

# 南京航空航天大学

## 二〇〇八年硕士研究生入学考试试题

考试科目: 金属材料学

说明: 所有试题答案必须写在答题纸上, 答案写在试卷上无效

### 一、名词解释 (每个4分, 共20分)

1. 碳钢; 2. 合金渗碳体; 3. 微合金化; 4. 二次硬化; 5. 定比碳规律。

### 二、填空题 (每个空1分, 共20分)

1. 碳钢中的常存元素有 ( )、( ); 杂质元素有 ( )、( ) 和 ( ) 等。
2. 合金钢按钢中合金元素含量的多少, 通常可分为 ( )、( ) 和 ( ) 钢三大类。
3. 碳化物是一种很重要的强化相, 形成碳化物能力越强的元素, 其碳化物稳定性越 ( )。
4. 固溶体中的合金元素, 会改变金属原子与碳的结合力或结合强度。固溶体中的碳化物形成元素, ( ) 碳的活度; 固溶体中的非碳化物形成元素, ( ) 碳的活度。
5. 合金钢中加入的绝大多数合金元素, 一方面使C曲线右移, 增加过冷奥氏体的稳定性, 即 ( ) 钢的淬透性; 另一方面又都使 $M_s$ 和 $M_f$  ( ), 结果使得淬火态的合金钢在室温下将保留更多的 ( )。
6. 淬火合金钢在一定温度范围内回火时, 表现出明显的脆化现象。250~400℃间的脆化现象称为 ( ); 450~600℃间发生的脆化现象称为 ( )。
7. 钢的强化机制的基本出发点是造成障碍, 阻碍位错运动。从这一基本点出发, 钢中合金元素的强化作用主要有 ( ) 强化、( ) 强化、( ) 强化及 ( ) 强化。

### 三、单项选择题 (每小题1分, 共20分)

1. 55钢属于  
(a) 低碳钢; (b) 中碳钢; (c) 高碳钢。
2. 增大奥氏体的形成速度的合金元素有  
(a) Si、Al、Mn; (b) Ni、Co; (c) Cr、Mo、W、V。
3. 钢中最常用的提高淬透性的合金元素主要有  
(a) Cr、Mn、Si、Ni、B; (b) Ti、Zr、Nb; (c) W、Mo、Co、V。
4. 凡是扩大钝化区的合金元素都  
(a) 提高钢的耐蚀性能; (b) 降低钢的耐蚀性能; (c) 对钢的耐蚀性能没有影响。
5. 随着温度的升高, 金属材料的强度、硬度和塑性变化的趋势是  
(a) 降低、升高、升高; (b) 降低、升高、降低; (c) 降低、降低、升高。
6. 高铬铁素体不锈钢在温度超过850℃~900℃以上加热后, 导致这类钢的冷脆性倾向增大, 冷脆转变温度升高, 室温时冲击韧性很低。这种脆性称为  
(a)  $\sigma$ 相脆性; (b) 粗晶脆性; (c) 475℃脆性。
7. 无磁性的不锈钢是  
(a) 铁素体不锈钢; (b) 奥氏体不锈钢; (c) 马氏体不锈钢。
8. 可锻铸铁中石墨的形状是  
(a) 球状; (b) 蠕虫状; (c) 团絮状。
9. 不能热处理强化的铝合金有



- (a) Al-Mg 系和 Al-Mn 系；(b) Al-Cu 系和 Al-Zn 系；(c) Al-Si 系和 Al-Li 系。
10. Ti-6Al-4V合金的类型属于  
(a)  $\alpha$ 钛合金；(b)  $\beta$ 钛合金；(c)  $\alpha+\beta$ 钛合金。
11. T8钢的碳含量约为  
(a) 0.08%； (b) 0.8%； (c) 1.8%。
12. Q345钢中的数字345代表钢的  
(a) 弹性极限；(b) 屈服极限；(c) 抗拉极限。
13. GCr15钢的铬含量约为  
(a) 0.15%； (b) 1.5%； (c) 15%。
14. 18Cr2Ni4WA钢的碳、铬、镍含量分别约为  
(a) 0.18%，0.2%，0.4%；(b) 1.8%，0.02%，4.0%；(c) 0.18%，2.0%，4.0%。
15. 9Cr18是  
(a) 奥氏体不锈钢；(b) 铁素体不锈钢；(c) 马氏体不锈钢。
16. 对于航空发动机齿轮的热处理，如18Cr2Ni4WA、20Cr2Ni4A等的最终热处理工艺一般是  
(a) 渗碳后直接淬火，再低温回火；(b) 渗碳后先进行空冷，再进行淬火并低温回火；  
(c) 渗碳空冷后，必须进行两次淬火。
17. 对于40CrNi2Mo(4340)钢作为超高强度结构钢使用时，采用的热处理工艺是  
(a) 淬火+高温回火； (b) 淬火+中温回火； (c) 淬火+低温回火。
18. 作为结构件用的2Cr13钢（要求具有高的综合力学性能），常用的最终热处理是  
(a) 淬火+高温回火； (b) 淬火+中温回火； (c) 淬火+低温回火。
19. 球墨铸铁QT500-7的数字500表示  
(a) 布氏硬度值；(b) 屈服强度值；(c) 抗拉强度值。
20. 高强度硬铝合金（典型的合金为2A12和2024合金）的强化相  
(a) 主要是 $S(CuMgAl_2)$ 相，其次是 $\theta(CuAl_2)$ 相；(b) 只有 $\theta(CuAl_2)$ 相；(c) 只有 $S(CuMgAl_2)$ 相。

#### 四、判断题（你认为正确者打√，错误者打×，每小题1分，共20分）

1. 钢中硫的质量分数 $w_S \leq 0.035\%$ ，磷的质量分数 $w_P \leq 0.035\%$ 的碳钢称为优质碳素钢。
2. 碳素工具钢都是过共析钢。
3. 钢中较常见的是“白点”是由氮过量引起的。
4. 合金结构钢的淬硬性只和钢中的碳含量有关，而与合金元素的含量无关。
5. 淬火合金钢中马氏体的亚结构只和钢中的碳含量有关，而与合金元素的含量无关。
6. 钢铁材料发生电化学腐蚀的主要原因是因为 $Fe_3C$ 的电极电位较高， $\alpha-Fe$ 的电极电位较低。
7. 在室温下， $Fe_3O_4$ 的自由能低于纯铁；温度高于 $570^\circ C$ ， $FeO$ 的自由能又低于 $Fe_3O_4$ 。
8. 常规热轧过程中，铁素体形核不仅发生在奥氏体晶界上，而且还在奥氏体的晶内。
9. 热轧双相钢，是将钢加热到亚临界温度范围（即在A+F两相区）内，形成20%左右的奥氏体，然后空冷或快冷即可得到铁素体加马氏体组织。
10. 低碳贝氏体型钢中的主加合金元素是能显著推迟先共析铁素体和珠光体转变，而对贝氏体转变推迟较少的钼和硼。
11. 低合金中碳马氏体型超高强度钢与低碳中合金马氏体型钢相比表现出较高的韧性和塑性。
12. 马氏体时效钢的强化效应是由于C在马氏体中固溶及沉淀析出所造成的。
13. 高锰钢是指含10%~14%Mn和0.9%~1.4%C的是非磁性合金钢。



14. 钢的切削加工能和材料的硬度和组织状态有关，细晶粒钢的切削加工性能好于粗晶粒钢，粒状珠光体的切削加工性能要好于片状珠光体。
15. 高速钢淬火冷却通常在油中进行，但对形状复杂、细长杆件或薄片零件需采用分级淬火和等温淬火等工艺来减小工件变形，并提高韧性。
16. 在不锈钢中，碳含量从0.03%到0.08%时，随着碳含量的增加，钢的耐蚀性能增加。
17. 1Cr18Ni9Ti钢的耐晶间腐蚀性能不如1Cr18Ni9钢。
18. ZL102合金不能采用热处理进行强化。
19. Mg-Mn系合金有明显的时效硬化效应，多以固溶+时效状态应用。
20. 钛在882.5℃发生同素异晶转变，在882.5℃以上为体心立方晶格的β相，在882.5℃以下为密排六方晶格的α相。

#### 五、问答题（1~5题每小题8分，第6题12分，共52分）

1. 简述合金元素对钢加热时奥氏体形成过程的影响。（8分）
2. 简述Ti、Nb、V等微合金元素在微合金钢中的作用。（8分）
3. 试述马氏体时效钢的强化机理。（8分）
4. 奥氏体不锈钢发生晶间腐蚀的原因是什么？怎样从合金化和工艺措施上防止晶间腐蚀。（8分）
5. 什么是钛合金中最重要的α稳定置换元素？添加这种元素如何改善钛的工程性能？（8分）
6. 试述铝合金的合金化原则？为什么选用硅、铜、镁、锰、锌作为铝合金的主加元素？选用钛、硼、稀土等作为辅加元素？（12分）

六、在下表中填入可制造的相应零件（应用举例），并指出相应材料所属类别名称和最终热处理方法。（共18分）

轴承内外圈、高速切削刀具、飞机翼梁、医用手术刀、发动机主轴、手用锯条

材料牌号	应用举例	所属类别名称	最终热处理方法
<b>示例：20CrMnTi</b>	<b>汽车齿轮</b>	<b>合金渗碳钢</b>	<b>淬火+低温回火</b>
T10			
40CrNiMoA			
W18Cr4V			
9Cr18			
GCr15			
2024			



# 南京航空航天大学

## 二〇〇八年硕士研究生入学考试试题参考答案

考试科目：金属材料学

### 一、名词解释（每个4分，共20分）

- 1.碳钢：**碳钢（也称碳素钢）是以碳为主要合金元素的一大类钢种，钢中除铁与碳两种元素外，还含有少量锰、硅、硫、磷、氧、氮、氢等非特意加入的元素。
- 2.合金渗碳体：**当合金元素含量很少时，合金元素将不能形成自己特有的碳化物，只能置换渗碳体中的铁原子，如： $(\text{FeCr})_3$ 、 $(\text{FeMn})_3\text{C}$ 等，这类具有渗碳体结构特征的碳化物称为合金渗碳体。
- 3.微合金化：**在传统低合金高强度结构钢基础上加入适量的微合金化合金元素，如钛、铌、钒等，运用控制轧制和控制冷却生产工艺，通过化学成分和制备工艺的最佳配合达到了铁素体型钢的最佳强化效果（即细化晶粒强化和沉淀强化的最佳组合）的一类合金化方法。
- 4.二次硬化：**在含W、Mo、V较多的钢中，高温回火时从马氏体中析出高度分散的合金碳化物粒子使某一回火温度后，硬度反而增加，并在某一回火温度（一般为 $550^\circ\text{C}$ 左右）达到峰值的现象称为二次硬化。
- 5.定比碳规律：**高速钢中合金元素及碳含量满足合金碳化物分子式中定比关系时，淬火及回火时的合金碳化物的沉淀对钢的硬化（二次硬化）效果最好，这被称为定比碳规律（也称为平衡碳理论）。

### 二、填空题（每个空1分，共20分）

1. 锰、硅；硫、磷、氧、氮、氢等。
2. 低合金；中合金；高合金。
3. 高（或大）。
4. 降低，增加。
5. 提高；下降；残余奥氏体。
6. 第一类回火脆性；第二类回火脆性。
7. 固溶强化；晶界强化（细晶强化）；第二相强化；位错强化。

### 三、单项选择题（每小题1分，共20分）

1. (b) 中碳钢；
2. (b) Ni、Co；
3. (a) Cr、Mn、Si、Ni、B；
4. (a) 提高钢的耐蚀性能；
5. (c) 降低、降低、升高。
6. (b) 粗晶脆性；
7. (b) 奥氏体不锈钢；
8. (c) 团絮状。
9. (a) Al-Mg系和Al-Mn系；
10. (c)  $\alpha+\beta$ 钛合金。
11. (b) 0.8%；
12. (b) 屈服极限；
13. (b) 1.5%；
14. (c) 0.18%，2.0%，4.0%。
15. (c) 马氏体不锈钢。



16. (c) 渗碳空冷后, 必须进行两次淬火。

17. (c) 淬火+低温回火。

18. (a) 淬火+高温回火;

19. (c) 抗拉强度值。

20. (a) 主要是 $S(CuMgAl_2)$ 相, 其次是 $\theta(CuAl_2)$ 相;

#### 四、判断题 (你认为正确者打√, 错误者打×, 每小题1分, 共20分)

1. (√); 2. (×); 3. (×); 4. (√); 5. (×); 6. (√); 7. (√); 8. (×); 9. (×); 10. (√);

11. (×); 12. (×); 13. (√); 14. (×); 15. (√); 16. (×); 17. (×); 18. (√); 19. (×); 20. (√)。

#### 五、问答题 (1~5题每小题8分, 第6题12分, 共52分)

1. 简述合金元素对钢加热时奥氏体形成过程的影响。(8分)

答: (1) 合金元素对奥氏体形成速度的大小的影响: Co和Ni等非碳化物形成元素提高碳在奥氏体中的扩散速度, 增大奥氏体的形成速度。Cr、Mo、W、V等强碳化物形成元素与碳的亲合力较大, 显著妨碍碳在奥氏体中的扩散, 大大减慢了奥氏体的形成速度。稳定性高的碳化物, 要求其分解并溶入奥氏体中, 并使奥氏体均匀, 必须采取较高的加热温度和较长的保温时间(4分)。(2) 合金元素对奥氏体晶粒的大小的影响: 碳化物形成元素Ti、V、Zr、Nb等强烈阻止奥氏体晶粒长大; 非碳化物形成元素Ni、Si、Cu、Co等阻碍奥氏体晶粒长大的作用轻微; Mn有助于奥氏体的晶粒长大(4分)。

2. 简述Ti、Nb、V等微合金元素在微合金钢中的作用。(8分)

答: (1) 抑制奥氏体形变再结晶: 在热加工过程中, 通过应变诱导析出钛、铌、钒的氮化物, 沉淀在晶界、亚晶界和位错上起钉扎作用, 有效地阻止了奥氏体再结晶的晶界和位错运动, 从而抑制再结晶过程的进行(2分)。(2) 阻止奥氏体晶粒的长大: 通过加入钛和铌形成TiN或Nb(C,N), 它们在高温下非常稳定, 其弥散分布对控制高温下的晶粒长大有强烈的抑制作用(2分)。(3) 形成沉淀相促进沉淀强化作用: 微合金化钢中的沉淀强化相主要是低温下析出的Nb(C,N)和VC。微合金化元素钒的沉淀强化对屈服强度的作用最大, 而钛的作用处于铌和钒之间(2分)。(4) 改善钢的显微组织: 钛、钒、铌等合金碳化物和氮化物随奥氏体化温度的升高有一定的溶解量, 在轧制加热时, 溶于奥氏体的微合金化元素提高了过冷奥氏体的稳定性, 降低了发生先共析铁素体和珠光体的温度范围, 低温下形成的先共析铁素体和珠光体组织更细小, 并使相间沉淀Nb(C,N)和V(C,N)的粒子更细小(2分)。

3. 试述马氏体时效钢的强化机理。(8分)

答: 马氏体时效钢是一种以Fe-18Ni为基础, 并含有Mo、Ti等元素的超低碳高强度高韧性钢。Fe-18Ni合金在自 $\gamma$ 相区冷却时可以得到条状马氏体组织, 而这种条状马氏体在加热到 $A_s$ 温度以下时, 分解速度极慢。这就是说它是稳定的, 很不容易转变为平衡的 $\alpha$ 相。由于Mo、Ti等元素的存在, 当将马氏体时效钢的条状组织在 $A_s$ 以下温度(例如480℃)时效时,  $Ni_3Mo$ 及 $Ni_3Ti$ 等金属化合物将在条状马氏体的位错处及板条间界处以弥散状态析出, 其尺寸约为几百埃。因此马氏体时效钢的强化原理是马氏体强化和金属化合物的析出硬化。

4. 奥氏体不锈钢发生晶间腐蚀的原因是什么? 怎样从合金化和工艺措施上防止晶间腐蚀。(8分)

答: (1) 奥氏体不锈钢晶间腐蚀主要是在敏化温度区间内容易导致沿晶界析出连续网状富铬的 $(Cr,Fe)_{23}C_6$ 。从而使晶界周围基体产生贫铬区, 贫铬区的宽度约为10-5cm。在析出 $(Cr,Fe)_{23}C_6$ 时间不太长的时间内, 由于铬的扩散速度较慢, 贫铬区得不到恢复。贫铬区的产生使得晶界附近的铬含量被降低到n/8量限度以下, 因而贫铬区成为微阳极而发生腐蚀(3分)。(2) 降低钢中含碳量; 在钢中加入强碳化物形成元素(Ti及Nb), 在晶界附近优先析出特殊碳化物, 消除晶间贫铬区。奥氏体不锈钢经1050~1100℃的固溶处理, 保证钢形成单相固溶体组织; 对非稳定钢进行退火, 使奥氏体成分均匀化, 消除贫铬区; 对稳定性钢, 将铬的碳化物变为Ti、Nb的特殊碳化物, 保证耐蚀性需要的固溶体含铬水平。(5分)



5. 什么是钛合金中最重要的 $\alpha$ 稳定置换元素？添加这种元素如何改善钛的工程性能？（8分）

答：（1）钛合金中最重要的 $\alpha$ 稳定置换元素是Al（2分）。

（2）Al对 $\alpha$ 固溶体的固溶强化效果最显著，每添加1%Al，抗拉强度约增加50MPa。铝除了可以提高合金的常温和高温强度外，还可以提高 $(\alpha+\beta)$ 型钛合金的时效能力，改善合金的抗氧化性能，减小合金的密度，提高弹性模量。因此，在国内外各类钛合金中，几乎都添加了适量的铝（6分）。

6. 试述铝合金的合金化原则？为什么选用硅、铜、镁、锰、锌作用铝合金的主加元素？选用钛、硼、稀土等作为辅加元素？（12分）

答：铝合金的合金化原则是利用固溶强化、时效强化、过剩相强化和细化晶粒强化、变形强化为主要强化途经（4分）。主加合金元素与铝形成有限固溶体，如镁、锰、锌等可溶于铝基体中，起固溶强化作用；铜、铜与镁、锌与镁、硅与镁等可与铝形成强化相；硅含量较多时可以形成过剩相强化（6分）。铝合金中的辅加元素钛、锆、硼和稀土金属等可产生细化晶粒的作用；同时有些微量元素还可以降低铝合金中的氢和夹杂物的含量，起到净化作用（2分）。

六、在下表中填入可制造的相应零件（应用举例），并指出相应材料所属类别名称和最终热处理方法。（共18分）

轴承内外圈、高速切削刀具、飞机翼梁、医用手术刀、发动机主轴、手用锯条

材料牌号	应用举例	所属类别名称	最终热处理方法
示例：20CrMnTi	汽车齿轮	合金渗碳钢	淬火+低温回火
T10	手用锯条	碳素工具钢	淬火+低温回火
40CrNiMoA	机床主轴	合金调质钢	淬火+高温回火
W18Cr4V	高速切削刀具	高速工具钢	淬火+三次560℃回火
9Cr18	医用手术刀	马氏体不锈钢	淬火+低温回火
GCr15	轴承内外圈	滚珠轴承钢	淬火+低温回火
2024	飞机翼梁	硬铝合金	固溶+时效处理