表示。

4、采用适当的再结晶退火，可以细化金属铸件晶粒。

答案：错！铸件并没有发生变形，里面位错、亚结构等缺陷较少，没有再结晶的驱动力，所以不会发生再结晶。再结晶退火不能使晶粒发生再结晶，只能使得晶粒进一步长大。

5、位错线的滑移和攀移都可以产生塑性变形。

答案：错！位错的滑移产生塑性变形，但是刃型位错的攀移主要通过原子和空位的热扩散来实现，不一定会产生塑性变形。

6、置换固溶体和间隙固溶体都有可能形成无限固溶体。

答案：错！形成间隙固溶体时根本不肯形成无限固溶体的，只能是有限固溶体。

7、密排六方结构是纯金属的基本晶体结构之一，也是布拉菲点阵之一。

答案：错！简单六方是布拉菲点阵之一而并非密排六方。考生应记住十四种布拉菲点阵的名称。

8、高温莱氏体和室温莱氏体都是铸铁中的相，组织形貌相同。

答案：错！莱氏体在高温下形成的共晶渗碳体呈鱼骨状或网状分布在晶界处，经热加工破碎后，变成块状，沿轧制方向链状分布，莱氏体常温下是珠光体、渗碳体和共晶渗碳体的混合物。当温度高于 727°C 时，莱氏体由奥氏体和渗碳体组成，用符号 L_d 表示。在低于 727°C 时，莱氏体是由珠光体和渗碳体组成，用符号 L_d' 表示，称为变态莱氏体。

9、低碳钢渗碳处理在 950°C 高温处理是因为碳活动能力强，易于扩散。

答案：错！低碳钢渗碳温度在 950°C ，是因为 950°C 是奥氏体化温度区间。 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大碳溶解度只有 0.0218% ，对于含碳质量分数大于 0.0218% 的钢铁，在渗碳时零件中的碳浓度梯度为零，渗碳无法进行，即使是纯铁，在 α 相渗碳时铁中的碳浓度梯度很小，在表面也不能获得高含碳层；如果温度渗碳温度过低，扩散系数也很小，渗碳过程极慢，没有实际意义。而 $\gamma\text{-Fe}$ 中的碳溶解度高，渗碳时在表层可以获得较高的碳浓度梯度，使渗碳顺利进行。此外， $\gamma\text{-Fe}$ 的温度较高（超过了 800°C ），加速了渗碳过程。因此，低碳钢渗碳在 950°C 。

10、晶粒越细小，晶体强度、硬度高，塑性、韧性差。

答案：错！晶粒越细，不仅强度越高，而且塑韧性也越好的。具体的原因《材料科学基础》说的很明白。以下的习题中也有说明。

11、根据施密特定律，晶体滑移面平行位于拉力轴易产生滑移。

答案：错！当滑移方向位于外力方向与滑移面法线所组成的平面上，且与拉力轴呈 45° 时，取向因子达到最大值，最容易发生滑移。

12、在密排结构中会形成两种间隙，一种是八面体间隙，一种是四面体间隙。

答案：对！

13、扩散是由浓度梯度决定的，原子总是由高浓度向低浓度运动。

答案：错！扩散的驱动力是化学势梯度，原子总是朝着化学势梯度减小的方向进行。

14、实际结晶过程，非均匀形核比均匀形核更易进行。

答案：对，非均匀形核引入了外来质点，大大减小了形核功，有助于形核。

15、体心立方滑移系多，所以塑性好。

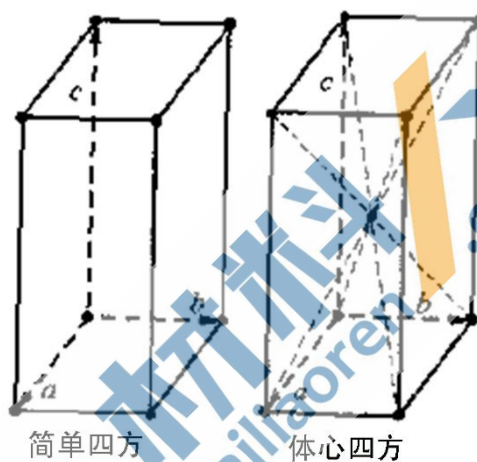
答案：对！面心立方有 12 个滑移系，体心立方有 48 个，密排六方有 24 个，滑移系越多，越容易变形，塑性越好。

三、简答题

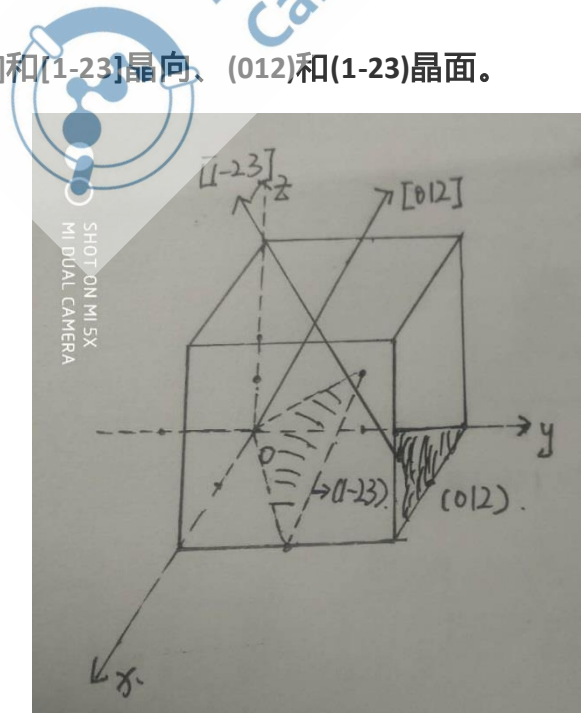
1、简述四方晶系的棱边长度与夹角关系，并说明四方晶系有几种布拉菲点阵。

答案：四方晶系棱边长度与夹角关系为 $a=b \neq c$ ， $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。布拉菲点阵主要有简单四方和体心四方。

如下图所示。

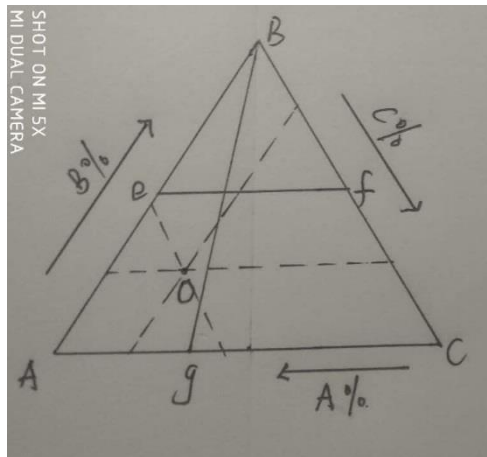


2、在立方晶系中画出 $[012]$ 和 $[1-23]$ 晶向、 (012) 和 $(1-23)$ 晶面。



答案：这部分属于最基础的内容，不在赘言。

3、画出三元相图的浓度三角形，并标出 A 组元质量分数为 55% ， B 组元 20% C 组元 25%的合金成分点 x，并且画出三元相图中两条特殊的线段。



答案：x 对应于图中的 O 点，两条特殊线分别为 Bg 和 ef。考生要理解这两条特殊线的含义。

4、简述两种鉴别 20 钢和 45 钢的方法。

答案：方法一：硬度测试。硬度值大小顺序是：45 钢>20 钢。因为铁碳合金的硬度随含碳量的增加而升高。方法二：在金相显微镜上进行显微组织观察。亚共析钢组织为（F+P），且亚共析钢中随含碳量增加铁素体减少，珠光体增多；过共析钢组织为（P+Fe₃CⅡ），且当 W_c>0.9%时，Fe₃CⅡ沿晶界呈网状分布，所以，组织为（F+P）而铁素体少的为 20 钢、珠光体多的为 45 钢。

5、简述一种测定扩散系数的方法。

答案：扩散系数——表示物质扩散程度的物理量。扩散系数是指当浓度梯度为一个单位时，单位时间内通过单位面积的物质质量。

测量扩散系数的方法有很多，考生可以网上查阅相关资料进行归类，在这里介绍一种简单方法——膜池法。

根据菲克第一定律：

$$D = -J \frac{\partial C}{\partial X}$$

将积分扩散系数表示为：

$$D = -J \frac{X' - X''}{C' - C''}$$

积分扩散系数与微分扩散系数的关系为：

$$D = \frac{1}{C' - C''} \int_{C''}^{C'} D dC$$

试验初始时,两容器分别盛有浓度为 C_0' 和 C_0'' 的溶液,两容器间用长为 L ,截面积为 S 的细短管相连。首先进行预扩散,达到稳定后记 $t=0$,然后扩散到时间 t , C_0' 和 C_0'' 的变化不计,但质量、量为 m 的物质已扩散,则扩散通量 $J=m/(t.S)$ 。若 D 与 C 无关,则 $\frac{\partial C}{\partial x}=(C_0'-C_0'')/L$, D 可立即算出。若 $D=f(C)$,则稳态浓度分布为一曲线,依式(2)

算出积分扩散系数 D ,再由式(3) 转而算出微分扩散系数 D 。符合这种要求的测定方法主要是膜池法。

6、什么是加工硬化？试用位错理论进行解释。

答案：加工硬化就是随着冷变形程度的增加，金属材料强度和硬度指标都有所提高，但塑性、韧性有所下降。随着变形量的增加，晶粒发生滑移，体内的位错密度大量增加，位错的相互作用也增加，从而出现割阶，位错塞积和位错缠结等，从而使位错的运动越来越困难，造成材料强度增加，塑韧性有所下降。

7、判断下列位错反应能否进行： $a[100]+a[010] \rightarrow a/2[111]+a/2[11-1]$

答案：能发生。位错反应能否发生的条件必须满足两个条件：（1）几何条件，反应前各位错的矢量和应等于反应后各位错的矢量和，所以题目中的位错满足几何条件。（2）能量条件，反应后各位错的能量小于反应前各位错的能量。 $\sum |b_{前}|^2 > \sum |b_{后}|^2$ ，对于本题， $2a^2 > 3a^2/4 + 3a^2/4$ ，所以能发生。

8、简述正负温度梯度对晶体生长的影响。

答案：正温度梯度：对于具有粗糙界面结构的晶体，晶体呈平面状形式长大，而对于光滑界面结构的晶体，固液界面的晶体呈台阶式长大。在负的温度梯度下，一般具有粗糙界面的晶体呈树枝状生长，对于具有光滑界面结构的界面，也呈树枝状生长，但不甚明显。

9、简述回复过程中组织与性能的变化。

答案：回复过程中，光学显微组织并未发生明显变化，但材料内部亚结构发生了明显变化，主要表现在通过热激活作用，刃型位错发生多边化，从而在晶粒内部形成亚结构（如亚晶等）。材料经过回复后电阻率明显下降，内应力降低，强度硬度降低，但不明显。

10、在面心立方晶胞中 $[001]$ 上施加 69MPa 的应力，试求滑移系 $(111)[-101]$ 上的分切应力。

答案：矢量数乘积：

$$a \cdot b = |a| \cdot |b| \cos \theta \leftrightarrow \cos \theta = \frac{a \cdot b}{|a| \cdot |b|}$$

对于 (111) $[\bar{1}01]$ 滑移系；

$$\cos \lambda = \frac{-1}{1 \times \sqrt{2}} = -\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{1 \times \sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\tau = \sigma \cos \lambda \cos \varphi = \frac{70}{\sqrt{3} \times \sqrt{2}} = 28.577 \text{ MPa}$$

11、简述影响再结晶的因素。

答案：影响再结晶的因素主要有：

- (1) 退火温度，加热温度越高，再结晶速度越快，产生一定再结晶所需的时间也越短。
- (2) 变形程度，金属变形程度越大，其贮存的变形能也越高，再结晶的驱动力越大，越容易发生再结晶。
- (3) 原始晶粒尺寸，在其他条件相同的情况下，原始晶粒尺寸越小，变形抗力越大，冷变形后贮存的畸变能越高，再结晶驱动力越大，再结晶温度越低。
- (4) 微量溶质原子，微量溶质原子以固溶状态存在于金属中，会产生一定的固溶强化作用。仅从这个方面来讲，微量溶质原子可增加变形贮存能，有利于再结晶。但从另外一个方面来看，溶质原子往往集中在位错以及晶界处，对位错和晶界的运动起阻碍作用，不利于再结晶。
- (5) 分散相粒子，如果分散相粒子半径尺寸较大，位错只能绕过或塞积在粒子周围，从而提高了变形抗力，促使畸变能升高，同时也增加了亚结构不稳定性，使形核点增多，促进再结晶。相反，如果分散相粒子半径尺寸较小时，加热时位错重新排列形成亚结构并随后发展成大角度晶界的过程以及大角度晶界的迁移均起钉扎作用，从而阻碍了再结晶。

12、铸锭的各部分组织及它们的形成机制。

答案：铸锭表面为细晶区，中间柱状晶，心部为等轴晶。具体原因如下：

当液态金属浇入温度远低于其熔点的铸模时，与模壁接触的一层液体中产生极大过冷度，因而可以大量的形核，并迅速长大为表层的细晶区。此时，模壁温度也迅速升高，散热变慢，细晶区前沿液体中的过冷度减小，不足以独立形核。凝固的继续进行，就依靠细晶区中那些长大速率较快且方向与铸锭

散热方向平行的晶粒的生长，结果形成了比较粗大的柱状晶粒。由于铸锭的散热方向垂直于模壁，因此柱状晶粒将沿着模壁方向长大，柱状晶粒之间的取向几乎是一致的，这一现象叫做择优取向。当四周柱状晶粒发展到一定程度时，中心部分的液体都将处于成分过冷状态，故液体中开始形核，这些晶核将在液体中自由形核，故长成柱状晶。

13、什么是扩散系数？为什么碳在铁素体和奥氏体中的扩散系数存在很大差别？

答案：扩散系数表示气体（或固体）扩散程度的物理量。扩散系数是指当浓度梯度为一个单位时，单位时间内通过单位面积的物质的量。碳在铁素体和奥氏体中的扩散系数存在很大差别的原因如下：

- 1) 奥氏体温度高，点缺陷浓度高，原子能量高，扩散快。
- 2) 从铁碳相图可以看出，奥氏体中碳的溶解度范围很大，碳在奥氏体中可以以间隙固溶体方式进入铁原子间隙，扩散系数大，而在铁素体中溶解度很低，只能和铁形成碳化物，扩散系数低。
- 3) 因为铁素体是体心立方原子排列较疏松，奥氏体是面心立方原子排列较密集，所以同样的温度压力和炭扩散浓度时在铁素体中扩散的快。

14、钢的渗碳有时在 870°C 而不是在 927°C 下进行，为什么？已知碳在 γ -Fe 中的扩散常数为 $2.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ，扩散激活能 $Q = 1.4 \times 10^5 \text{ J/mol}$ ($R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)，请问在 870°C 下渗碳要多少小时才能得到相当于在 927°C 下 10 小时的渗碳深度？

答案：1)：因为在较低的温度下容易保证获得更细的晶粒。

2) 解：有两种不同的思路：一是求出 927°C 渗碳 10h 的渗层厚度 σ_1 ，然后计算 880°C 下渗层厚度达到 σ_1 所需要的时间；二是有渗层厚度 $\sigma = K\sqrt{Dt}$ 可知，两种条件下的渗层厚度 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ ， $\sqrt{D_1 t_1} = \sqrt{D_2 t_2}$

$$\text{则 } t_x = \frac{D_1 t_1}{D_2}$$

$$T_1 = 927^\circ\text{C} = 1200\text{K}$$

$$\text{由 } D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \text{ 可知}$$

$$D_1 = D_{1200} = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times 1200}\right) = 1.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$D_2 = D_{1153} = 2.0 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-1.4 \times 10^5}{8.31 \times 1153}\right) = 0.902 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

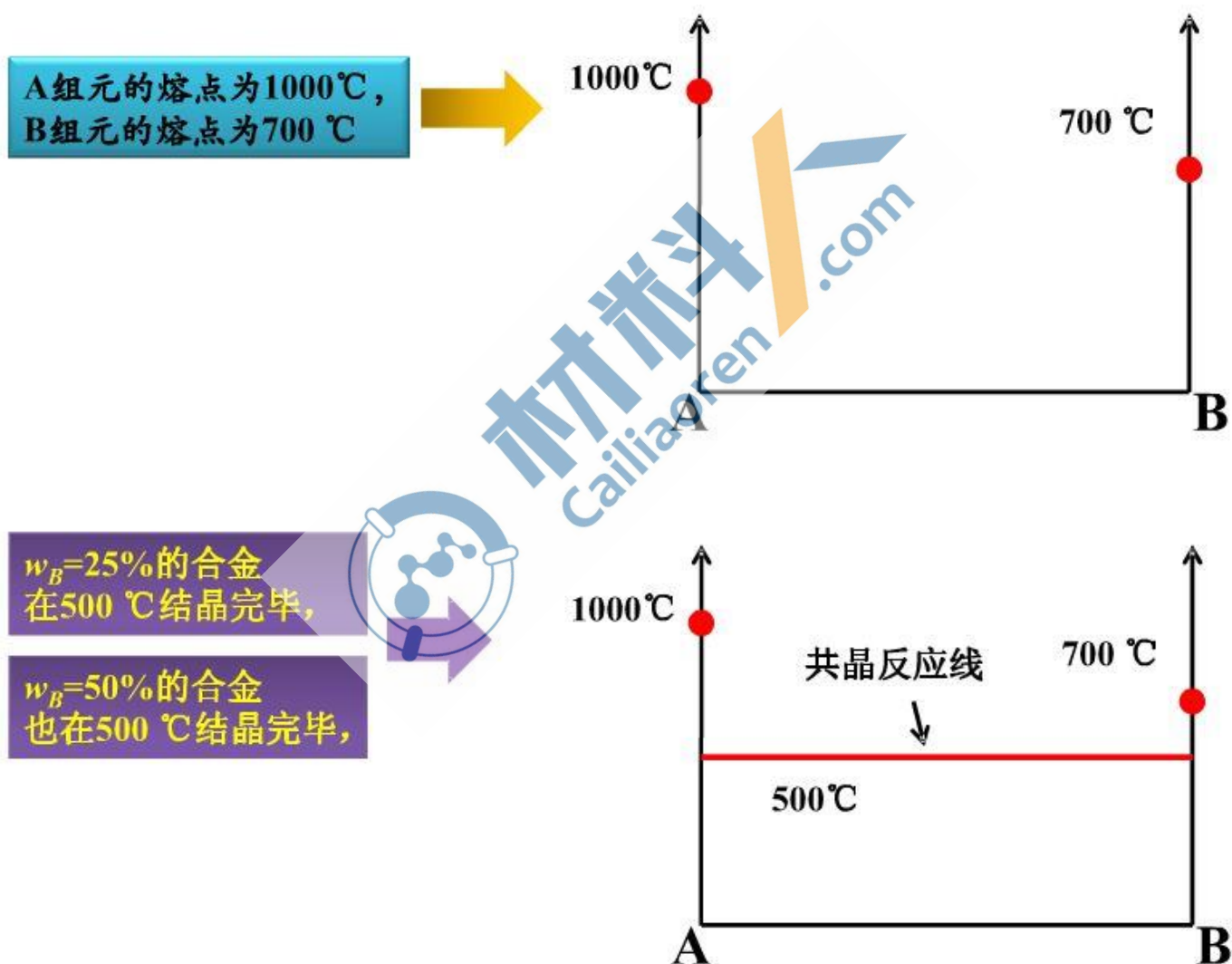
$$t_x = \frac{1.6 \times 10^{-11} \times 10}{0.902 \times 10^{-11}} = 18\text{h}$$

四、计算题（20分）

学硕：根据下列实验数据画出概略的二元共晶相图：

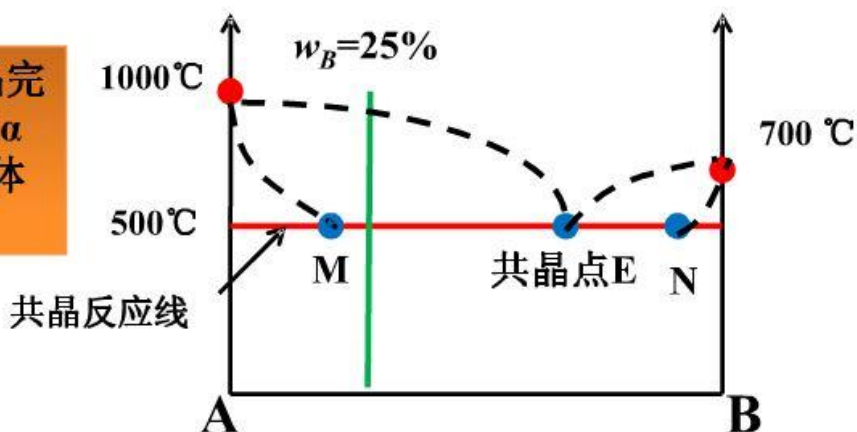
组元 A、B 的熔点分别为 950°C 和 800°C ；含 B 组元 25% 的合金在 500°C 结晶完毕，并由 73.33% 的先共晶 α 相和 26.67% 的 $(\alpha+\beta)$ 共晶体组成；含 B 组元 50% 的合金在 500°C 结晶完毕，并由 40% 的先共晶 α 相和 60% $(\alpha+\beta)$ 共晶体组成，而此合金 α 相总量为 50%。

答案：这样的习题确实比较难，考生需要正确理解二元相图的含义和杠杆定律的应用。下面我们一步步来看题解过程。



假设共晶点位置为E，A组元在固溶体中的最大溶解度位置为M；相应B为N

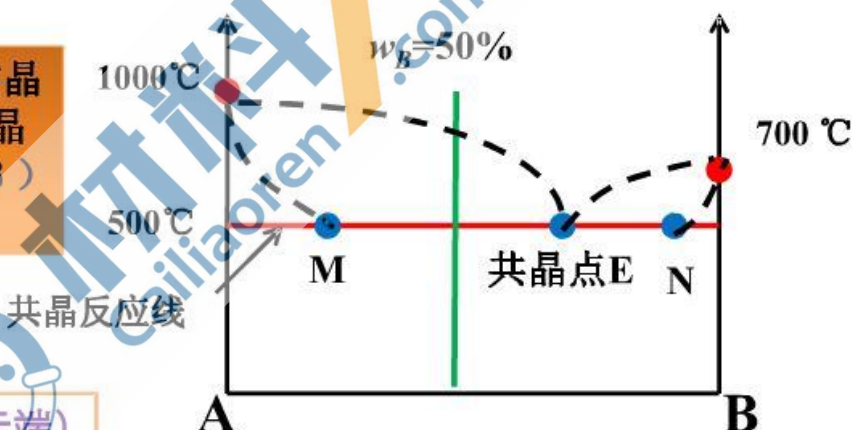
$w_B=25\%$ 的合金在500℃结晶完毕，并由73.33%的先共晶相 α 相与26.67%的 $(\alpha+\beta)$ 共晶体组成



$$W_{\alpha I} = \frac{E-25}{E-M} = 73.33\%$$

$$W_{(\alpha+\beta) II} = \frac{25-M}{E-M} = 26.67\%$$

$w_B=50\%$ 的合金也在500℃结晶完毕，但它是由40%的先共晶相 α 相与60%的共晶体 $(\alpha+\beta)$ 组成



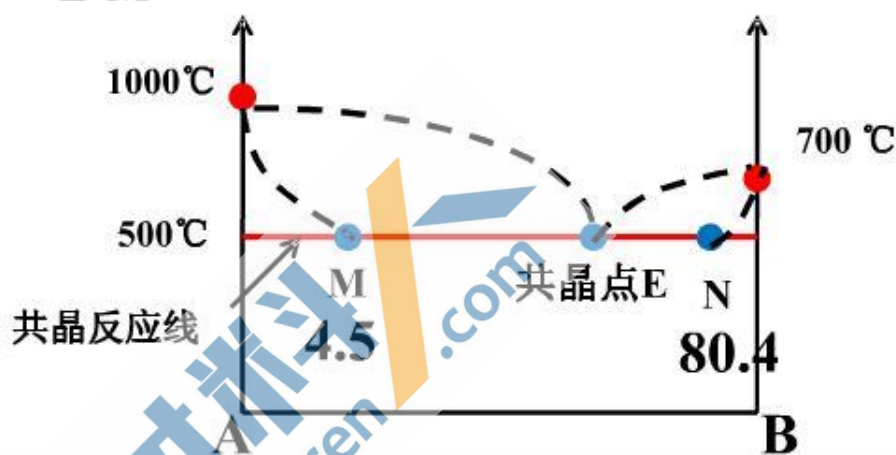
也在共晶点的左端（在A组元端）

$$W_{\alpha I} = \frac{E-50}{E-M} = 40\%$$

$$W_{(\alpha+\beta) II} = \frac{50-M}{E-M} = 60\%$$

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{\alpha I} = \frac{E-25}{E-M} = 73.33\% \\ W_{(\alpha+\beta) II} = \frac{25-M}{E-M} = 26.67\% \\ W_{\alpha I} = \frac{E-50}{E-M} = 40\% \\ W_{(\alpha+\beta) II} = \frac{50-M}{E-M} = 60\% \end{array} \right.$$

得: $M=4.5$
 $E=80.4$



$w_B=50\%$ 的合金, 此时合金中 α 相的总含量为50%

$$W_{\alpha I} = \frac{E-50}{E-M} = 40\%$$

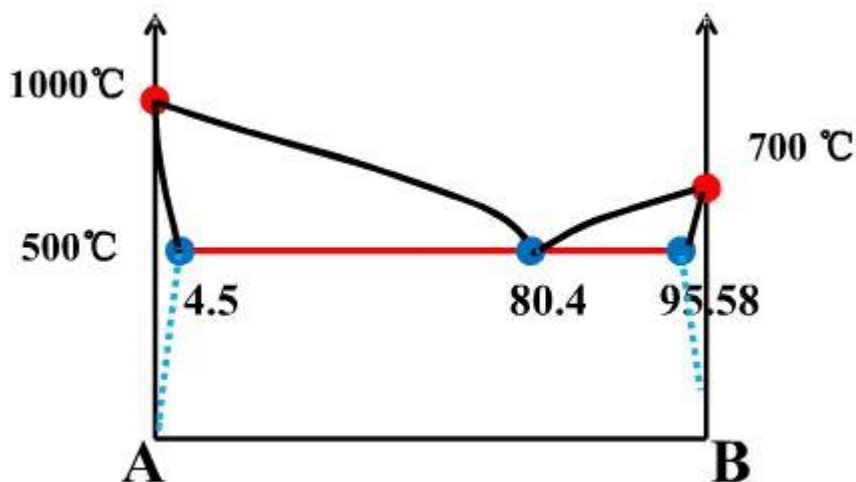
$$W_{(\alpha+\beta) II} = \frac{50-M}{E-M} = 60\%$$

$(\alpha+\beta) II$ 中:

$$W_{\alpha II} = \frac{N-E}{N-M}$$

$$W_{\alpha} = W_{\alpha I} + W_{\alpha II} = 40\% + \frac{N-E}{N-M} \times 60\% = 50\%$$

得 $N=95.58$



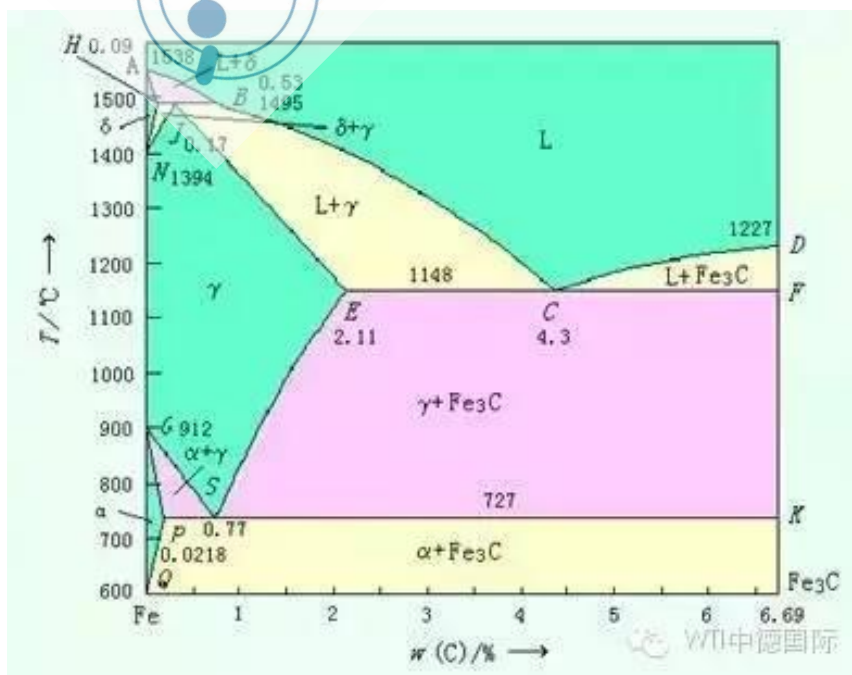
专硕：画出铁碳相图，并回答下列问题：

(1) 标出三个反应的温度、成分、C 在奥氏体中的最大溶解度点。

(2) 分析 C 含量为 0.4% 的铁碳合金的平衡凝固过程，并分析室温下各相成分的相对含量。

(3) 分析 C 含量为 5.0% 的铁碳合金的平衡凝固过程，并求出室温下一次渗碳体、二次渗碳体、共晶渗碳体的相对含量。

答案：不管是学硕还是专硕，铁碳相图都是考试的重点，但是这部分的考题并不是很难，考生只需要结合课本掌握其内容就行。单纯的解释这道题的答案就没有多大意义了。在这里我会将知识点进一步拓展，以便考生进行复习。铁碳相图如下：



1、Fe-C 相图中重要的点

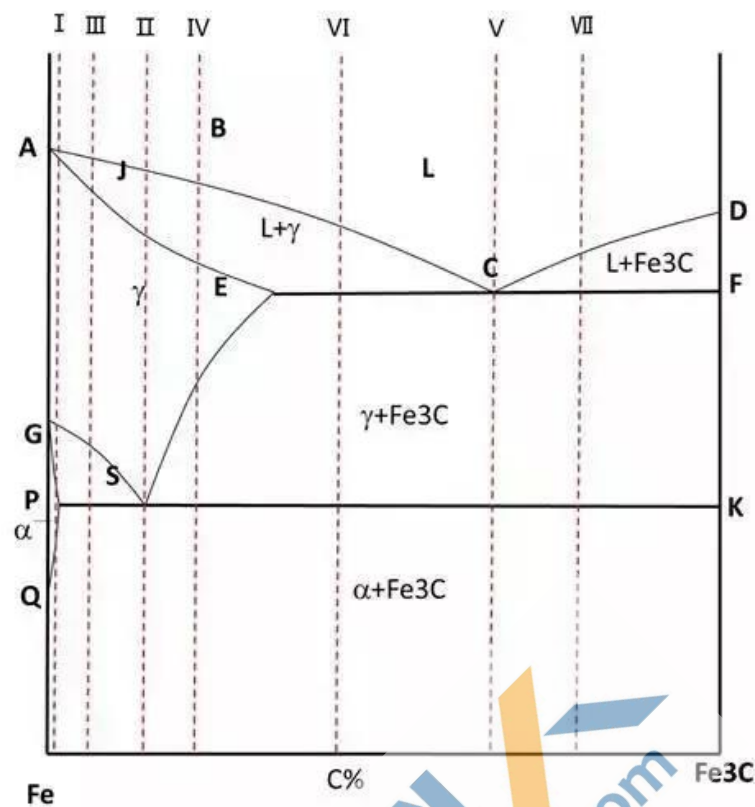
符号	温度/°C	含碳量/%	含义
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶转变时液态合金的成分
C	1148	4.3	共晶点
D	1227	6.69	Fe ₃ C的熔点
E	1148	2.11	碳在γ-Fe中的最大溶解度
F	1148	6.69	Fe ₃ C的成分
G	912	0	α与γ同素异构转变点 (A ₃)
H	1495	0.09	碳在δ-Fe中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	Fe ₃ C的成分
N	1394	0	γ与δ同素异构转变点 (A ₄)
P	727	0.0218	碳在α-Fe中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	室温	0.0008	室温下碳在α-Fe中的溶解度

2、Fe-C 相图中重要的线

特征线	含义
ABCD	铁碳合金的液相线
AHJECF	铁碳合金的固相线
HJB	$L_B + \delta \longrightarrow A_J$
ECF	$L_C \longrightarrow A_E + Fe_3C$ 共晶转变线
GS	奥氏体转变为铁素体的开始线
ES	碳在奥氏体中的溶解度线
PSK	$A_S \longrightarrow F_P + Fe_3C$ 共析转变线
PQ	碳在铁素体中的溶解度线

3、Fe-C 合金平衡结晶过程





典型Fe-C合金在简化Fe-Fe₃C相图中的位置

1. 液相 L

2. δ相、高温铁素体 (C固溶到δ-Fe中—δ相)

3. α相、铁素体 F (C固溶到α-Fe中—α相)

强度、硬度低、塑性好 (室温: C%=0.0008%, 727度: C%=0.0218%)

4. γ相、A奥氏体 (C固溶到γ-Fe中—γ相)

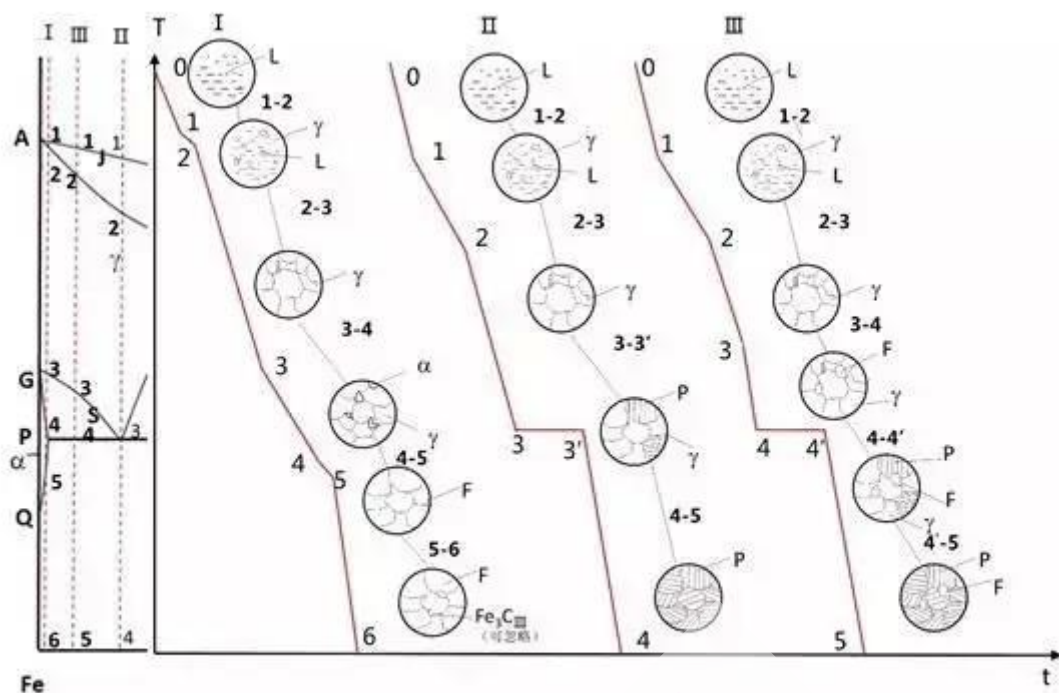
强度低, 易塑性变形

5. Fe₃C

I、工业纯铁 (C%≤0.0218%)

II、共析钢 (C%=0.77%)

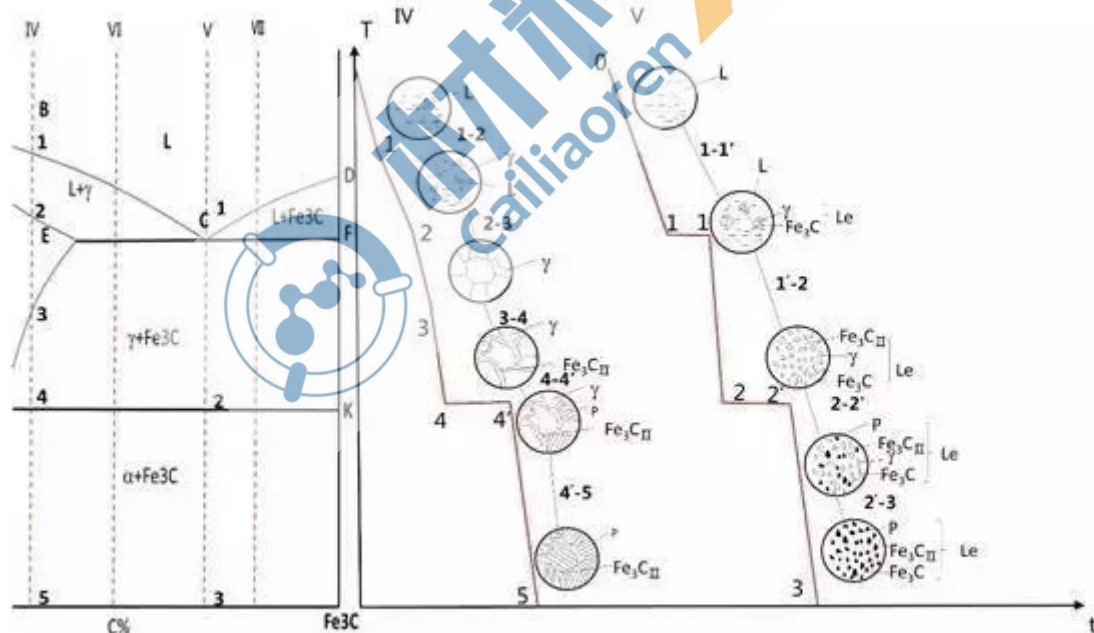
III、亚共析钢 (0.0218%<C%<0.77%)



I、工业纯铁 ($C\% \leq 0.0218\%$) II、共析钢 ($C\% = 0.77\%$) III、亚共析钢 ($0.0218\% < C\% < 0.77\%$)
结晶过程示意图

IV、过共析钢 ($0.77\% < C\% < 2.11\%$)

V、共晶白口铁 ($C\% = 4.3\%$)

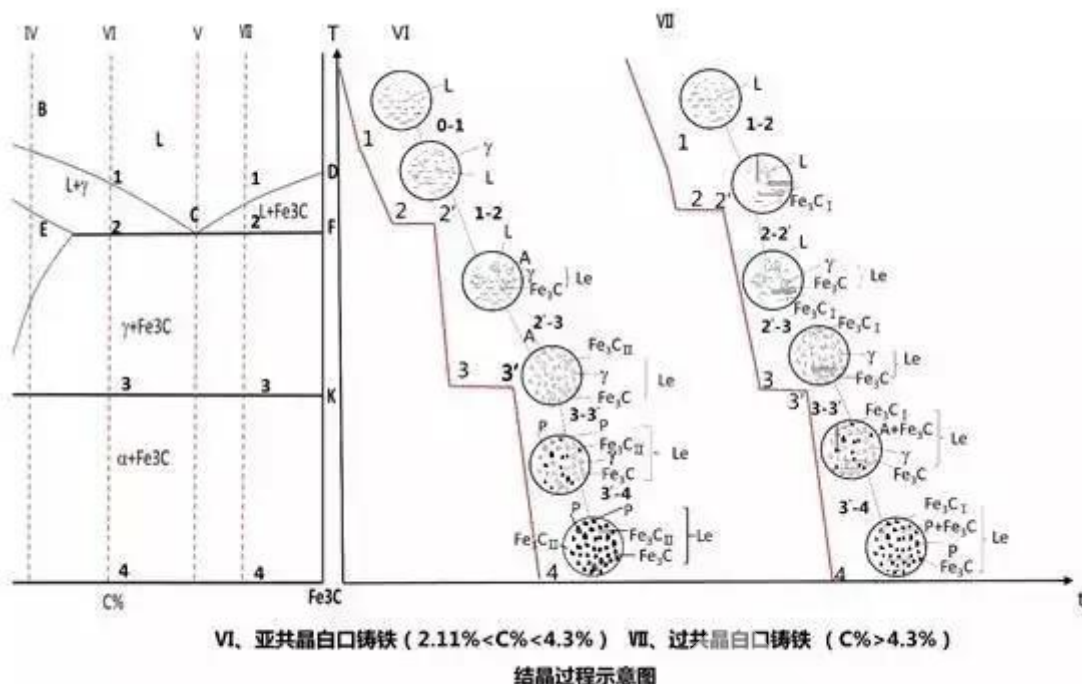


IV、过共析钢 ($0.77\% < C\% < 2.11\%$) V、共晶白口铁 ($C\% = 4.3\%$)

结晶过程示意图

VI、亚共晶白口铸铁 ($2.11\% < C\% < 4.3\%$)

VII、过共晶白口铸铁 ($C\% > 4.3\%$)



以上内容包含了第一问和第二问的答案并进行了适当拓展。

(3) 一次渗碳体是从液相中直接析出：

$$\omega(\alpha) = \frac{6.69 - 5.0}{6.69 - 0.08} \times 100\% = 25.6\%$$

$$\omega(\text{FeC I}) = 1 - 25.6\% = 74.4\%$$

二次渗碳体是从奥氏体中析出,最大溶解度为 2.11%, 最小溶解度为 0.775 :

$$\omega(\text{FeC II}) = \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 22.6\%$$

共晶渗碳体是液体的共晶产物：

$$\omega(\text{FeC 共晶}) = \frac{5 - 4.3}{6.69 - 4.3} \times 100\% = 29.2\%$$

补充修改：

三、简答题

4、简述一种区别含碳量为 0.2%、0.4%、1.2%、3.5%的方法。

答案：1) 测硬度：0.2%,0.4%,1.2%,3.5%硬度逐步升高。2) 测塑性：0.2%,0.4%,1.2%,3.5%塑性逐步降低。

3) 打火花：0.2%,0.4%,1.2%,3.5%火花逐步增多

5、简述如何确定柏氏矢量。

答案：1)首先选定位错线的正向，例如规定出纸面的方向为位错此案的正方向。

2)在实际晶体中,从任一原子出发,围绕位错(避开位错线附近的严重畸变区)以一定的步数作一右旋闭合回路。

3)在完整晶体中按同样的方向和步数做相同的回路,该回路步封闭,由终点向起点引一矢量 b ,使该回路闭合,这样矢量 b 就是实际晶体中位错的柏氏矢量。

7、低温回复时空位浓度低,解释其原因。

答案:材料冷变形会产生大量点缺陷(主要是空位和点缺陷),而点缺陷运动需要的热激活较低,因而可以在较低温度下进行。他们可以迁移至晶界,并通过空位与位错的交互作用、空位与间隙原子的重新结合,以及空位聚合起来形成空位对,空位群和空位片,从而使得空位密度明显下降。

8、简述金属的四种强化方式。

答案:1)形变强化:随变形程度的增加,材料的强度、硬度升高,塑性、韧性下降的现象叫形变强化或加工硬化。随塑性变形的进行,位错密度不断增加,导致位错运动时的相互作用增强,位错运动阻力增大,变形抗力增加,从而提高金属的强度。

2) 固溶强化:固溶强化的实质是将合金元素溶入基体相中形成固溶体,由于两者原子半径的差异及晶格改变造成内部晶格畸变,使金属的强度、硬度升高,塑性、韧性下降。固溶强化的机理一是溶质原子使固溶体的晶格发生畸变,对滑移面上运动的位错有阻碍作用;二是位错线上偏聚的溶质原子形成的柯氏气团对位错起钉扎作用,增加了位错运动的阻力;三是溶质原子在层错区的偏聚阻碍扩展位错的运动。在固溶体溶解度范围内,合金元素的质量分数越大,则强化作用越大;溶质原子与溶剂原子的尺寸差越大,强化效果越显著;形成间隙固溶体的溶质元素的强化作用大于形成置换固溶体的元素;溶质原子与溶剂原子的价电子数差越大,则强化作用越大。固溶强化通常采用的方法是合金化,即加入合金元素。

3) 第二相强化

第二相强化一般指各种化合物质点。通过各种手段使第二相质点弥散分布,可以阻碍合金内部的位错运动,从而提高屈服强度和抗拉强度。目前工业上使用的合金大都是复相或多相合金,其显微组织为在固溶体基体上分布着第二相(过剩相)。

钢中第二相的形态主要有三种，即网状、片状和粒状。网状特别是沿晶界析出的连续网状 Fe_3C ，降低的钢机械性能，塑性、韧性急剧下降，强度也随之下降。

第二相为片状分布时，片层间距越小，强度越高，塑性、韧性也越好。第二相为粒状分布时，颗粒越细小，分布越均匀，合金的强度越高，第二相的数量越多，对塑性的危害越大；

沿晶界析出时，不论什么形态都降低晶界强度，使钢的机械性能下降。第二相无论是片状还是粒状都阻止位错的移动。

第二相强化的方法通常是加入合金元素，然后通过热处理或塑性加工第二相的形态及分布。

4) 细晶强化：随晶粒尺寸的减小，材料的强度硬度升高，塑性、韧性得到改善的现象称为细晶强化。

细化晶粒可以同时提高强度，改善钢的韧塑性，是一种较好的强化材料的方法。

合金的晶粒越细小，内部晶粒和晶界的数目就越多。细晶强化利用晶界上原子排列的不规则性、原子能量高的这一特点，对材料进行强化。根据霍尔-配奇关系式，晶粒的平均直径越小，材料的屈服强度越高。

细化晶粒的方法主要有：结晶过程中增加过冷度，变质处理，振动及搅拌的方法增加形核率细化晶粒。冷变形金属通过控制变形度、退火温度来细化晶粒。通过正火、退火的热处理方法细化晶粒；在钢中加入强碳化物形成元素等。

晶粒尺寸小于临界尺寸 d_c 时，会出现反霍尔-佩奇现象，即强度随晶粒尺寸的减小而减小。

11、在(001)面有 $b_1=[101]$ 和(100)面上有 $b_2=[011]$ ，这两个刃型位错交割产生割阶还是扭折？ 答

案： $b_1=[101]$ 与 $b_2=[011]$ 是两个相互垂直的刃型位错交割，形成的是割阶!(可以参考上海交大《材料科学与工程》P97 页)。

扩展：两个柏氏矢量平行的刃型位错叫个形成扭折；两个柏氏矢量垂直的刃型位错和螺型位错交割形成扭折；两个柏氏矢量相互垂直的螺型位错形成割阶。

13、简述多晶体塑性变形的特点。

答案：1. 各晶粒变形的不同时性和不均匀性。2. 各晶粒变形的相互协调性，需要五个以上的独立滑移系同时动作。3. 滑移的传递，必须激发相邻晶粒的位错源。4. 多晶体的变形抗力比单晶体大，变

形更不均匀。5. 塑性变形时，导致一些物理、化学性能的变化。

单晶体产生塑性变形，只与其晶体内部位错滑移有关；除非在微尺度下，塑性变形会转变为由位错形核主导；多晶体不仅需要考虑晶粒内部的位错滑移，还要考虑晶粒之间的变形协调，即要考虑晶间变形。晶界在塑性变形中的作用可分四个部分来说：协调作用，多晶体在塑性变形时，各晶粒都要通过滑移或孪生而变形，而多个晶粒的变形不能是任意的，必须相互协调，以保证晶界处变形的连续；阻碍作用，可以参考细晶强化；促进作用，如高温时的晶界滑动；起裂作用，晶界处往往由于阻碍位错运动产生应力集中，或者杂质偏析等使晶界变脆。

