

802

华南理工大学 2017 年攻读硕士学位研究生入学考试试卷

(试卷上做答无效, 请在答题纸上做答, 试后本卷必须与答题纸一同交回)

科目名称: 金属学及热处理

适用专业: 材料加工工程; 材料工程(专硕)

共 2 页

一、填空题(每空 1 分, 共 10 分)

1. 立方结构晶体中, 当某一晶向 $[uvw]$ 位于或平行于某一晶面 (hkl) 时, 必须满足以下关系: _____。
2. 纯金属结晶时均匀形核的过冷度 ΔT 约为_____。
3. 有利于大量固溶的原子尺寸条件是, 溶质与溶剂原子半径比在_____之间。
4. 密排六方结构的滑移系数目是 3, 滑移面和滑移方向是: _____。
5. 影响扩散系数的最主要因素是_____。
6. 正火工艺为_____。
7. Ti 在 882 度发生_____。
8. 应力腐蚀是指_____。
9. TC4 合金的常用热处理工艺为淬火 + _____。
10. 钢的微合金化是_____。

二、选择题(每空 1 分, 共 10 分)

1. 面心立方结构的四面体间隙的间隙半径为 ()。
 - a. $0.067a$
 - b. $0.146a$
 - c. $0.06a$
2. 树枝状生长是具有 () 界面物质的最常见晶体长大方式。
 - a. 光滑
 - b. 粗糙
 - c. 固-液
3. 以下能形成无限固溶体的合金系是 ()。
 - a. Cu-Ni
 - b. Cu-Zn
 - c. Cu-Pb
4. 以下可用于制备钛合金的方法不包括 ()。
 - a. 3D 打印
 - b. 真空铸造
 - c. 普通铸造
5. 碳原子从奥氏体向渗碳体扩散属于 ()。
 - a. 上坡扩散
 - b. 下坡扩散
 - c. 自扩散
6. 2Cr13 是 ()。
 - a. 马氏体不锈钢
 - b. 铁素体不锈钢
 - c. 奥氏体不锈钢
7. 低碳马氏体的亚结构是 ()。
 - a. 孪晶
 - b. 位错
 - c. 层错
8. 磨刀棒的金属材质为 ()。
 - a. 灰铸铁
 - b. 低碳钢
 - c. 中碳钢

第 1 页

9. 蛟龙号深海潜水器的壳体材料为 ()。
- a. 镁合金 b. 铝合金 c. 钛合金
10. 我国正在研制的大飞机中, 所用轻质铝合金体系是 ()。
- a. Al-Mn b. Al-Li c. Al-Cu

三、判断题 (每空 2 分, 共 20 分, 对的打√, 错的打×)

1. 在立方晶系中判断晶向垂直于晶面或平行于晶面的关系式, 在六方晶系中仍然使用, 例如 $[0001] \perp (0001)$, $[11-20] \perp (-1-120)$ 。()
2. 液相结晶过程中, 自由能降低是结晶的驱动力, 晶胚界面能是结晶阻力。()
3. 对固溶体合金来说, 晶体形态主要受成分过冷的影响。()
4. 利用二次再结晶可获得纳米晶与微米晶共存的双尺度金属材料。()
5. 电子束选区熔化可用于制备复杂形状的铝基复合材料零件。()
6. Ni 是扩大 Fe-C 合金 相区的元素。()
7. 上贝氏体的冲击韧性优于下贝氏体。()
8. 钨合金一般用粉末冶金方法制备成形。()
9. Mn 是一种强碳化物形成元素。()
10. 合金元素总量 $< 5\%$ 是低合金钢。()

四、简答题 (每题 8 分, 共 40 分)

1. 简述金属材料的成分—加工/热处理—组织—性能之间的相互关系, 举例说明。
2. 简述钢的强化机制, 举例说明。
3. 简述金属零件选材的基本原则。
4. 简述铸铁的石墨化及其影响因素。
5. 简述铸锭三晶区的形成及其组织控制。

五、论述题 (每题 14 分, 共 70 分)

1. 试从相图的角度, 举例论述熔体凝固法和粉末烧结法制备的 Ti-6Al-4V 合金, 其相组成、晶粒尺寸、晶粒形态和力学性能的异同。
2. 以高速工具钢 W18Cr4V 为例, 试写出加工工艺路线, 并论述其热处理工艺及各热处理的目的。
3. 试述镁合金的特性 (优、缺点), 分析其应用领域, 并展望发展前景。
4. 以纯钛、纯铜、纯铁或其合金中某一个具体成分金属材料为例, 利用塑性变形与回复再结晶理论, 论述如何制备出纳米晶与微米晶共存的金属材料。
5. 根据金属强韧化理论, 论述如何进一步实现 Al-Mg-Si 合金的强韧化。

华南理工大学 2017 年攻读硕士学位 研究生入学考试试卷答案

一.填空题

1. $hu + kv + lv = 0$
2. $0.2T_m$
3. $0.85 \sim 1.15$
4. $\{0001\}$; $\langle 1120 \rangle$
5. 温度
6. 将钢加热到 Ac_3 (或 A_{cm}) 以上适当温度, 保温以后在空气中冷却得到珠光体组织的热处理工艺
7. 同素异晶转变
8. 材料、机械零件或构件在静应力(主要是拉应力)和腐蚀的共同作用下产生的失效现象
9. 时效处理
10. 通过在钢中加入合金元素, 细化晶粒, 提高钢的强度

二.选择题

- 1.c 2.b 3.a 4.c 5.a 6.a 7.b 8.c 9.c 10.b

三.判断题

1. \times 2. \sqrt 3. \sqrt 4. \sqrt 5. \sqrt 6. \sqrt 7. \times 8. \sqrt 9. \times 10. \sqrt

四.简答题

1. 材料的成分决定材料使用何种加工工艺及热处理工艺, 采用不同的加工工艺及热处理工艺, 能使材料获得不同的组织和性能, 以满足人类生产活动的需要。

以 20CrMnTi 钢制造汽车变速箱齿轮, 要求齿面硬度 HRC58-60, 中心硬度 HRC30-45 为例来说明它们之间的关系。

加工工艺路线: 下料→模锻→正火→机械加工(留磨量)→渗碳→淬火+低温回火→喷丸→磨至尺寸。

正火: 消除锻造应力, 细化晶粒, 获得索氏体+铁素体组织, 略微改善硬度, 有利于切削加工。

渗碳: 使表面碳浓度增加, 内部碳含量不变, 以满足“外硬内韧”的性能要求。

淬火：表面获得高碳马氏体+碳化物组织+少量残余奥氏体，心部为低碳马氏体以达到外硬内韧的性能要求。

低温回火：消除淬火引起的内应力，稳定组织，表面获得回火马氏体，齿轮仍保持高硬度，高耐磨。

综上，选取材料的成分不同，采用的加工工艺和热处理方式不同，获得的组织和性能也不同，满足不同的工作环境。

2. ①固溶强化：(1)由于溶质原子周围形成了晶格畸变应力场，该应力场与位错应力场相互作用，使位错运动受阻。(2)溶质原子聚集在韧性位错周围，形成柯氏气团，对位错其钉扎作用。

②细晶强化：多晶体中各个晶粒塑性变形开始的先后不同，由于晶界的存在。引起在晶界处产生弹性变形不协调和塑性变形不协调，进而在晶界处诱发应力集中，以维持晶界处的连续性。导致晶界附近引起二次滑移，使位错迅速增值，形成加工硬化微区，阻碍位错运动，此外，由于晶界存在，使滑移位错难以直接穿越晶界，从而破坏了滑移系统连续性，阻碍了位错运动，使金属强化。晶粒越细，晶界越多，则强化效果越好。

③形变强化：冷变形时金属内部位错密度增加，使位错运动易于发生交割，形成割阶，引起位错缠结，形成胞状结构，造成位错运动的障碍，使不能移动位错数目剧增，给继续塑性变形造成困难，以致需要更大的力才能使位错克服障碍而运动，从而提高了钢的强度。

④第二相强化：(1)沉淀强化：沉淀相粒子及其应力场与位错发生交互作用，阻碍位错运动，同时，由于位错切过第二相，破坏了第二相的结构，增加了新界面，增加了能量的消耗，从而强化了金属材料。(2)弥散强化：位错不断绕过硬粒子，在粒子周围积累的位错圈相当于一个位错塞积群，阻碍后续位错靠近；另一方面，相邻粒子间距随着位错圈塞积而减小，增大了位错运动的阻力，使金属得到进一步强化。

3. ①材料的使用性能：最终性能应满足零件技术要求，使用性能主要是指零件在使用状态下应具有的性能，力学性能，物理性能，化学性能。

使用力学性能数据要注意一下问题：(1)金属材料的尺寸效应，例如钢材零件它们的截面大小不同，即使热处理相同，其力学性能也有差别。(2)数据的可靠程度，

同一牌号材料的化学成分不完全相同, 仅是一个范围, 而且制造工艺不完全相同。

(3) 试样本身的尺寸, 形状等因素的影响, 试样的尺寸, 形状, 取样部位对某些力学性能数据有显著影响。(4) 实际零件形状和工作条件的影响, 设计时要考虑一定的安全系数。

②材料的工艺性能

(1) 铸造性能: 包括流动性, 收缩性, 偏析倾向, 吸气性, 熔点等, 铸造铜合金, 铝合金的铸造性能优于碳钢和铸铁。铸铁优于铸钢, 其中灰铸铁为最好。

(2) 可锻性: 塑性好则可锻性好, 碳钢中, 低碳钢可锻性最好, 高碳钢最差, 铝合金可锻性差, 铜合金可锻性好。

(3) 焊接性: 低碳钢和含碳量小于 0.18% 的合金钢焊接性能较好, 高合金钢焊接性最差。

(4) 可切削加工性: 低, 中碳钢需正火后提高硬度利于切削加工, 高碳钢需退火降低硬度利于加工。

(5) 热处理工艺性: 合金钢热处理工艺性比碳钢好。

③选材经济性

(1) 材料价格: 尽量使用满足工艺性能的低价格材料。

(2) 提高材料利用率: 如用精锻, 模锻等技术减少冷加工对材料的浪费。

(3) 零件的加工, 研究, 维修费用要尽量低。

(4) 采用组合结构: 如涡轮齿圈可采用减磨性好的贵重材料, 其他部分采用廉价材料。

(5) 材料的合理代用: 如用热处理强化碳钢代替合金钢。

④从资源与环境角度选材

(1) 节约资源和能源: 如汽车发动机曲轴近年来采用铸造曲轴代替锻造曲轴。

(2) 环境保护: 材料设计与制造要考虑废弃材料的回收, 再生利用。

4. 主要受两方面的影响: 化学成分; 冷却速度

①化学成分的影响:

(1) C 和 Si: C 和 Si 是强烈促进石墨化元素, C, Si 含量越高, 石墨化程度越充分。

(2) Mn: Mn 是阻止石墨化元素, Mn 可溶于基体及碳化物中, 强化基体, 促使珠光体形成并细化珠光体且 Mn 与 S 能形成硫化锰, 减弱了硫对石墨化的阻止作用,

故又间接促进石墨化。

(3)S: S 是强烈阻止石墨化元素, 恶化铸铁力学性能及铸造性能, 应严格控制, $<0.15\%$, 为限制元素。

(4)P: P 是微弱促进石墨化元素, 为控制使用元素, 少量均匀分布的磷共晶能显著提高铸铁硬度和耐蚀性。

(5)Cu 和 Ni: 促进共晶石墨化又能阻碍共析石墨化, 为了提高铸铁的强度, 又希望得到珠光体基体, 可加 Cu, Ni。

②冷却速度的影响: 冷却速度越慢, 越有利于石墨化。

5.铸锭三晶区即外表层的细晶区、中间的柱状晶区和心部的等轴晶区。

①表层细晶区: 当高温的金属液体倒入铸型后, 由于温度较低的型壁有强烈的吸热和散热作用, 使靠近型壁的一薄层液体产生极大的过冷度, 加上型壁可以作为非均匀形核的基底, 立即产生大量晶核, 并同时向各个方向生长。与铸型的表面温度、铸型的热传导能力和浇铸温度等因素有关。

②柱状晶区: 一方面型壁的温度由于被液态金属加热而迅速升高, 另一方面由于金属凝固后的收缩, 使细晶区和型壁脱离, 形成一空气层, 给液态金属的继续散热造成困难。此外, 细晶区的形成还释放出了大量的结晶潜热, 也使型壁的温度升高, 上述种种原因, 均使液态金属冷却缓慢, 温度梯度变得平缓, 即开始形成柱状晶区。

③中心等轴晶区: 随着柱状晶区的发展, 经过散热, 铸锭中心部分的液态金属的温度全部降至熔点以下, 再加上液态金属中杂质等因素的作用, 满足了形核对过冷度室的要求, 于是整个剩余液体中同时形核, 由于此时的散热已经失去了方向性, 晶核在液体中自由生长, 在各个方向生长速度差不多相等, 即形成了等轴晶。

五.论述题

1.

熔体凝固法, 举例: Ti—6Al-4V 合金。平衡状态时组成相: 平衡结晶条件下, 获得单相 α 固溶体, 在结晶刚开始时为均匀液相, 到达液相线时, 开始发生匀晶转变, 生成 α , 随着温度的下降, 液相越来越少, α 相越来越多, 最终液相消耗完毕, 组织中只剩下单相 α 固溶体。

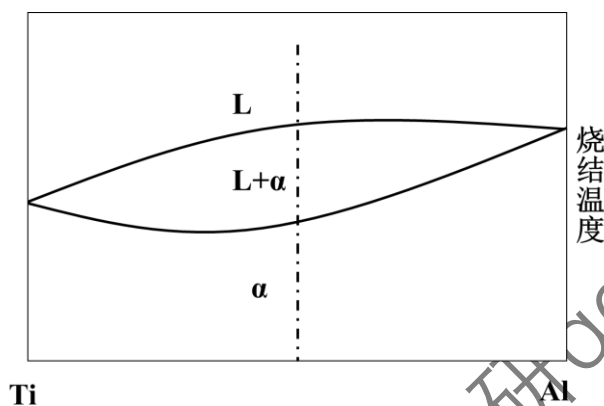
力学性能: 其力学性能与晶粒大小有关, 液相结晶过程中, 如不控制过冷度, 不加入变质剂, 不进行物理扰动, 往往会使形核率较低, 从而使晶粒粗大, 从而

使性能较差，而一旦细化了晶粒，其塑性，韧性，强度均会大大改善。

不平衡状态时组成相：在不平衡的结晶条件下，由于冷却速度较快，且三元合金结晶时为异分结晶，必须要进行扩散，才能最终得到均一 α 固溶体，在不平衡的条件下，先结晶的组元含高熔点组元多，后结晶的含低熔点组元多，形成了枝晶偏析。

力学性能：由于组织不均一，导致合金各处性能不一，从而导致整体性能较差。

粉末烧结法，举例：Ti—6Al-4V 合金



平衡状态组成相：烧结完成后，其组成相为单相 α 固溶体。且烧结过程中不产生液相，一直保持固态，随着烧结的进行，铝粉与钒粉中的原子发生扩散，从而形成单相的固溶体。

力学性能：在合理的烧结温度下，烧结所形成的晶粒往往比较细小，因此力学性能较好，但如果烧结温度过高，会使晶粒长大倾向陡增，获得晶粒粗大的烧结体，从而使力学性能恶化。

不平衡状态时组成相：若烧结温度过低，则扩散不能充分，烧结体中只形成一部分 α 固溶体，还剩下部分 Al, V 晶体，组织：Al+V+ α 。

力学性能：组织不均一，某些颗粒间还存在孔隙，使其脆性很大，强度很低。

2. 加工路线：下料→锻造→等温退火→机械加工→淬火+回火三次→磨至尺寸

球化退火：降低硬度，便于切削加工，并为淬火作组织准备；

1270°C加热淬火：使合金元素大量溶于马氏体，获得 M+碳化物+少量残余奥氏体，使钢具有高硬度和耐磨性；

560°C三次回火：使 M 沉淀析出 W_2C 、VC 等碳化物，弥散分布在 M 基体上，

产生弥散硬化效果,同时残余 A 转变为 M,产生“二次硬化”使钢的硬度进一步提高,三次主要是为了将残余 A 含量降到最低,同时将上一次回火产生的 M 回火,降低应力,提高其强韧性。

3. 基本特性:主要特点是密度小,比强度和比刚度高,并有高的抗震能力,能承受比铝合金更大的冲击载荷,且切削性能良好,在需要减重的结构如飞机,导弹,人造卫星等部件上,使用镁合金是有利的。但最大缺点是耐蚀性差,在潮湿大气或稀释介质中,其耐蚀性都比铝合金低,必须适当保护才能使用,如表面改性等。

镁合金主要分为变形镁合金和铸造镁合金。

①变形镁合金:主要有 Mg—Mn 系, Mg—Al—Zn 系, Mg—Zn—Zr 系。

Mg—Mn 系: $W_{Mn}=1.2\%-2.5\%$ 。牌号由 M2M 和 ME20M 等。这类合金塑性好,可进行冲压,挤压等压力加工成型,且有良好耐蚀性和焊接性能,适于制造外形复杂,要求耐蚀的零件。

Mg—Al—Zn 系:主要有 AZ40M, AZ41M, AZ61M, AZ62M, AZ80M。这类合金强度较高,塑性较好,但耐蚀性比 Mg—Mn 系合金稍差,屈服强度和耐热性也不够高。其中 AZ40M 和 AZ41M 等低合金化镁合金强度虽低,但具有高的热塑性,好的焊接性,且应力腐蚀倾向较小,适于生产形状复杂的锻件和模锻件。AZ61M, AZ62M, AZ80M 含铝量依次提高,强度提高,但应力腐蚀抗力下降,主要用于制造承受大载荷的零件。

Mg—Zn—Zr 系: W_{Zn} 一般为 5%, 并加入少量 Zr, 目的是细化晶粒,提高力学性能。牌号有 ZK61M, 该合金系是高强度合金,是航空工业中应用最多的变形镁合金,但其焊接性能差,主要生产挤压制品和锻件。

②铸造镁合金:分为高强度镁合金和耐热铸造镁合金。

高强度铸造镁合金包括: Mg—Al—Zn 的 ZM5, ZM10 和 Mg—Zn—Cr 系的 ZM1, ZM2, ZM7, 这些合金具有较高的室温强度,良好的塑性和铸造性能,但耐热性差,其中 ZM5 强度高,塑性好,易于铸造,可焊接,也能抗蚀,是航海与航天工业中应用最广的高强度铸造镁合金,用于制造飞机,发动机,卫星中承受较高载荷的构件或壳体。ZM1 因热裂倾向大,故不宜焊接,只用于铸造形状简单零件。ZM2 铸造性,可焊性改善,适用于制造 200℃以下工作而要求强度高的零件,

ZM7 性能进一步提高, 但铸造, 焊接性差, 用于制造承受大载荷零件。

耐热铸造镁合金: Mg—RE—Zr 系的 ZM3, ZM4, ZM6, 这些合金有良好的铸造性, 限位疏松和热裂倾向小, 耐热性好, 但室温强度和塑性较低。ZM3, ZM4 在 150—250°C 有良好的力学性能, 适于制造有温度要求但承载不大的零件。ZM6 在 250°C 以下性能优于 ZM3, ZM4, 可用于制造 250°C 以下承受较高载荷的零件。

4.

以 Ti-6Al-4V (简称 TC4) 合金为例采用粉末冶金法获得多尺度纳米晶/超细晶材料的工艺: 首先将球磨纳米晶粉末与未球磨微米晶粉末按照一定的比例进行均匀混合, 获得混合粉, 然后对其进行压制或烧结; 或者是单一纳米晶粉末在一定温度下烧结, 由于烧结过程中烧结温度的不均匀性, 使得温度较高区域的晶粒长大速度高于其他区域的晶粒, 获得一定比例的微米晶组织。

原因: 材料在发生变形过程中, 微米晶晶粒内会产生大量的位错, 增强材料的加工硬化能力, 使得材料发生很小的变形时不会发生断裂, 保持了材料的变形稳定性, 在一定程度上提高了材料的整体塑性变形的能力。由于纳米晶/超细晶基体组织具有高强度, 微米晶所占的体积分数较少, 使得材料在塑性提高的同时, 不会导致强度的显著下降。所以该类型组织的材料具有较高的强度和良好的塑性, 因而具有优异的综合力学性能。大塑性变形加工获得纳米晶/超细晶材料后, 会出现高密度的自由表面与晶界, 显著提高了材料的界面能, 使得材料处于热力学亚稳态。当给予适当的外界条件 (例如: 退火) 时, 材料将从热力学亚稳态转变成热力学稳态, 导致一部分纳米晶/超细晶发生晶粒粗化形成微米晶晶粒。同时材料在大塑性变形过程中, 会产生大量位错或者是其他内应力, 在一定温度下材料就可能发生动态回复或者动态再结晶, 使一部分已经细化的组织发生晶粒粗化, 最终获得多尺度纳米晶/微米晶材料。(工程中心的研究课题, 题目有点难)

5.

1. 晶粒细化和变质处理

在铝合金铸造过程中, 常加入少量的晶粒细化剂来控制熔体中的晶粒结构, 送类细化剂形成初生的 α -Al 结晶核心, 并促进铸件中形成大量有规则的等轴晶粒, 所以晶粒细化主要是针对初生 α -Al 而言, 铝合金中添加微量元素, 如 Ti、B、Be、Zr、稀土元素等, 能显著细化晶粒, 起到晶界强化作用。

铸造铝合金的变质处理主要针对合金中的共晶组织。未变质时，共晶 Si 以粗大针片状形态出现，这导致合金的力学性能（尤其韧性）降低。变质处理的过程实际上就是共晶硅形貌、尺寸改变的过程，即共晶由粗大针片状变成细小纤维状。

2. 热处理强化

热处理强化是大多数铝合金主要的强化方式，铝硅合金热处理可以消除内部偏析、改善组织的均匀性、消除内应力、改善切削加工性能以及提高合金的强度和硬度。Al—Si—Mg 系合金普遍采用的热处理方式，主要分为固溶处理和时效处理。Al—Si—Mg 系合金固溶处理有 3 个目的：

- （1ⁱ）使 Mg、Si 元素固溶于 α -Al 基体中，形成过饱和固溶体；
- （2）Mg、Si 元素在 α -Al 基体中均匀化；
- （3）共晶 Si 相形态在固溶过程中发生由纤维状向粒状的转变。

时效过程是共格或半共格沉淀相从基体中析出，并弥散分布，达到弥散强化的效果，提高其强度。

获取更多高校 17 材料真题及解析 添加材料人考学官方 qq 号 2488519313
获取材料专业更多干货内容，名词解释汇总、解答题汇总等，添加材料人考学微信公众号

