

金属材料学复习思考题

名词解释

合金元素：特别添加到钢中为了保证获得所要求的组织结构从而得到一定的物理、化学或机械性能的化学元素。

微合金元素：有些合金元素如 V, Nb, Ti, Zr 和 B 等，当其含量只在 0.1%左右（如 B 0.001%, V 0.2 %）时，会显著地影响钢的组织与性能，将这种化学元素称为微合金元素。

奥氏体形成元素：在 γ -Fe 中有较大的溶解度，且能稳定 γ -Fe 的元素

铁素体形成元素：在 α -Fe 中有较大的溶解度，且能稳定 α -Fe 的元素

水韧处理：高锰钢铸态组织中沿晶界析出的网状碳化物显著降低钢的强度、韧性和抗磨性。将高锰钢加热到单相奥氏体温度范围，使碳化物充分溶入奥氏体，然后水冷，获得单一奥氏体组织。

晶间腐蚀：奥氏体钢中在晶粒边界发生的有选择性的腐蚀现象

应力腐蚀：不锈钢在特定的腐蚀介质和拉应力的作用下出现的低于强度极限的脆性开裂现象

n/8 规律：加入 Cr 可提高基体的电极电位，但不是均匀的增加，而是突变式的。当 Cr 的含量达到 1/8, 2/8, 3/8, ... 原子比时，Fe 的电极电位就跳跃式显著提高，腐蚀也显著下降。这个定律叫做 n/8 规律。

碳当量：一般以各元素对共晶点实际含碳量的影响，将这些元素的量折算成 C%的增减，这样算得的碳量称为碳当量（C.E）

黄铜：Cu 与 Zn 组成的铜合金称为黄铜

青铜：Cu 与 Zn、Ni 以外的其它元素组成的铜合金称为青铜

白铜：Cu 与 Ni 组成的铜合金称为白铜

问答题：

第一章 钢的合金化原理

2. 合金元素 V、Cr、W、Mo、Mn、Co、Ni、Cu、Ti、Al 中哪些是铁素体形成元素？哪些是奥氏体形成元素？

哪些能在 α -Fe 中形成无限固溶体？哪些能在 γ -Fe 中形成无限固溶体？

奥氏体形成元素：Mn, Ni, Co, Cu；铁素体形成元素：V、Cr、W、Mo、Ti、Al

Mn, Ni, Co 与 γ -Fe 无限互溶；V、Cr 与 α -Fe 无限互溶

3. 简述合金元素对扩大或缩小相区的影响，并说明利用此原理在生产中有何意义？

扩大相区分为两类：1) 开启相区 Mn, Ni, Co 与 γ -Fe 无限互溶。

2) 扩大相区有 C, N, Cu 等。如 Fe-C 相图，形成的扩大的相区

缩小相区：也分为两类：1) 封闭相区使相图中相区缩小到一个很小的面积形成圈，其结果使相区与相区连成一片。如 V, Cr, Si, Al, Ti, Mo, W, P, Sn, As, Sb。2) 缩小相区：Zr, Nb, Ta, B, S, Ce 等。

生产中的意义：

可以利用扩大和缩小相区作用，获得单相组织，具有特殊性能，在耐蚀钢和耐热钢中应用广泛。

合金元素对相图的影响，可以预测合金钢的组织与性能。

4. 简述合金元素对铁碳相图（如共析碳量、相变温度等）的影响。

1. 改变了奥氏体区的位置

2. 改变了共晶温度 扩大 相区的元素使 A_1 , A_3 下降；缩小 相区的元素使 A_1 , A_3 升高。

3. 改变了共析含碳量 所有合金元素均使 S 点左移。

5. 合金钢中碳化物形成元素（V, Cr, Mo, Mn等）所形成的碳化物基本类型及其相对稳定性。

1) $r_c/r_M < 0.59$ 简单密排结构 V, Nb, Ta, Zr, Hf, Mo, W

MC型 面心立方, V, Nb, Ta, Zr, Hf, 如 VC, ZrC 等。 六方点阵, Mo, W, 如 MoC, WC。

MC型 六方点阵, Mo, W, 如: MoC, W₂C

2) $r_c/r_M > 0.59$, 间隙化合物复杂密排结构, 如 Cr, Mn, Fe 等与 C 形成的 K:

M₃C₆型 复杂立方, Cr, Mn 形成的 K: Cr₂₃C₆

MC₆型 复杂六方, Cr, Mn 形成的 K: Cr₇C₆, Mn₇C₆

MC型 正交晶系, Fe 形成的 K: Fe₃C

2) Fe-M-C 形成的三元 K

MC型 复杂立方, W, Mo 的 K: Fe₃MoC, Fe₄MoC, Fe₃WC, Fe₄WC。

M₃C₆型 复杂立方, W, Mo 的 K: Fe₂₁MoC₆, Fe₂₁WC₆。

各种 K 相对稳定性如下: MC MC MC M₃C₆ MC MC

(高 ----- 低)

6. 主要合金元素（V, Cr, Ni, Mn, Si, B 等）对过冷奥氏体冷却转变影响的作用机制。

Ti, Nb, Zr, V 主要是通过推迟 P 转变时 K 形核与长大来提高过冷的稳定性；

W, Mo, Cr 1) 推迟 K 形核与长大； 2) 增加固溶体原子间的结合力，降低 Fe 的自扩散激活能。作用大小为: Cr>W>Mo

Mn (Fe, Mn)₃C, 减慢 P 转变时合金渗碳体的形核与长大；扩大 相区，强烈推迟 转变，提高 的形核功；

Ni 开放 相区，并稳定 相，提高 的形核功（渗碳体可溶解 Ni, Co）

Co 扩大 相区，但能使 A₃ 温度提高（特例），使 转变在更高的温度进行，降低了过冷的稳定性。使 C 曲线向左移。

Al, Si 不形成各自 K，也不溶解在渗碳体中，必须扩散出去为 K 形核创造条件；Si 可提高 Fe 原子的结合力。

B, P, Re 强烈的内吸附元素，富集于晶界，降低了 的界面能，阻碍 相和 K 形核。

7. 合金元素对马氏体转变有何影响？

合金元素的作用表现在：

1) 对马氏体点 Ms- M_f 温度的影响；除 Al, Co 外，都降低 Ms 温度

2) 改变马氏体形态及精细结构（亚结构） 合金元素有增加形成孪晶马氏体的倾向，且亚结构与合金成分和马氏体的转变温度有关

8. 如何利用合金元素来消除或预防第一次、第二次回火脆性？

第一次回火脆性 加入 Si, 脆化温度提高 300 ; 或加入 Mo, 减轻作用

第二次回火脆性 加入 W, Mo 消除或延缓杂质元素偏聚

9. 如何理解二次硬化与二次淬火两个概念的相关性与不同特点。

二次淬火：在强 K 形成元素含量较高的合金钢中淬火后 十分稳定，甚至加热到 500-600 回火时升温与保温时中仍不分解，而是在冷却时部分转变成马氏体，使钢的硬度提高。

二次硬化：在含有 Ti, V, Nb, Mo, W 等较高合金钢淬火后，在 500- 600 范围内回火时，在 相中沉淀析出这些元素的特殊碳化物，并使钢的 HRC 和强度提高

10. 一般地，钢有哪些强化与韧化途径？

强化的主要途径

宏观上：钢的合金化、冷热加工及其综合运用是钢强化的主要手段。

微观上：在金属晶体中造成尽可能多的阻碍位错运动的障碍；或者尽可能减少晶体中的可动位错，抑制位错源的开动，如晶须。

韧化途径：

- 1、细化晶粒；
- 2、降低有害元素的含量；
- 3、防止预存的显微裂纹；
- 4、形变热处理；
- 5、利用稳定的残余奥氏体来提高韧性；
- 6、加入能提高韧性的 M, 如 Ni, Mn ；
- 7、尽量减少在钢基体中或在晶界上存在粗大的 K 或其它化合物相。

第二章 工程结构钢

1. 对工程结构钢的基本性能要求是什么？

- 1、足够高的强度、良好的塑性 ；
- 2、适当的常温冲击韧性，有时要求适当的低温冲击韧性 ；
- 3、良好的工艺性能

2. 合金元素在低合金高强度结构钢中的主要作用是什么？为什么考虑采用低 C？

3. 什么是微合金钢？微合金化元素在微合金化钢中的主要作用有哪些？试举例说明。

微合金钢：加入了微合金元素，使钢的组织或性能有明显改变的这类钢则称为微合金钢

微合金元素的作用：

抑制奥氏体形变再结晶；

阻止奥氏体晶粒长大；

沉淀强化；

改变与细化钢的组织。

4. 低碳贝氏体钢的合金化有何特点？

合金元素主要是能显著推迟先共析 F 和 P 转变，但对 B 转变推迟较少的元素如 Mo , B ，可得到贝氏体组织
加入 Mn , Ni , Cr 等合金元素，进一步推迟先共析 F 和 P 转变，并使 B_s 点下降，可得到下 B 组织
加入微合金化元素充分发挥其细化作用和沉淀作用

第三章 机械制造结构钢

2. 对调质钢、弹簧钢进行成分、热处理、常用组织及主要性能的比较，并熟悉各自主要钢种。

3. 液析碳化物和带状碳化物的形成、危害及消除方法。

均起因于钢锭结晶时产生的树枝状偏析：

液析碳化物属于偏析引起的伪共晶碳化物（一次碳化物）；

带状碳化物属于二次碳化物偏析（固相凝固过程中）。

成分：带状碳化物 $(Fe, Cr)_3C$ ；液析碳化物 $(Cr, Fe)_7C_3 + (Fe, Cr)_3C$ 。

危害：降低轴承的使用寿命，增大零件的淬火开裂倾向，造成硬度和力学性能的不均匀性（各向异性）。

消除：1) 大的锻（轧）造比来破碎碳化物；2) 采用高温扩散退火（1200 左右）。

4. 说明易切削钢提高切削性能的合金化原理。

钢中加入一定量的 S 、 Te 、 Pb 、 Se 或 Ca 等元素，形成 MnS 、 CaS 、 $MnTe$ 、 $PbTe$ 、 $CaO-SiO_2$ 、 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 等或 Pb 的夹杂物

5. 马氏体时效钢与低合金超强钢相比，在合金化、热处理、强化机制、主要性能等方面有何不同？

6. 高锰钢在平衡态、铸态、热处理态、使用态四种状态下各是什么组织？为何具有抗磨特性？

平衡态组织： $\gamma + (Fe, Mn)_3C$ 铸态组织： $(\gamma + \delta) + \text{碳化物}$

固溶处理后组织：单相 使用状态下组织：表面硬化层 + 内部

高冲击和强挤压下，通过大形变在奥氏体基体中产生大量层错、形变孪晶、位错缠结、（ ϵ ）-马氏体，其表面层迅速产生加工硬化，在滑移面上形成硬化层，表面硬度极大地提高到 $HB550$ 左右，而心部仍保持韧性的奥氏体。

7. GCr15 钢是什么类型的钢？这种钢中碳和铬的含量约为多少？碳和铬的主要作用分别是什么？其预先热处理和最终热处理分别是什么？

GCr15 钢是轴承钢；高 C ：0.95-1.05% 固溶强化提高硬度；形成碳化物。

Cr ：0.6%~1.5% Cr 提高淬透性、耐磨性、耐蚀性。

预先热处理 （扩散退火，正火） + 球化退火 最终热处理 淬火 + 低温回火 + （稳定化处理 ）

8 . 氮化钢的合金化有何特点？合金元素有何作用？

合金化特点：表面形成的高硬度的氮化层 ' 相 (Fe₄N) 和 相 (Fe₃₋₂ N) ；

 渗入的 N 原子形成高弥散的合金氮化物的弥散强化作用；

 N 原子溶入表面层所产生的残留压应力可以抵消因外力作用而产生的张应力减少了疲劳破裂的可能性 。

合金元素作用： 1、加入 Al (HV1000 以上) , V, Cr, Mo, W (HV900 以下) 可以提高表面硬度； 2、加入 Cr , Mn, Mo 提高淬透性； 3、加入 Mo, V 等可以使钢在高温下保持高强度； 4、加入少量 Mo, 可以防止高温回火脆性。

第四章 工具钢

1 . 从总体看，工具钢与结构钢相比，在主要成分、组织类型、热处理工艺、主要性能与实际应用方面各自有何特点？

	结构钢	工具钢
成分：	C ：中低 C	中高 C
	合金元素：中偏低	中偏高
组织：	P (S,T) , B, M	M,S,T
热处理：	退 正 淬 回	淬火回火
性能：	综合性能 (强韧)	(热) 硬，强
应用：	工程或制造结构	各种工具

2 . 采用普通碳素工具钢的优点是什么？局限性是什么？

普通碳素工具钢的优点：成本低，冷热性能较好，热处理简单，应用范围较宽。

局限性： 1) 淬透性低，盐水中淬火，变形开裂倾向大。

 2) 组织稳定性差，热硬性低，工作温度小于 200 。

3 . 什么是红硬性？为什么它是高速钢的一种重要性能？哪些元素在高速钢中提高红硬性 ？

4 . 18-4-1 高速钢的铸态显微组织特征是什么？为什么高速钢在热处理之前一定要大量地热加工？

铸态组织 ： 鱼骨状 Le+黑色与白色组织

铸态高速钢由于组织中存在大量粗大的共晶碳化物，并呈不均匀的网状分布，因而严重影响高速钢的性能，所以必须经过锻轧将其破碎，使其尽可能成为均匀分布的颗粒状碳化物

7. 高速钢 18-4-1 的最终热处理的加热温度为什么高达 1280？在加热过程中为什么要在 600~650 和 800~850 进行二次预热保温？

M_3C_6 ：900 开始溶解，1090 全部溶解； M_2C ：1037 开始溶解； MC ：1100 开始溶解，为使奥氏体中合金度含量较高，应尽可能提高淬火温度至晶界熔化温度偏下，淬火后获得高合金的 M 组织，具有很高抗回火稳定性；在高温回火时析出弥散的合金碳化物产生二次硬化，使钢具有高的硬度和热硬性。

二次预热保温目的：高合金的高速钢导热性差，为防止工件加热时变形、开裂和缩短加热的保温时间以减少脱碳。

8. 高速钢 18-4-1 淬火后三次回火的目的是什么？这种回火在组织上引起什么样的变化？
从马氏体中析出弥散 M_2C 和 MC ，产生强烈二次硬化效应，同时消除残余奥氏体和组织应力。回火次数多，一方面，增强二次硬化效果；另一方面，（主要）是为了利用二次淬火来降低残余奥氏体含量，也间接地提高了性能。

9. 高碳、高铬工具钢耐磨性极好的原因何在？抗氧化的原因为什么？

第五章 不锈钢耐蚀钢

2. 从电化学腐蚀原理看，采用哪些途径可提高钢的耐蚀性？

- 1) 使钢表面形成稳定的表面保护膜；
- 2) 得到单相均匀的固溶体组织；
- 3) 提高固溶体（阳极）的电极电位。

3. 合金元素及环境介质对耐蚀钢的耐蚀性的影响。

Cr 决定和提高耐蚀性的主要元素。

Ni 可提高在硫酸（非氧化性酸），醋酸，草酸及中性盐（硫酸盐）中的耐蚀性。

C 提高，强度提高；但 C 与 Cr 形成碳化物，降低耐蚀性。

Mn, N 提高高铬不锈钢在有机酸中的耐蚀性。

Mo 提高不锈钢的钝化能力，且能阻止点腐蚀倾向

Cu 少量加入可有效地提高不锈钢在硫酸及有机酸中的耐蚀性

Si 提高在盐酸、硫酸和高浓度硝酸中耐蚀性。

Mo, Cu, Ni, Si 复合加入进一步扩大了在硫酸中的耐蚀性和使用温度范围。

Ti, Nb 可防止晶间腐蚀

4. 奥氏体不锈钢晶间腐蚀产生的原因，影响因素与防止方法。

产生的原因：这类钢在加热到 450-850 温度区间会发生敏化，过饱和的固溶的碳向晶粒边界扩散，与晶界

附近的铬结合形成铬的碳化物 $Cr_{23}C_6$ ，并在晶界析出，由碳比铬的扩散快的多，铬来不及从晶内补充到晶

界附近，以至于邻近晶界的晶粒周边的 Cr 的质量分数低于 12%，即所谓的“贫铬”现象，从而造成晶间腐蚀

影响因素：不锈钢的碳含量；化学成分；加热温度；加热时间。

防止方法：1) 超低 C；2) 改变 K 类型，加 Ti, Nb 固 C，并稳定化处理；3) 固溶处理，重新使 K 溶解于中；4) 获得 + (10-50%) 双相组织

5. 不锈钢发生应力腐蚀破裂的产生原因，影响因素与防止方法。

产生的原因：应力腐蚀是应力和电化学腐蚀共同作用的结果。在初始裂纹诱发阶段，张应力引起位错沿滑移面运动移出表面，形成表面滑移台阶，破坏了表面钝化膜，裸露的滑移台阶若来不及修补成完整的钝化膜，就会发生阳极溶解，形成蚀坑，并继续下去，向纵深发展，在拉应力下互相联接，形成腐蚀裂缝，最后导致断裂。

影响因素：影响应力腐蚀的因素是介质特点，附加应力和钢的化学成分。

防止方法：1) 提高纯度（降低 N, H 以及杂质元素含量）；

2) 加入 2-4%Si 或 2%Cu 或提高 Ni% (>35%)；

3) 采用高纯度 15-25%F 不锈钢；

4) 采用奥氏体和铁素体 (50-70%) 双相钢。

第六章 耐热钢及耐热合金

2. 耐热钢及耐热合金的基本性能要求有哪两条？

足够高的高温强度、高温疲劳强度

足够高的高温化学稳定性（特别是抗氧化性能）

3. 如何利用合金化（或怎么合金化）提高钢的高温强度？

4. 如何利用合金化（或怎么合金化）提高钢的高温抗氧化性能？

5. 耐热钢有哪些种类？

F 型耐热钢：350-650 包括 F-P、F、M 耐热钢

奥氏体耐热钢：600-850 包括固溶强化、沉淀强化奥氏体耐热钢

高温合金：Ni、Co 基合金，650-1150

难熔合金：Mo、Nb 基合金，>1000

第七章 铸铁

2．铸铁与钢相比，在主要成分、使用组织、主要性能上有何不同？

成分： C、Si 含量高， S、 P 含量高

组织： 钢的基体 + （不同形状）石墨；

性能：性能比钢要低，特别塑、韧性 ;G：HB3-5， 屈强 20MPa， 延伸率近为 0; 但具有优良的减震性、减摩性以及切削加工性能、优良的铸造性能、低的缺口敏感性；

3．对灰口铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁的成分（主要是 C 与 Si ） 组织、牌号、主要性能与应用做相互对比 。

	成分	组织	牌号	主要性能	应用
灰 口 铸铁	C 2.5-3.6 Si 1-2.5	F，F+P，P + 片状 G	HT	强度较低，塑韧性低，硬度 HB130-270， 耐磨性好，减振性好，缺口敏感性小等	可用作耐压减震件，如机床 底座、支柱等
可 锻 铸铁	C 2.2, Si 1.2-2.0, Mn0.4-1.2, P<0.1, S<0.2	F，P+团絮 状 G	KTZ (P-KT) KT (F-KT)	较高强度，良好塑性，有一定的塑变能力 (展性铸铁，马铁)，但不能锻造。但 生产周期长，工艺复杂，成本较高。	制造一些形状复杂而在工作 中以经受震动的薄壁 (<25mm) 小件
球 墨 铸铁	C 较高 3.6-3.8%, Si 2.0-2.5, ; 低 S 量, 较 低 Mn量	F，P+球状 G	QT	基体强度利用率高，可达 70-90%；强度， 塑性，韧性，疲劳强度明显提高	可制造各种受力复杂、负荷 较大和耐磨的重要铸件，如 曲轴、连杆、齿轮等，在一 定条件下可取代铸钢、 锻钢、 合金钢。

4．可锻铸铁的成分与灰口铸铁相比，有何特点？其生产分几步？

生产：分两步： 1) 生产白口铸铁； 2) 高温 G 化退火 (900-980 度,15h)

第八章 铝合金

1．以 Al-4%Cu 合金为例，阐述铝合金的时效过程及主要性能（强度）变化。

1) 形成溶质原子 (Cu) 的富集区— GP[I]

与母相 (Al 为基的固溶体) 保持共格关系，引起 的严重畸变，使位错运动受阻碍，从而提高强度；

2) GP[II] 区有序化— GP[III] 区 (‘ ’)

化学成分接近 CuAl₂，具有正方晶格，引起更严重的畸变，使位错运动更大阻碍，显著提高强度；

3) 溶质原子的继续富集，以及 ‘ ’ 形成

第十章 铜合金

铜合金主要分为几类？不同铜合金的牌号如何？其主要性能是什么？

分类：紫铜 工业纯铜；黄铜 (Cu-Zn-M)；青铜 (除 Zn, Ni 外, Cu-M) 锡青铜 (Cu-Sn-M) 特殊青铜 (Cu-Al , Cu-Be , , ,) ；白铜 (Cu-Ni)

主要性能： 1) 高导电率和导热率 ;2) 具有良好塑性，易于成型 ；

3) 高强度与良好耐磨性 ；4) 某些条件下有良好的耐蚀性 ；

第十一章 钛合金

1 . 钛的晶格类型如何？钛合金的分类及牌号？

晶格类型：钛存在两种同素异构体 及 , α -Ti 在 882 以下稳定, h.c.p 结构； β -Ti 稳定于 882 ~ 熔点 1678 , b.c.c

钛合金的分类及牌号： α -钛合金 ；牌号： TA1-TA8； β -钛合金：牌号 ； 用 TC表示, TC1-TC10 ；

$\alpha\beta$ -钛合金 牌号 ； 用 TB表示

2 . 钛及钛合金有何主要性能特点？

在 400~500 间的耐热性远比 Al 合金和 Mg合金高；

有与 18-8 不锈钢相比媲美的耐蚀性，特别是在海水和含氮介质中的抗蚀性几乎与空气中相同 ；

钛及钛合金的强度与优质钢相近，但密度只有钢的一半，比强度最高 ；

说出下列牌号的种类、主要成分或合金系、使用状态组织及其主要性能特点：

- | | | | | |
|----------------|------------|-------------|--------------|---------------|
| 1) Q235 | 2) 40MnVB | 3) 60Si2Mn | 4) 38CrMoAl | 5) GCr15 |
| 6) W6Mo5Cr4V | 7) W | 8) Cr12MoV | 9) 3Cr2W8V | 10) 2Cr13 |
| 11) 0Cr18Ni9Ti | 12) ZGMn13 | 13) HT300 | 14) QT600-3 | 15) KTZ650-02 |
| 16) LF21 | 17) LY12 | 18) LC4 | 19) LD6 | 20) HSn70-1 |
| 21) ZQSn10-1 | 22) QAl7 | 23) B20 | 24) TA8 | 25) TC4 |