

重庆大学 829 金属学与热处理考研真题答案



希望学弟学妹能够金榜题名，加油哈。有什么需要帮忙的可以联系我,姓名:杨国庆qq:783290523。本人将会尽力为大家解答的。如果答案中有什么不足之处，还希望你能告诉我，我们一起努力完善它。

2002 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

- 1.金属键:** 贡献出价电子的原子, 则变为正离子, 沉浸在电子云中, 他们依靠运动于其间的公有化的自由电子的静电作用而结合起来, 这种结合方式叫做金属键。
- 2.固溶体:** 合金的组元之间以不同比例相互混合后形成的固相, 其晶体结构与组成合金的某一组元的相同, 这种相就称为固溶体。
- 3.晶界:** 晶体结构相同但位向不同的晶粒之间的界面称为晶界。
- 4.结晶潜热:** 结晶时从液相转变为固相放出的热量。
- 5.变质处理:** 在浇铸前往液态中加入形核剂, 促进大量非均匀形核来细化晶粒的一种处理工艺。
- 6.滑移:** 晶体的一部分沿着一定的晶面和晶向相对于另一部分作相对的滑动, 引起晶体的塑性变形, 这种变形方式称为滑移。
- 7.马氏体转变:** 钢从高于临界温度的奥氏体状态, 快速冷却, 在较低温度下发生的无扩散型转变。
- 8.时效:** 金属或合金在大气温度下经过一段时间后, 由于过饱和固溶体脱溶和晶格沉淀而使强度逐渐升高的现象。
- 9.球化退火:** 使钢中的碳化物球化, 获得粒状珠光体的一种热处理工艺。
- 10.淬透性:** 指奥氏体化后的钢在淬火时获得马氏体的能力, 其大小用钢在一定条件下淬火获得的淬透层的深度表示, 主要取决于临界冷却速度。

二、1、原子尺寸因素: 尺寸差越小溶解度越大。

2、负电性因素: 在形成固溶体的情况下, 溶解度随负电性差的减小而增大。

3、电子浓度因素: 电子浓度越小, 越易形成无限固溶体。

4、晶体结构因素: 晶格类型相同溶解度较大。

三、答: 1. 液态金属的结晶必须在过冷的液体中进行, 液态金属的过冷度必须大于临界过冷度, 晶胚尺寸必须大于临界晶核半径 r_k 。前者提供形核的驱动力, 后者是形核的热力学条件所要求的。

2. r_k 值大小与晶核的表面能成正比, 与过冷度成反比。过冷度越大, 则 r_k 值越小, 形核率越大, 但是形核率有一极大值。如果表面能越大, 形核所需的过冷度也应越大。凡是能降低表面能的方法都能促进形核。

3. 均匀形核既需要结构起伏, 也需要能量起伏, 二者皆是液体本身存在的自然现象。

4. 晶核的形成过程是源自的扩散迁移过程, 因此结晶必须在一定的温度下进行。

5. 在工业生产中, 液体金属的凝固总是以非均匀形核方式进行。

四、在室温时 45 钢的组织组成物为先共析铁素体 α 和珠光体 P, 相组成物为铁素体 α + Fe_3C

组织组成物的含量: $w_\alpha = \frac{0.77 - 0.45}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 42.8\%$; $w_p = 1 - 42.8\% = 57.2\%$

相组成物的含量: $w_\alpha = \frac{6.69 - 0.45}{6.69} \times 100\% = 93.3\%$; $w_{Fe_3C} = 1 - w_\alpha = 6.7\%$

五、淬火加热温度的选择应以得到均匀细小的奥氏体晶粒为原则, 以便淬火后获得细小的马氏体组织。淬火温度主要根据钢的临界点确定, 亚共析钢通常加热至 Ac_3 以上 30—50°C; 共

析钢、过共析钢加热至 Ac_1 以上 30-50°C。亚共析钢淬火加热温度若在 $Ac_1 - Ac_3$ 之间, 淬火组

织除马氏体外，还保留一部分铁素体，使钢的硬度和强度降低。但淬火温度亦不能超过 Ac_3 点过高，以防奥氏体晶粒粗化，淬火后获得粗大的马氏体。对于低碳钢、低碳低合金钢，如果采用加热温度略低于 Ac_3 点的亚温淬火，获得铁素体+马氏体（5%-20%）双相组织，既可保证钢的一定强度，又可保证钢具备良好的塑性、韧性和冲压成形性。过共析钢的加热温度限定在 Ac_1 以上 30—50°C 是为了得到细小的奥氏体晶粒和保留少量渗碳体的质点，淬火后得到隐晶马氏体和其上均匀分布的粒状碳化物，从而不但可使钢具有更高的强度、硬度和耐磨性，而且也具有较好地韧性。如果过共析钢的淬火加热温度超过 Acm ，碳化物将全部溶入奥氏体中，使奥氏体的含碳量增加，降低钢的 M_s 和 M_f 点，淬火后残余奥氏体的量增多，会降低钢的硬度和耐磨性；淬火温度过高，奥氏体晶粒粗化、含碳量又高，淬火后易得到含有显微裂纹的粗片状马氏体，使钢的脆性增大；此外，高温加热淬火应力大、氧化脱碳严重，也增大钢件变形和开裂的倾向。

对于低合金钢，淬火温度亦应根据临界点 Ac_1 或 Ac_3 确定，考虑到合金元素的作用，为了加速奥氏体化，淬火温度可偏高些，一般为 Ac_1 或 Ac_3 以上 50—100°C。高合金工具钢含有较多的强碳化物形成元素，奥氏体粗化温度高，则可采取更高的淬火加热温度。含碳、锰量较高的本质粗晶粒钢则应采取较低的淬火温度，以防奥氏体晶粒粗化。

六、冷加工是在再结晶温度以下进行加工，冷加工使材料发生加工硬化。随着变形程度的增加，金属的强度、硬度增加而塑性、韧性下降，同时产生内应力。

热加工是在再结晶温度以上进行加工，热加工使材料发生动态再结晶，不产生加工硬化。热加工对组织和性能的影响：①把钢材加工成所需要的各种形状，如棒材、板材、线材等；②能明显的改善铸锭中的组织缺陷，如气泡焊合，缩松压实，使金属材料的致密度增加；③使粗大的柱状晶变细，合金钢中大块状碳化物初晶打碎并使其均匀分布；④减轻或消除成分偏析，均匀化学成分等。使材料的性能得到明显的改善。

七、马氏体的性能：一般说来高强度，高硬度，随含碳量的升高而增强，但是碳的含量达到 0.6% 时，硬度达到最大值。含碳量升高，残余奥氏体含量增加，硬度降低；塑性和韧性取决于亚结构，片状马氏体具有高强度、高硬度，特点硬而脆。板条马氏体比片状马氏体韧性好，具有较好性能。

马氏体的主要强化机制：1. 固溶强化：过饱和的碳在 α 相晶格中造成晶格的正方畸变，形成一个强烈的应力场，该应力场与位错发生强烈的交互作用，从而提高马氏体的强度。

2. 相变强化：马氏体转变时，在晶体内造成晶格缺陷密度很高的亚结构，使条状马氏体高密度的位错网、片状马氏体的微细孪晶都将阻碍位错的运动，从而使马氏体强化。

3. 时效强化：自回火马氏体形成以后，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，使位错难以移动，从而造成强化马氏体。

4. 细晶强化：无论板条或片状马氏体，都把母相奥氏体分割成更细小的区域，由于界面的增加，界面对位错有强烈的阻碍作用，造成了马氏体的硬化与强化。

2003 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1. 晶向（面）指数：为了研究和表述不同晶面（晶向）的原子排列情况及其在空间的位向，形成的一种方法。

2. 共格相界：指相界上的原子同时位于两相晶格的结点上，为两种晶格所共有。

3.非均匀形核: 因为有容器、固体杂质相成为晶胚形成晶核的依附点, 新相优先出现于液相中的这些区域的形核方式, 称为非均匀形核。

4.铁素体: 碳溶于 $\alpha-Fe$ 中的间隙固溶体, 为体心立方结构。

5.晶内偏析: 一个晶粒内部化学成分不均匀的现象称为晶内偏析。

6.回火脆性: 有些钢在一定的温度范围内回火时, 其冲击韧度显著下降, 这种脆化现象叫做钢的回火脆性。

7.变形织构: 当变形量很大时, 各晶粒的取向大致趋于一致, 从而破坏了多晶体中各晶粒取向的无序性, 这一现象称为晶粒的择优取向, 变形金属中的这种组织状态则称为变形织构。

8.灰铸铁的断面敏感性: 相同成分的铸铁液在同一次浇铸的过程中, 在不同厚度的断面上其力学性能存在差异的现象叫做灰铸铁的断面敏感性。

9.钢铁材料的缺口敏感性: 当有些材料表面若有刀痕、键槽、油口等缺口存在, 使有效截面减少, 易造成应力集中, 其力学性能降低。

10.黄铜及特殊黄铜: 以锌为主要合金元素(占第二位合金元素位置)的铜合金称为黄铜。在黄铜的基础上, 为了提高其力学性能或其他性能, 在加入第三种或三种以上的合金元素的铜合金叫做特殊黄铜。其中锌也占第二位。

二、(1)晶粒大小对金属的力学性能的影响:

常温下, 金属的强度和硬度往往随着金属晶粒的变细小而增强, 且塑性和韧性也比较好。但是, 对于在高温下工作的金属材料, 晶粒过于细小性能反而不好, 一般希望得到适中的晶粒度。对于制造电机和变压器的硅钢片来说, 晶粒反而越粗大越好。

(2)生产当中控制晶粒大小: 形核越多, 晶粒越小。

① 控制过冷度: 主要是提高液态金属的冷却速度。方法: 改变型壁结构, 局部冷却等; 采用低的浇注温度或者进行慢浇。

② 变质处理: 变质处理就是在浇铸前往液态中加入形核剂, 促进大量非均匀形核来细化晶粒的一种处理工艺, 还有一种变质剂, 虽不能提供结晶核心, 但能阻止晶粒长大, 称为长大抑制剂。

③ 机械方法: 振动、搅动

一方面依靠从外面输入能量促使晶核提前形成, 另一方面使成长中的枝晶破碎, 使晶核数目增加。

三、(1) 解: 判断为亚共晶白口铁, 设含碳量为 X, 由杠杆定律得

$$(X-2.11) \times 74.4\% = (6.69-X) \times 25.6\%$$

$$\text{解得 } X=3.28\%.$$

(2) 由题意可知, 室温时亚共晶白口铁的组织组成为: 珠光体 P+二次渗碳体 Fe_3C_{II} + 室温

莱氏体 $L'd$ 。

$$w_{L'd} = \frac{3.28-2.11}{4.3-2.11} \times 100\% = 53.4\% \quad w_{Fe_3C_{II}} = \frac{2.11-0.77}{6.69-0.77} \times (1-w_{L'd}) \times 100\% = 10.5\%$$

$$w_p = 1 - w_{Fe_3C_{II}} - w_{L'd} = 36.1\%.$$

亚共晶白口铁的组织示意图



(3) 室温时亚共晶白口铁的相组成为：铁素体 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$

$$w_{\alpha} = \frac{6.69 - 3.28}{6.69} \times 100\% = 51.0\% \quad w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - w_{\alpha} = 49.0\%$$

四、答：热力学条件：①过冷奥氏体的冷却速度必须大于临界冷却速度，以避免发生奥氏体向珠光体和贝氏体转变。

②过冷奥氏体必须深度过冷到一定温度 M_s 点以下才能开始发生马氏体转变。

晶体学特点：①无扩散性 ②切变性 ③共格性 ④具有一定的位向关系和惯习面。 ⑤在一定温度范围内进行 ⑥可逆性。

五、答：（答案很长，学弟学妹加油，我也想短些）淬火钢回火时，随着回火温度的升高和回火时间的延长，相应的发生以下几种转变。

(1) 马氏体中碳的偏聚

过饱和的碳原子在低温回火时只能做短距离的扩散迁移。由于马氏体内存在的大量位错所造成的应力场是低能缺陷位置，马氏体过饱和的碳原子将向这些低能缺陷位置偏聚。

(2) 马氏体分解

当回火温度超过 80°C ，马氏体开始发生分解，从过饱和 α 固溶体中析出弥散的 ε -碳化物。回火温度越高，回火初期碳浓度下降越多，最终马氏体碳浓度越低，由此可见，回火温度对马氏体的分解起了决定作用。

(3) 残余奥氏体的转变

钢淬火后总多少存在一些残余奥氏体。其在珠光体形成温度范围内回火时，先析出先共析渗碳体，随后分解为珠光体；在贝氏体形成温度范围内回火时，则转化为贝氏体。

(4) 碳化物的转变

马氏体分解及残余奥氏体转变形成的 ε -碳化物是亚稳定的过渡相。当回火温度升高至 $250-400^{\circ}\text{C}$ 时， ε -碳化物则向更稳定的 χ -碳化物或 θ -碳化物（即渗碳体）。其转变主要取决于回火温度，也与回火时间有关。

(5) 渗碳体的聚集长大和 α 相回复、再结晶

当回火温度升高至 400°C 以上时，已脱离共格关系的渗碳体开始明显地聚集长大，片状最终形成粒状。同时 α 相的状态也不断发生变化，板条状马氏体 α 相中位错胞和胞内位错线逐渐消失。使晶体的位错密度减少，位错线变得平直；对于片状马氏体，回火温度升高到 400°C 以上时， α 相发生回复，回火温度超过 600°C 时， α 相发生再结晶。

六、材料的力学性能与其化学成分，内部组织结构、夹杂物和表层组织结构以及应力状态等有关。提高碳钢强度主要从三方面考虑：

(1) 合金化

①固溶强化：碳钢中加入合金元素，形成固溶体，造成晶格畸变，从而强化碳钢。由于间隙原子比置换原子引起的晶格畸变大，所以其强化效果也越好，且随着溶质原子的增多，碳钢强度、硬度上升，强化效果越大。

②晶界强化：在钢中加入 Al、Ti、V、Zr、Nb 等合金元素，从而形成难溶的第二相粒子，这些粒子弥散越小，数量越多，则对奥氏体化时晶界迁移的阻力越小，从而细化晶粒，提高强度。

③第二相强化：在碳钢中加入合金元素，可以为造成均匀弥散分布的第二相粒子提供必要的成分条件，而第二相粒子能有效地阻碍位错的运动，增加位错运动所需要的外加应力，所以造成强化。

④位错强化: 加入合金元素细化, 造成弥散分布的第二相和形成固溶体, 可以增加位错密度。而位错密度越高, 其运动相遇后发生交相纠缠的障碍, 从而提高金属的强度。

(2)热处理: 可通过淬火加回火, 或正火的热处理方式提高珠光体的含量, 从而提高碳钢的强度。

(3)细晶强化: 通过提高含碳量、冷却速度或加入合金抑制剂等方法来细化晶粒使碳钢中晶粒的数目增加, 可以提高碳钢的强度。

七、1. (1) 铸铁和钢具有相同的金属基体, 主要有铁素体、珠光体及铁素体加珠光体三种基体组织。

(2) ①形状的影响: 当石墨的形状由片状向蠕虫状再向球状转变的过程中, 石墨的力学性能逐渐提高。

②大小的影响: 含碳量相同的情况下, 而石墨的数量一定时石墨片越粗, 由于在局部区域使承载面积急剧减少, 强度减小, 力学性能显著下降。

③数量的影响: 同一形状的石墨, 含碳量越高, 石墨量越多, 对基体的削弱作用和应力集中程度越大, 其力学性能越低。

④ 分布的影响: 当石墨的形状和尺寸一定时, 石墨分布不均匀, 产生方向性排列, 强度和塑性显著下降。相反, 石墨分布越均匀, 其性能越好。

(3) 对于同一类铸铁来说, 在其他条件相同的情况下 (如含碳量一定), 铸铁基体中铁素体相越多, 铸铁塑性越好。基体中珠光体数量越多, 则铸铁的拉伸强度和硬度越高。

2. 一般情况焊接时合金和碳含量越高, 可焊性越差, 焊接时预热和焊后缓冷可以减少应力、裂纹、白口的产生, 预热也可改善热影响区组织。

2004 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1. 晶体缺陷: 在实际应用的金属材料中, 总是不可避免地存在着一些原子偏离规则排列的不完整性区域, 这就是晶体缺陷。

2. 相起伏: 液态金属中, 时聚时散, 起伏不定, 不断变化着的近程规则排列的原子团。

3. 伪共晶: 在不平衡结晶条件下, 成分在共晶点附近的亚共晶或过共晶合金也可能得到全部共晶组织, 这种共晶组织称为伪共晶。

4. 滑移变形: 晶体的一部分沿着一定的晶面和晶向相对于另一部分作相对的滑动, 引起晶体的塑性变形, 这种变形方式称为滑移。

5. 枝晶偏析: 由于固溶体通常是树枝状, 枝干和枝间的化学成分不同, 称为枝晶偏析。

6. 过冷奥氏体: 在临界温度以下存在且不稳定的、将要发生转变的奥氏体, 叫做过冷奥氏体。

7. 红硬性: 是指钢在较高温度下, 仍能保持较高硬度的性能。

8. 晶间腐蚀: 不锈钢在腐蚀介质作用下, 在晶粒之间产生的一种腐蚀现象称为晶间腐蚀。

二、填空题

1. 垂直 2. 空位、间隙原子和置换原子; 位错; 晶界、亚晶界等 3. 渗碳体; 石墨 4. 形核; 长大 5. 板条状; 位错; 片状; 孪晶 6. 马氏体的分解; 残余奥氏体的转变; 碳化物的析出; 碳化物的聚集长大 7. $60Si_2Mn$; T12

三、作图题

作图题很简单, 答案就不写了。具体参见教材 P14-P15。注意坐标原点应在待结晶面外。

四、问答题 1. (1) 晶粒大小对常温下金属的力学性能的影响: 常温下, 金属的强度和硬度往往随着金属晶粒的变细小而增强, 且塑性和韧性也比较好。

(2)三种细化晶粒的方法:

① 控制过冷度: 主要是提高液态金属的冷却速度。在一般金属结晶时的过冷范围内, 过冷度越大, 则比值 N/G 越大, 因而晶粒越细小。

⑤ 变质处理: 变质处理就是在浇铸前往液态中加入形核剂, 促进大量非均匀形核来细化晶粒的一种处理工艺, 还有一种变质剂, 虽不能提供结晶核心, 但能阻止晶粒长大, 称为长大抑制剂。

⑥ 机械方法: 振动、搅动

一方面依靠从外面输入能量促使晶核提前形成, 另一方面使成长中的枝晶破碎, 使晶核数目增加。

2. 两个刃型位错 AB 和 CD 相互靠近, 两个螺型位错 DA 和 BC 相互远离。(解析: 刃型位错: ①位错的运动在外加切应力下运动; ②位错线 \perp 柏氏矢量 \parallel 滑移方向 \parallel 受力方向 \parallel 位错线运动方向。螺型位错: ①位错线 \parallel 柏氏矢量 \parallel 滑移方向 \parallel 受力方向 \perp 位错线运动方向; ②位错线与柏氏矢量方向相同为右螺型位错, 相反为左螺型位错。右螺型位错向左移, 左螺型位错向右移动。由于位错 AB 和 CD 的方向和柏氏矢量垂直故为刃型位错, 根据右手定则(食指指向位错线, 中指指向柏氏矢量的方向, 当拇指向上时为正刃型位错, 向下时为负刃型位错。)得, AB 为正刃型位错, CD 为负刃型位错。且正刃型位错运动方向与受力方向相同, 负刃型位错运动方向与受力方向相反。知两个刃型位错 AB 和 CD 相互靠近。螺型位错方向 BC 与柏氏矢量方向相同为右螺型位错, 应向左移动。螺型位错方向 DA 与柏氏矢量方向相反为左螺型位错, 应向右移动。注意! 这里的左和右是假想面对着柏氏矢量箭头方向而说的, 所以两个螺型位错 DA 和 BC 相互远离。)

五、解: 由于铁素体和渗碳体的密度相同, 故面积之比也就是质量之比。根据铁-碳相图判断 A 试样为亚共析钢, 设含碳量为 x , 由杠杆定律得

$$\frac{0.77 - x}{0.77 - 0.0218} = 41.6\%$$

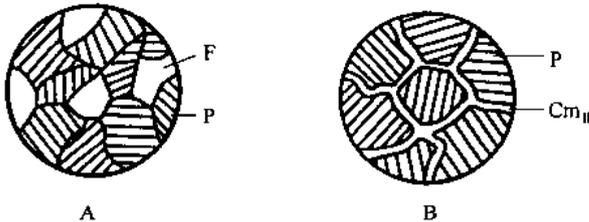
解得 $x = 0.45\%$

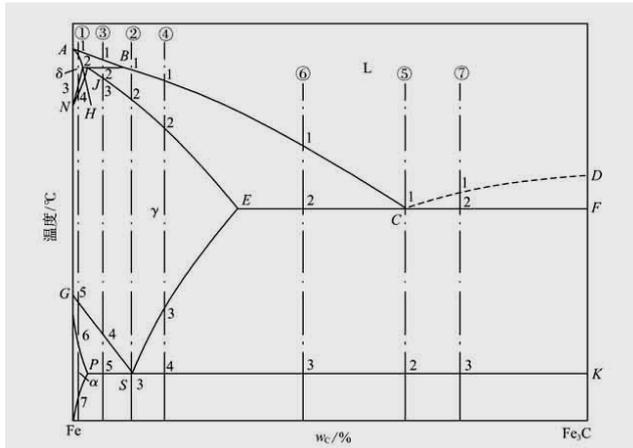
同理判断 B 试样为过共析钢, 设含碳量 y , 由杠杆定律得

$$\frac{y - 0.77}{6.69 - 0.77} = 7.3\%$$

解得 $y = 1.2\%$

组织示意图





试样 A 即 45 号钢的平衡结晶过程如图中直线③所示。

$T > T_1$ 时：为液相 L

$T = T_1$ 时：开始析出 δ 相

$T_1 - T_2$ 时：随着温度的降低，L 相越来越少， δ 相越来越多。L 相的成分沿着 AB 线变化， δ 相的成分沿着 AH 线变化

$T = T_2$ 时：发生包晶反应： $L_B + \delta_H \xrightleftharpoons{1495^\circ\text{C}} \gamma_J$ 。得到 γ 相

$T_2 - T_3$ 时：随着温度的降低，L 相越来越少， γ 相越来越多。L 相的成分沿着 BC 线变化， γ 相的成分沿着 JE 线变化

$T = T_3$ 时：L 相全部转变为 γ 相

$T_3 - T_4$ 时： γ 相单相冷却

$T = T_4$ 时：开始析出 α 相

$T_4 - T_5$ 时：随着温度的降低， γ 相越来越少， α 相越来越多。 γ 相的成分沿着 GS 线变化， α 相的成分沿着 GP 线变化

$T = T_5$ 时：发生共析反应：。得到 P

室温组织是 $P + \alpha$

试样 B 即 T12 钢的平衡结晶过程如图中直线④所示。

$T > T_1$ 时：为液相 L

$T = T_1$ 时：开始析出 γ 相

$T_1 - T_2$ 时：随着温度的降低，L 相越来越少， γ 相越来越多。L 相的成分沿着 BC 线变化， γ 相的成分沿着 JE 线变化

$T = T_2$ 时：L 相全部转变 γ 相

$T_2 - T_3$ 时： γ 相单相冷却

T=T3 时： γ 相开始析出 Fe_3C_{II}

T3-T4 时：随着温度的降低， γ 相越来越少， Fe_3C_{II} 相越来越多。 γ 相的成分沿着 ES 线变化。

T=T4 时：发生共析反应： $\gamma_s \xrightarrow{727^{\circ}C} \alpha_p + Fe_3C$ 。得到 P

室温组织是 P+ Fe_3C_{II}

六、金属材料有四种强化手段：形变强化，固溶强化，第二相强化，细晶强化。

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。

机理：随塑性变形的进行，位错密度不断增加，因此位错在运动时的相互交割加剧，结果即产生固定的割阶、位错缠结等障碍，使位错运动的阻力增大，引起变形抗力增加，给继续塑性变形造成困难，从而提高金属的强度。

固溶强化：随溶质原子含量的增加，固溶体的强度硬度升高，塑性韧性下降的现象称为固溶强化。

机理：一是溶质原子的溶入，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。所有阻止位错运动，增加位错移动阻力的因素都可使强度提高。

第二相强化：

第二相强化机理：由塑性较好的固溶体基体及其上分布的硬脆的第二相所组成的多相合金。由于其第二相的存在而引起的强化，叫做第二相强化。强化的主要原因是由于弥散细小的第二相粒子与位错的交互作用，阻碍了位错的运动，从而提高了合金的塑性变形抗力。有两种强化机制：1. 位错绕过第二相粒子（弥散强化）。2. 位错切过第二相粒子（沉淀强化）。

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

机理：晶粒越细小，位错塞集群中位错个数（n）越小，根据 $\tau = n\tau_0$ ，应力集中越小，所以材料的强度越高。

2005 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1.空间点阵：由这些阵点有规则地周期性重复排列所形成的三维空间阵列称为空间点阵。

2.结构起伏：液态金属中，时聚时散，起伏不定，不断变化着的近程规则排列的原子团。

3.加工硬化：随着变形程度的增加，金属的强度，硬度增加，而塑性、韧性下降的现象即为加工硬化或形变强化。

4.再结晶：冷变形后的金属加热到一定温度或保温足够时间后，在原来的变形组织中产生了无畸变的新晶粒，位错密度显著降低，性能也发生显著变化，并恢复到冷变形前的水平，这个过程称为再结晶。

5.晶内偏析：一个晶粒内部化学成分不均匀的现象称为晶内偏析。

6.残余奥氏体：钢淬火时未能转变成马氏体而保留到室温的亚稳的奥氏体。

7.热硬性：是指钢在较高温度下，仍能保持较高硬度的性能

8.淬透性：指奥氏体化后的钢在淬火时获得马氏体的能力，其大小用钢在一定条件下淬火获得的淬透层的深度表示，主要取决于临界冷却速度。

二、填空题

1.空位；间隙原子；晶界；位错 2.小；高；小 3.大；大；小 4. 马氏体的分解；残余奥氏体的转变；碳化物的析出；碳化物的聚集长大 5.铁素体；马氏体；马氏体 6.右

三、作图题

答案略

四、问答题

1.当把粗钢丝拉成细钢丝时，随着变形量的增大，晶粒位错越多，其变形抗力和自身塑性越差。当退火以后，达到再结晶温度以上，金属内部组织重新排序，再次回到低抗力状态，以便继续下一次加工。

2.加热到III区的部分，相变温度低于相变临界点温度 Ac_1 ，不发生相变。水冷后40钢齿仍保持调质处理后的铁素体基体+粒状渗碳体（回火索氏体）组织，但是高于原调质处理的回火温度的部分中，粒状渗碳体变得较粗大，加热到III区部分的组织为：回火索氏体。

加热到II区的部分，加热温度为 $Ac_3 > T > Ac_1$ ，出现了部分奥氏体。所以加热时II区部分的组织为：铁素体+奥氏体。水冷后II区部分的组织为：铁素体+马氏体。

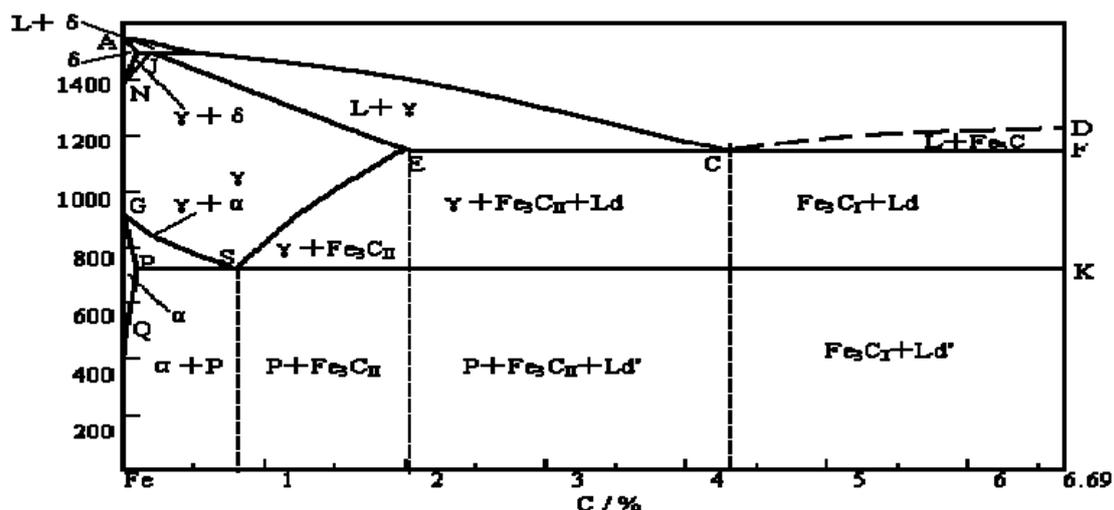
加热到I区的部分，加热温度 $T > Ac_3$ ，已经完全奥氏体化，所以加热时I区部分的组织为：奥氏体。水冷后I区部分的组织为：马氏体。

五、相图知识

H点：0.09%；J点：0.17%；B点：0.53%；E点：2.11%；C点：4.3%；D点：6.69%；F点：6.69%；P点：0.0218%；S点：0.77%；K点：6.69%

HJB线温度：1495⁰C；ECF线温度：1148⁰C；ECF线温度：727⁰C。

各区域组织组成物如图：



含碳量为2.11%的铁碳合金的平衡结晶过程：

$T > T_1$ 时：为液相 L

$T = T_1$ 时：开始析出 γ 相

$T_1 - T_2$ 时：随着温度的降低，L相越来越少， γ 相越来越多。L相的成分沿着BC

线变化， γ 相的成分沿着 JE 线变化

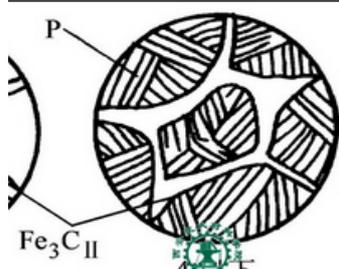
T=T2 时：L 相全部转变为 γ 相，同时也开始析出 Fe_3C_{II}

T2-T3 时：随着温度的降低， γ 相越来越少， Fe_3C_{II} 相越来越多。 γ 相的成分沿着 ES 线变化

T=T3 时：发生共析反应： $\gamma_s \xrightleftharpoons{727^\circ c} \alpha_p + Fe_3C$ 。得到 P

室温组织是 P+ Fe_3C_{II}

其室温平衡组织示意图：



含碳量为 2.11% 的铁碳合金组织组成物为：P+ Fe_3C_{II}

$$w_{Fe_3C_{II}} = \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 2.11} \times 100\% = 29.3\% \quad w_p = 1 - w_{Fe_3C_{II}} = 70.7\%$$

其相组成物为：铁素体 α + Fe_3C

$$w_{Fe_3C} = \frac{2.11}{6.69} \times 100\% = 31.5\%$$

$$w_\alpha = 1 - w_{Fe_3C} = 68.5\%$$

六、金属材料有四种强化手段：形变强化，固溶强化，第二相强化，细晶强化。

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。

机理：随塑性变形的进行，位错密度不断增加，因此位错在运动时的相互交割加剧，结果即产生固定的割阶、位错缠结等障碍，使位错运动的阻力增大，引起变形抗力增加，给继续塑性变形造成困难，从而提高金属的强度。

固溶强化：随溶质原子含量的增加，固溶体的强度硬度升高，塑性韧性下降的现象称为固溶强化。

机理：一是溶质原子的溶入，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。所有阻止位错运动，增加位错移动阻力的因素都可使强度提高。

第二相强化：

第二相强化机理：由塑性较好的固溶体基体及其上分布的硬脆的第二相所组成的多相合金。由于其第二相的存在而引起的强化，叫做第二相强化。强化的主要原因是由于弥散细小的第二相粒子与位错的交互作用，阻碍了位错的运动，从而提高了合金的塑性变形抗力。有两种强化机制：1.位错绕过第二相粒子（弥散强化）。2.位错切过第二相粒子（沉淀强化）。

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

机理：晶粒越细小，位错塞集群中位错个数（ n ）越小，根据 $\tau = n\tau_0$ ，应力集中越小，所以材料的强度越高。

2006 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1.铁素体：碳溶于 $\alpha-Fe$ 中的间隙固溶体，为体心立方结构。

2.固溶强化：在固溶体中，随着溶质浓度的增加，固溶体的强度、硬度提高，而塑性、韧性有所下降，这种现象称为固溶强化。

3.滑移：晶体的一部分沿着一定的晶面和晶向相对于另一部分作相对的滑动，引起晶体的塑性变形，这种变形方式称为滑移。

4.伪共晶：在不平衡结晶条件下，成分在共晶点附近的亚共晶或过共晶合金也可能得到全部共晶组织，这种共晶组织称为伪共晶。

5.同素异构：当外部条件（如温度和压强）改变时，金属内部由一种晶体结构向另外一种晶体结构的转变。

6.过冷奥氏体：在临界温度以下存在且不稳定的、将要发生转变的奥氏体，叫做过冷奥氏体。

7.回火脆性：有些钢在一定的温度范围内回火时，其冲击韧性显著下降，这种脆化现象叫做钢的回火脆性。

8.晶间腐蚀：不锈钢在腐蚀介质作用下，在晶粒之间产生的一种腐蚀现象称为晶间腐蚀。

二、填空题

1.体心立方；面心立方；密排六方 2.表层细晶区；柱状晶区；中心等轴晶区 3.晶界；晶粒 4.珠光体；铁素体+渗碳体 5.刃具钢、模具钢、量具钢 6.回火马氏体；回火托氏体；回火索氏体 7.渗碳体；石墨

三、相图知识

H 点：0.09%；J 点：0.17%；B 点：0.53%；E 点：2.11%；C 点：4.3%；D 点：6.69%；F 点：6.69%；P 点：0.0218%；S 点：0.77%；K 点：6.69%

HJB 线温度：1495⁰C；ECF 线温度：1148⁰C；ECF 线温度：727⁰C。

各区域组织组成物如 05 年真题第二问

试样 B 即 T12 钢的平衡结晶过程如图中（图的位置在 04 年真题第五大题）直线④所示。

T>T1 时：为液相 L

T=T1 时：开始析出 γ 相

T1-T2 时：随着温度的降低，L 相越来越少， γ 相越来越多。L 相的成分沿着 BC 线变化， γ 相的成分沿着 JE 线变化

T=T2 时：L 相全部转变 γ 相

T2-T3 时： γ 相单相冷却

T=T3 时： γ 相开始析出 Fe_3C_{II}

T3-T4 时：随着温度的降低， γ 相越来越少， Fe_3C_{II} 相越来越多。 γ 相的成分沿着 ES 线变化。

T=T4 时：发生共析反应： $\gamma_S \xrightarrow{727^{\circ}C} \alpha_p + Fe_3C$ 。得到 P

室温组织是 P+ Fe_3C_{II}

含碳量为 1.2% 的铁碳合金组织组成物为：P+ Fe_3C_{II}

$$w_{Fe_3C_{II}} = \frac{1.2 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 7.2\% \quad w_p = 1 - w_{Fe_3C_{II}} = 92.8\%$$

其相组成物为：铁素体 α + Fe_3C

$$w_{\alpha} = \frac{6.69 - 1.2}{6.69} \times 100\% = 82.1\%$$

$$w_{Fe_3C} = 1 - w_{\alpha} = 17.9\%$$

四、问答题

1. (1) 根据晶体缺陷的几何形态特征，可将它们分为以下三类：

- ① 点缺陷：其特征是三个方向上的尺寸都很小，相当于原子的尺寸，例如空位、间隙原子等。
- ② 线缺陷：其特征是在两个方向上的尺寸很小，另一个方向上的尺寸相对很大。属一类的主要是位错。
- ③ 面缺陷：其特征是在一个方向上的尺寸很小，另外两个方向上的尺寸相对很大，例如晶界、亚晶界等。

(2) 对性能的影响

- ① 点缺陷：使屈服强度升高，电阻增大，体积膨胀。此外，点缺陷的存在，将加速金属中的扩散过程，因而凡与扩散有关的相变、化学热处理、高温下的塑性变形和断裂等，都与空位和间隙原子的存在和运动有着密切关系。
- ② 线缺陷：位错的存在，对金属材料的力学性能、扩散及相变等过程有着重要影响。
- ③ 面缺陷：由于晶界上存在晶格畸变，因而在室温下对金属材料的塑性变形起着阻碍作用，在宏观上表现为使金属材料具有更高的强度和硬度。

2. (1) 晶粒大小对常温下金属的力学性能的影响：常温下，金属的强度和硬度往往随着金属晶粒的变细小而增强，且塑性和韧性也比较好。

(2) 三种细化晶粒的方法：

- ① 控制过冷度：主要是提高液态金属的冷却速度。在一般金属结晶时的过冷范围内，过冷度越大，则比值 N/G 越大，因而晶粒越细小。
- ② 变质处理：变质处理就是在浇铸前往液态中加入形核剂，促进大量非均匀形核来细化晶粒的一种处理工艺，还有一种变质剂，虽不能提供结晶核心，但能阻止晶粒长大，称为长大抑制剂。
- ③ 机械方法：振动、搅动
一方面依靠从外面输入能量促使晶核提前形成，另一方面使成长中的枝晶破碎，使晶核数目增加。

3. (1)固溶强化的机理：一是溶质原子的溶入，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。所有阻止位错运动，增加位错移动阻力的因素都可使强度提高。

(2)加工硬化的机理：随塑性变形的进行，位错密度不断增加，因此位错在运动时的相互交割加剧，结果即产生固定的割阶、位错缠结等障碍，使位错运动的阻力增大，引起变形抗力增加，给继续塑性变形造成困难，从而提高金属的强度。

(3)弥散强化的机理：由于合金元素的加入，形成十分细小、弥散、间距较小的第二相粒子，使相界面增加，因此第二相粒子可以有效地阻碍位错的运动。当运动的位错遇到滑移面上的第二相粒子时，或切过、或绕过，这样滑移变形才能继续。这一过程要消耗额外的能量，需要提高外加应力，所以造成强化。

4、(1) 冷轧后各部分的组织变化：显微组织出现纤维组织，杂质沿变形方向拉长为细带状或粉碎成链状，光学显微镜分辨不清晶粒和杂质。亚结构细化，出现形变织构。

力学性能：材料的强度、硬度升高，塑性、韧性下降；比电阻增加，导电系数和电阻温度系数下降，抗腐蚀能力降低等。

(2) 板经过 600°C 退火，发生再结晶。厚度为 16mm 的部分，由于变形度小，畸变能很小，不足以引起再结晶，退火后晶粒大小没有变化。退火后强度、硬度降低，塑性、韧性增加。其板厚度为 18mm 的部分经过 600°C 退火后，由于变形度为 16%达到临界变形度，再结晶后的晶粒变得特别粗大。导致其强度和硬度显著降低，很容易产生裂纹、断裂等缺陷。塑性、韧性也有所下降。厚度为 20mm、25mm 的部分，由于变形度分别为 25%、31%，超过临界变形度，则变形度越大，晶粒越细小。所以经过 600°C 退火后其晶粒会变细小且板厚度为 25mm 的部分比 20mm 的部分晶粒更细小。最终获得优良的综合机械性能。

2007 年金属学与热处理考研试题答案

一、 名词解释

1.过冷度：金属的理论结晶温度与实际结晶温度之差，称为过冷度。

2.加工硬化：随着变形程度的增加，金属的强度，硬度增加，而塑性、韧性下降的现象即为加工硬化或形变强化。

3.间隙固溶体：溶质原子不是占据溶剂晶格的正常结点位置，而是填入溶剂原子间的一些间隙中的固溶体。

4.铸铁的碳当量：将 Si 的含量折合成作用相当的碳含量与实际碳含量之和。

5.滑移系：一个滑移面和此面上的一个滑移方向结合起来，就组成一个滑移系。

6.铝合金的变质处理：在浇铸前往铝合金液态中加入形核剂，促进大量非均匀形核来细化晶粒的一种处理工艺。

7.马氏体：碳在 $\alpha-Fe$ 中过饱和的间隙固溶体。

8.回火脆性：有些钢在一定的温度范围内回火时，其冲击韧度显著下降，这种脆化现象叫做钢的回火脆性。

二、填空题

1.形核；长大 2.小；升高 3.低；渗碳体 4.热脆；冷脆 5.珠光体；渗碳体 6.右 7.力学负荷；热负荷；环境介质 8. 表层细晶区；柱状晶区；中心等轴晶区 9.最低抗拉强度为 200MPa 的灰铸铁。

三、问答题

1.马氏体转变的晶体学特点：

(1) 无扩散性

马氏体转变是奥氏体在很大的过冷度下进行的，铁原子、碳原子及合金内元素的活动能力很

低。因而马氏体转变是在无扩散的情况下进行的。只发生点阵结构的变化，母相奥氏体和新相马氏体具有完全相同的化学成分，点阵的重构是由原子集体的、有规律的、近程的迁动完成的。

(2) 切变共格性

马氏体是以切变方式形成的，而且马氏体片与母相奥氏体保持共格，界面上的原子既属于马氏体又属于奥氏体。新、旧相界面上的平面是一个切变共格界面，又叫做惯习面。也就是说，马氏体转变是新相马氏体在母相特定的晶面上产生的晶体切变过程。

(3) 具有一定的位向关系和惯习面

马氏体是在奥氏体一定的结晶面上形成的，此面称为惯习面。它在相变的过程中不变形、不转动，以母相的晶面指数来表示。由于马氏体转变时新相和母相始终保持切变共格性，因此马氏体转变后新相和母相之间存在一定的位向关系。

(4) 在一定温度范围内进行

一般工业用碳钢及合金钢，马氏体转变是在连续冷却过程中进行的。一定成分的合金要过冷到一定温度 M_s 点以下才能发生马氏体转变，当冷却到某一温度以下时马氏体转变终止，这时的温度用 M_f 表示。在 M_s-M_f 范围内，温度越低，则形成马氏体的数量越多。

(5) 可逆性

在某些铁基合金中，奥氏体冷却转变为马氏体，重新加热时已形成的马氏体又能无扩散地转变为奥氏体，这就是马氏体转变的可逆性。

2. (1)金属模浇注时晶粒更细小，金属模浇注时，提高铸件的冷却速度，从而增加过冷度，从而晶粒越细小。

(2)低温浇注时，晶粒更细小，低温浇注，降低浇注温度，增加过冷度，这样一方面可使铸型温度不至升高太快，另一方面由于延长了凝固时间，晶核形成的数目增多，可获得较细小的晶粒

(3)浇注厚件时，晶粒更细小，增加厚度，提高铸件的冷却速度，过冷度增加，从而晶粒越细小。

(4)浇注时振动时，晶粒更细小，对即将凝固的金属进行振动，一方面是依靠从外面输入能量，促使晶核提前形成，另一方面是使成长中的枝晶破碎，使晶核数目增加，从而使晶粒细化。

3. 答：对组织结构的影响

① 显微组织的变化

当变形量很大时，晶粒呈现出一片如纤维状的条纹，称为纤维组织，纤维的分布方向，即金属变形时的伸展方向。

② 亚结构的细化

形变亚结构是塑性变形中形成的。实际晶体的每一个晶粒内存在着许多尺寸很小、位向差也很小的亚结构，塑性变形前，直径约为 10^{-2}cm ，冷塑性变形后，直径将细化至 $10^{-4}-10^{-6}\text{cm}$ 。

③ 形变织构

由于塑性变形的结果而使晶粒具有择优取向的组织叫做形变织构。其中，丝结构在拉拔时形成，其特征是个晶粒的某一晶向与拉拔方向平行或接近平行；板织结构在轧制时形成，其特征是个晶粒的某一晶面平行于轧制平面，而某一晶向平行于轧制方向。

4.答：途径：①降低钢中含碳量

②加入 Ti、Nb 等能形成稳定碳化物 (TiC 或 NbC) 元素，避免在晶界上沉淀出 Cr 碳化物亦可有效防止奥氏体不锈钢的晶间腐蚀。

③ 改变钢的化学成分，使组织中铁素体的体积分数达 5%~20%，从而形成铁素体和奥氏体双相组织，亦能防止晶间腐蚀。

工艺：①固溶处理；

②稳定化处理;

③去应力处理。

四、1. (1) 解: 判断为亚共晶白口铁, 设含碳量为 X, 由杠杆定律得

$$(X-2.11) \times 60\% = (6.69-X) \times 40\%$$

解得 $X=3.94\%$ 。

(2) 其室温平衡组织组成为: 珠光体 P+二次渗碳体 Fe_3C_{II} +室温莱氏体 $L'd$ 。

$$w_{L'd} = \frac{3.94-2.11}{4.3-2.11} \times 100\% = 83.6\% \quad w_{Fe_3C_{II}} = \frac{2.11-0.77}{6.69-0.77} \times (1-w_{L'd}) \times 100\% = 3.7\%$$

$$w_p = 1 - w_{Fe_3C_{II}} - w_{L'd} = 12.7\%$$

(3) 室温相组成物为: 铁素体 α + Fe_3C

$$w_\alpha = \frac{6.69-3.94}{6.69} \times 100\% = 41.1\% \quad w_{Fe_3C} = 1 - w_\alpha = 58.9\%$$

2. 答: (1) 不合理。锻——球化退火——半精加工——精加工——渗碳——调质

(2) 不合理。下料——粗加工——半精加工——精加工——高频淬火、回火

2008 年金属学与热处理考研试题答案

一. 填空题

1. {110} 2. 2; 8; 4; 12 3. 体积自由能的下降; 表面能的上升 4. 极速冷却 5. 偏析; 均匀化退火 6. 螺型位错 7. 一个滑移面; 此面上的一个滑移方向

二、名词解释

1. 临界晶核: 当晶胚的半径为临界晶核半径时, 这种晶胚既可能消失, 也可能长大成为稳定的晶核, 因此称为临界晶核。

2. 能量起伏: 微区内暂时偏离平衡能量的现象即为能量起伏。

3. 形核率: 是指单位时间单位体积液相中形成的晶核数目。

4. 成分过冷: 过冷度是由于液相中的成分变化引起的, 称为成分过冷。

5. 伪共晶: 在不平衡结晶条件下, 成分在共晶点附近的亚共晶或过共晶合金也可能得到全部共晶组织, 这种共晶组织称为伪共晶。

6. 沉淀硬化: 指金属在过饱和固溶体中溶质原子偏聚区和(或)由之脱溶出微粒弥散分布于基体中而导致硬化的一种热处理工艺。

7. 冷加工: 在再结晶温度以下的加工过程称为冷加工。

8. 调质: 习惯上将淬火和随后的高温回火相结合的热处理工艺称为调质。

9. 奥氏体不锈钢的稳定化处理: 将含 Ti、Nb 的奥氏体不锈钢经固溶处理后, 再经 850-900°C 保温 1-4h 后空冷的一种处理方法。其目的是使之析出 TiC、NbC, 抑制 $Cr_{23}C_6$ 的析出, 从而达到防止晶间腐蚀的最大效果。

10. 铝青铜的缓冷脆性: 铝青铜在凝固过程当中, 因冷却速度小在 563°C 发生共析

转变 $\beta \xrightleftharpoons{563^\circ C} \alpha + \gamma_2$, γ_2 它是以 $Cu_{32}Al_9$ 为基的电子化合物。它的一般分布在 α 的晶界上, 造成铝青铜的发脆即铝青铜的缓冷脆性。

三、问答题

1. (1) 化学成分的影响: 奥氏体的化学成分对马氏体转变点的影响十分显著。

a. 含碳量的影响: 由于含碳量的升高, 奥氏体中的碳的溶解度升高, 则 Ms 点越低。

b. 合金元素的影响: 溶入奥氏体中的合金元素对马氏体形态也产生重要影响。如 Cr、Mo、Mn、Ni 能降低 Ms 点, Al 和 Co 能升高 Ms 点。

(2)形变与应力对 Ms 点的影响：过冷奥氏体冷却到 Ms 以上，Md 以下，塑性变形中诱发马氏体转变。原因是形变过程的机械驱动力加上化学驱动力刚好等于驱动力，因此使马氏体转变点升高。

(3)奥氏体化条件对 Ms 的影响：加热温度和加热时间对马氏体转变点 Ms 的影响较为复杂。

(4)淬火速度对马氏体转变点 Ms 的影响：高速淬火，冷却速度越快，马氏体转变点 Ms 升高。

(5)磁场的影响：外加磁场时，奥氏体与马氏体两相平衡温度 To 升高，从而使得马氏体转变点 Ms 升高。

2. 答：① 控制过冷度：主要是提高液态金属的冷却速度。在一般金属结晶时的过冷范围内，过冷度越大，则比值 N/G 越大，因而晶粒越细小。

② 变质处理：变质处理就是在浇铸前向液态中加入形核剂，促进大量非均匀形核来细化晶粒的一种处理工艺，还有一种变质剂，虽不能提供结晶核心，但能阻止晶粒长大，称为长大抑制剂。

③ 机械方法：振动、搅动

一方面依靠从外面输入能量促使晶核提前形成，另一方面使成长中的枝晶破碎，使晶核数目增加。

3. 同 2003 年真题第五大题。

四、分析及计算

1. 答：①球化退火是为了消除锻造应力，获得球状珠光体和碳化物，降低硬度以利于切削加工并为淬火做好组织准备，减少淬火时的变形与开裂。

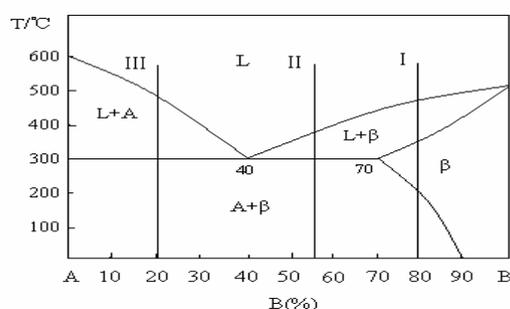
淬火及回火是为了获得回火马氏体，保证热处理后具有高硬度、高耐磨性。

②球化退火工艺：加热温度 790°C—810°C，等温温度 700°C—720°C。

淬火工艺：加热温度 850—870°C（油淬）

回火工艺：160—180°C

2. 解：按已知条件，A—B 合金相图如下图所示



I 合金 (0.2A—0.8B)：

室温下由 A 和 β 两相组成，其相对量为 $w_{\beta} = \frac{0.8-0}{0.9-0} \times 100\% = 88.9\%$

$$w_A = 1 - w_{\beta} = 11.1\%$$

室温下的组织为 $\beta + A_{II}$ ，其组织组成物的相对量与相组成物相同，即

$$w_{\beta} = 88.9\% \quad w_{A_{II}} = 11.1\%$$

II 合金 (0.45A—0.55B)：

室温下由 A 和 β 两相组成，其相对量为 $w_{\beta} = \frac{0.55-0}{0.9-0} \times 100\% = 61.1\%$

$$w_A = 1 - w_\beta = 38.9\%$$

室温下组织组成物为 $\beta_{\text{初}} + (A + \beta)_{\text{共晶}} + A_{\text{II}}$ ，在共晶反应刚完成时

$$w_{(A+\beta)_{\text{共晶}}} = \frac{0.7-0.55}{0.7-0.45} \times 100\% = 50\% \quad w_{\beta_{\text{初}}} = 1 - w_{(A+\beta)_{\text{共晶}}} = 50\%$$

冷却至室温时，将由 $\beta_{\text{初}}$ 和 $(A + \beta)_{\text{共晶}}$ 的 β 中析出 A_{II} 。由于 $(A + \beta)_{\text{共晶}}$ 的 β 析出的 A_{II} 与共晶 $A + \beta$ 连接在一起，故略去不计。

由 $\beta_{\text{初}}$ 中析出的 A_{II} 的相对量为

$$w_{A_{\text{II}}} = \frac{0.9-0.7}{0.9-0} \times w_{\beta_{\text{初}}} = 11.1\%$$

所以，室温下 $\beta_{\text{初}}$ 的相对量为： $w_{\beta_{\text{初}}} = w_{\beta_{\text{初}}} - w_{A_{\text{II}}} = 38.9\%$ 。该合金室温下组织组成物

$$\text{的相对量为：} w_{(A+B)_{\text{共晶}}} = 50\% \quad w_{A_{\text{II}}} = 11.1\% \quad w_{\beta_{\text{初}}} = 38.9\%$$

III 合金 (0.8A—0.2B)：

室温下相组成物为 A 和 β 相，其相对量为： $w_\beta = \frac{0.2-0}{0.9-0} \times 100\% = 22.2\%$

$$w_A = 1 - w_\beta = 77.8\%$$

室温下组织组成物为 $A + (A + \beta)_{\text{共晶}}$ ，其相对量为

$$w_A = \frac{0.4-0.2}{0.4} \times 100\% = 50\%$$

$$w_{(A+\beta)_{\text{共晶}}} = 1 - w_A = 50\%$$

3.答：在平衡凝固过程中， $w_c > 2.11\%$ 时，组织中应该出现莱氏体，但该合金室温组织没有莱氏体，且出现厚网络状渗碳体，说明是不平衡共晶造成的。

由于合金先析出 γ 量较多， $\gamma + Fe_3C$ 共晶组织较少。共晶组织中 γ 依附先析出 γ 相成核、长大，把 Fe_3C 推向最后凝固的晶界处，即发生离异共晶，形成厚网络状的 Fe_3C_{II} 。
2009 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1.金属键：贡献出价电子的原子，则变为正离子，沉浸在电子云中，他们依靠运动于其间的公有化的自由电子的静电作用而结合起来，这种结合方式叫做金属键。

2.间隙固溶体：溶质原子不是占据溶剂晶格的正常结点位置，而是填入溶剂原子间的一些间隙中的固溶体。

3.比重偏析：由组成相与熔液之间密度的差别所引起的一种区域偏析。

4.变形织构：当变形量很大时，各晶粒的取向大致趋于一致，从而破坏了多晶体中各晶粒取向的无序性，这一现象称为晶粒的择优取向，变形金属中的这种组织状态则称为变形织构。

5.再结晶温度：经过严重冷变形的金属，在约 1h 的保温时间内能够完成再结晶的温度。

6.晶面指数: 为了研究和表述不同晶面(晶向)的原子排列情况及其在空间的位向,形成的一种方法。

7.本质晶粒度: 表示钢在一定条件下奥氏体晶粒长大的倾向性。通常采用标准实验的方法,即将钢加热到 $(930 \pm 10^\circ\text{C})$, 保温 3-8 小时, 冷却后测得的晶粒度。

8.扩散性相变: 在相变过程中, 新相的形核和长大主要依靠原子进行长距离的扩散, 或者说, 相变是依靠相界面的扩散移动而进行的。

9.临界淬火速度: 过冷奥氏体在连续冷却的过程中不发生分解, 而全部过冷至 M_s 点以下发生马氏体转变的最小冷却速度。

10.球化处理: 将球化剂加入铁液的操作过程叫做球化处理。注意不是球化退火哦。

二. 填空题

1.硬铝合金; 铸造铝合金 2.右 3.团絮状石墨 4.提高钢的热硬性; 打碎粗大的共晶碳化物并使之在钢中均匀分布 5.大 6.大 7.铁素体+珠光体 8.小

三、问答题

1. 答: 形成条件: 在贝氏体较高温范围 ($600\sim 350^\circ\text{C}$) 形成上贝氏体;
较低温度范围内 ($350^\circ\text{C} \sim M_s$) 形成下贝氏体。

组织特征: 上贝氏体由许多板条铁素体和相邻铁素体条间的渗碳体组成, 呈羽毛状;
下贝氏体组织也是铁素体和碳化物组成, 呈针叶状。

性能特点: 上贝氏体不但硬度低, 而冲击韧度也显著降低。

下贝氏体不但强度高, 而且韧性也很好, 具有良好的综合力学性能。

2. 现以 $w_{\text{Cu}}=4\%$ 的 Al—Cu 合金为例, 说明铝合金的时效硬化过程。该合金室温平衡组织为 $\alpha + \text{CuAl}_2$ 。合金时效过程即是发生过饱和 α 固溶体分解, 同时伴随着合金强化的过程。尽管最终析出相是 CuAl_2 (又称 θ 相), 但时效过程早期阶段析出的是几个过渡相, 并因此造成时效曲线上硬度的复杂变化。时效过程大致分以下几个阶段。

(1) .形成铜原子的富集区 (G.P.I 区)

过饱和 α 固溶体在时效的初期阶段发生铜原子在母相 $\{100\}$ 晶面上富集, 形成铜原子的富集区, 称为 G.P.I 区。G.P.I 区的结构与基体 α 相相同, 二者保持共格界面。由于 G.P.I 中的 Cu 原子浓度高, Cu 原子比 Al 原子又小, 故使 G.P.I 区周围的母相产生严重的晶格畸变, 阻碍位错运动, 因而使合金的硬度、强度升高。

(2) . 铜原子富集区有序化 (G. P. II 区)

随着时效过程的继续, 铜原子在 G.P.I 区基础上继续富集, G.P.I 区不断增大并发生有序化,

即溶质原子和溶剂原子按一定的规则排列。这种有序化的富集区称为 G. P. II 区, 又称 θ'' 相,

θ'' 相是具有正方晶格的中间过渡相。由于 θ'' 相仍以 $\{100\}$ 晶面与母相保持共格, 故使其周围基体产生比 G.P.I 区更大的弹性畸变, 对位错运动的阻碍更大, 因而产生更大的强化效果。

(3) .形成过渡相 θ'

θ'' 相形成以后, 随着时效过程的进一步发展, 铜原子进一步富集, 当 r_{Cu} 和 r_{Al} 之比为 1:2

时, 即形成过渡相 θ' 。 θ' 相与 CuAl_2 化学成分相当, 具有正方晶格, 并仍以 $\{100\}$ 晶面与母

相保持共格, 所以对于 $w_{\text{Cu}}=4\%$ 的 Al—Cu 合金来说, 当开始出现 θ' 相时, 时效曲线上硬度

达到最大值，以后随着 θ' 相增多、增厚，与母相的共格关系开始破坏，由完全共格变为局部共格，故合金硬度开始降低，发生过时效现象。可见 $w_{Cu}=4\%$ 的Al—Cu合金，时效形成 θ'' 相后期与过渡相 θ' 相析出初期，具有最大的强化效果。

(4) 形成平衡相 θ

在时效后期，合金进入过时效阶段，过渡相 θ' 和母相 α 固溶体共格关系被破坏，过渡相完全从母相脱溶，形成稳定的 θ 相($CuAl_2$)和平衡的 α 固溶体。 θ 相具有正方晶格，由于 θ 相与母相脱离共格关系，弹性畸变消失，合金开始软化，随着 θ 相的聚集长大，合金硬度和强度进一步下降。

应当指出，上述过饱和 α 固溶体脱溶过程的四个阶段并不是截然分开的，由于时效过程中的四个阶段可能不全部出现，也可能一开始就析出 θ' 相甚至 θ 相。所形成的过渡相及平衡相也不相同，它们的形成温度和时间范围也不相同，因此沉淀强化效果也不一样。

3.答：加工硬化是强化金属的有效方法，对一些不能用热处理强化的材料可以用加工硬化的方法提高材料的强度，可使强度成倍的增加；是某些工件或半成品加工成形的重要因素，使金属均匀变形，使工件或半成品的成形成为可能，如冷拔钢丝、零件的冲压成形等；形变强化还可提高零件或构件在使用过程中的安全性，零件的某些部位出现应力集中或过载现象时，使该处产生塑性变形，因加工硬化使过载部位的变形停止从而提高了安全性。另一方面形变强化也给材料生产和使用带来麻烦，变形使强度升高、塑性降低，给继续变形带来困难，中间需要进行再结晶退火，增加生产成本。

4. 答：对组织结构的影响

① 显微组织的变化

当变形量很大时，晶粒呈现出一片如纤维状的条纹，称为纤维组织，纤维的分布方向，即金属变形时的伸展方向。

② 亚结构的细化

形变亚结构是塑性变形中形成的。实际晶体的每一个晶粒内存在着许多尺寸很小、位向差也很小的亚结构，塑性变形前，直径约为 $10^{-2}cm$ ，冷塑性变形后，直径将细化至 $10^{-4}-10^{-6}cm$ 。

③ 形变织构

由于塑性变形的结果而使晶粒具有择优取向的组织叫做形变织构。其中，丝结构在拉拔时形成，其特征是个晶粒的某一晶向与拉拔方向平行或接近平行；板织结构在轧制时形成，其特征是个晶粒的某一晶面平行于轧制平面，而某一晶向平行于轧制方向。

四、分析、计算与应用

1.工艺路线为：下料→锻造→正火→机械粗加工→调质→机械精加工→齿部表面淬火+低温回火→精磨。

正火：消除锻造应力；调整锻后的硬度，改善切削加工性能；细化晶粒，为淬火做好组织准备。组织：细的铁素体+珠光体。

调质：获得良好的综合机械性能。组织：回火索氏体。

齿轮表面淬火：使表面硬度高，耐磨性好。组织：获得马氏体。

低温回火：降低残余应力和脆性，保持表面高硬度和高耐磨性能。组织：表面回火马氏体+心部回火索氏体，达到齿面耐磨，心部强韧性好的要求。

2. (1) 因为在共晶点和近共晶点附近的区域，合金的熔点低，流动性好，结晶的温度范围小，冷却后铸锭的致密度较高。

(2) 室温下存在固溶体+化合物中的化合物属于硬脆相，塑性低，不易加工。同时化合物的存在阻碍了位错的运动，从而使材料变形较为困难，不易加工。当加热到单相区温度后，化合物溶解在固溶体里形成单一相的固溶体。化合物对位错运动的阻碍作用消失，进而易于加工变形。

(3) 过冷度增大，结晶驱动力大，形核率和长大速度均随之增加，但两者的增大速率不同，形核率的增长率大于长大速度的增长率，在一般金属结晶时的过冷范围内，过冷度越大，则

比值 \dot{N}/G 越大，因而晶粒越细小。从而提高了铸件的性能。

3.解：(1)判断为亚共晶白口铁，设含碳量为 X，由杠杆定律得

$$(X-2.11) \times 20\% = (4.3-X) \times 80\%$$

$$\text{解得 } X=3.86\%。$$

(2) 其室温时组织组成为：珠光体 P+二次渗碳体 Fe_3C_{II} + 室温莱氏体 $L'd$ 。

$$w_{L'd} = 80\% \quad w_{Fe_3C_{II}} = \frac{2.11-0.77}{6.69-0.77} \times (1-w_{L'd}) \times 100\% = 4.5\%$$

$$w_p = 1 - w_{Fe_3C_{II}} - w_{L'd} = 15.5\%$$

其室温相组成为：铁素体 α + Fe_3C 。

$$w_{Fe_3C} = \frac{3.86}{6.69} \times 100\% = 57.7\% \quad w_{\alpha} = 1 - w_{Fe_3C} = 42.3\%$$

2010 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1.金属键：贡献出价电子的原子，则变为正离子，沉浸在电子云中，他们依靠运动于其间的公有化的自由电子的静电作用而结合起来，这种结合方式叫做金属键。

2.刃型位错：简单立方晶体中，某一原子面在晶体内部中断，这个原子平面中断处的边缘就是一个刃型位错。

3.结晶潜热：结晶时从液相转变为固相放出的热量。

4.缩松：缩松是指铸件最后凝固的区域没有得到液态金属或合金的补缩形成分散和细小的缩孔。

5.真实应力：拉伸试验时，变形力与当时实际截面积之比。其数值是随变形量、温度与应变速率而变化的。

二、简答题

1.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 $3C=3 \times 2/3a=2a$ ，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)

2.柱状晶区产生的机理： ①外因是传热的方向性，垂直于模壁方向散热快，因而晶体沿

其相反方向择优生长成柱状晶。②内因是生长的各向异性，结晶前沿没有合适的过冷度，使之不能生成新的晶核，但有利于细晶区内靠近液相的某些小晶粒的继续长大，而离柱状晶前沿稍远处的液态金属尚处于过热之中，无法另行生核，因此结晶主要靠晶粒的继续长大来进行。

3. 答：对组织结构的影响

① 显微组织的变化

当变形量很大时，晶粒呈现出一片如纤维状的条纹，称为纤维组织，纤维的分布方向，即金属变形时的伸展方向。

② 亚结构的细化

形变亚结构是塑性变形中形成的。实际晶体的每一个晶粒内存在着许多尺寸很小、位向差也很小的亚结构，塑性变形前，直径约为 10^{-2}cm ，冷塑性变形后，直径将细化至 $10^{-4}-10^{-6}\text{cm}$ 。

③ 形变织构

由于塑性变形的结果而使晶粒具有择优取向的组织叫做形变织构。其中，丝结构在拉拔时形成，其特征是个晶粒的某一晶向与拉拔方向平行或接近平行；板织结构在轧制时形成，其特征是个晶粒的某一晶面平行于轧制平面，而某一晶向平行于轧制方向。

4.①ZL102 合金中的主要成分是铝和硅。

②变质处理是在浇注前往液态金属中加入形核剂，促进形成大量的非均匀晶核来细化晶粒。在 ZL102 铸造铝合金中加入 B、Zr、Ti 等变质剂后晶粒细化。

三、1. 答：一般情况焊接时合金和碳含量越高，可焊性越差，焊接时预热可以减少应力和白口的产生导致焊缝开裂。

完全退火可以细化晶粒，均匀组织，消除内应力，降低硬度。

2.在 200°C 以上的较低温度下快速度、短时间加热淬火，这时过共析钢中保留了较多的未溶碳化物，降低了马氏体中的含碳量，也可以获得较多的板条状马氏体。

3. 答：①珠光体转变在高温区域，贝氏体转变在中温区域，而马氏体转变在低温区域。

②珠光体转变时无共格无切变性，贝氏体和贝氏体转变时有共格切变性。

③珠光体转变时铁、碳原子均可扩散，贝氏体转变时碳原子可扩散，铁原子不可扩散，马氏体转变时铁、碳原子均不可扩散。

④珠光体可以完全转变，贝氏体有的可以完全转变，有的不可以完全转变，马氏体不可能完全转变。

⑤珠光体的转变产物是珠光体，贝氏体的转变产物有上贝氏体和下贝氏体，马氏体的转变产物最典型的两种是板条状马氏体和片状马氏体。

⑥珠光体的转变产物的硬度比较低，贝氏体的转变产物的硬度一般，但是马氏体的转变产物的硬度比较高。

⑦珠光体转变中的合金元素通过扩散重新分布，贝氏体转变和马氏体转变中的合金元素均不扩散。

4. 解：由于铁素体和渗碳体的密度相同，故面积之比也就是质量之比。根据铁-碳相图判断 A 试样为亚共析钢，设含碳量为 x ，由杠杆定律得

$$\frac{0.77-x}{0.77-0.0218} \times 100\% = 42\%$$

解得 $x=0.46\%$

同理判断 B 试样为过共析钢，设含碳量 y ，由杠杆定律得

$$\frac{y}{6.69} \times 100\% = 12\%$$

解得 $y=0.8\%$

A 试样的组织组成为：铁素体 α + 珠光体 P $w_{\alpha} = 42\%$ $w_P = 58\%$

A 试样的相组成为：铁素体 α + Fe_3C $w_{\alpha} = \frac{6.69 - 0.46}{6.69} \times 100\% = 93.1\%$;

$w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - w_{\alpha} = 6.9\%$

B 试样的组织组成为：珠光体 P + Fe_3C_{II}

$w_P = \frac{6.69 - 0.8}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 99.5\%$ $w_{\text{Fe}_3\text{C}_{II}} = 1 - w_P = 0.5\%$

B 试样的相组成为：铁素体 α + Fe_3C $w_{\alpha} = 88\%$ $w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 12\%$

2011 年金属学与热处理考研试题答案

一、填空题

1. 2; 4; 68%; 74% 2、形核与长大 3. 回复; 再结晶; 晶粒长大 4. 防止晶间腐蚀; 细化晶粒 5. 渗碳体; 石墨

二、名词解释

1. 组织应力: 工件在冷却过程中, 由于内外温差造成组织转变不同时, 引起内外比体积的不同变化而产生的内应力叫做组织应力。(课本 P284)

2. 形变强化: 随着变形程度的增加, 金属的强度, 硬度增加, 而塑性、韧性下降的现象即为加工硬化或形变强化。

3. 球化退火: 使钢中的碳化物球化, 获得粒状珠光体的一种热处理工艺。

4. 伪共晶: 在不平衡结晶条件下, 成分在共晶点附近的亚共晶或过共晶合金也可能得到全部共晶组织, 这种共晶组织称为伪共晶。

5. 回复: 冷塑性变形的金属在加热时, 在光学显微组织发生改变前所产生的某些亚结构和性能的变化过程。

三、简答题

1、图一晶面指数: $(0 \bar{1} 2)$; 图二晶面指数: $(1 1 2)$; 图三 AC 晶向指数: $[\bar{1} 0 1]$, OB 晶向指数为: $[1 2 0]$

2、答: 位错: 晶体中原子的排列在一定范围内发生有规律错动的一种特殊结构组态。

晶体塑性变形的方式有滑移和孪晶, 多数都以滑移方式进行。滑移的本质就是位错在滑移面上的运动, 大量位错滑移的结果造成了晶体的宏观塑性变形。

位错滑移的结果造成了晶体的宏观塑性变形, 使材料发生屈服, 位错越容易滑移, 强度越低, 因此增加位错移动的阻力, 可以提高材料的强度。溶质原子造成晶格畸变还可以与位错相互作用形成柯氏气团, 都增加位错移动的摩擦阻力, 使强度提高。晶界、相界可以阻止位错的滑移, 提高材料的强度。所以细化晶粒、固溶强化、第二相弥散分布可以提高强度。

3、材料的塑性是指材料在断裂前的塑性变形量, 通常用伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 最大压缩率、扭转角来定量表示塑性好坏。常用的试验方法有拉伸试验、锻造试验、扭转试验、杯突试验。

4、①显微组织特征不同，下贝氏体为黑针状或竹叶状，高碳马氏体为片状；②亚结构不同，下贝氏体亚结构为位错，高碳马氏体的亚结构为孪晶；③性能特点不同，下贝氏体具有良好的综合机械性能，高碳马氏体强度硬度高，塑性和韧性差；④相变特点不同，下贝氏体为半扩散型相变，高碳马氏体非扩散型相变。⑤下贝氏体为复相组织，高碳马氏体为单相组织。

四、问答、分析与计算

1. 答：(1). 图 4b 组织为 0.45%C 合金，即亚共析钢，因其由铁素体(白色)和珠光体(黑色)组成。图 4c 组织为 3.4%C 合金，即亚共晶白口铸铁，因为图中有大块状的珠光体(黑色，初晶奥氏体晶粒形状)和低温莱氏体。图 4d 组织为 4.7%C 合金，即过共晶白口铸铁，因其由板条状白色一次渗碳体和低温莱氏体组成。

(2). 图 4d 组织即 4.7%C 铁碳合金的凝固过程如图中（图的位置在 04 年真题第五大题）直线⑦所示。

T>T₁ 时：为液相 L

T=T₁ 时：开始析出一次渗碳体 Fe₃C_I

T₁-T₂ 时：随着温度的降低，L 相越来越少，Fe₃C_I 相越来越多。L 相的成分沿着 DC 线变化。

T=T₂ 时：L 相发生共晶反应： $L_C \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} \gamma_E + Fe_3C$ 。得到高温莱氏体相 Ld

T₂-T₃ 时：共晶奥氏体析出 Fe₃C_{II}。随着温度的降低，γ 相越来越少，Fe₃C_{II} 相越来越多。γ 相的成分沿着 ES 线变化

T=T₃ 时：共晶奥氏体发生共析反应： $\gamma_S \xrightarrow{727^\circ\text{C}} \alpha_p + Fe_3C$ 。得到低温莱氏体 Ld'

故室温组织是 Ld' + Fe₃C_I。

4.7%C 铁碳合金中的白色长条状组织即为一次渗碳体，其重量相对量为：

$$w_{Fe_3C_I} = \frac{4.7 - 4.3}{6.69 - 4.3} \times 100\% = 16.7\%$$

2. (1)晶粒大小对金属的力学性能的影响：

常温下，金属的强度和硬度往往随着金属晶粒的变细小而增强，且塑性和韧性也比较好。但是，对于在高温下工作的金属材料，晶粒过于细小性能反而不好，一般希望得到适中的晶粒度。对于制造电机和变压器的硅钢片来说，晶粒反而越粗大越好。

(2)生产当中控制晶粒大小：形核越多，晶粒越小。

①控制过冷度：主要是提高液态金属的冷却速度。方法：改变型壁结构，局部冷却等；采用低的浇注温度或者进行慢浇。

②变质处理：变质处理就是在浇铸前在液态中加入形核剂，促进大量非均匀形核来细化晶粒的一种处理工艺，还有一种变质剂，虽不能提供结晶核心，但能阻止晶粒长大，称为长大抑制剂。

③机械方法：振动、搅动

一方面依靠从外面输入能量促使晶核提前形成，另一方面使成长中的枝晶破碎，使晶核数目增加。

3. 虽然碳原子在 α-Fe 比 γ-Fe 中扩散系数大（1 分），但钢的渗碳通常在奥氏体区进行，因

为可以获得较大的渗层深度。因为：①根据， $D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$ ，温度（T）越高，扩散

系数（D）越大，扩散速度越快，温度越高原子热振动越激烈，原子被激活而进行迁移的几率越大，扩散速度越快；②温度高，奥氏体的溶碳能力大，1148°C 时最大值可达 2.11%，远比铁素体(727°C, 0.0218%)大，③钢表面碳浓度高，浓度梯度大，扩散速度越快；④时间要足够长，只有经过相当长的时间才能造成碳原子的宏观迁移；

2012 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1.强度：金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。

2.空间点阵：由这些阵点有规则地周期性重复排列所形成的三维空间阵列称为空间点阵。

3.滑移：晶体的一部分沿着一定的晶面和晶向相对于另一部分作相对的滑动，引起晶体的塑性变形，这种变形方式称为滑移。

4.金属化合物：合金组元发生相互作用而形成一种具有金属特性的物质称为金属化合物。

5.同素异构转变：当外部条件（如温度和压强）改变时，金属内部由一种晶体结构向另外一种晶体结构的转变。

6.过冷奥氏体：在临界温度以下存在且不稳定的、将要发生转变的奥氏体，叫做过冷奥氏体。

二、单选题

1.C 2.D（解析：所有平行或相交于某一直线的晶面构成一个晶带，此直线称为晶带轴。属此晶带的晶面称为共带面。晶带轴 $[u\ v\ w]$ 与该晶带的晶面 $(h\ k\ l)$ 之间存在以下关系： $hu + kv + lw = 0$ 凡满足此关系的晶面都属于以 $[u\ v\ w]$ 为晶带轴的晶带，故此关系式也称作晶带定律。故只有 D 晶晶带满足 $hu + kv + lw = 0$ ）

3.B 4.D 5.B 6.C 7.A 8.C 9.D 10.A 11.B 12.D 13.B 14.D 15.A

三、答案省略。作图题很简单，答案就不写了。具体参见教材 P14-P15。注意坐标原点应在待定晶面外。

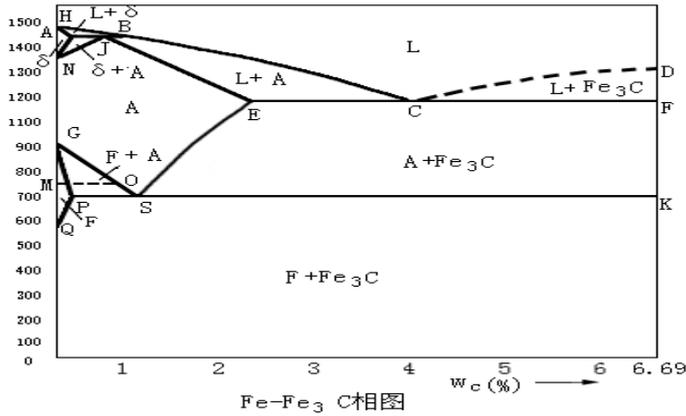
四、相图知识测验

1. ①Fe—Fe₃C 相图如下图所示。

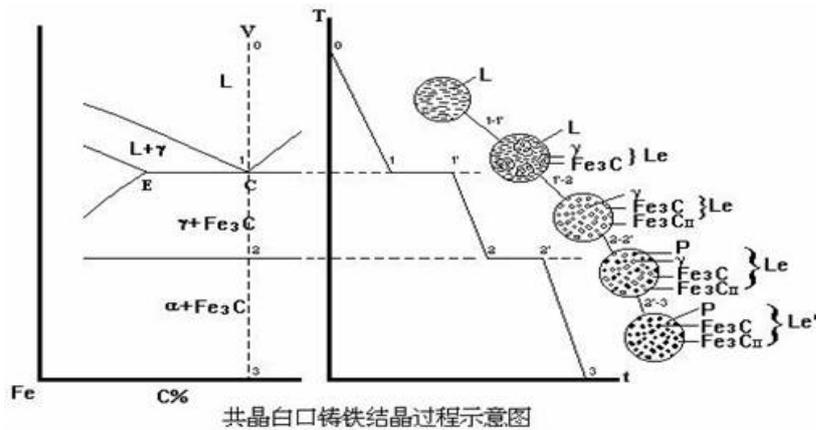
②包晶转变： $L_B(0.53\%) + \delta_H(0.09\%) \xrightleftharpoons{1495^\circ C} \gamma_J(0.17\%)$

共晶转变： $L_C(4.3\%) \xrightleftharpoons{1148^\circ C} \gamma_E(2.11\%) + Fe_3C(6.69\%)$

共析转变： $\gamma_S(0.77\%) \xrightleftharpoons{727^\circ C} \alpha_P(0.0218\%) + Fe_3C(6.69\%)$



2. 4.3% C 铁碳合金在图中直线所示位置，其冷却曲线为



注意该图只让画出冷却曲线，所以组织转变示意图就不要画了。室温组织示意图为：



该合金室温下组织组成为莱氏体 Ld' ，故 $w_{Ld'} = 100\%$ 。相组成为：铁素体 $\alpha + Fe_3C$

$$w_{\alpha} = \frac{6.69 - 4.3}{6.69} \times 100\% = 35.7\% \quad w_{Fe_3C} = 1 - w_{\alpha} = 64.3\%$$

3. 铁碳合金中的渗碳体有五种存在形式，分别为：一次渗碳体 (Fe_3C_I)、二次渗碳体 (Fe_3C_{II})、三次渗碳体 (Fe_3C_{III})、共晶渗碳体、共析渗碳体。

①一次渗碳体：1148—1227°C 从液相中析出 呈规则的长条状

②二次渗碳体：727—1148°C 从 γ 相中析出 沿奥氏体晶界呈网状分布

③三次渗碳体：727°C 以下 从 α 相中析出 沿晶界呈小片状分布

④共晶渗碳体：1148°C 共晶反应得： $L_C \xrightleftharpoons{1148^{\circ}C} \gamma_E + Fe_3C$ 比较粗大，有时呈鱼骨状

⑤共析渗碳体：727°C 共析反应得： $\gamma_S \xrightleftharpoons{727^{\circ}C} \alpha_P + Fe_3C$ 与铁素体交替呈层片状

4. 同 2004 年真题第五大题。

五、综合分析题

1. 同 2004 年第四大题第二小题。

2. 冷加工和热加工的区别在于加工温度。冷加工是在再结晶温度以下进行加工，产生加工硬化。热加工是在再结晶温度以上进行加工，使金属材料发生动态的回复和再结晶，不产生加工硬化。由 $T_{再} = (0.35-0.4) T_m$ ，可知，镁加工属于冷加工，需要进行中间退火，消除工件加工硬化效应，改善塑性，便于实施后继工序；而铅属于热加工，不需要进行中间退火。

3. 齿轮：20CrMnLi，渗碳钢，C%=0.2%, Cr%<1.5%, Ti=微量，预备处理是正火，最终热处理是渗碳后淬火加低温回火，其最终组织为表层是回火马氏体，心部是托氏体。

连杆：40Cr，调质钢，C%=0.4%, Cr%<1.5%，预备热处理是退火，最终热处理是淬火加高温回火，其最终组织是回火索氏体。

弹簧：65Mn，弹簧钢，C%=0.65%, Mn %<1.5%，预备热处理是退火，最终热处理是淬火加中温回火，其最终组织是回火托氏体。

滚动轴承：GCr15，滚动轴承钢，C%=1.0%, Cr%=1.5%，预备热处理是球化退火，最终热处理是淬火加低温回火，其最终组织是回火马氏体。（GCr18 就是 Cr%=1.8%）

车刀：W18Cr4V，高速钢，W%=17.5~18.5%, Cr%=3.5~4.5%, V%<1.5%，预备热处理是退火，最终热处理是淬火后加 560°C 三次回火，其最终组织是回火马氏体加颗粒状碳化物。

锉刀：T10，碳素工具钢，C%=1.0%，预备热处理是球化退火，最终热处理是淬火加低温回火，最终组织是回火马氏体。

冷冲压模具：Cr12MoV，冷作模具钢，C%>1.0%, Cr%=11.5~12.5%，Mo%、V%<1.5%，预备热处理是球化退火，最终热处理是淬火加低温回火，最终组织是回火马氏体。

机床床身：HT250，灰口铸铁，浇注后不进行热处理。

4. 铁石墨化过程的三个阶段：第一阶段；在 1153°C 发生共晶反应，形成石墨，

$L_C \xrightleftharpoons{1153^{\circ}C} \gamma_E + G(\text{石墨})$ 。第二阶段：在 1153~736°C 范围冷却过程中，由于随温度的降低，碳在奥氏体中的溶解度下降，多余的碳以石墨方式析出二次石墨 (G_{II})。

第三阶段：在 736°C，通过共析反应 $\gamma_S \xrightleftharpoons{736^{\circ}C} \alpha_P + G(\text{石墨})$ ，形成共析石墨。

铸铁结晶过程中，第一、二阶段由于温度较高，原子具有较高的扩散能力。石墨化容易实现，即结晶按 Fe-G 进行，得到 A+G 组织。而第三阶段由于温度较低，石墨化过程可能被部分或完全抑制，结果可获得三种不同的组织：① F+G（第三阶段完全进行）② F+P+G（第三阶段部分抑制）③ P+G（第三阶段完全抑制）。若石墨第三阶段被部分抑制，即形成铁素体+珠光体+球状石墨的基体组织，由于球状石墨周围的基体组织碳的浓度低，有利于铁素体的形核长大，故

石墨球的四周为铁素体环。故形成牛眼状的球墨铸铁。

5.①**碳(C)**: 碳的含量直接影响钢的性能, 当碳含量高时, 钢的硬度和强度增加, 但是其熔点、塑性和延展性降低, 使钢难于加工。

②**硫(S)**: 为有害元素, 有强烈的偏析作用, 使机械性能、焊接性能下降(引起热裂纹), 硫主要以硫化亚铁存在于钢中, 它使钢在压力加工时容易开裂, 降低了塑性。

③**磷(P)**: 为有害元素, 含量的增加可提高强度, 塑性及韧性显著下降。有强烈的偏析作用, 引起冷脆性, 焊接性下降。但可提高耐磨性及耐腐蚀性。

6. 中碳钢更易产生焊接冷裂纹。

在防止焊接冷裂方面, 马氏体转变点 M_s 对焊接过程形成冷裂纹的敏感性影响很大, M_s 点高的钢, 在较高的温度下可以形成板条状马氏体, 产生“自回火”现象, 转变过程产生的内应力可以局部消除。此外焊接过程所吸收的氢可以扩散逸出一部分, 从而可以减少形成氢裂的可能性。而中碳钢与低碳钢相比, 由于其碳含量较高, 使得马氏体开始转变的温度 M_s 点较低, 因而更易产生冷裂。

同时, 低碳钢含碳量较低, 使 C 曲线左移, 过冷奥氏体不稳定, 临界淬火速度高, 因而焊接冷却时不易形成马氏体; 另一方面, 即使形成低碳马氏体, 因其强韧性好, 焊接冷裂纹的敏感性也不大。

在实际的焊接中, 对于中碳钢, 焊接冷却时容易得到强硬的马氏体组织, 必须采取充分预热、缓冷等措施, 以防止片状马氏体的形成。焊后应缓冷, 尽量采用多层焊, 必要时焊后立即进行热处理以降低形成焊接冷裂纹的倾向。

2013 年金属学与热处理考研试题答案

一、名词解释

1.**合金**: 两种或两种以上的金属, 或金属与非金属, 经熔炼或烧结, 或用其他方法组合而成的具有金属特性的物质。

2.**过冷度**: 金属的理论结晶温度与实际结晶温度之差, 称为过冷度。

3.**偏析**: 合金中各组成元素在结晶时分布不均匀的现象。

4.**再结晶**: 冷变形后的金属加热到一定温度或保温足够时间后, 在原来的变形组织中产生了无畸变的新晶粒, 位错密度显著降低, 性能也发生显著变化, 并恢复到冷变形前的水平, 这个过程称为再结晶。

5.**加工硬化**: 随着变形程度的增加, 金属的强度, 硬度增加, 而塑性、韧性下降的现象即为加工硬化或形变强化。

6.**淬透性**: 指奥氏体化后的钢在淬火时获得马氏体的能力, 其大小用钢在一定条件下淬火获得的淬透层的深度表示, 主要取决于临界冷却速度。

二. 答案略

三. 1. 具体答案见课本 P110—111, 这里就不写了。

2. 根据铁-碳相图判断该合金为过共析钢, 设含碳量为 x , 由杠杆定律得

$$\frac{x-0.77}{6.69-0.77} = 10\%$$

解得 $x=1.36\%$

1. 36%C 铁碳合金的平衡结晶过程如图中 (图的位置在 04 年真题第五大题) 直线④所示。

$T > T_1$ 时: 为液相 L

$T = T_1$ 时: 开始析出 γ 相

T1-T2 时：随着温度的降低，L 相越来越少， γ 相越来越多。L 相的成分沿着 BC 线变化， γ 相的成分沿着 JE 线变化

T=T2 时：L 相全部转变 γ 相

T2-T3 时： γ 相单相冷却

T=T3 时： γ 相开始析出 Fe_3C_{II}

T3-T4 时：随着温度的降低， γ 相越来越少， Fe_3C_{II} 相越来越多。 γ 相的成分沿着 ES 线变化。

T=T4 时：发生共析反应： $\gamma_s \xrightleftharpoons{727^{\circ}C} \alpha_p + Fe_3C$ 。得到 P

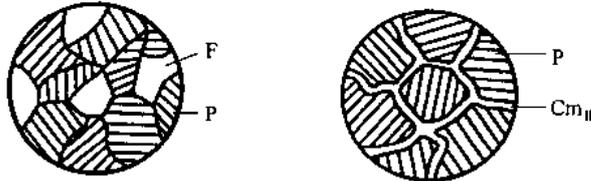
室温组织是 P+ Fe_3C_{II}

3. 1.0%C 铁碳合金中二次渗碳体的相对量为

$$w_{Fe_3C_{II}} = \frac{1.0 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 3.9\%$$

共析渗碳体的相对量为： $w_{Fe_3C_{共析}} = \frac{0.77 - 0.0218}{6.69 - 0.0218} \times (1 - w_{Fe_3C_{II}}) = 10.8\%$

4. 亚共析钢和过共析钢的典型平衡组织如下图所示



四、简答题

1、答：（1）高碳钢回火马氏体表面浮突呈锥字型，它的相变是通过共格切变机制完成的。而下贝氏体的表面浮突是不平行的相交成 V 字形，而且它的铁素体不是通过切变共格完成的；（2）高碳钢回火马氏体中存在位错和孪晶，而下贝氏体中的铁素体中只有位错盘结没有孪晶结构存在，其韧性较好。（3）下贝氏体中碳沿着与贝氏体长轴呈 50-60° 倾斜的直线规则排列与相间析出相似。回火马氏体中碳在铁素体中是均匀分布的。

共析钢要得到回火马氏体需要采用淬火+低温回火的热处理工艺。要得到下贝氏体需要采用加热到 Ac1 线以上 30—50°C 保温一段时间后，在 350°C 等温淬火。

2. 三种内应力：

- 1) 第一类内应力（宏观内应力）。由于不同部位变形不均匀造成，作用范围大。
- 2) 第二类内应力（微观内应力）。由于不同晶粒之间变形不均匀造成，作用范围在几个晶粒之间。
- 3) 第三类内应力（晶格畸变）。由于晶体缺陷大量增加造成，作用范围在原子尺度。

影响：

材料的强度、硬度升高，塑性、韧性下降；比电阻增加，导电系数和电阻温度系数下降，抗腐蚀能力降低等。

3、①连杆：40Cr，调质钢，C%=0.4%，Cr%<1.5%，预备热处理是退火，最终热处理是淬火加高温回火，其最终组织是回火索氏体。

②弹簧：60Si2Mn，弹簧钢，C%=0.60%，Mn %<1.5%，预备热处理是退火，最终热处理是淬火加中温回火，其最终组织是回火托氏体。

③滚动轴承：GCr15，滚动轴承钢，C%=1.0%，Cr%=1.5%，预备热处理是球化退火，最终热处理是淬火加低温回火，其最终组织是回火马氏体。

④车刀：W18Cr4V，高速钢，W%=17.5~18.5%，Cr%=3.5~4.5%，V%<1.5%，预备热处理是退火，最终热处理是淬火后加 560℃ 三次回火，其最终组织是回火马氏体加颗粒状碳化物。

⑤机床床身：HT250，灰口铸铁，浇注后不进行热处理。

4、45 号钢采用正火，其组织为铁素体+细片状珠光体。采用调质，其组织为回火索氏体。铁素体是柔软相，会降低钢的强度。45 号钢正火后组织中的铁素体沿珠光体的晶界呈片状分布，珠光体是铁素体与渗碳体呈交替层片状。而回火索氏体是细小的粒状渗碳体弥散地分布在铁素体基体上。由于粒状渗碳体比片状渗碳体阻碍裂纹的发展有利。即两者硬度相近，采用调质处理 45 钢的强度、塑性、韧性要优于采用正火处理的 45 钢。