

西安理工大学

试卷三十五

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题(一)

考试科目：材料科学基础（一）

适用专业：材料科学与工程

一、名词解释（7×2分）

1. 致密度 2. 相 3. 固溶体 4. 离异共晶 5. 平衡分配系数 6. 反应扩散 7. 固溶强化。

二、填空（25×1分）

1. 典型金属的晶体结构类型有（1）、（2）和（3），其配位数相应为（4）、（5）和（6）。

2. 置换固溶体的溶解度与原子尺寸因素、（7）、电子浓度因素和（8）有关。

3. 当过冷液体中出现一个晶胚时，总的自由能变化 ΔG 可写为（9），当 $d\Delta G/dr = 0$ 时，所得的 r^* 值称为（10），其大小决定于（11）和（12）， r^* 变小意味着形核数目（13）。

4. 根据相律三元系最大平衡相数为（14），此时自由度为（15），在相图上表现为（16）。

5. 位错在滑移面上的运动称为（17），作垂直滑移面的运动称为（18）。螺位错不能进行（19）。

6. 面心立方金属的滑移面是（20），滑移方向是（21），可组成（22）个滑移系。

7. 扩散第一定律适用于稳态扩散，其数学表达式可写成（23）。扩散通量的单位是（24），符号为（25），表示扩散由高浓度向低浓度方向进行。

三、简答题（5×5分）

1. 结晶、重结晶和再结晶三者概念上有何区别？

2. 何谓成分过冷？成分过冷对晶体生长形态有何影响？

3. 试说明多晶体金属塑性变形时，晶粒越小强度越高、塑性越好的原因。

4. 简述固溶体合金与纯金属在结晶过程中的区别。
5. 分析回复与再结晶阶段空位与位错的变化及其对性能的影响。

四、一个直径为 1mm 的圆柱形面心立方单晶体，拉伸轴的取向与晶体的 $[001]$ 方向一致。

1. 试确定其等效滑移系。
2. 若屈服时的拉力为 0.5N，求滑移系的分切应力各是多少（8 分）

五、默画 Fe-Fe₃C 相图，填写相区，并回答：（20 分）

1. 奥氏体、铁素体、渗碳体各为何种结构？
2. 分别由亚共析钢和过共析钢制成的两个试样，经组织分析确认其珠光体量约为 80%，试确定两种钢含碳量，并回答两种钢中共析渗碳体量是否相等，为什么？

3. 分析共晶白口铁的结晶过程，并用杠杆定理计算变态莱氏体中组织组成物的相对含量。

六、图 35-1 为固态下互不溶解简单三元相图投影图，请完成下列各题。

1. 分析 P 、 M 、 N 三个合金的结晶过程，写出平衡组织。
2. 说明 P 合金的组织相对含量及相的相对含量的算法，并写出其值。（所需的辅助线自行补充标注）（8 分）

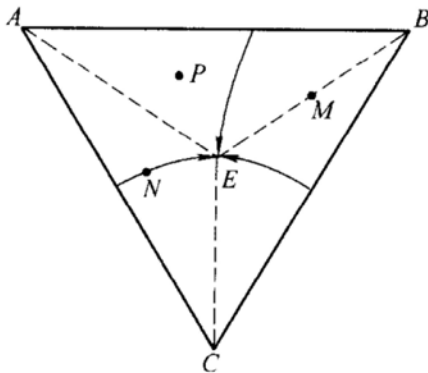


图 35-1 第六题图

标准答案

一、

1. 致密度：表示晶胞中原子所占的体积与晶胞体积的比值，是衡量原子排列紧密程度的参数，致密度越大，晶体中原子排列越紧密，晶体结构越致密。

2. 相：合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同，并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

3. 固溶体：指以合金某一组元为溶剂，在其晶格中溶入其他组元原子（溶质）后所形成的一种合金相，其特征是仍保持溶剂晶格类型，结点上或间隙中含有其他组元原子。

4. 离异共晶：成分点靠近共晶转变线两端的亚共晶和过共晶合金，结晶后组织中初晶量多，共晶体数量少，而且共晶体中与初晶相同的一相与初晶结合在一起，将共晶体中另一相推至晶界，造成的共晶体两相分离的非平衡组织。

5. 平衡分配系数：固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点。因此在一定温度下平衡时，固相成分与液相成分之比称为平衡分配系数。该参数反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

6. 反应扩散：在固态扩散的过程中，如果渗入元素在金属中溶解度有限，随着扩散原子增多，当渗入原子的浓度超过饱和溶解度时则形成不同于原相的固溶体或中间相，从而使金属表层分为出现新相和不出现新相的两层，这种通过扩散而形成新相的过程称为反应扩散。

7. 固溶强化：当形成固溶体后，溶剂晶格中因溶有溶质原子而产生晶格畸变，溶质原子的应力场会与位错产生交互作用而阻碍位错运动，增大了位错运动的阻力，使得临界分切应力远比纯金属大，滑移系开动比纯金属困难，使材料的塑性变形抗力提高，硬度、强度上升，而塑性、韧性下降的现象称为固溶强化。

二、

(1) fcc; (2) bcc; (3) hcp; (4) 12; (5) 8; (6) 12; (7) 电负性; (8) 晶体结构; (9) $\Delta G = \Delta G_v \frac{4}{3} \pi r^3 + \sigma 4 \pi r^2$; (10) 临界晶核半径; (11) 过冷度; (12) 比表面能; (13) 增多; (14) 4; (15) 零; (16) 平面; (17) 滑移; (18) 攀移; (19) 攀移; (20) $\{111\}$; (21) $\langle 110 \rangle$; (22) 12; (23) $J = -Ddc/dx$; (24) $1/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$; (25) 负号。

三、

1.

结晶——金属由液态转变为固态的过程称为凝固，由于固态金属是晶体故又把凝固称为结晶。

重结晶——指在固态状态下，物质由一种结构转变成另一种结构，这是一种固态相变过程。

再结晶——将冷压力加工以后的金属加热到一定温度后，在变形的组织中重新产生新的无畸变的等轴晶粒、性能恢复到冷压力加工前的软化状态的过程。在此过程中，仍然属于固态过程。

三者的区别与联系：结晶、重结晶发生相变过程，再结晶没有；结晶、重结晶和再结晶都是形核与长大的过程。发生结晶与重结晶的驱动力为反应相与生成

相的自由能差,再结晶为储存能。再结晶后强度、硬度下降而塑韧性提高,而重结晶则属于同素异构转变。

2. 固溶体合金凝固时,由于液相中溶质的分布发生变化,合金熔点也发生变化,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。所以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共同决定的。这种因液相成分变化而形成的过冷称为成分过冷。

固溶体结晶时,由于出现成分过冷对晶体生长的形态有很大影响,即使在正温度梯度下也会生成出胞状组织甚至出现树枝晶。即无成分过冷时,界面呈平直状向前推移;较小成分过冷时,界面呈胞状;较大成分过冷时,界面呈树枝状。

3. 多晶体金属塑性变形时,晶粒越小强度越高,塑性越好的原因是:由于晶粒细小,各晶粒中可供塞积位错的滑移面较短,塞积位错的数量 n 也少,由位错塞积引起的应力集中小而分散,迫使相邻晶粒位错源开动就较为困难,故屈服强度较高。晶粒细小而数目很多,在相同外力作用下,处于滑移有利方位的晶粒数量也会增多,使众多的晶粒参加滑移,滑移量分散在各个晶粒中,应力集中小,这样在金属变形时引起开裂的机会小,直至断裂之前,能获得较大的塑性变形量。

4. 纯金属在结晶时其界面是粗糙的,在正温度梯度下进行长大。由于晶体长大时通过固相模壁散热,固液界面是等温的,若取得动态过冷度界面就向前移动。如果面局部有小的凸起伸向过热的液相中,小凸起将被熔化,界面一直保持平直,晶体以平面状长大。

固溶体结晶时会出现成分过冷,在固液界面前出现成分过冷区,此时界面如有任一小的凸起它将伸入成分过冷区而获得过冷就能继续生长下去。界面不能保持平直稳定,会出现树枝晶。

5. 在低温回复阶段,主要表现为空位的消失。冷变形后所产生的大量空位,通过空位迁移至表面或晶界,空位与间隙原子重新重合,空位与位错发生交互作用,空位聚集成空位片等方式,使得空位数量急剧减少。

在中温回复阶段,温度升高,使位错容易滑移,同一滑移面上的异号位错相遇会相互吸引而抵消,不但使亚晶内部的位错数目减少,而且胞壁缠结位错的减少更为显著,重新调整排列规则,胞壁变得明晰,形成回复亚晶。即该阶段主要表现为位错的滑移,导致位错重新结合,异号位错的汇聚而抵消以及亚晶的长大。

在高温回复阶段,位错运动的动力学条件更为充分,滑移同时也发生攀移,使得多层滑移面上的位错密度趋于相同,各位错之间的作用力使得同一滑移面上的位错分布均匀,间距大体相等,形成规则排列的垂直于滑移面的位错墙,即多边形化的过程。多边形化构成的位错墙即是小角度晶界,它将原晶粒分隔成若干个亚晶粒。

四、

1. 当晶体为 FCC 时, 力轴为 $[001]$ 方向, 那么 12 个滑移系中 $[110]$ 晶向与力轴垂直, 而其余与力轴夹角相等, 4 个滑移系也与之相等。所以等效滑移系为 8 个。即 $(111) [\bar{1}01]$ 、 $(111) [011]$ 、 $(\bar{1}11) [101]$ 、 $(\bar{1}11) [011]$ 、 $(1\bar{1}1) [10\bar{1}]$ 、 $(1\bar{1}1) [011]$ 、 $(11\bar{1}) [011]$ 、 $(11\bar{1}) [101]$

2. 因为

$$\Omega = \cos\lambda \cos\phi = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{6}}{6}$$

所以

$$\tau = \frac{P}{A} \Omega = \frac{0.5}{\pi \left(\frac{1}{2}\right)^2} \times \frac{\sqrt{6}}{6} \text{MPa} = 0.26 \text{MPa}$$

五、相图略。

1.

奥氏体: 碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体, 为面心立方结构。

渗碳体: 铁和碳形成的间隙化合物, 属于正交系。

铁素体: 碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体, 为体心立方结构。

2. 两种钢中共析渗碳体量相等。因为共析渗碳体只存在于珠光体中, 而珠光体量相等, 因此两种钢中共析渗碳体量是相等的。

设亚共析钢含碳量为 $x\%$, 过共析钢含碳量为 $y\%$, 则

$$\frac{x - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \% = 80\% \quad x = 0.62\%$$

$$\frac{6.69 - y}{6.69 - 0.77} \% = 80\% \quad y = 1.95\%$$

3. 结晶过程略。

室温组织为 $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 其中

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} \% = \frac{EC}{EF} = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% \approx 47.82\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = \frac{CFSE}{EFSE} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 11.81\%$$

$$P\% = \frac{CFSE}{EFSE} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 40.37\%$$

六、

1. 结晶过程略。

作辅助线: 如图 35-2 所示, 延长 AP , 交液相线于 O 点, 交 BC 线于 Y 点, 延长 EO 与 AB 交于 X 点。

P 点平衡组织为: $A + (A + B) + (A + B + C)$

N 点平衡组织为: $(A + C) + (A + B + C)$

M 点平衡组织为: $B + (A + B + C)$

2. 组织相对含量: $A_{\text{初晶}}\% = OP/AO \times 100\%$

$$(A + B)\% = OE/XE \times AP/AO \times 100\%$$

$$(A + B + C)\% = 1 - A_{\text{初晶}}\% - (A + B)\%$$

相的相对含量: $A\% = PY/AY \times 100\%$

$$B\% = (AP/AY) \times (CY/CB) \times 100\%$$

$$C\% = (AP/AY) \times (BY/CB) \times 100\%$$

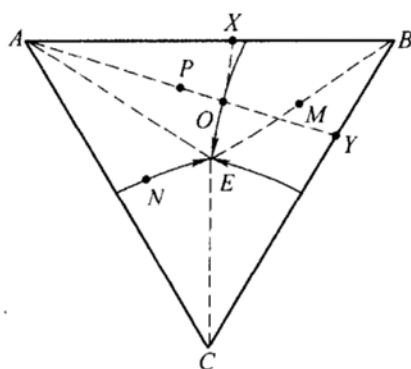


图 35-2 第六题解答图

试卷三十六

2002 年攻读硕士学位研究生入学考试试题(二)

考试科目：材料科学基础（二）

适用专业：材料成形与控制

一、名词解释（7×3 分）

1. 致密度 2. 相 3. 固溶体 4. 离异共晶
5. 退火 6. 淬透性 7. 平衡分配系数

二、填空（30×1 分）

1. 金属典型的晶体结构类型有（1）、（2）和（3），其配位数相应为（4）、（5）和（6）。
2. 溶质原子半径与溶剂原子半径相近的可形成（7）固溶体，两者半径相差较大时是（8）固溶体，铁素体是一种（9）固溶体。
3. 奥氏体形核时不仅需要（10）起伏、（11）起伏，此外还需要（12）起伏。
4. 晶体固液界面分为光滑界面和粗糙界面，按照长大速度由慢到快其长大方式依次为（13）、（14）和（15）。
5. 面心立方金属的滑移面是（16），滑移方向是（17），可组成（18）个滑移系。
6. 马氏体是碳在（19）中的过饱和固溶体，淬火钢中马氏体的金相形态有两种，它们是（20）和（21）。
7. 位错的两种基本类型为（22）和（23），其中刃型位错的位错线方向与柏氏矢量的关系为（24）。
8. 马氏体型不锈钢的典型钢号是（25），奥氏体不锈钢的典型钢号是（26），铁素体不锈钢是（27）。
9. 上坡扩散是指扩散原子从（28）向（29）的扩散，产生上坡扩散的原因是合金系中存在着（30）。

三、简答题（5×10 分）

1. 何为加工硬化？如何解决加工硬化给后续加工带来的困难？
2. 论述纯金属与固溶体合金在凝固过程中表现出的异同点，并解释其原因？
3. 说明第一类和第二类回火脆性的异同点。
4. 分析回复与再结晶阶段空位与位错的变化及其对性能的影响。

5. 有如图 36-1 所示的一个位错环。分析位错环各点上位错的属性, 并综合论述刃型位错和螺型位错的异同点。

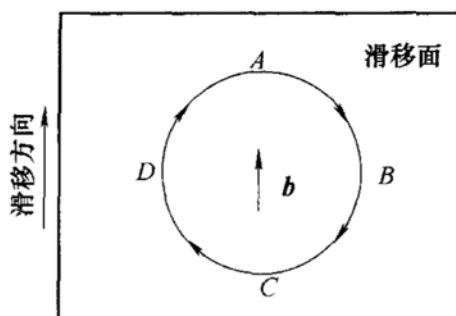


图 36-1 第三题第 5 小题图

四、计算 (12 分)

铜单晶体拉伸时, 若力轴为 $[001]$ 方向, 临界分切应力为 0.64MPa , 问多大的拉伸应力能使晶体开始滑移?

五、默画 Fe-Fe₃C 相图, 填写相区, 并回答: (25 分)

1. 说明 CD 线、 ECF 线、 ES 线、 GS 线、 PSK 线和 HJB 线的名称和物理意义。
2. 分析 45 钢比 T8 钢硬度低的原因。
3. 简述钢与白口铁在化学成分、显微组织和机械性能方面的主要差别。
4. 分析共晶白口铁的结晶过程, 并用杠杆定理计算变态莱氏体中组织组成物的相对含量。

六、图 36-2 为固态下互不溶解简单三元相图投影图, 请完成下列各项。(12 分)

1. 分析 P 、 M 、 N 三个合金的结晶过程, 写出平衡组织。
2. 说明 P 合金的组织相对含量及相的相对含量的算法, 并写出其值。(所需的辅助线自行补充标注)

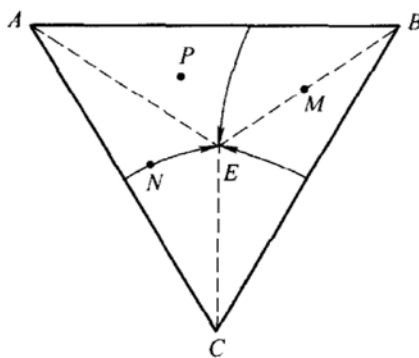


图 36-2 第六题图

标准答案

一、

1. 致密度：表示晶胞中原子所占的体积与晶胞体积的比值，是衡量原子排列紧密程度的参数，致密度越大，晶体中原子排列越紧密，晶体结构越致密。

2. 相：合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同，并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

3. 固溶体：指以合金某一组元为溶剂，在其晶格中溶入其他组元原子（溶质）后所形成的一种合金相，其特征是仍保持溶剂晶格类型，结点上或间隙中含有其他组元原子。

4. 离异共晶：成分点靠近共晶转变线两端的亚共晶和过共晶合金，结晶后组织中初晶量多，共晶体数量少，而且共晶体中与初晶相同的一相与初晶结合在一起，将共晶体中另一相推至晶界，造成的共晶体两相分离的非平衡组织。

5. 退火：将金属及其合金加热至相变温度以上，保温一段时间，然后以较为缓慢的速度冷却，以获得近于平衡组织的热处理工艺称为退火。

6. 淬透性：是钢在淬火时能获得马氏体组织的倾向（即钢被淬透的能力）。

7. 平衡分配系数：固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点，因此固相成分与液相成分存在一定的比例，当一定温度下平衡时，固相成分与液相成分比称为平衡分配系数，其反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

二、

(1) FCC; (2) BCC; (3) HCP; (4) 12; (5) 8; (6) 12; (7) 置换; (8) 间隙; (9) 间隙; (10) 结构; (11) 能量; (12) 成分; (13) 二维晶核长大; (14) 晶体缺陷长大; (15) 垂直长大; (16) $\{111\}$; (17) $\langle 110 \rangle$; (18) 12; (19) α -Fe; (20) 板条马氏体; (21) 针状马氏体; (22) 刃型位错; (23) 螺型位错; (24) 垂直; (25) 1Cr13; (26) 1Cr18Ni9Ti; (27) 1Cr17; (28) 低浓度; (29) 高浓度; (30) 化学位梯度。

三、

1. 金属材料在塑性变形过程中，随着变形量的增加，强度和硬度不断上升，而塑性和韧性不断下降，这一现象称为“加工硬化”。该现象的原因是由于外力增加使得位错不断增殖，位错之间相互交截、反应使得位错的运动变得困难。可以用再结晶退火处理消除加工硬化给后续加工带来的困难。

2. 纯金属在结晶时其界面是粗糙的，在正温度梯度下进行长大。由于晶体长大时通过固相模壁散热，固液界面是等温的，若取得动态过冷度界面就向前移

动。如果面局部有小的凸起伸向过热的液相中,小凸起将被熔化,界面一直保持平直,晶体以平面状长大。

固溶体结晶时会出现成分过冷,在固液界面前出现成分过冷区,此时界面如有任一小的凸起,它将伸入成分过冷区而获得过冷就能继续生长下去。界面不能保持平直稳定而出现树枝晶。

3. 在 $250 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 间回火时出现的脆性叫低温回火脆性,也称第一类回火脆性;在 $450 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 间回火时出现的脆性称高温回火脆性,也称第二类回火脆性。第一类回火脆性为不可逆的回火脆性,第二类回火脆性为可逆的。第一类回火脆性是由于马氏体分解时沿马氏体条或片的界面析出断续的薄壳状碳化物,降低了晶界的断裂强度,使之成为裂纹扩展的路径,因而导致脆性断裂;第二类回火脆性产生的原因是 Sb、Sn、P、As 等杂质元素在回火处理时向原奥氏体晶界偏聚,减弱了奥氏体晶界上原子间的结合力,降低晶界断裂强度是产生第二类回火脆性的主要原因。

4. 在低温回复阶段,主要表现为空位的消失。冷变形后所产生的大量空位,通过空位迁移至表面或晶界、空位与间隙原子重新重合、空位与位错发生交互作用、空位聚集成空位片等方式,使得空位数量急剧减少。

在中温回复阶段,温度升高,使位错容易滑移,同一滑移面上的异号位错相遇会相互吸引而抵消,不但使亚晶内部的位错数目减少,而且胞壁缠结位错的减少更为显著,重新调整排列规则,胞壁变得明晰,形成回复亚晶。即该阶段主要表现为位错的滑移,导致位错重新结合,异号位错的汇聚而抵消以及亚晶的长大。

在高温回复阶段,位错运动的动力学条件更为充分,有滑移同时也发生攀移,使得多层滑移面上的位错密度趋于相同,各位错之间的作用力使得同一滑移面上的位错分布均匀,间距大体相等,形成规则排列的垂直于滑移面的位错墙,即多边形化的过程。多边形化构成的位错墙即是小角度晶界,它将原晶粒分隔成若干个亚晶粒。

5. A: 正刃; C: 负刃; B: 左螺; D: 右螺。

刃型位错和螺型位错的异同点: ①刃型位错位错线垂直于柏氏矢量,螺型位错位错线平行于柏氏矢量; ②刃型位错柏氏矢量平行于滑移运动方向,螺型位错柏氏矢量垂直于滑移运动方向; ③刃型位错可作滑移也可作攀移运动且只有一个滑移面,螺型位错只可作滑移运动但有无数个滑移面; ④两者都可用柏氏矢量表示。

四、因为铜是面心立方所以滑移面是 $\{111\}$, 滑移方向是 $\langle 110 \rangle$, 又因为力轴为 $\{001\}$, 所以排除掉滑移方向为 $[110]$ 和 $[\bar{1}10]$ 的 4 个, 还有八个等效滑移系。

$$\lambda = 45^\circ \quad \cos \lambda = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\cos \phi = \frac{|1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 0|}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\sigma = \frac{\tau}{\Omega} = \frac{0.64}{\cos \lambda \cos \phi} = 1.57 \text{ MPa}$$

五、相图略。

1.

CD——液相线。

ECF——共晶转变线。

ES——C在A中饱和溶解度曲线。

GS——A中开始析出F转变线。

PSK——共析转变线。

HJB——包晶转变线。

2. 因为铁碳合金的硬度仅和其含碳量有关，T8钢的含碳量比45钢高，所以T8钢比45钢的硬度高。

3. 钢的含碳量小于2.11%，铁的含碳量大于2.11%；钢的基本组织是珠光体，白口铸铁的基本组织是莱氏体；钢强韧性好，白口铸铁较脆，硬度高。

4. 结晶过程略。

室温组织为 $P + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ ，其中

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}} \% = \frac{EC}{EF} = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% \approx 47.82\%$$

$$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = \frac{CFSE}{EFSK} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 11.81\%$$

$$P\% = \frac{CFE}{EFSK} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times 100\% \approx 40.37\%$$

六、

1. 结晶过程略。

作辅助线：如图36-3所示，延长AP，交液相线于O点；延长EO与AB交于X点。

P点平衡组织为： $A + (A + B) + (A + B + C)$

N点平衡组织为： $(A + C) + (A + B + C)$

M点平衡组织为： $B + (A + B + C)$

2. 组织相对含量： $A_{\text{初晶}} \% = OP/AO \times 100\%$

$$(A + B)\% = OE/XE \times AP/AO \times 100\%$$

$$(A + B + C)\% = 1 - A_{\text{初晶}}\% - (A + B)\%$$

相的相对含量: $A\% = PY / AY \times 100\%$

$$B\% = (AP / AY) \times (CY / CB) \times 100\%$$

$$C\% = (AP / AY) \times (BY / CB) \times 100\%$$

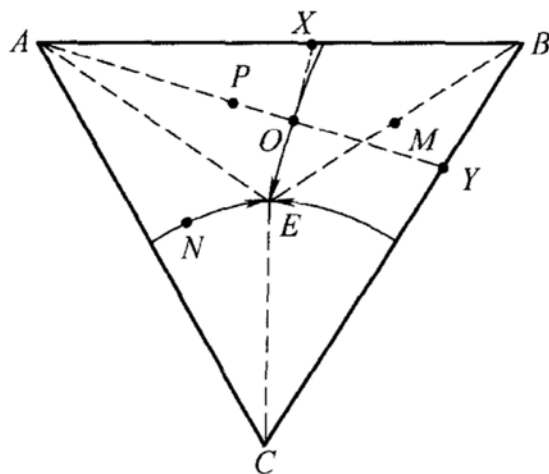


图 36-3 第六题解答图

试卷三十七

2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成形与控制

一、填空 (20×2 分)

1. 金属典型的晶体结构有 (1)、(2) 和 (3)，相应的晶胞原子数为 (4)、(5) 和 (6)。
2. 刃型位错既可以作 (7) 运动，又可以作 (8) 运动；而螺型位错只能作 (9) 运动，因为它没有固定的 (10)。
3. 在均匀形核时，设晶核的形状为边长是 a 的立方体，则临界晶核边长为 (11)，临界形核功为 (12)。(已知 σ 和 ΔG_V)
4. 固溶体结晶过程中，形核时既需要 (13) 起伏和 (14) 起伏，又需要 (15) 起伏。
5. 晶体拉伸滑移时，驱使滑移面转动，使滑移面力求转向与 (16) 平行，而同时滑移方向也旋转向与 (17) 方向重合。
6. 多晶体塑性变形的特点是 (18) 性、(19) 性和 (20) 性。

二、名词解释 (5×5 分)

1. 柏氏矢量
2. 相
3. 成分过冷
4. 离异共晶
5. 固溶强化

三、简答题 (5×8 分)

1. 柏氏矢量与刃型位错及螺型位错的位错线间存在什么位向关系？请分析图 37-1 所示位错圆环各部分位错的类型。

2. 何谓平衡分配系数？其物理意义是什么？

3. 为什么金属滑移在最密排面与最密排晶向上进行？

4. 再结晶与二次再结晶的本质区别？

5. 为什么渗碳选择 930℃ 附近的 γ -Fe 中？

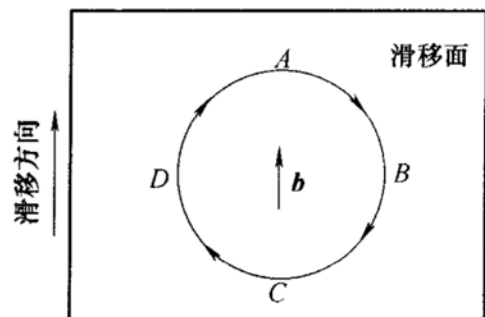


图 37-1 第三题第 1 小题图

四、默画 Fe-Fe₃C 相图并填写相区。(10 分) 然后回答下列问题：

1. 注出 P 、 S 、 E 、 C 各点的成分, 说明各点的物理意义。(4 分)
2. 说明相图中三条水平线上各发生什么转变, 写出反应式, 并指出什么是珠光体, 什么是莱氏体?(6 分)
3. 分析含碳量为 3% 的亚共晶白口铁的结晶过程, 画出冷却曲线, 并用杠杆定律计算室温下组织组成物和相组成物的相对含量。(10 分)

五、图 37-2 为固态时相互完全不溶解的三元共晶相图的投影图。(15 分)

1. 绘出图上 cd 变温截面;
2. 分析合金 x 的结晶过程, 写出室温组织, 并计算组织组成物和相组成物的相对含量。(根据需要自己作辅助线)

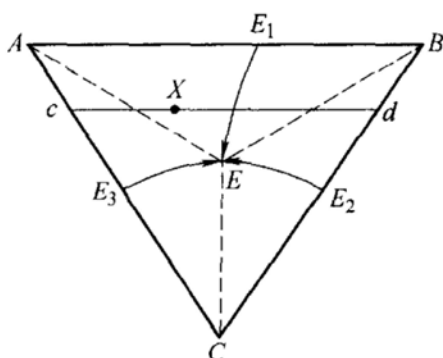


图 37-2 第五题图

标准答案

一、

- (1) 体心立方; (2) 面心立方; (3) 密排六方; (4) 2; (5) 4; (6) 6; (7) 滑移; (8) 攀移; (9) 滑移; (10) 半原子面; (11) $\frac{-4\sigma}{\Delta G_V}$; (12) $\frac{32\sigma^3}{\Delta G_V^2}$; (13) 结构; (14) 能量; (15) 成分; (16) 力轴方向; (17) 最大分切应力; (18) 不等时; (19) 协调; (20) 不均匀。

二、

1. 柏氏矢量: 用来描述位错引起晶格畸变的物理量。该矢量的模是位错的强度, 表示晶格总畸变的大小, 其方向表示晶格点畸变的方向。一般情况下, 该矢量越大, 晶体畸变的程度越大。

2. 相: 合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同, 并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

3. 成分过冷: 固溶体合金凝固时, 由于液相中溶质的分布发生变化, 合金

熔点也发生变化,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。所以固溶体合金的过冷度是由变化着的合金的熔点与实际温度分布两个方面的因素共同决定的。这种因液相成分变化而形成的过冷称为成分过冷。

4. 离异共晶:成分点靠近共晶转变线两端的亚共晶和过共晶合金,结晶后组织中初晶量多,共晶体数量少,而且共晶体中与初晶相同的一相与初晶结合在一起,将共晶体中另一相推至晶界,造成的共晶体两相分离的非平衡组织。

5. 固溶强化:当形成固溶体后,溶剂晶格中因溶有溶质原子而产生晶格畸变,溶质原子的应力场会与位错产生交互作用而阻碍位错运动,增大了位错运动的阻力,使得临界分切应力远比纯金属大,滑移系开动比纯金属困难,使材料的塑性变形抗力提高,硬度、强度上升,而塑性、韧性下降的现象称为固溶强化。

三、

1. A: 正刃; C: 负刃; B: 左螺; D: 右螺。

刃型位错线垂直于柏氏矢量,螺型位错线平行于柏氏矢量。

2. 平衡分配系数:固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点。因此在一定温度下平衡时,固相成分与液相成分之比称为平衡分配系数。该参数反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

3. 金属晶体的滑移是在外力的作用下,于原子排列最紧密的晶面和晶向上进行的,这是因为在密排面上原子间距最小,结合力最强,而相邻的两个密排晶面之间距离却最大、结合力最弱。可知在原子排列最紧密的晶面之间进行滑移阻力最小,需要的外力也最小。于是原子排列最紧的晶面和晶向就成了晶体进行滑移的滑移面和滑移方向。

4. 再结晶——将冷压力加工以后的金属加热到一定温度后,在变形的组织中重新产生新的无畸变的等轴晶粒,性能恢复到冷压力加工前的软化状态的过程。

二次再结晶——指再结晶退火后的金属在更高温度或更长时间的保温下,会有极少数晶粒迅速吞并其他晶粒而长大,结果整个金属由少数比再结晶后晶粒大几十倍至几百倍的特大晶粒所组成的现象。

二者的本质区别:再结晶是形核与长大的过程,二次再结晶只是长大过程。发生再结晶的驱动力为储存能,二次再结晶为界面能。再结晶后强度、硬度下降而塑韧性提高,二次再结晶后材料的强度、塑韧性都会下降。

5. ①可形成较大的浓度梯度;② γ -Fe 中含碳量增加则扩散系数增加;③高温下随温度升高,扩散系数增加,所以选择高温。但温度过高会使奥氏体晶粒显著长大。

四、相图略。

1. P: 碳在 α -Fe 中的最大溶解度。

S: 共析点。

E: 碳在 γ -Fe 中的最大溶解度。

C: 共晶点。

2. 包晶转变线 HJB $L_{0.53} + \delta_{0.09} \xrightarrow{1495^\circ\text{C}} \gamma_{0.17}$

共晶转变线 ECF $L_{4.3} \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} (\gamma_{2.11} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69})$

共析转变线 PSK $\gamma_{0.77} \xrightarrow{727^\circ\text{C}} (\alpha_{0.0218} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69})$

铁素体和渗碳体的两相混合物称为珠光体。奥氏体与渗碳体的机械混合物称为莱氏体。

3. 冷却曲线如图 37-3 所示。

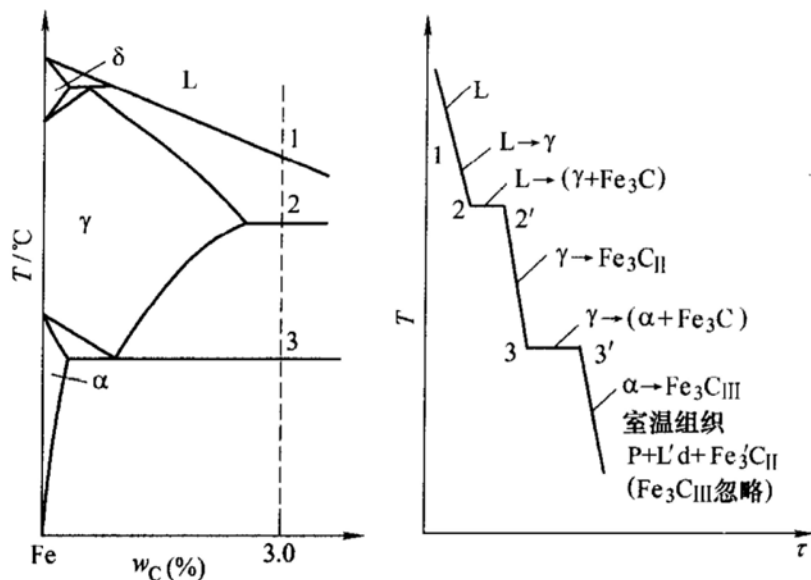


图 37-3 第四题第 3 小题解答图

含碳量为 3.0% 的亚共晶白口铁的结晶过程中，与相图上各条曲线从上往下依次交于 1、2、3 点（见图 37-3）。在 1—2 点之间按匀晶转变结晶出初晶（或先共晶）奥氏体，奥氏体的成分沿 JE 线变化，而液相的成分沿 ABC 线变化。当温度降至 2 点时，液相成分到达共晶点 C ，于恒温（1148°C）下发生共晶转变，即 $L_C \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} L_d (\gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}_F)$ ，形成莱氏体。当温度冷却到 2—3 点温度区间时，从初晶奥氏体和共晶奥氏体中析出二次渗碳体。随着二次渗碳体的析出，奥氏体的成分沿着 ES 线不断降低，当温度到达 3 点（727°C）时，奥氏体的成分也到达了 S 点，于恒温下发生共析转变，即 $\gamma_S \xrightarrow{727^\circ\text{C}} P (\alpha_P + \text{Fe}_3\text{C}_K)$ ，所有的奥氏体都转变为珠光体。所以最终的组织为： $P + \text{Fe}_3\text{C}_{II} + L'd$ 。

根据杠杆定律计算，该合金的组织组成物中，各占比例为：

$$L'd\% = L_C\% = \frac{E2}{EC} \times 100\% = \frac{3 - 2.11}{4.3 - 2.11} \times 100\% = 40.6\%$$

$$\gamma_E\% = (P + Fe_3C_{II})\% = \frac{2C}{EC} \times 100\% = \frac{4.3 - 3}{4.3 - 2.11} \times 100\% = 59.4\%$$

$$Fe_3C_{II}\% = \frac{2C}{EC} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 13.4\%$$

$$P\% = \gamma_E\% - Fe_3C_{II}\% = 59.4\% - 13.4\% = 46\%$$

该合金的相组成由(F + Fe₃C)组成,其各占的比例为:

$$F\% = \frac{3K}{PK} = \frac{6.69 - 3.0}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 55\%$$

$$Fe_3C\% = \frac{P3}{PK} = \frac{3.0 - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 45\%$$

五、

1. 见图 37-4。

2. 作辅助线:如图 37-5 所示,延长 AX,交 EE₁ 线于 O 点,交 BC 线于 P 点;延长 EO 与 AB 交于 F 点,连接 B、X 与 AC 交于 M 点,连接 C、X 与 AB 交于 N 点。

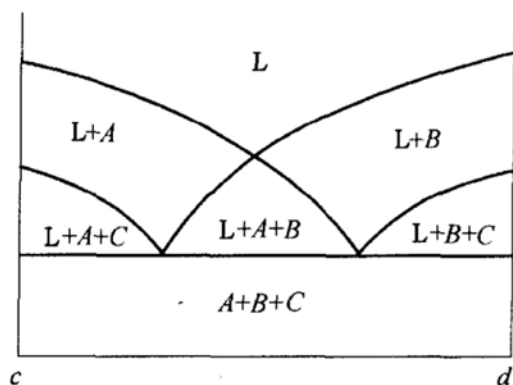


图 37-4 第五题第 1 小题解答图

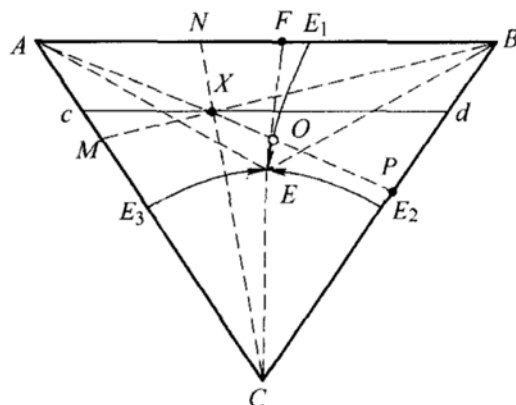


图 37-5 第五题第 2 小题解答图

合金 X 的结晶过程:随着温度的降低合金冷却至与液相面 AE₁EE₃ 相交,液相中开始结晶出 A 相,且液相成分沿 AX 延长线变化。随温度下降,液相不断减少, A 不断增加,但液相中 B 与 C 浓度比保持不变,当液相成分变到 E₁E 线上的 O 点时,开始发生三相共晶 L→A + B 反应。继续降温,液相成分沿 E₁E 变到 E 点时,发生四相共晶反应 L_E→A + B + C,液相全部耗尽,合金 X 的室温组织为:A_{初晶} + (A + B)_{共晶} + (A + B + C)_{共晶}。

组织相对含量: A_{初晶}% = OX/AO × 100%

$$(A + B)_{\text{共晶}} \% = OE/FE \times AX/AO \times 100\%$$

$$(A + B + C)_{\text{共晶}} \% = 1 - A_{\text{初晶}} \% - (A + B)_{\text{共晶}} \%$$

相的相对含量利用重心法则计算，具体步骤为：连接 AX 与 BC 交于 P 点，
即

$$A \% = PX/AP \times 100\%$$

$$B \% = MX/BM \times 100\%$$

$$C \% = NX/CN \times 100\%$$

试卷三十八

2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成形与控制

一、判断正误 (10 分)

要求：阅读下列各概念，判断其正确与错误。将判断结果分别以小标题形式列于答题纸上，对于判断为错误的概念还需写出错误概念的错误之处。

1. 层错是由于晶体点阵中局部存在多余的半原子面的结果。
2. 位错属于晶体缺陷，又属于线缺陷。
3. 通常晶体中原子的扩散激活能愈高，其扩散系数愈大，扩散速度愈快。
4. 具有不同晶体点阵的材料具有不同的滑移系，因此其可形变的倾向也不同。
5. 位错密度愈高，相应位错的柏氏矢量愈大。
6. 包晶转变是指由液相与一个固相相互作用，包覆原有固相形成的另一个新固相的转变。
7. 非平衡结晶是指在实际冷却条件下，合金以较大速度冷却，偏离平衡条件的结晶，在非平衡条件下匀晶转变后新得的固溶体内部的成分是不均匀的。
8. 金属凝固是通过固相形核和核长大两个过程进行的，在晶核长大过程中一般纯金属（如 Fe、Ni、Cu、Au 等）的液固界面均保持光滑状态。
9. 含碳量低于 Fe-C 相图中 S 点成分的钢，无论在何种成分及何种条件下均不可能获得完全的珠光体组织。
10. 晶体由于在不同方向上原子规则排列的紧密程度不同，导致原子间距和原子间的结合力不同，因而在不同方向上具有不同的性能。所以大多数金属及合金亦都表现出具有各向异性的特征。

二、选项 (12 分)

要求：在下列各题中从所给各答案中选出正确的项目；所选项目数量超出所设正确项目数量时，错选部分倒扣分；未超出所设正确答案数量时，只计正确选项分数，错选不扣分。将各题的选项分别用项目的字母列于答卷纸上。

1. 钢中的奥氏体：

- (1) 可表示为溶有碳原子的 γ -固溶体。

- (2) 可表示为溶有碳原子的 α -固溶体。
- (3) 无论在室温还是高温下均具有良好的可塑性。
- (4) 具有铁磁性。
- (5) 具有顺磁性。

2. 铁碳合金平衡相图:

- (1) 含有包晶转变。
- (2) 含有共晶转变。
- (3) 含有匀晶转变。
- (4) 含有包共晶转变。
- (5) 含有固溶体的脱溶析出转变。

3. 金属断裂的断口特征:

- (1) 脆性断裂的一种断口形式是穿晶解理。
- (2) 解理断口主要表现为河流状花样。
- (3) 依河流的走向可判断微区裂纹的扩展方向, 即河流的汇集方向为裂纹的扩展方向。
- (4) 有的材料其韧性断裂的断口则呈现为舌形花样。
- (5) 韧性断裂主要表现为沿晶韧窝断口形式。

4. 固态扩散:

- (1) 钢中铁原子的扩散属于自扩散, 与浓度梯度无关。
- (2) 钢中合金元素的扩散属于异扩散, 在不存在化学梯度时, 则与浓度梯度有关。
- (3) 扩散第一定律只适合于稳态扩散条件, 因此用其不能处理钢在渗碳过程中碳的扩散系数的准确测定。
- (4) 上坡扩散仅与扩散元素的化学梯度相关, 而与浓度梯度无关。
- (5) 位错的增殖是通过原子扩散运动实现的。

三、填空 (30 分)

要求: 将试题中各括号所应填写的内容按其字母顺序填写在试卷纸上。

1. 金属典型的晶体结构类型有 (1)、(2) 和 (3), 其配位数相应为 (4)、(5) 和 (6)。

2. 多晶体中的晶界有大角与小角晶界之分, 通常大角与小角晶界的鉴定角度是 (7), 其角度的含义是 (8)。对于小角晶界按其特征又划分为 (9)、(10) 和 (11) 等多种类型。

3. 当过冷液体中出现一个晶胚时, 总的自由能变化 ΔG 可写为 (12), 当 $d\Delta G/dr = 0$ 时, 所得的 “ r ” 值称为 (13), 其大小决定于 (14) 和 (15)。“ r ” 变小意味着形核率会 (16)。

4. 根据相律, 三元系最大平衡相数为 (17), 此时自由度 (18), 在相图上表现为 (19)。

5. 刃位错在滑移面上的运动称为 (20), 作垂直滑移面的运动称为 (21)。然而, 螺位错则不能进行 (22) 运动。

6. 面心立方金属的滑移面通常是 (23), 滑移方向是 (24), 可组成 (25) 个滑移系。

7. 扩散第一定律只适合于 (26) 条件, 第一定律所表达的基本含义是: 在 (27) 的条件下, 只要浓度梯度存在就会有扩散发生, 而且扩散通量与浓度梯度成 (28) 变化。扩散流动方向是由 (29) 浓度向 (30) 浓度。

四、简答题 (20 分)

从以下 3 题中任选两题回答, 多选则按回答顺序计前两题的分数。

1. 分析材料发生塑性变形的机制及表现形式?
2. 何谓成分过冷? 成分过冷对晶体生长形态有何影响?
3. 何为孪晶与退火孪晶? 解释其各自的形成机制。

五、分析与讨论 (30 分)

1. 分析三元共晶投影图的绘制方法, 试利用三元共晶投影图, 以任意一亚共晶成分的三元系合金为例分析其结晶过程, 并说明每一阶段所得结晶组织含量的计算方法。(20 分)

2. 试从结合键的角度讨论金属较无机非金属通常表现出较高的塑性或延展性的原因。(10 分)

六、相图建立 (20 分)

1. 试以图示说明用自由焓-成分曲线绘制二元匀晶相图的步骤, 并说明其依据。

2. 绘制一个 BCC 晶胞, 并于其中标示出下列晶向: $[001]$ 、 $[010]$ 、 $[210]$ 、 $[101]$ 及任意两个非平行的滑移面及其上的任意两个不同的滑移方向。

七、识图分析与计算 (30 分)

图 38-1 为锡青铜 (铜-锡二元合金) 的平衡状态图。

1. 结合此图所示, 识别其中有几个包晶转变、几个共晶转变、几个共析转变? 几种类型的固溶体? 并举例说明各是何种类型的固溶体?

2. 分析含锡为 20% (Wt.) 的锡青铜的平衡结晶及其在随后的冷却至室温的过程中各经历了哪几种相的转变? 其室温下的平衡组织是什么? 并绘制其组织示意图 (标示出其中的基本组成物的名称)、计算组织中的基本组成相的含量各是多少? (图中虚线所示为不同快冷条件下的非平衡转变示意图曲线, 与本题要求无关。)

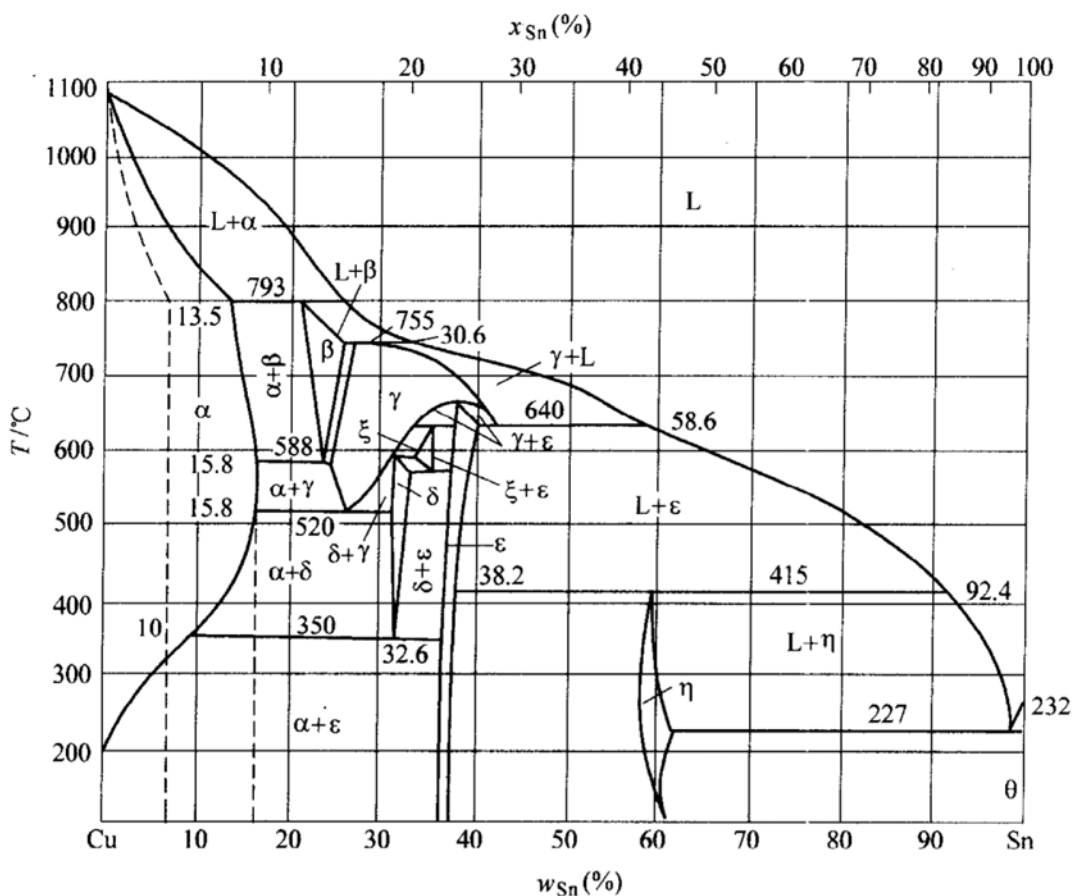


图 38-1 第七题图

标准答案

一、1. ×; 2. √; 3. ×; 4. √; 5. ×; 6. √; 7. √; 8. ×; 9. ×; 10. ×。

二、

1. (1) (3) (5)。

2. (1) (2) (3) (5)。

3. (2) (3) (5)。

4. (1) (4) (5)。

三、

(1) FCC; (2) BCC; (3) HCP; (4) 12; (5) 8; (6) 12; (7) 10° ; (8) 相邻晶粒的位向差; (9) 扭转; (10) 倾侧; (11) 重合; (12) $\Delta G = V\Delta G_V + \sigma S$; (13) 临界晶核半径; (14) ΔG_V ; (15) σ ; (16) 增多; (17) 4; (18) 0; (19) 水平面; (20) 滑移; (21) 攀移; (22) 攀移; (23) $\{111\}$; (24) $\langle 110 \rangle$; (25) 12; (26) 稳态; (27) $\frac{dc}{dt} = 0$; (28) 正比; (29) 高; (30) 低。

四、

1. 材料发生塑性变形通常有三种方式, 具体如下:

(1) 滑移。晶体在切应力的作用下, 沿着滑移方向在滑移面上发生相对运动。其位错机制为: 由于晶体点阵结构的周期性, 当位错沿着滑移面运动时, 位错中心的能量也要发生周期性的变化, 从而使得位错运动遇到点阵阻力。但在实际晶体中, 一定温度下, 当位错线从能谷位置移向相邻能谷位置时, 并不是沿其全长同时越过能峰, 在热激活能的帮助下, 可以部分先越过, 同时位错线形成位错扭折, 那么随后位错的运动, 借助于扭折位错线会很容易地向旁边侧运动, 结果使得整个位错线滑移所需的应力下降许多。

滑移过程中, 除点阵阻力外, 位错与位错的交互作用产生的阻力, 位错运动交割后形成的扭折和割阶, 位错与其他晶体缺陷交互作用产生的阻力, 均会产生阻力, 导致晶体滑移时还会产生晶体强化现象。

(2) 孪生。是晶体在不能滑移时进行的一种塑性变形方式。它也是晶体在切应力的作用下, 沿着孪生方向和孪生面发生相对运动。与滑移不同之处在于孪生是一种均匀切变, 而且孪晶的两部分晶体形成镜面对称。

其位错机制在于晶体中一个不全位错滑动后, 使得相互平行并且相邻晶面发生层错而产生孪晶。

(3) 扭折。当晶体既不能滑移也不能进行孪生时, 可以以扭折的方式进行塑变。其特点是扭折晶体的取向发生了不对称性的变化。位错机制是指在塑变过程中, 其他区域位错运动过程中, 同号刃型位错堆积在一起, 位错的汇集处产生了弯曲应力, 使得晶体点阵发生弯曲和扭折从而产生扭折区。

2. 成分过冷是指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个方面的因素决定的。这种因液相成分变化而形成的过冷称为成分过冷。其特点是在界面处合金熔点最低, 过冷度最小, 随着 S/L 界面距离增大, 过冷度反而增大, 至一定距离后因溶质堆积的边界层消失, 过冷区随之消失。

产生成分过冷后, 即使是正温度梯度下, 结晶时也会以胞状晶的方式长大, 当过冷度再大时, 会产生树枝状生长晶体。

3. 孪晶是指两个晶体 (或一个晶体的两部分) 沿一个公共晶面构成镜面对称的位向关系, 这两部分晶体就叫做孪晶。孪晶依据其形成方式分为三种: 变形孪晶 (机械孪晶)、生长孪晶和退火孪晶。

退火孪晶是孪晶中的一种, 它是指在某些面心立方金属, 如 Cu、Ni 及镍合金、奥氏体钢等, 在冷变形并再结晶退火后, 在晶粒内部会形成具有平直界面的片状孪晶, 这些孪晶的界面是 $\{111\}$ 面。由于它们是在退火后才出现的, 因而

叫做退火孪晶。

孪晶的生成是由于孪生变形时,整个孪晶区发生均匀切变,其各层晶面的相对位移借助于一个不全位错运动造成的。以面心立方晶体为例,当形成孪晶时需要产生堆垛层错。例如面心立方晶体是以 $\{111\}$ 面按 $ABCABC\cdots$ 的顺序堆垛而成的,可用 $\triangle\triangle\triangle\triangle\triangle\cdots$ 表示,如果从某一层开始,其堆垛顺序发生颠倒,成为 $ABCACBACBA\cdots$,即 $\triangle\triangle\triangle\nabla\nabla\nabla\nabla\cdots$,则上下两部分晶体就构成了镜面对称的孪晶关系。可以看出 $\cdots CAC$ 处相当于堆垛层错,接着就按倒过来的顺序堆垛,仍属正常的 FCC 堆垛顺序,但与出现层错之前的那部分晶体顺序刚好相反,故形成对称关系。而这个过程是借助于一个不全位错(肖克莱不全位错)运动造成的。

五、

1.

(1) 以固态下互不固溶三元合金为例,如图 38-2 所示:

①首先作出浓度三角形 ABC ;

②选取空间图上各个特殊点: E 、 e_1 、 e_2 、 e_3 , 在成分三角形上作出投影;

③连接 e_1E 、 e_2E 、 e_3E 三条液相变温线, 交点 E 则为三相共晶点;

④由此可确定出各个面的投影, 即: 液相面为 Ae_1Ee_3A 、 Be_1Ee_2B 、 Ce_2Ee_3C ;

三相共晶开始面分别为 Aee_1A 、 Bee_1B , Aee_3A 、 Cee_3C , Cee_2C 、 Bee_2B , ABC 为四相平衡平面。

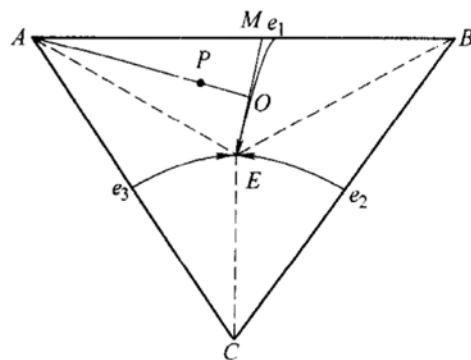


图 38-2 第五题第 1 小题解答图

由此作出了一个完整的投影图。

(2) 以合金成分 P 为例分析:合金冷却到与液相面 Ae_1Ee_3A 相交时,析出初晶 A ,此时进入两相区,液相成分沿 AP 延长线变化,随温度下降,液相不断减少, A 不断增加,当液相成分变到 e_1E 线上的 O 点时,开始发生三相共晶 $L \rightarrow A + B$ 反应。继续降温,液相成分沿 e_1E 线变到 E 点,发生四相共晶反应: $L_E \rightarrow A + B + C$,液相全部耗尽。室温组织最终为: $A_{\text{初晶}} + (A + B)_{\text{共晶}} + (A + B + C)_{\text{共晶}}$ 。

组织计算:

在两相区时,液体与 A 两相平衡,因此当液体成分到达 O 点时,初晶的量达到最大,可得到 $A\% = OP/OA \times 100\%$, 其余为剩余液相,也即三相共晶与二相共晶的总量。

继续冷却时,起始液体成分为 O 点,在三相区进行相变,当液体最终消失时,成分点为三相共晶点 E ,那么,二相共晶成分点应在 OE 线的延长线上,同

时二相共晶为 $(A + B)$ ，因此，该合金成分点又应在 AB 线内，由此，确定出二相共晶点应为 OE 与 AB 的交点 M 。

所以 $(A + B)\% = OE/ME \times (1 - OP/OA) \times 100\%$

$(A + B + C)\% = OM/ME \times (1 - OP/OA) \times 100\%$

2. 金属材料的结合以金属键为主，过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合，无机非金属材料结合的主要方式为离子键和共价键。金属键的特点是电子共有化，自由电子可在整个晶体中运动，因此该键无饱和性和方向性。由于无饱和性和方向性，因而每个原子有可能和更多的原子相结合，并趋于形成低能量的密堆结构。当金属受力变形而改变原子之间的相互位置时不至于使金属键破坏，这就使金属具有良好的延展性。

离子键是以离子为结合单元，其中的结合是依靠正负离子静电吸引力，结合力较强，因此很难产生自由运动的电子。而共价键是由两个或多个电负性相差不大的原子通过共用电子对而形成的化学键，各个键之间都有确定的方位，配位数比较小，结合牢固，相邻原子间的共用电子对不能自由运动，具有方向性和饱和性，因此一般而言塑、韧性差。

六、

1. 如图 38-3 所示，作图步骤如下：

①建立不同温度下的各相的自由焓-成分曲线。

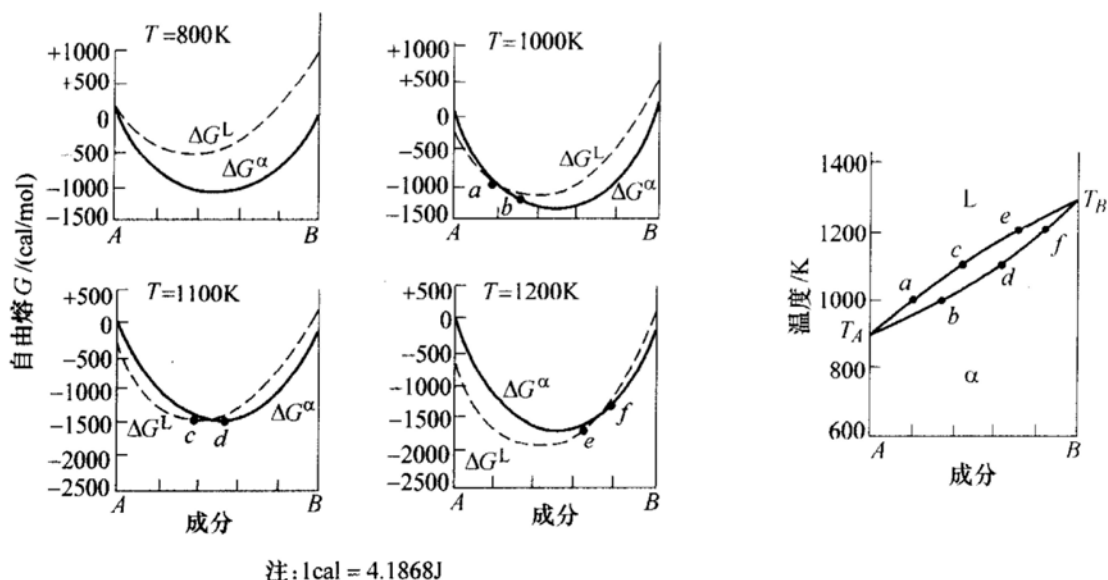


图 38-3 第六题第 1 小题解答图

②利用公切线法则在每组曲线上找出各相稳定存在的成分区间和二平衡相成分点。

③将不同温度下所得的二平衡相成分点 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 标注到温度—成分坐标系中。

④将意义相同的成分点连接起来，就形成了一个相图。

其中， ace 为液相成分点构成液相线，其上方为液相区， bdf 为固相成分点构成固相线，其下方为 α 固溶体区， ace 与 bdf 之间为液固共存的二相区。

2. 见图 38-4。

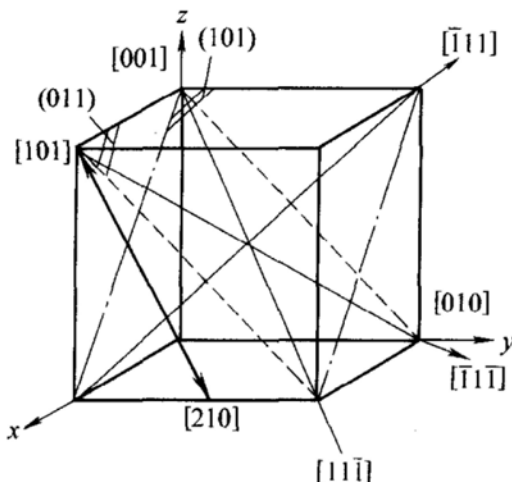


图 38-4 第六题第 2 小题解答图

七、

1.

包晶转变： $\alpha + L \xrightarrow{793^\circ\text{C}} \beta$; $\beta + L \xrightarrow{755^\circ\text{C}} \gamma$; $\epsilon + L \xrightarrow{415^\circ\text{C}} \eta$

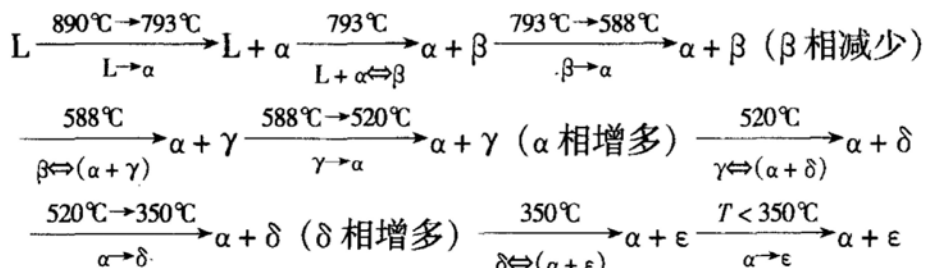
共晶转变： $L \xrightarrow{227^\circ\text{C}} \theta + \eta$

共析转变： $\beta \xrightarrow{588^\circ\text{C}} \alpha + \gamma$; $\zeta \xrightarrow{582^\circ\text{C}} \delta + \epsilon$

$\gamma \xrightarrow{520^\circ\text{C}} \alpha + \delta$; $\delta \xrightarrow{350^\circ\text{C}} \alpha + \epsilon$

相图中有两大类型的固溶体，其中有以纯金属为基的第一类固溶体，例如： α 、 θ 等，还有以化合物为基的第二类固溶体，例如 $\gamma(\text{Cu}_3\text{Sn})$ 、 $\delta(\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8)$ 等。

2. 成分为 20% (Wt.) 的锡青铜在平衡结晶过程中先后发生匀晶反应、包晶反应以及不同温度下的共析反应等，具体平衡结晶过程如下所示：



所以，最终组织为 $(\alpha + \epsilon)$ 。其中，相组成物相对含量：

$$\alpha\% = \frac{38.2 - 20}{38.2} \times 100\% = 47.64\% \quad \epsilon\% = 1 - \alpha\% = 52.36\%$$

试卷三十九

2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成形与控制、材料物理与化学

一、名词解释 (8×3 分 = 24 分) 要求：将答案写在答题纸上

1. 配位数
2. 柏氏矢量
3. 离异共晶
4. 反应扩散
5. 临界分切应力
6. 中间相
7. 平衡分配系数
8. 固溶强化

二、填空 (30×1 分 = 30 分) 要求：将答案按题号顺序写在答题纸上

1. 金属典型的晶体结构类型有 fcc、bcc 和 hcp，其配位数相应为 (1)、(2) 和 (3)。

2. 置换固溶体的溶解度与原子尺寸因素、(4)、电子浓度因素和 (5) 有关。

3. 当过冷液体中出现一个半径为 r 的球形晶胚时，其临界晶核半径为 (6)，临界形核功为 (7)。 r^* 变小意味着形核数目 (8)。

4. 固溶体合金结晶过程中遵循形核和核长大规律，但它不同于纯金属的是形核时还额外需要 (9) 起伏，它也是在 (10) 过程中进行的，同时在结晶过程中还始终伴随着 (11) 的扩散。

5. 晶体长大方式与 (12) 有关，而晶体长大形态与 (13) 有关，同时也与界面前沿的 (14) 分布有关。

6. 单晶体在发生塑性变形时，常见的方式有 (15)、(16) 和 (17)。

7. 动态回复与动态再结晶是指在高温下进行形变，即变形过程中 (18) 同时进行。

8. 扩散第一定律适用于稳态扩散，其数学表达式可写成 (19)，扩散通量的符号为负，表示扩散由高浓度向低浓度方向进行，在此过程中扩散的驱动力是 (20)。

9. 冷变形后，再结晶后晶粒度大小的控制与 (21)、原始晶粒尺寸、(22) 和杂质等有关。

10. 如图 39-1 所示有一位错环，其中 A

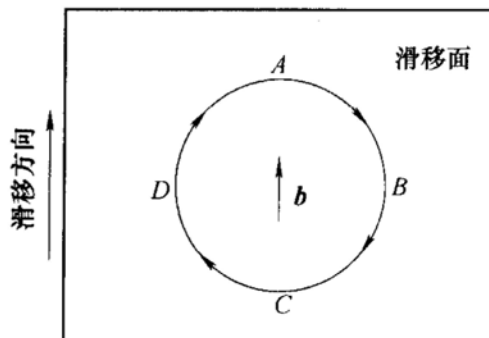


图 39-1 第二题第 10 小题图

点位错的性质为 (23), 它可作的运动为 (24), B 点位错的性质为 (25), 它可作的运动为 (26)。

11. 根据相律, 三元系自由度为零时, 在相图上表现为 (27), 最大平衡相数为 (28)。

12. 晶体在外力作用下内部运动着的位错会产生交截现象, 即产生割阶与扭折, 其长度与相交截位错的 (29) 相同, 而如果割阶的滑移与主位错线的滑移不一致, 主位错线会拖曳割阶产生攀移运动, 从而产生 (30)。

三、简答题 (6×10 分 = 60 分)

1. 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。

2. 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? 两者在凝固过程中的异同点有哪些?

3. 从材料塑性变形的机制来论述细晶强化理论。

4. 再结晶、重结晶和二次再结晶三者在概念上有何区别?

5. 室温下对铅板进行弯折, 越弯越硬, 而隔一段时间后再行弯折, 铅板又像最初一样软, 为什么? 试说明该现象。

6. 为什么金属晶体在滑移过程中总是沿着滑移面和滑移方向进行?

四、默画 Fe-Fe₃C 相图, 填写相区, 并回答: (30 分)

1. 奥氏体、铁素体、渗碳体各为何种结构?

2. 分别由亚共析钢和过共析钢制成的两个试样, 经组织分析确认其珠光体量约为 80%, 试确定两种钢含碳量, 并回答两种钢中共析渗碳体量是否相等, 为什么?

3. 分析共晶白口铁的结晶过程, 并用杠杆定理计算变态莱氏体中组织组成物的相对含量。

五、图 39-2 所示成分三角形中, 确定用 10kg P 成分合金与 10kg S 成分合金熔化混合后的合金 M 的成分, 并在图中标出 M 。(6 分)

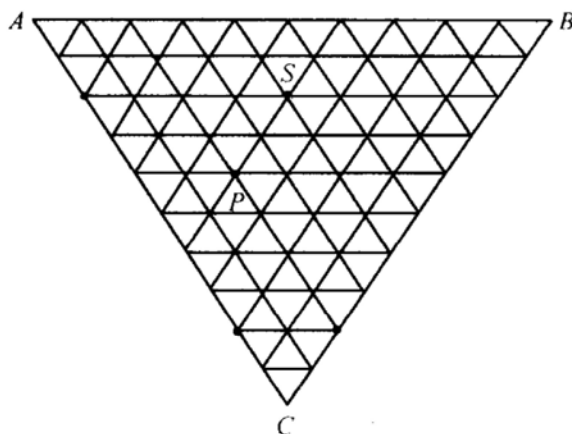


图 39-2 第五题图

标 准 答 案

一、

1. 配位数：是反映原子排列紧密程度的物理量之一，指晶格中任一原子周围与其最近邻且等距离的原子数目。一般配位数越大，晶体排列结构越致密。

2. 柏氏矢量：用来描述位错引起晶格畸变的物理量。该矢量的模是位错的强度，表示晶格总畸变的大小，其方向表示晶格总畸变的方向。一般情况下，该矢量越大，晶体畸变的程度越大。

3. 离异共晶：成分点靠近共晶转变线两端的亚共晶和过共晶合金，结晶后组织中初晶量多，共晶体数量少，而且共晶体中与初晶相同的一相与初晶结合在一起，将共晶体中另一相推至晶界，造成的共晶体两相分离的非平衡组织。

4. 反应扩散：在固态扩散的过程中，如果渗入元素在金属中溶解度有限，随着扩散原子增多，当渗入原子的浓度超过饱和溶解度时则形成不同于原相的固溶体或中间相，从而使金属表层分为出现新相和不出现新相的两层，这种通过扩散而形成新相的过程称为反应扩散。

5. 临界分切应力：晶体中的某个滑移系是否发生滑移，决定于力在滑移面内沿滑移方向上的分切应力大小，当分切应力达到某一临界值时，滑移才能开始，此应力即为临界分切应力，它是使滑移系开动的最小分切应力。材料的临界分切应力取决于材料的本身性质，但和温度以及材料的纯度等也有关系。

6. 中间相：指合金组元间相互作用，当超过固溶体的固溶极限时可形成晶格结构和特性完全不同于任一组元的具有金属特性的新相。由于在相图中往往处于中间部位，因此又称为中间相。

7. 平衡分配系数：固溶体合金在结晶过程中具有选分结晶的特点。因此在一定温度下平衡时，固相成分与液相成分之比称为平衡分配系数。该参数反映了溶质在固液两相中的分配系数及溶质对合金熔点的影响程度。

8. 固溶强化：当形成固溶体后，溶剂晶格中因溶有溶质原子而产生晶格畸变，溶质原子的应力场会与位错产生交互作用而阻碍位错运动，增大了位错运动的阻力，使得临界分切应力远比纯金属大，滑移系开动比纯金属困难，使材料的塑性变形抗力提高，硬度、强度上升，而塑性、韧性下降的现象称为固溶强化。

二、 (1) 12; (2) 8; (3) 12; (4) 电负性因素; (5) 晶体结构因素; (6) $-\frac{2\sigma}{\Delta G_V}$; (7) $\frac{1}{3}\sigma_s = \frac{16\pi\sigma^3}{3\Delta G_V^2}$; (8) 增多; (9) 成分; (10) 变温; (11) 异质原子 (溶质原子); (12) 界面结构; (13) 界面结构; (14) 温度梯度; (15) 滑移; (16) 孪生; (17) 扭折; (18) 形变硬化与软化; (19) $J = -Ddc/dx$; (20) 化学位梯度 (化学

力); (21) 冷变形度; (22) 再结晶温度; (23) 刃型位错; (24) 滑移和攀移; (25) 螺型位错; (26) 滑移; (27) 平面; (28) 4; (29) 柏氏矢量的模; (30) 割阶硬化。

三、

1. 由 $r^* = \frac{2\sigma}{\Delta G_V}$, 得球形核胚的临界形核功

$$\Delta G_b^* = -\frac{4}{3}\pi\left(\frac{2\sigma}{\Delta G_V}\right)^3 \Delta G_V + 4\pi\left(\frac{2\sigma}{\Delta G_V}\right)^3 \sigma = \frac{16\pi\sigma^3}{3\Delta G_V^2}$$

边长为 a 的立方晶核的临界边长 $a^* = \frac{4\sigma}{\Delta G_V}$, 则其临界形核功

$$\Delta G_t^* = -\left(\frac{4\sigma}{\Delta G_V}\right)^3 \Delta G_V + 6\left(\frac{4\sigma}{\Delta G_V}\right)^2 \sigma = \frac{32\sigma^3}{\Delta G_V^2}$$

将两式相比较

$$\frac{\Delta G_b^*}{\Delta G_t^*} = \frac{\pi}{6} \approx \frac{1}{2}$$

可见, 形成球形晶核的临界形核功仅为形成立方形晶核的 $\frac{1}{2}$ 。

2. 纯金属在结晶时其界面是粗糙的, 在正温度梯度下进行长大。由于晶体长大时通过固相模壁散热, 固液界面是等温的。若取得动态过冷度界面就向前移动。如果界面局部有小的凸起伸向过热的液相中, 小凸起将被熔化, 故界面一直保持平直; 晶体以平面状长大。

固溶体结晶时会出现成分过冷, 在固液界面前出现成分过冷区。此时界面如有任一小的凸起它将伸入成分过冷区而获得过冷就能继续生长下去, 故界面不能保持平直稳定会出现树枝晶。

3. 材料的强化理论中, 细晶强化是唯一的既可提高材料强度, 又可提高材料韧性的方法。具体解释如下:

由于晶粒细小, 可供塞积位错的滑移面较短, 塞积位错的数目较少, 由位错塞积引起的应力集中分散于各个晶粒中, 使其屈服强度升高。另一方面, 由于晶粒细小, 在相同的外力作用下, 处于滑移有利方向的晶粒数较多, 应力分散在各晶粒中, 即使在受到大的塑性变形时, 仍然保持其较好的性能而不致开裂, 从而提高材料的韧性。

综上所述, 细晶强化可以提高材料的综合力学性能。

4. 重结晶——指在固态情况下, 物质由一种结构转变成另一种结构, 即同素异构反应。

再结晶——将冷压力加工以后的金属加热到一定温度后, 在变形的组织中重新产生新的无畸变的等轴晶粒, 性能恢复到冷压力加工前的软化状态的过程。

二次再结晶——指再结晶退火后的金属在更高温度或更长时间的保温下，会有极少数晶粒迅速吞并其他晶粒而长大，结果整个金属由少数比再结晶后晶粒大几十倍至几百倍的特大晶粒所组成的现象。

三者的区别与联系：重结晶发生相变过程，再结晶和二次再结晶没有相变过程；重结晶和再结晶是形核与长大的过程；二次再结晶只是长大过程；发生重结晶的驱动力为新旧两相自由能差，再结晶为储存能，二次再结晶为界面能；再结晶后强度、硬度下降而塑、韧性提高，二次再结晶后材料的强度、塑性、韧性都会下降。

5. 室温下，对铅板进行弯折，越弯越硬的原因是发生了加工硬化，从而使铅板的强度、硬度提高。放置一段时间后，由于铅板的熔点较低，在室温下又发生再结晶软化，从而其硬度又下降。

6. 金属晶体滑移是位错运动的结果，而位错运动中主要受到晶体点阵的阻力。在晶体中，原子排列越密的晶面之间的面间距越大，原子排列越紧密的方向原子间距越小，这样位错沿着滑移面和滑移方向滑移时，所受的滑动阻力最小，因此金属晶体在滑移过程中总是沿着滑移面和滑移方向进行。

四、相图略。

1. 奥氏体：碳在 γ -Fe 中的间隙式固溶体，为面心立方结构。

渗碳体：铁和碳形成的间隙式化合物，属于正交系。

铁素体：碳在 α -Fe 中的间隙式固溶体，体心立方结构。

2. 相等。因为共析渗碳体只存在于珠光体中，而珠光体量相等，因此两种钢中共析渗碳体量是相等的。

设亚共析钢含碳量为 $x\%$ ，过共析钢含碳量为 $y\%$ ，则

$$\frac{x - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \% = 80\% \quad x = 0.62\%$$

$$\frac{6.69 - y}{6.69 - 0.77} \% = 80\% \quad y = 1.95\%$$

3. 室温组织为 $P + Fe_3C_{共晶} + Fe_3C_{II}$ ，其中

$$Fe_3C_{共晶} \% = \frac{EC}{EF} = \frac{4.3 - 2.11}{6.69 - 2.11} \times 100\% = 47.82\%$$

$$Fe_3C_{II} \% = \frac{CFSE}{EF SK} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69 - 2.11} \times \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 11.81\%$$

$$P \% = 1 - Fe_3C_{共晶} \% - Fe_3C_{II} \% = 40.37\%$$

五、 M 点位于 P 、 S 两点连线的中点，如图 39-3 所示。所以， M 点中 A 的含量为 40%， B 的含量为 30%， C 的含量为 30%。

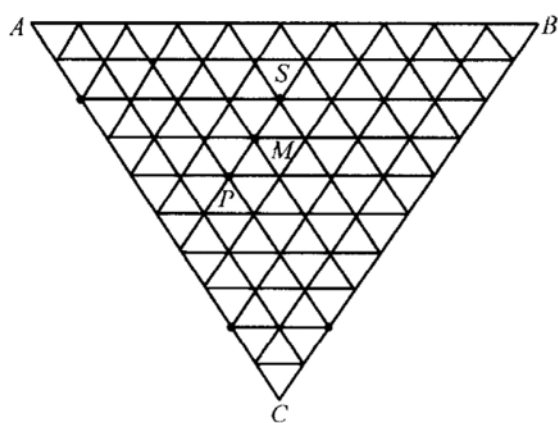


图 39-3 第五题解答图

试 卷 四 十

2006 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料控制与成形、材料物理与化学

一、填空 (15×1 分)

1. 置换固溶体的溶解度与原子尺寸因素、(1)、电子浓度因素和 (2) 有关。
2. 当过冷液体中出现一个半径为 r 的晶胚时, 所得的临界晶核半径大小为 (3)。 r^* 变小意味着形核数目 (4), 晶核均匀形核依靠 (5) 提供 $r > r^*$ 的原子小集团充当晶核, 依靠 (6) 提供相当于界面能 (7) 的形核功。
3. 固溶体合金结晶过程中遵循形核和核长大规律, 但它不同于纯金属的是形核时还额外需要 (8) 起伏, 它也是在 (9) 过程中进行的, 同时在结晶过程中还始终伴随着 (10) 的扩散。
4. 金属塑性变形过程中发生孪生后, 孪晶面两边的晶体位向呈现 (11), 并且晶体是 (12) 切变的。

5. 冷塑变金属低温回复时, 主要是 (13), 高温回复时, 主要是发生 (14)。

6. 动态回复与动态再结晶是指在变形过程中 (15) 同时进行。

二、名词解释 (5×3 分)

1. 相 2. 固溶体 3. 反应扩散 4. 成分过冷 5. 枝晶偏析

三、简答题 (任选六题回答, 6×10 分)

1. 图 40-1 绘出了三类材料——金属、离子晶体和高分子材料之能量与距离关系曲线, 试指出它们各代表何种材料? 并说明三种材料所具有的基本性能与原子键之间的关系。

2. 画出三种典型晶胞结构示意图, 写出其表示符号, 晶胞中的原子数、配位数以及致密度的具体值。

3. 如图 40-2 所示的晶体中, $ABCD$ 滑移面中央有一个位错环, 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) 在图中表示出使位错环向外运动所需

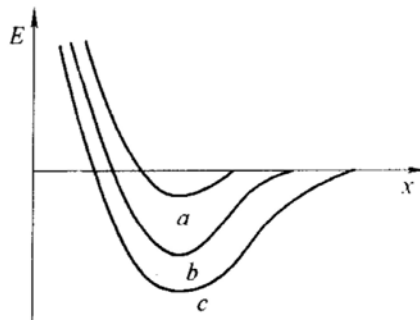


图 40-1 第三题第 1 小题图

施加的切应力方向。

(3) 该位错环运动出晶体后, 晶体外形如何变化?

4. 简述纯金属晶体长大的机制及其与固/液界面微观结构的关系。

5. 依据反应温度由高到低, 依次写出 Fe-Fe₃C 合金系中三相平衡反应的反应式, 并分别说明 Fe₃C_I、Fe₃C_{II}、Fe₃C_{III}、Fe₃C_{共析}和 Fe₃C_{共晶}的来源及形貌特征。

6. 说明第一类和第二类回火脆性的异同点。

7. 简述马氏体高硬度的本质原因。(答出其中三点即可)

8. 试述影响扩散系数的主要因素?

9. 试分析冷变形量对再结晶晶粒尺寸的影响。

10. 根据凝固理论, 试述细化晶粒的基本途径与基本原理。

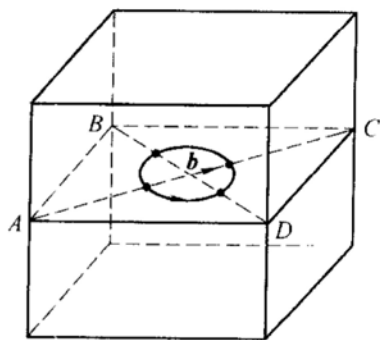


图 40-2 第三题第 3 小题图

四、相图分析 (20 分)

二元合金相图如图 40-3 所示。

1. 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。

2. Al 为 fcc 结构, 图中的 α 相为何种晶体结构?

3. 计算出亚共晶合金在温度为 T_E (共晶反应前) 时的平衡分配系数。

4. 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 Cu 组元的含量是多少?

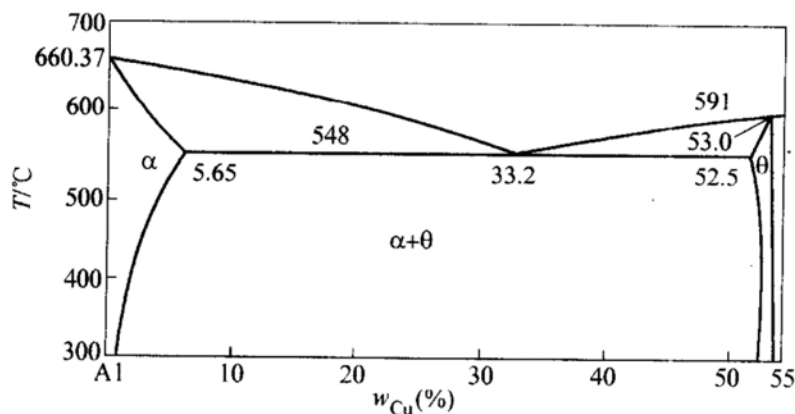


图 40-3 第四题图

五、计算 (10 分)

有一 70MPa 应力作用在 FCC 晶体的 $[001]$ 方向上, 求作用在 $(111)[10\bar{1}]$ 和 $(1\bar{1}1)[110]$ 滑移系上的分切应力, 晶体中哪个滑移系先开动?

六、论述 (30 分)

1. 分析加工硬化、细晶强化、固溶强化与第二相强化在本质上有什么异同。
2. 说明金属在冷变形、回复、再结晶及晶粒长大各阶段晶体缺陷的行为与表现以及材料相应的性能，并说明各阶段促使这些晶体缺陷运动的驱动力是什么。

标 准 答 案

一、(1) 电负性因素；(2) 晶体结构因素；(3) $\frac{-2\sigma}{\Delta G_v}$ ；(4) 增多；(5) 结构起伏；(6) 能量起伏；(7) $1/3$ ；(8) 成分；(9) 变温；(10) 异类原子；(11) 对称关系；(12) 均匀；(13) 点缺陷的消失；(14) 多边形化；(15) 软化与形变硬化。

二、

1. 相：合金中具有同一聚集状态、同一晶体结构、成分基本相同，并有明确界面与其他部分相分开的均匀组成部分。

2. 固溶体：指以合金某一组元为溶剂，在其晶格中溶入其他组元原子（溶质）后所形成的一种合金相，其特征是仍保持溶剂晶格类型，结点上或间隙中含有其他组元原子。

3. 反应扩散：在固态扩散的过程中，如果渗入元素在金属中溶解度有限，随着扩散原子增多，当渗入原子的浓度超过饱和溶解度时则形成不同于原相的固溶体或中间相，从而使金属表层分为出现新相和不出现新相的两层，这种通过扩散而形成新相的过程称为反应扩散。

4. 成分过冷：固溶体合金凝固时，由于液相中溶质的分布发生变化，合金熔点也发生变化，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。所以固溶体合金的过冷度是由变化着的合金的熔点与实际温度分布两个方面的因素共同决定的。这种因液相成分变化而形成的过冷称为成分过冷。

5. 枝晶偏析：是材料的一种微观偏析，即固溶体在非平衡冷却条件下，匀晶转变后新得的固溶体晶粒内部的成分是不均匀的，先结晶的内核含较多的高熔点的组元原子，后结晶的外缘含较多的低熔点的组元原子，而通常固溶体晶体以树枝晶方式长大，这样，枝干含高熔点组元较多，枝间含低熔点组元原子多，造成同一晶粒内部成分的不均匀现象。

三、

1. a ：高分子材料； b ：金属材料； c ：离子晶体。

2. 略。

3.

(1) 如图 40-4a 所示， C' 点为负刃位错， A' 点为正刃位错， B' 点为左螺

位错, D' 点为右螺位错。其他各点处为混合型位错。

(2) 如图 40-4a 所示, 在晶体的上下底面施加一对平行于柏氏矢量的切应力, 且下底面内的切应力与柏氏矢量同向平行。

(3) 如图 40-4b 所示, 滑移面下部晶体相对于上部晶体产生与柏氏矢量相同的滑移, 并在晶体侧表面形成相应台阶。

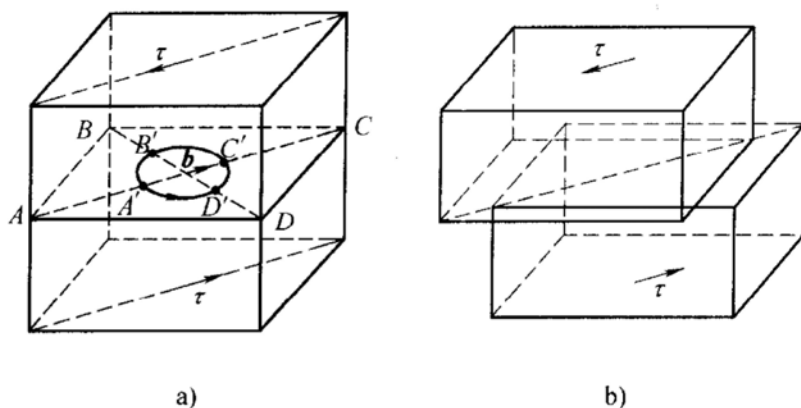
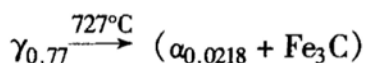
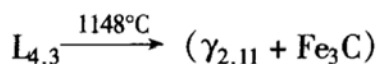
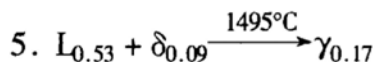


图 40-4 第三题第 3 小题解答图

4. 纯金属晶体的液固界面一般为粗糙界面,

因此对于纯金属晶体, 在长大过程中, 往往是按照粗糙界面的垂直长大方式长大, 由于界面上有近 50% 的位置是空缺的, 液相原子的添加不受位置的限制, 因此有利于原子连续的填充, 从而使得液固界面沿法线方向迅速长大。



$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{I}}$: 来源于液相, 是白色长条状。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$: 来源于奥氏体脱溶反应, 一般沿晶界呈网状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$: 来源于铁素体脱溶反应, 一般沿晶界呈网状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共析}}$: 共析产物珠光体中的渗碳体, 一般情况下为层片状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{共晶}}$: 共晶产物莱氏体中的渗碳体, 一般情况下作为基体存在。

6. 在 $250 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 间回火时出现的脆性叫低温回火脆性, 也称第一类回火脆性; 在 $450 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 间回火时出现的脆性称高温回火脆性, 也称第二类回火脆性。第一类回火脆性为不可逆的回火脆性; 第二类回火脆性为可逆的。第一类回火脆性是由于马氏体分解时沿马氏体条或片的界面析出断续的薄壳状碳化物, 降低了晶界的断裂强度, 使之成为裂纹扩展的路径, 因而导致脆性断裂; 第二类回火脆性产生的原因是 Sb、Sn、P、As 等杂质元素在回火处理时向原奥氏体晶界偏聚, 减弱了奥氏体晶界上原子间的结合力, 降低晶界断裂强度, 是产生第二类回火脆性的主要原因。

7. 马氏体高强度、高硬度的原因是多方面的:

① 马氏体的晶体结构为体心正方, 不具备位错易动的密排滑移面, 因而位错

不易滑移。

②铁素体通常只含 0.03% 的碳原子，而马氏体中的含碳量和材料本身的含碳量相同，因此马氏体中有大量过饱和的碳原子，固溶强化是马氏体硬度高的主要机制之一。

③不论是板条状马氏体的板条还是片状马氏体的条片都很细小，晶界强化机制也起很大作用。

④马氏体转变时，在晶体内部造成晶格缺陷密度很高的亚结构，板条状马氏体的高密度位错网、片状马氏体的微细孪晶都将阻碍位错运动，从而通过相变引起强化。

⑤马氏体形成后，碳及合金元素的原子向位错或其他晶体缺陷处扩散偏聚或析出，钉扎位错，使位错难以运动，通过时效强化提高马氏体的硬度、强度。

8.

①温度的影响。温度越高，扩散越快。

②晶体结构的影响。结构不同，扩散系数不同。

③固溶体类型对扩散的影响。不同的固溶体，原子的扩散和机制不同。

④固溶体浓度对扩散的影响。浓度越大，扩散越容易。

⑤晶体缺陷的影响。晶界、位错、空位都会对扩散产生影响。

⑥化学成分对扩散的影响。加入化学元素对扩散会产生阻碍。

9. 当冷变形度小于临界变形度时，再结晶后晶粒基本保持冷变形前的状态，因储存能很少，实际上再结晶并没有进行，因此冷变形量与再结晶晶粒的尺寸无关；当冷变形度增大至临界变形度时，冷变形储存能足以驱动再结晶的进行，但因整体变形度小且不均匀，只有少数变形度大的地方能够形成晶核并长大，此时因 $G \gg N$ ，仅有少数晶核形成又迅速长大，故再结晶后晶粒达到最大；超过临界变形度后，冷变形量与再结晶晶粒的尺寸成反比，当变形度达到一定的数量时，晶粒尺寸基本不变。

10.

(1) 提高过冷度。晶粒大小取决于形核率和核长大速度的相对关系。当过冷度很大时，会出现形核率的增长速度大于核长大的速度，因此提高过冷度使 $N > G$ ，并使两者差距增大，晶粒才会被细化。

(2) 变质处理。即在浇注前向金属液中添加变质剂，以促进非均匀形核增加晶核数量来细化晶粒。

(3) 振动、搅拌。振动和搅拌能向液体中输入额外能量以提供形核功，促进形核，另一方面能使已结晶的晶体在液流冲击下而碎化，增加核心的数量。

四、

1. 5.5% Cu 合金, 平衡结晶时为 $\alpha + \theta_{II}$, 非平衡时除此外还出现共晶相 $\alpha + \theta$; 5.8% Cu 合金, 平衡结晶时为 $\alpha + (\alpha + \theta)$, 非平衡时出现明显的离异共晶特点: $\alpha + \theta$ 。

2. FCC 结构。

$$3. k = \frac{5.65}{33.2} = 0.176$$

$$4. \frac{33.2 - x}{33.2 - 5.65} \times 100\% = 80\%, \quad x = 11.32\%。$$

五、代入公式计算:

$$\tau = \sigma \cos \varphi \cos \lambda$$

其中

$$\cos \lambda = \frac{|au + bv + cw|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{|ah + bk + cl|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

(其中, abc 分别为外力的晶向指数值)

对于 $(1\bar{1}1) [110]$ 滑移系, 由于 $\cos \lambda = 0$, 所以该滑移系在应力作用下不滑移。

对于 $(111) [10\bar{1}]$ 滑移系, 代入数值, 则

$$\tau = 70 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 28.58 \text{ MPa}$$

所以 $(111) [10\bar{1}]$ 滑移系开动, 其上的分切应力为 28.58 MPa。

六、

1.

相同点: 都是位错运动受阻, 增加了位错滑动的阻力, 使得材料得到强化。

不同点: ①加工硬化: 位错塞积、林位错阻力和形成割阶消耗外力所做的功为其可能机制; ②细晶强化: 增加了晶界, 增加了位错塞积的范围; ③固溶强化: 溶质原子沿位错聚集并钉扎位错; ④第二相强化: 分散的强化相颗粒迫使位错切过或绕过强化相颗粒而额外做功都是分散相强化的位错机制。

2.

(1) 冷变形: 晶体缺陷包括点缺陷、线缺陷、面缺陷均大量增加, 出现加工硬化现象、物化性能相应变活泼; 驱动力为外界所加的分切应力。

(2) 回复: 线缺陷基本不变, 点缺陷明显减少, 力学性能不变, 相应改变物化性能; 驱动力为储存能。

(3) 再结晶: 线缺陷明显变少, 材料出现软化现象; 驱动力为储存能。

(4) 晶粒长大: 面缺陷明显变少; 驱动力为总界面自由能。

西安理工大学

试 卷 二 十 二

2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成型与控制、材料物理与化学

一、(每小题 10 分, 共 80 分) 简答题(下述 10 题中任选 8 道题回答)

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、(共 14 分) 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 22-1 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？

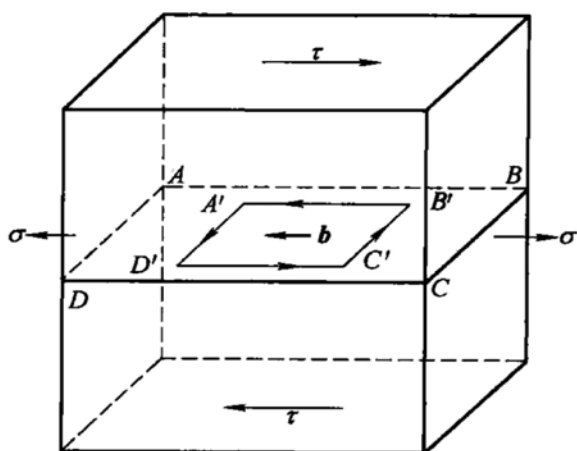


图 22-1 第二题图

三、(共 20 分) 在图 22-2 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。

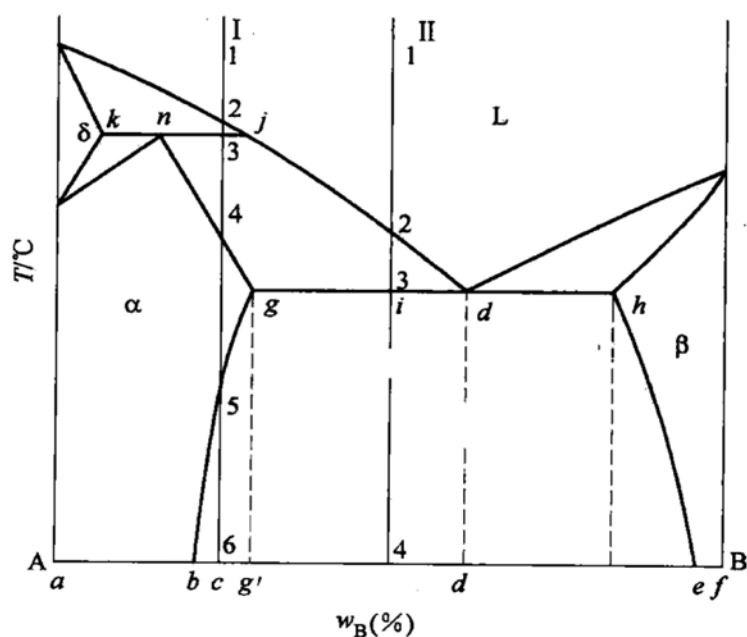


图 22-2 第三题图

四、(每小题 18 分, 共 36 分) 论述题

1. 在面心立方晶体中:

(1) 分别画出 (101) $[10\bar{1}]$ 、 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ $[\bar{1}10]$ 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 22-3 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 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。

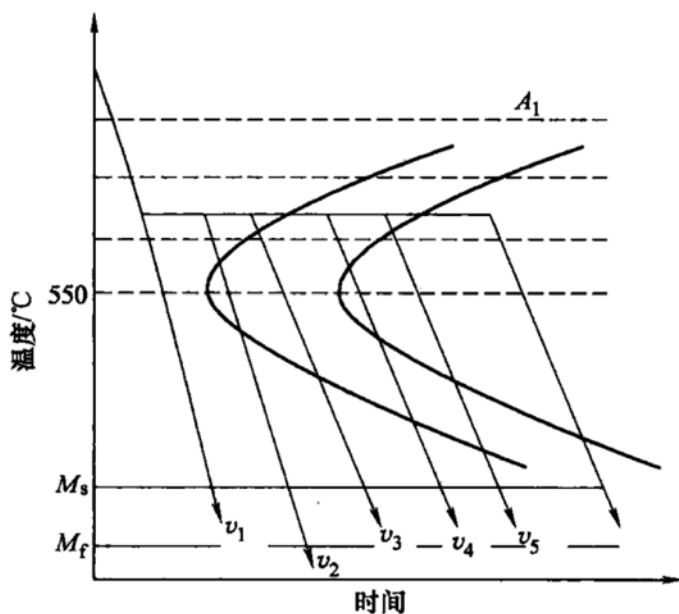


图 22-3 第四题第 2 小题图

标准答案

一、

1. 各种键的特点如表 22-1 所示。

表 22-1 四种化合价键的主要特点

类型	作用力来源	键强	形成晶体的力学性能特点
离子键	正负离子间的库仑引力	最强	硬度高, 强度大, 脆性大
共价键	相邻原子价电子各处于相反的自选状态, 原子核间的库仑引力	强	硬度高, 强度大, 脆性大
金属键	自由电子气与正离子之间的库仑引力	较强	塑性变形能力好, 强韧性高
二次键	原子与分子间由诱导或永久电偶极子相互作用而产生	弱	硬度低, 塑性、韧性好

金属键由于没有方向性和饱和性, 对原子也没有选择性, 在受外力作用下原子发生相对移动时, 金属正离子仍处于电子气的包围中, 金属键不会受到破坏, 因此金属能够经受变形而不断裂, 具有较好的塑性变形性能。

2. 晶体结构是指自然界中由原子、分子、离子与空间点阵结合而成, 实际存在的固体结构。而空间点阵是指阵点在空间呈规律分布, 并且每个阵点都具有完全相同的物质环境和几何环境。这样, 自然界中的晶体可以抽象为七大晶系 14 种布拉菲点阵。晶体结构相同的物质, 其空间点阵可能不同; 同样的空间点阵不同的物质, 其晶体结构也可能相同。

密排六方不是空间点阵, 原因是不满足几何环境相同的条件。

3. Ni 的晶体结构为面心立方结构, 故其晶格常数和致密度分别为

$$a = 2\sqrt{2} \cdot r = 2\sqrt{2} \times 0.1243\text{nm} = 0.35\text{nm}$$

$$K = 0.74$$

4. 形成一个晶核时, 体系的自由能变化为: $\Delta G = V \cdot \Delta G_v + \sigma \cdot S$ 。

当晶核为球形时, 将 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, $S = 4\pi r^2$ 代入, 令 $\frac{d(\Delta G)}{dr} = 0$, 求出 $r^* =$

$$-\frac{2\sigma}{\Delta G_v}$$

5. 含 Ni50% 的铸件固态下偏析严重, 因为固态时的成分偏析是由于固溶体合金凝固过程中存在溶质分配现象造成的。含 Ni50% 的铸件在凝固过程中溶质变化的浓度差值大, 而且凝固过程中经过温度变化的区间也大, 这些都会造成溶质分配的不均匀程度增加, 因此凝固后铸件的偏析越严重。

6. 结晶——指物质由液态变为晶体固态的相变过程。

重结晶——指在固态情况下, 物质由一种结构转变成另一种结构, 即同素异构反应。

再结晶——将冷压力加工以后的金属加热到一定温度后, 在变形的组织中重新产生新的无畸变的等轴晶粒, 性能恢复到冷加工前的软化状态的过程。

三者的区别与联系：结晶发生相变，重结晶发生固态相变过程，再结晶没有。但它们全部都有形核与核长大的过程。结晶发生的驱动力是液固两相的界面能差，重结晶的驱动力为新旧两相的自由能差，而再结晶为储存能。再结晶后强度硬度下降而塑性和韧性提高，重结晶后材料的强度、塑性、韧性都会改善。

7. 金属经冷塑性变形后，各种缺陷明显增加，在随后的不同热处理阶段又会发生不同的变化：

在低温回复阶段，冷变形后所产生的大量空位，通过空位迁移至表面或晶界、空位与间隙原子重新重合、空位与位错发生交互作用、空位聚集成空位片等方式，使得空位等点缺陷数量急剧减少。这时材料的电阻减小，达到接近冷变形前的状态，但力学性能基本不变。

在中温回复阶段，主要表现为位错的滑移，导致位错的重新结合，异号位错的汇聚而抵消以及亚晶的长大。这时对应材料的第一类应力消除，金属构件的尺寸稳定；第二类应力基本消除，抗应力腐蚀能力提高，但力学性能仍然变化不明显。

在高温回复阶段，位错不仅可以滑移同时也发生攀移，使得多层滑移面上的位错密度趋于相同，各位错之间的作用力使得同一滑移面上的位错分布均匀，间距大体相等，形成规则排列的垂直于滑移面的位错墙，即形成小角度晶界，它将原晶粒分隔成若干个亚晶粒。这时材料的物理、化学性能完全恢复到塑性变形前，力学性能稍有变化，强度有所降低，塑性稍有提高。

8. γ -Fe 即奥氏体中溶碳量最大可达到 2.11%，而 α -Fe 仅能溶解 0.0218% 碳，形成的浓度梯度小，扩散系数也小；另外由于 γ -Fe 为高温相， D 值大，所以在 γ -Fe 中渗碳。

若不在该区内进行处理，将很难达到渗碳的目的。

9. 奥氏体：C 溶解在 γ -Fe 中的固溶体。

形成过程：奥氏体生核，长大，残余渗碳体溶解，奥氏体均匀化。

影响晶粒长大的因素：加热温度、保温时间、加热速度、含碳量、合金元素、冶炼方法、原始组织等。

10. (1) 低温回火。温度：150 ~ 250℃；组织：回火 M ($F + \varepsilon$ -碳化物)；性能：残余应力消除，高硬度 + 高强度，较低的塑性和韧性。

(2) 中温回火。温度：350 ~ 500℃；组织：回火 T ($F +$ 极细粒状渗碳体)；性能：较高的屈服强度，高弹性极限，较好的塑性和韧性。

(3) 高温回火。温度 500 ~ 650℃；组织：回火 S ($F +$ 细粒状渗碳体)；性能：高的塑性和韧性，较低的屈服强度和硬度。

二、

1. 由位错线和 b 之间的关系，可以判断： $\overline{A'B'}$ 是右螺型位错， $\overline{C'D'}$ 是左螺型

位错, $\overline{B'C'}$ 是正刃型位错, $\overline{D'A'}$ 是负刃型位错。

2. 在 τ 的作用下, 位错环下部分晶体将沿 b 的方向运动, 上部分晶体则反向运动。这样将导致位错环的各边向环的外侧运动, 从而导致位错环的扩大。当位错环滑动出晶体后, 晶体的上下部分将会沿 b 的方向产生一个 $|b|$ 大小的台阶。

3. 在 σ 的作用下, 位错环中最终 $\overline{B'C'}$ 沿垂直滑移面向下运动, $\overline{D'A'}$ 沿垂直滑移面向上运动, 位错的半原子面将扩大, 而 $\overline{A'B'}$ 和 $\overline{C'D'}$ 两条螺型位错不会产生攀移, 故不动。当位错环滑动出晶体后, 晶体的形状不变, 但沿 b 方向的厚度增加。

三、

1. 高温区水平线为包晶线, 包晶反应为: $L_j + \delta_k \rightarrow \alpha_n$

中温区水平线为共晶线, 共晶反应为: $L_d \rightarrow \alpha_g + \beta_h$

2. 各区域组织组成物见图 22-4。

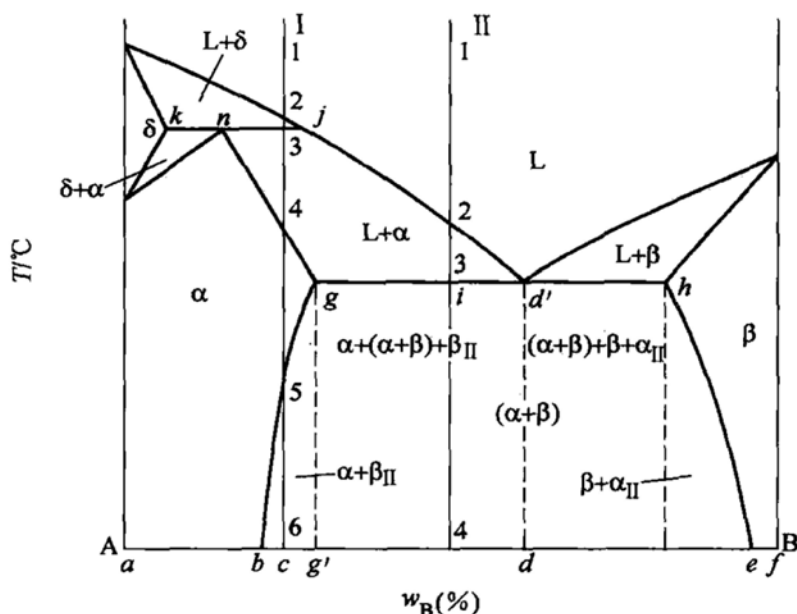


图 22-4 第三题第 2 小题解答图

3. I 合金的冷区曲线和结晶过程如图 22-5 所示。

1~2, 均匀的液相 L。

2~3, 匀晶转变, $L \rightarrow \delta$, 不断结晶出 δ 相。

3~3', 发生包晶反应 $L + \delta \rightarrow \alpha$ 。

3'~4, 剩余液相继续结晶为 α , 凝固完成, 全部为 α 。

4~5, 为单一 α 相, 无变化。

5~6, 发生脱溶转变, $\alpha \rightarrow \beta_{II}$, 室温下的组织为 $\alpha + \beta_{II}$ 。

I 合金在 T_3 温度时的平衡分配系数为

$$K = \frac{C_s}{C_L} = \frac{\overline{ag'} - \overline{kj}}{\overline{ag'}}$$

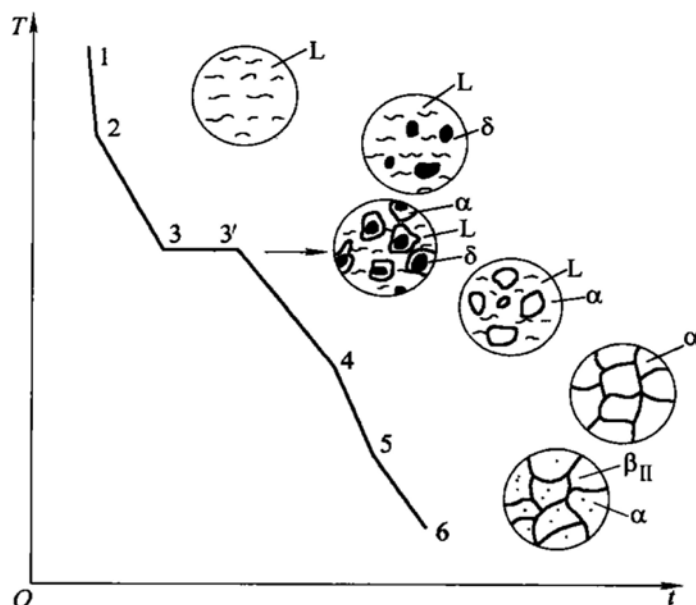


图 22-5 第三题第 3 小题解答图

4. 合金 I 室温时组织组成物为: $\alpha + \beta_{II}$ 。合金 II 室温时组织组成物为: $\alpha + (\alpha + \beta) + \beta_{II}$ 。其组织组成物的相对含量表示如下:

合金 I

$$w_{\alpha} = \frac{\overline{ec}}{\overline{eb}} \times 100\%$$

$$w_{\beta_{II}} = \frac{\overline{cb}}{\overline{eb}} \times 100\%$$

合金 II

$$w_{\alpha} = \frac{\overline{d'i}}{\overline{d'g}} \times 100\% - w_{\beta_{II}}$$

$$w_{(\alpha+\beta)_{共}} = \frac{\overline{ig}}{\overline{d'g}} \times 100\%$$

$$w_{\beta_{II}} = \frac{\overline{bg'}}{\overline{be}} \times \frac{\overline{d'i}}{\overline{d'g}} \times 100\%$$

四、

1.

(1) 如图 22-6 所示, 可作滑移面的为 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 和 (111) , 滑移方向为 $[\bar{1}10]$ 和 $[0\bar{1}1]$, 它们可以构成两组滑移系。

(2) 若外力沿 $[001]$ 方向, 仅滑移系 $(111)[0\bar{1}1]$ 可以滑移, 其中

$$\lambda = 45^{\circ} \quad \cos \lambda = \cos 45^{\circ} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\cos \phi = \frac{|1 \times 0 + 1 \times 0 + 1 \times 1|}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\sigma = \frac{\tau}{\Omega} = \frac{0.64}{\cos\lambda \cdot \cos\phi} = 1.57 \text{ MPa}$$

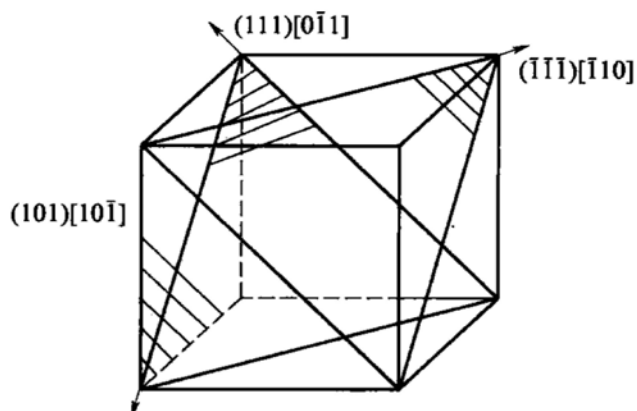


图 22-6 第四题第 1 小题解答图

2.

(1) v_1 : M + A_{残留}; v_2 : T + M; v_3 : S + T + M + A_{残留}; v_4 : S + T; v_5 : S; v_6 : S。

(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。

试 卷 二 十 三

2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程

一、(每小题 4 分, 共 20 分) 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、(每小题 10 分, 共 50 分) 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 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 合金系中三相平衡反应的反应式, 并分别说明 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{III}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{共析}$ 和 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{共晶}$ 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°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。

三、(15 分) 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、(共 25 分) 相图分析

某固溶体合金的相图如图 23-1 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 $70\% \text{B}$, 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?

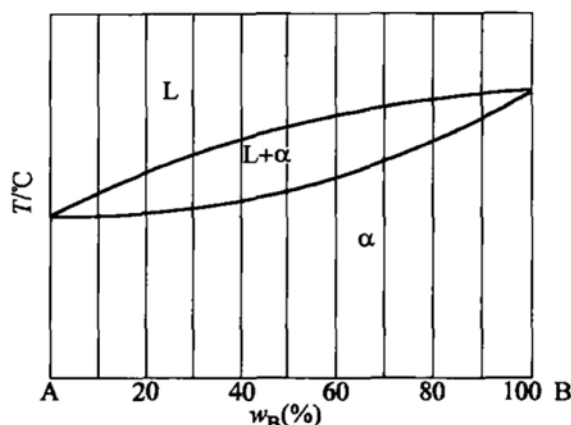


图 23-1 第四题图

五、(每小题 20 分, 共 40 分) 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。

标准答案

一、

1. 成分过冷: 固溶体合金凝固时, 由于液相中溶质的分布发生变化, 合金熔点也发生变化, 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。所以固溶体合金的过冷度是由变化着的合金的熔点与实际温度分布两个方面的因素共同决定的。这种因液相成分变化而形成的过冷称为成分过冷。

2. 中间相: 指合金组元间相互作用, 当超过固溶体的固溶极限时可形成晶格结构和特性完全不同于任一组元的具有金属特性的新相。由于在相图中往往处于中间部位, 因此又称为中间相。

3. 离异共晶: 成分点靠近共晶转变线两端的亚共晶和过共晶合金, 结晶后组织中初晶量多, 共晶体数量少, 而且共晶体中与初晶相同的一相与初晶结合在一起, 将共晶体中另一相推至晶界, 造成的共晶体两相分离的非平衡组织。

4. 反应扩散: 在固态扩散的过程中, 如果渗入元素在金属中溶解度有限,

随着扩散原子增多,当渗入原子的浓度超过溶解度时则形成不同于原相的固溶体或中间相,从而使金属表层分为出现新相和不出现新相的两层,这种通过扩散而形成新相的过程,称为反应扩散。

5. 动态再结晶:在金属塑性变形过程中发生的再结晶,即形变硬化与再结晶软化同时进行的过程。这样可以不断形成位错密度很低的新晶粒,得到的组织细小,综合力学性能好。

二、

1. 原子结合键共有四种,分别为:金属键、离子键、共价键和分子键。其各自特点如表 23-1 所示。

金属键由于没有方向性和饱和性,对原子也没有选择性,在受外力作用下原子发生相对移动时,金属正离子仍处于电子气的包围中,金属键不会受到破坏,因此金属能够经受变形而不断裂,具有较好的塑性变形性能。

表 23-1 原子结合键的异同点

类型	作用力来源	键强	形成晶体的力学性能特点
离子键	正负离子间的库仑引力	最强	硬度高,强度大,脆性大
共价键	相邻原子价电子各处于相反的自选状态,原子核间的库仑引力	强	硬度高,强度大,脆性大
金属键	自由电子气与正离子之间的库仑引力	较强	塑性变形能力好,强韧性高
分子键	原子与分子间由诱导或永久电偶极子相互作用而产生	弱	硬度低,塑性、韧性好

2. BCC 晶体的配位数为 8,致密度为 0.68,其中原子半径 r 与点阵常数 a 的关系式: $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ 。图 23-2 为体心立方的一组滑移系示意图。

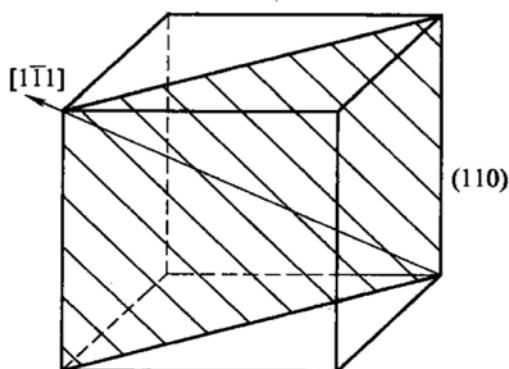
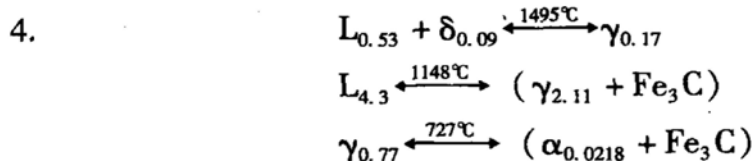


图 23-2 第二题第 2 小题解答图

3. 位错类型决定于位错线和柏氏矢量的相互关系,因此在晶体某平面中的同一个位错环上各点的位错类型有可能相同(纯刃型相同),也有可能不同(混

合型相反)。是。否。



$\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$: 来源于液相, 是白色长条状。

$\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$: 来源于奥氏体脱溶反应, 一般沿晶界呈网状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_\text{III}$: 来源于铁素体脱溶反应, 一般沿晶界呈网状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_\text{共析}$: 共析产物珠光体中的渗碳体, 一般情况下为层片状分布。

$\text{Fe}_3\text{C}_\text{共晶}$: 共晶产物莱氏体中的渗碳体, 一般情况下作为基体存在。

5. 低温回火: $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$; 组织: 回火 M ($\text{F} + \varepsilon\text{-碳化物}$); 性能: 残余应力消除, 高硬度 + 高强度, 较低的塑性和韧性。

中温回火: $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$; 组织: 回火 T ($\text{F} + \text{极细粒状渗碳体}$); 性能: 较高的屈服强度, 高弹性极限, 较好的塑性和韧性。

高温回火: $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$; 组织: 回火 S ($\text{F} + \text{细粒状渗碳体}$); 性能: 高的塑性和韧性, 较低的屈服强度和硬度。

6. 当冷变形度小于临界变形度时, 再结晶后晶粒基本保持冷变形前的状态, 因储存能很少, 实际上再结晶并没有进行, 因此冷变形量与再结晶晶粒的尺寸无关; 当冷变形度增大至临界变形度时, 冷变形储存能足以驱动再结晶的进行, 但因整体变形度小且不均匀, 只有少数变形度大的地方能够形成晶核并长大, 此时因 $G \gg N$, 仅有少数晶核形成又迅速长大, 故再结晶后晶粒达到最大; 超过临界变形度后, 冷变形量与再结晶晶粒的尺寸成反比, 当变形度达到一定的数量时, 晶粒尺寸基本不变。

7. 这是因为冷拔钢丝在吊起加热后的零件时, 与零件相接的部分温度较高, 发生了局部再结晶, 导致部分钢丝绳的硬度、强度下降而断裂。

三、

可能存在的滑移系有: $(111) [\bar{1}10]$ 、 $(111) [\bar{1}01]$ 、 $(111) [0\bar{1}1]$ 。

当拉伸轴方向为 $[001]$ 时, 滑移面上的 $(111) [1\bar{1}0]$ 不滑移, 其余两个滑移系为等效滑移系。可选择任一组数值代入公式计算:

$$\text{由 } \tau = \sigma \Omega = \frac{P}{A} \cdot \cos\lambda \cdot \cos\varphi \text{ 可知, } P = \frac{\tau A}{\cos\lambda \cos\varphi} = \frac{\tau \pi r^2}{\cos\lambda \cdot \cos\varphi}$$

$$\cos\lambda = \frac{|au + bv + cw|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \cdot \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}}$$

其中:

$$\cos\varphi = \frac{|ah + bk + cl|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

式中, ABC 分别为外力的晶向指数值。

代入数值, 计算得到: $P = 1.23\text{N}$

计算可知需要的拉伸力为 1.23N 。

四、

1. 过固体成分为 70% B 的位置作水平线, 交相图的液相线于一点, 该点所对的横坐标为此时液体的成分, 然后读出数值, 代入公式: $K_0 = \frac{C_\alpha}{C_L}$, 算出数值即可。

2. 利用杠杆定理计算:

液体所占的比例 $= \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L} = \frac{80 - 50}{80 - 40} = 75\%$, 则固体为 $1 - 75\% = 25\%$ 。

3. 成分为 50% 的合金偏析更大, 这是因为固态时的成分偏析是由于固溶体合金凝固过程中存在溶质分配现象造成的。含 Ni50% 的铸件在凝固过程中溶质变化的浓度差值大, 而且凝固过程中经过温度变化的区间也大, 这些都会造成溶质分配的不均匀程度增加, 因此凝固后铸件的偏析越严重。

五、

1. 固溶体是指以合金某一组元为溶剂, 在其晶格中溶入其他组元原子 (溶质) 后所形成的一种合金相, 其特征是仍保持溶剂的晶格类型, 结点上或间隙中含有其他组元原子。

影响固溶度的原因有: 原子尺寸因素、电负性因素、电子浓度因素以及晶体结构因素。

与组成固溶体的纯组元相比, 固溶体的晶格类型不发生变化, 但点阵常数都会发生变化; 其硬度、强度升高, 而塑性、韧性相对下降, 但综合力学性能优于纯金属; 与纯金属相比, 固溶体的电阻率升高, 电阻温度系数减小, 而耐蚀性也下降。

2. 低碳钢试样拉伸过程中, 一些小尺寸的间隙原子, 如 C、H、O、N 等会聚集在位错线的下方, 形成柯氏气团, 对位错线有钉扎作用, 故形变材料要在较高的应力作用下位错线才能脱钉而开始运动, 这样在应力-应变曲线上产生了上屈服点, 即产生一段平台。当位错线脱钉时应力会突然下降, 于是出现上屈服点。一旦位错线挣脱了柯氏气团的钉扎, 就会在较低的应力下继续运动, 于是就出现下屈服点。

3. 马氏体具有高强度的原因是多方面的, 其中主要包括相变强化、固溶强化和时效强化等。

相变强化: 马氏体相变的切变性造成在晶体内产生大量的微观缺陷 (位错、孪晶以及层错), 使马氏体得到强化。

固溶强化：过冷奥氏体切变形成马氏体时，使得 α 相中的 C% 过饱和，C 原子位于 α 相扁八面体中心，C 原子溶入后形成以 C 原子为中心的畸变偶极应力场，这个应力场与位错产生强烈的交互作用，使马氏体的强度升高。

时效强化：溶质原子（C、N）偏聚到位错线处，钉扎位错使得马氏体的强度升高。

相界强化：M 板条、片尺寸小，界面增加，位错阻力增加，强度、硬度增加。

细晶强化：原始晶粒细小，M 尺寸小，强度、硬度增加。

化学成分：加入碳化物形成元素 Cr、W、Mo、V 等，降低扩散系数，反之亦然；加入 A 组元，使 B 组元熔点降低，则扩散系数提高，反之亦然。

试 卷 二 十 四

2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

考试科目：材料科学基础

适用专业：材料科学与工程、材料成型与控制、材料物理与化学

一、(每小题 12 分, 共 96 分) 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、(共 9 分) 计算题

已知纯铜的滑移系的临界切应力 τ_c 为 1 MPa, 问:

1. 要使 (111) 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?

三、(共 10 分) 如图 24-1 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 \mathbf{b} 平行于 \overrightarrow{AC} 。

1. 指出位错环各部分的位错类型。
2. 若柏氏矢量 \mathbf{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?

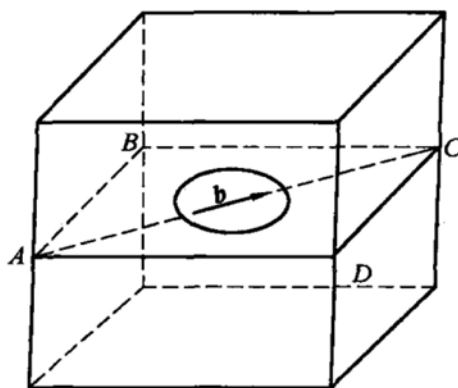


图 24-1 第三题图

四、(共 20 分) 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、(15 分) 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。

标准答案

一、

1. 不属于。原因略。它是面心立方点阵。

2. BCC 晶体的配位数为 8，致密度为 0.68，其中原子半径 r 与点阵常数 a 的关系式为： $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ 。图 24-2 为体心立方的一组滑移系示意图。

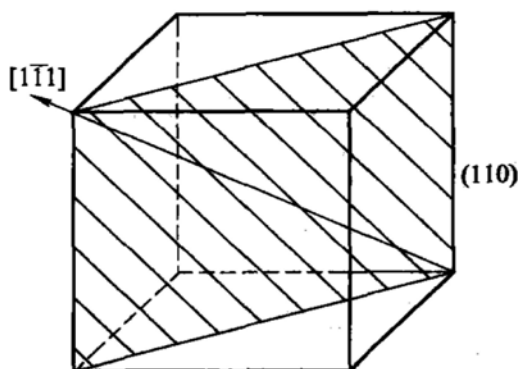


图 24-2 第一题第 2 小题解答图

3. 金属材料的化学键以金属键为主，陶瓷材料往往以离子键为主。相对于离子键中电子是一一对应的，金属键中自由电子围绕原子核自由运动，因此价键没有饱和性和方向性，当材料受力而发生相对位移时，电子移动对化学价键并没有破坏，因此金属材料较陶瓷材料具有较好的延展性。

4. 这段话前半句正确，后半句不正确。如果晶核半径不能达到临界晶核半径，即使得到的能量再多也不能形成晶体的晶核。

形成金属材料的晶核所需满足的条件：①尺寸条件应大于或等于临界晶核半径；②能量条件是大于或等于形核功；③要有一定的过冷度。

5. 影响金属材料生长形态的因素主要有：液固界面中固体的界面结构、液固界面前沿的液体中温度梯度的分布。

在相同温度梯度下，纯金属和固溶体结构的生长形态不一定相同。例如正温度梯度下，纯金属往往形成平面状的晶体形态，而固溶体由于选分结晶现象导致出现成分过冷现象，造成其晶体形态往往是树枝晶状态的。

6. 第一种是变形量不合适，达到临界变形量的尺寸；第二种工艺是由于变形量过大，等加热温度过高时出现二次再结晶导致晶粒尺寸过大。

影响再结晶晶粒度的因素：冷变形度、原始晶粒尺寸、退火温度、杂质及合金元素。

7. 固体材料将其晶粒细化后，会出现细晶强化的现象，即材料的强度、硬度、塑性、韧性同时提高。这是因为：由于晶粒细小，可供塞积位错的滑移面较短，塞积位错的数目较少，由位错塞积引起的应力集中分散于各个晶粒中，使其屈服强度升高。另一方面，由于晶粒细小，在相同的外力作用下，处于滑移有利方向的晶粒数较多，应力分散在各晶粒中，即使在受到大的塑性变形时，仍然保持其较好的性能，而不致开裂，从而提高材料的韧性。

对于金属铸件则不能采用再结晶的方法细化晶粒，这是因为：一方面再结晶过程需要在一定的形变基础上，由储存能提供一定的能量进行晶粒的重新形核、长大，铸件没有进行过形变。另一方面，由于再结晶温度过低，铸件也不可能通过再结晶相变细化晶粒。

8. γ -Fe 即奥氏体中溶碳量最大可达到 2.11%，而 α -Fe 仅能溶解 0.0218% 碳，形成的浓度梯度小，扩散系数小； γ -Fe 为高温相， D 值大，所以在 γ -Fe 中渗碳。 γ -Fe 相存在的温度高，这时原子的运动速度大，也会促进扩散的进行。因此渗碳往往选择在 γ -Fe 区进行。

若不在该区内进行处理，即使原子可以充分扩散，由于 α -Fe 最多仅能溶解 0.0218% 碳，这样渗碳层的碳浓度也会很低，达不到渗碳的目的。

9. 金属材料在塑性变形过程中，随着变形量的增加，强度和硬度不断上升，而塑性和韧性不断下降，这一现象称为“加工硬化”。该现象的原因是由于外力增加使得位错不断增殖，位错之间相互交结、反应使得位错的运动变得困难。该现象可以用再结晶退火处理消除加工硬化对后续加工带来的困难。

10. 低温回火：150 ~ 250℃；组织：回火 M ($F + \epsilon$ -碳化物)；性能：残余应力消除，高硬度 + 高强度，较低的塑性和韧性。

中温回火：350 ~ 500℃；组织：回火 T ($F +$ 极细粒状渗碳体)；性能：较高的屈服强度，高弹性极限，较好的塑性和韧性。

高温回火：500 ~ 650℃；组织：回火 S ($F +$ 细粒状渗碳体)；性能：高的塑性和韧性，较低的屈服强度和硬度。

二、

$$\text{因为：}\sigma = \frac{\tau}{\Omega} = \frac{\tau}{\cos\lambda \cdot \cos\phi}$$

两个滑移系无论是加多大的力都不能滑移，这是因为第一个滑移系中外力与滑移面垂直，第二个滑移系中外力与滑移方向垂直，因此无论是加多大的应力两个滑移系都不会开动。

三、如图 24-3 所示。

1. C' 点为负刃型位错， A' 点为正刃型位错， B' 点为左螺型位错， D' 点为右螺型位错。其他各点处为混合型位错。

2. 由于柏氏矢量与位错线全部垂直，则位错环上所有位错都为刃型位错。

3. 如图 24-3a 所示，在晶体的上下底面施加一对平行于柏氏矢量的切应力，且下底面内的切应力与柏氏矢量同向平行。（正确画出得 2 分）

4. 如图 24-3b 所示，滑移面下部晶体相对于上部晶体产生与柏氏矢量相同的滑移，并在晶体侧表面形成相应台阶。

四、

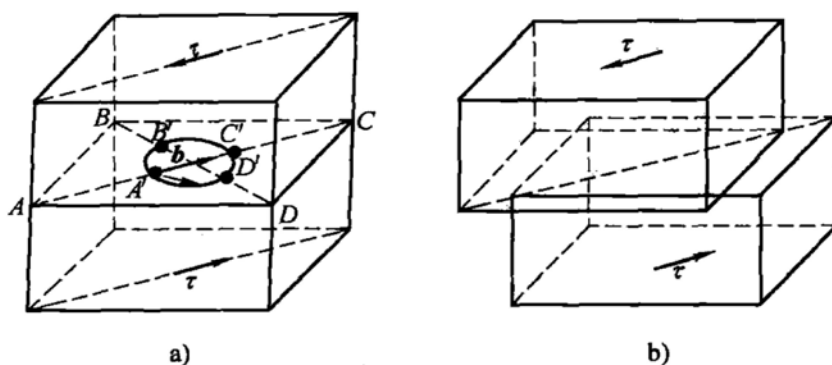


图 24-3 第三题解答图

1. 略

2. 不能, 因为珠光体只是钢中的一种组织, 亚共析钢和过共析钢的珠光体在组织中可以一致, 但碳含量却不一致。

3.
$$K_0 = \frac{C_s}{C_L} = \frac{0.0211}{0.043} = 0.49$$

平衡凝固得到奥氏体 + 莱氏体, 非平衡凝固得到伪共晶莱氏体组织。

4. 冷却过程分析略。

组织相对含量为:

$$w_P = \frac{6.69 - 1.8}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 82.6\%$$

$$w_{Fe_3C} = 17.4\%$$

相组成物的相对含量为:

$$w_F = \frac{6.69 - 1.8}{6.69 - 0.0218} \times 100\% = 73.3\%$$

$$w_{Fe_3C} = 26.7\%$$

五、如图 24-4 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 24-4a 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 24-4b 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。

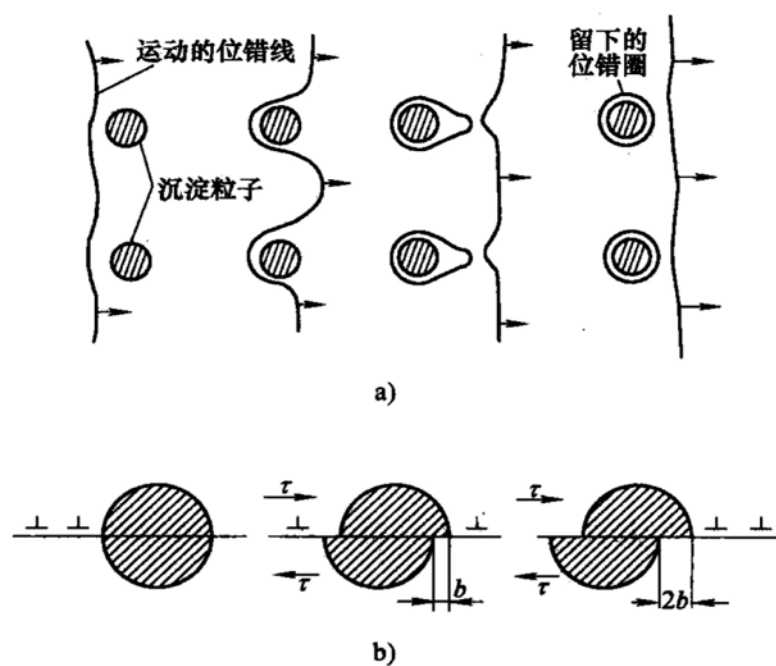


图 24-4 第五题解答图

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