

一、选择题（每题 3 分，不定项选择，总分 30 分）

1、对于金属材料而言，键能越高，则（ABCD）

A、热膨胀系数越小 B、熔点越高 C、融化潜热越大 D、强度越高

解析：键能越高越稳

2、有一刃型位错，其柏氏矢量为 b ，位错线方向为 e ，位错线运动方向为 m ，则（ABC）

A、 b 垂直 e B、 e 垂直 m C、 b 平行 m D、 b 平行 m

解析：柏氏矢量和刃型位错的位错线方向垂直，和螺型位错的位错线方向平行。

3、六方晶系中 $[210]$ 晶向，则对应的四轴坐标应为（A）

A、 $[10\bar{1}0]$ B、 $[1010]$ C、 $[20\bar{1}0]$ D、 $[\bar{1}020]$

解析：

$$[UVW] \longleftrightarrow [u \ v \ t \ w]$$

$$U = u - t$$

$$u = (2U - V)/3$$

$$V = v - t$$

$$v = (2V - U)/3$$

$$W = w$$

$$t = -(u + v) = -(U + V)/3$$

$$w = W$$

4、以下有关杰克逊因子 α 的说法正确的有（ABC）

A、当 $\alpha \leq 2$ 时，界面为粗糙界面 B、当 $\alpha \geq 5$ 时，界面为光滑界面

C、当 $2 < \alpha < 5$ 时，界面为混合型界面 D、界面类型无法确定

5、钢回火时，随着回火温度的上升，性能会产生以下哪些变化？（ABD）

A、强度硬度逐渐下降 B、塑性韧性有可能变差

C、强度硬度不断上升 D、塑性韧性逐渐上升

解析：可能变差是由于回火脆性

6、亚共析钢加热至 GS 线以上时，铁素体转变为奥氏体的转变是（AD）

A、重结晶 B、伪共晶 C、离异共晶 D、同素异构转变

解析：注意再结晶和重结晶的区别

再结晶：指经过冷变形后的材料经重新加热退火后无畸变的等轴晶逐步取代变形晶粒的过程。

再结晶的驱动力是冷变形产生的储存能。强度、硬度显著下降，塑性和韧性显著提高，内应力、加工

硬化状态消除，金属又重新复原到冷变形之前的状态。

重结晶：即金属的同素异构转变，指金属在固态下由于温度的改变由一种晶体结构向另一种晶体结构的转变。

7、影响表面能的因素有哪些（ABCD）

A、外部环境的性质 B、材料本性 C、外表面原子密度 D、界面曲率

解析：表面能：增加单位面积的表面需要做的功

8、影响非均匀形核形核率的因素有哪些？（ABCD）

A、过冷度 B、杂质结构 C、杂质表面粗糙度 D、震动与搅拌

9、影响钢的淬透性的因素有（D）

A、钢的冷却速度 B、冷却介质
C、工件尺寸 D、奥氏体稳定程度

解析：

淬透性是指奥氏体化后的钢在淬火时获得马氏体的能力，其大小以钢在一定条件下淬火获得的淬透层深度和硬度分布表示，主要受奥氏体中的碳含量和合金元素的影响。

钢的淬透性主要取决于它的化学成分，非凡是含增大淬透性的合金元素及晶粒度，加热温度和保温时间等因素有关。

淬硬性，指钢在淬火时硬化能力，用淬成马氏体可能得到的最高硬度表示。主要取决于马氏体中的含碳量，碳含量越高，则钢的淬硬性越高。其他合金元素的影响比较小钢的淬硬性是指钢在理想条件下淬火能达到最高硬度的能力，它主要取决于马氏体的碳含量。

淬透性好的钢，其淬硬性不一定高。如低碳合金钢的淬透性相当好，但它的淬硬性却不高，再如高碳工具钢的淬透性较差，但其淬硬性高。

10、下贝氏体与高碳马氏体相比（ABCD）

A、均为针片状 B、下贝氏体为复相组织
C、高碳马氏体为单相组织 D、下贝氏体有良好的综合力学性能

解析：

片状马氏体：中、高碳钢及高镍的铁镍合金中形成的一种典型马氏体组织。空间形态呈双凸透镜状，在光学显微镜下则呈针状或竹叶状，故又称为针状马氏体。

片状马氏体内部的亚结构主要是孪晶，因此片状马氏体又称为孪晶马氏体。

下贝氏体：形成于贝氏体转变区较低温度范围，大约在 $350^{\circ}\text{C} \sim \text{Ms}$ 之间形成，空间形态呈双凸透镜状，与试样磨面相交呈片状或针状。

组织形态：由含碳过饱和的片状铁素体和其内部沉淀的碳化物组成的机械混合物。铁素体针细小、分布均匀，在铁素体内又沉淀析出大量细小、弥散分布的碳化物，且铁素体内含有过饱和的碳和高密度的位错，因此不但强度高，韧性也好，具有良好的综合机械性能，缺口敏感性和脆性转折温度都较低。

二、判断题（每题 2 分，8 题，共 16 分）

（T） 1、伪共晶只能在非平衡结晶时形成，而在平衡结晶和非平衡结晶时都能形成离异共晶。

解析：

伪共晶：在不平衡的结晶条件下，成分在共晶点附近的合金全部转变成共晶组织，这种非共晶成分的共晶组织

从相图上看，偏离共晶点成分的话必然会有初生相（胞状或枝状）出现。然而，从动力学上看，初生相未必出现，这是由于共晶的生长过冷度小于初生相。这也就是共晶共生区的概念。

离异共晶：有共晶反应的合金中，如果成分离共晶点较远，由于初晶数量较多，共晶数量很少，共晶组织中与初晶相相同的相依附初晶长大，共晶组织中另外一个相呈现单独分布，使得共晶组织失去其特有组织特征的现象。

（T） 2、魏氏组织产生时通常伴随着晶粒粗大，使得钢的力学性能变差。

解析：魏氏组织是指在焊接的过热区内，由于奥氏体晶粒长得非常粗大，这种粗大的奥氏体在较快的冷却速度下会形成一种特殊的过热组织，其组织特征为在一个粗大的奥氏体晶粒内会形成许多平行的铁素体(渗碳体)针片，在铁素体针片之间的剩余奥氏体最后转变为珠光体，这种过热组织称为铁素体(渗碳体)魏氏组织。

(F) 3、**第一类内应力是指，各个晶粒或者亚晶粒范围内处于平衡的力。**

宏观内应力（第一类内应力）由金属工件或材料各部分间的宏观变形不均匀而引起的，其平衡范围是物体的整个体积。如冷拉圆钢，由于外圆变形小，中间变形大，所以表面受拉应力，心部受压应力。

微观内应力（第二类内应力）由各晶粒或各亚晶粒之间的变形不均匀而产生的，其平衡范围是几个晶粒或几个亚晶。

点阵畸变（第三类内应力）由金属在塑性变形中产生大量点阵缺陷（如位错、空位、间隙原子等），使点阵中的一部分原子偏离其平衡位置，而造成的晶格畸变。其作用范围更小，在几十至几百纳米范围内，它使金属的强度、硬度升高，而塑性和抗腐蚀性下降。变形金属所吸收的能量的绝大部分（80~90%）消耗于点阵畸变。

(T) 4、**金属结晶时的过冷度需要大于临界过冷度。**

(F) 5、**共析钢在等温冷却时可能发生珠光体转变和贝氏体转变，也可能发生马氏体转变。**

(T) 6、**合金在正的温度梯度下是按照平面长大方式生长的，长大速度较均匀形核机制长大要快。**

解析：

正温度下的平面长大方式：晶体以平行界面的方式推移长大，界面上任何偶然的小凸起深入液体中，都会造成过冷度降低，长大速度降低或停止长大，因此能保持平面推移。

负温度梯度下的树枝状长大方式：界面上偶然的凸起深入到液相，将具有更大的过冷度，有利于晶体长大和凝固潜热的散失，快速长成一个细长的晶体主干——一次晶轴；在主干形成的同时，主干与周围过冷液相的界面也是不稳定的，主干上同样会出现很多突起末端，长大成为二次晶轴以及多级分枝。一般金属结晶以支晶的方式长大。

(F) 7、**合金在平衡结晶时各个相的自由能相等。**

解析：平衡结晶所谓平衡，是指在一定条件下合金系中参与相变过程的各相的成分和相对质量不再变化所达到的一种状态。此时合金系稳定，不随时间而改变。

(F) 8、**几乎所有钢都会产生第一类回火脆性，通过再次高温回火后快冷的方式可以消除。**

解析：回火脆化现象定义：回火时韧性下降的现象。

低温回火脆性（第一类回火脆性）：在 250 ~ 400℃ 间回火时出现的脆性叫低温回火脆性。几乎所有的钢都存在这类脆性，称为不可逆回火脆性。产生的主要原因是，在 250℃ 以上回火时，碳化物薄片沿板条马氏体的板条边界或针状马氏体的孪晶带和晶界析出，破坏了马氏体之间的连接，降低了韧性。为了防止这类脆性，一般是不在该温度范围内回火，或采用等温淬火处理。钢中加入少量硅，可使此脆化温区提高。

高温回火脆性（第二类回火脆性）：在 450 ~ 650℃ 间回火时出现的脆性称为高温回火脆性。它与加热、冷却条件有关。加热至 600℃ 以上后，慢速冷却通过此温区时出现脆性；快速通过时不出现脆性。在脆化温度长时间保温后，即使快冷也会出现脆性。将已产生脆性的工件重新加热至 600℃ 以上快冷时，又可消除脆性。如再次加热至 600℃ 以上慢冷，则脆性又再次出现。所以此脆性称为可逆回火脆性。一般认为，产生高温回火脆性的主要原因是磷等杂质在原奥氏体晶界上偏聚。钢中铬、镍等合金元素促进杂质的这种偏聚，而且本身也能发生晶界偏聚，因此增大了产生回火脆性的倾向。

防止高温回火脆性的方法是：尽量减少钢中杂质元素的含量；或者加入钼等能抑制晶界偏聚的合金元素。

二、简答题（每题 10 分，7 题，共 70 分）

1、简述多晶体塑性变形时的特点。

答：（**本题答案详见第二版课本 174 至 175 页，第一个小标题：“多晶体的塑性变形过程”内容，174 页最后一段有具体描述。**）

- ① 晶界对于多晶体变形具有阻碍作用，表现为“细晶强化”，由霍尔佩奇公式可知： $\sigma_s = \sigma_0 + K \cdot d^{1/2}$ ，晶界越多，晶粒越细，其屈服强度越高，已滑移的小晶粒晶界附近会形成较小的应力集中，则需要在较大的外加应力下才能使相邻晶粒发生塑性变形。
- ② 各晶粒变形的不同时性，即各个晶粒的变形是有先有后的，不是同时进行的；
- ③ 各个晶粒之间相互协调，面心立方金属和体心立方金属的滑移系多，各个晶粒变形协调性好，多晶体表现有较好的相互协调性；
- ④ 多晶体塑性变形具有不均匀性，一般来说，晶粒中心区域的变形量较大，晶界及其附近区域的变

形量较小。

2、根据铁碳相图，计算含碳量为 1.0% 的碳钢的相组成物的相对含量以及组织组成物的相对含量。

答：（答题策略：先画出铁碳相图，最好用尺子画，画标准一些，标出重要点，相关温度，再按照杠杆定律计算题目要求的目标数值，计算时等式右边最好先用字母标的线段代号表示公式，再带入未计算的数值，再求得目标值，最后总结答案。）

提示：铁碳相图这一块，一定要熟记铁碳相图，熟记途中的温度，点的英文字符，各个线的别称，从 A0 至 Acm，掌握杠杆定律的推导原理，应用范围。还应该熟悉三元相图，总结三元相图常见种类，熟悉三元相图中杠杆定律的使用，以及其他公式定律的使用情况，这是基础中的基础。

① 相组成物： α 相和 Fe_3C

$$\omega_{\alpha} = \frac{6.69 - 1.0}{6.69 - 0} \times 100\% = 85.1\%$$

$$\omega_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - 85.1\% = 14.9\%$$

② 组织组成物：P 和网状 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$

$$\omega_{\text{P}} = \frac{6.69 - 1.0}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 96.1\%$$

$$\omega_{\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}} = 1 - 96.1\% = 3.9\%$$

3、何谓成分过冷？分析成分过冷形成的原因，并解释其对于金属结晶形态有何影响？

（这个知识点位于第二版课本的 80 至 83 页，是一个标红的知识点，应会名词解释“成分过冷”，会画图解释成分过冷原理，会分析成分过冷的影响因素，会由成分过冷分析金属结晶形态。）

提示：答题思路：首先就像名词解释一样解释“成分过冷”，不要求和书上的解释一字不差，但要求言简意赅，表述清楚。之后简单文字描述或者提及一下成分过冷的主要原因，想写文章一样引出解释原因的下文，先画图，要求图文并茂，最好图左字右描述。

答：成分过冷是指由于异分结晶的作用，使得已结晶的固相会将溶质原子排入液态金属中，由于液态金属扩散不充分，造成在固液界面处产生浓度梯度，从而造成实际熔点与温度梯度之间存在一定差值而引起的过冷度。由于固溶体合金在结晶时，溶质组元重新分布，在固液界面处形成溶质的浓度梯度，从而产生成分过冷。

温度梯度较大时，结晶长成平面晶；温度梯度不大时，结晶长成胞状晶；温度梯度较小时，结晶长成树枝晶。

4、何谓临界变形度？临界变形度对于材料塑性变形有何影响？

(本题对应第七章第三节知识点，位于第二版课本的 202 至 203 页，临界变形度对于材料塑性变形的影响应结合再结晶后晶粒大小，来判断其的影响。)

提示：先结合再结晶晶粒尺寸与变形度关系曲线，名词解释一下临界变形度。再分析临界变形度与晶粒尺寸的关系，联系霍尔佩奇公式分析对于金属塑性变形性能的影响。

答：如下图变形度与再结晶金属晶粒尺寸的关系图可见，临界变形度是指再结晶退火后对应得到晶粒尺寸异常粗大的变形度。

①当材料塑性变形变形度小于临界变形度时，材料内部的晶格畸变能较小，再结晶驱动力较小，不足以发生再结晶；②当变形度处于临界变形度时，再结晶退火时，形核率很小，而晶粒长大速度较大，会得到较粗大的晶粒，使得金属材料的强硬度下降，塑韧性下降，性能变坏；③随着变形度增加，形核率逐渐增加，且比长大速度增长的快，从而使得晶粒变细，强度硬度增加，塑韧性也变好。影响再结晶晶粒大小的因素包括：①变形度；②再结晶退火温度；③原始晶粒尺寸；④合金元素及杂质。

5、简述淬火时效和应变时效，它们形成的原因是什么？对于材料的性能有何影响？

(本题对应第二版课本第四章第五节：钢中的杂质元素及钢锭组织，中 N 的影响，位于 125 页。)

提示：本题属于细碎知识点，而且具有一定的联系性，所以我们可以看到，我们在复习时应抓住每一个可能的知识点，无论大小，融会贯通，连成一串。

答：①淬火时效指金属材料淬火以后，在保温或存放过程中，杂质原子在晶界和位错等晶体缺陷处偏聚，使得其塑韧性下降，而强硬度有所提高的现象称为淬火时效。

产生的原因：在高温时，杂质原子(N)的固溶度较大。而在淬火时，快速冷却，使得原子快速“冻结”，来不及逸出。在随后保温或者存放过程中会自发析出或者偏聚。从而产生淬火时效现象。

对于金属性能的影响：金属塑韧性下降，而强硬度上升。

②应变时效：是指金属材料经过塑性变形后，合金元素在位错线处偏聚析出，从而引起的时效现象。

产生的原因：塑性变形使得材料内部的位错大量增殖，晶体缺陷增加，杂质原子易于偏聚，从而使得金属性能发生变化。

对于金属性能的影响：使得金属塑韧性下降，强硬度上升

解决办法：往钢中加入足够数量的 Al，铝能与氮结合形成 AlN，这样就可以减弱或者完全消除这两种在较低温度下形成的时效现象。

6、与钢相比，铝合金的热处理工艺有何不同？

(应该结合铁碳相图与课本第十章“钢的热处理原理”出发，简述钢的热处理工艺以及原理。再结合 Al 合金二元相图分析此二元相图与铁碳二元相图之间的区别，并由此分析热处理工艺的不同。)

答：

比较铁碳相图和铝合金相图我们可以知道，铁存在同素异构转变以及溶解度变化，而铝合金一般只有溶解度变化，因此会造成两者热处理工艺的差别，形成的组织也不尽相同，性能各有千秋。

钢的热处理工艺包括：工业四把火——淬火、回火、退火、正火。

退火是将工件加热到适当温度，保持足够的时间，然后进行缓慢冷却，目的是使金属内部组织达到或接近平衡状态，降低硬度，改善切削加工性，消除残余应力，稳定尺寸，细化晶粒，调整组织结构消除组织缺陷，或者为进一步淬火作组织准备；

淬火是将钢加热到临界温度 A_{c3} 或 A_{c1} 以上，保温一段时间，使之全部或部分奥氏体化，然后以大于临界冷却速度的冷速快冷到 M_s 点一下的热处理工艺，目的是使过冷奥氏体进行马氏体或贝氏体转变，得到马氏体或贝氏体。配合回火，可提高钢的强度、硬度、耐磨性以及韧性等；

回火是将经过淬火的工件重新加热到低于临界温度 A_{c1} 的适当温度，保温若干时间后缓慢或快速冷却。目的是消除工件内应力，降低其硬度和强度，提高塑性和韧性；

正火是将工件加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30-50^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间后，在空气中冷却的热处理工艺，目的是使晶粒细化或碳化物均匀分布。

对于铝合金，一般热处理工艺为固溶加时效，固溶是指将铝合金加热至一定温度，保温使得溶质原子充分融入并均匀，然后快冷以获得过饱和状态的铝合金，称为固溶。固溶以后在一定温度以下保温，过饱和的溶质原子会析出，从而引起材料性能发生变化，这个过程称为时效。时效使得材料的强度上升，塑性下降。

7、什么是相？合金材料中相的存在形式有哪些？性能各有何特点？

(本题属于常规概念题，要求对于课本有相当的熟练度，并具有一定的概括总结能力，回答本题时应将各个离散知识点联系紧凑起来。知识点对应第二版课本第三章第二节，位于 61 至 69 页。)

答：相是指材料中具有相同的聚集状态，相同的晶体结构、相同成分的部分，性能均一，并由界面相互分开的组成部分。

合金材料中相依据①原子尺寸②电负性③电子浓度④晶体结构的不同，不同的相可能会以固溶体或金属间化合物的形式存在。

(1) 固溶体：是指合金的组元之间以不同比例混合后形成的固相，其晶体结构与组成合金的某一组元的相同，这种固相称为固溶体。

固溶体根据不同特点可以分为：置换/间隙固溶体；有限/无限固溶体；无序/有序固溶体等。

影响固溶体中溶质溶解度的因素包括：①原子尺寸；②电负性；③电子浓度；④晶体结构因素。

固溶体存在固溶强化，且一般具有良好的塑性，常作为多相材料的塑性基体。

(2) 金属间化合物：当超过固溶体溶解度极限时，会形成与溶质和溶剂晶格类型均不相同的新的晶体结构的固相，称为金属间化合物。金属间化合物一般硬而脆。

三、综合题 (每题 17 分，2 题，共 34 分)

1、合金钢 3CrW8V (成分相当于过共析钢) 工业上常用作热挤压模具，其生产工艺如下：

①铸造→②锻造→③880℃加热保温→机械加工→④1100℃加热保温一小时→⑤油冷→⑥550℃加热三次。

请问：工艺①至⑥的目的是什么？得到什么样的组织，以及性能特点是什么？

(了解熟悉掌握课本中每一个环节和工艺的原理作用，温度参数等)

答：

①铸造：

组织：得到柱状晶；

性能：存在弱面，性能具有方向性；（详见第二版课本第二章第六节）

②锻造：

作用：（1）、可以消除铸造缺陷；（2）、可以打碎柱状晶；（3）、可以消除偏析。

组织：得到纤维组织、带状组织、晶粒细化等效果。（详见第二版课本第七章第五节“热加工后的组织与性能”）

③880℃加热：球化退火：降低硬度，为淬火做组织准备。

组织：球状渗碳体和珠光体

性能：硬度适中，适合机械加工，塑韧性较好

④1100℃加热：

扩散退火：消除高合金钢的偏析（第二版课本第十章第一节）

组织：均匀但粗大的奥氏体晶粒

性能：晶粒粗大，脆性大。

⑤油冷：

目的：获得隐针马氏体

组织：隐针马氏体、残余奥氏体

性能：硬且脆、强度高。

⑥550℃回火三次：

目的：二次硬化、获得彻底的回火组织

组织：回火索氏体

性能：良好的综合力学性能。

2、钢中合金元素和硫磷杂质元素的存在形式是什么？以及对钢的力学性能有何影响？

(知识点对应第四章第五节 , 位于 123 页至 126 页 , 着重叙述 S 和 P , 但也不能忽略 Mn, Si, O, N, H 等的影响。)

答：合金元素主要包括：Mn、Si；有害杂质元素主要包括：O, H, N, S, P 等，各自的作用如下：

① Mn：可以作为脱氧剂；可以除硫；具有固溶强化作用；还可以还原 FeO。

Mn 的存在形式包括：固溶体、合金渗碳体、MnO、MnS 等。

② Si：可以作为脱氧剂；还可以固溶强化；但是 Si 含量过多会增加石墨化倾向。

Si 的存在形式包括：二氧化硅；固溶体等。

③ S：对于金属性能的影响主要是会产生热脆。

热脆是指由于在晶界处形成了 Fe-FeS 低熔点共晶，导致晶界高温下开裂的现象。

因此，S 在钢锭中的存在形式为：形成 Fe-FeS 离异共晶，FeS 处于晶界处。

④ P：对于金属性能的影响为，产生冷脆；还具有强烈的固溶强化以及偏聚倾向。

在钢锭中的存在形式包括：固溶，偏聚。