

第四部分

习题解答

第1章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

(1) 原子排列有无规律

(2) (120)、(210)、(120)、(210)、(102)等晶面

(3) 4

(4) 晶核的形成; 晶核的长大

(5) 促使非均匀形核、强烈阻碍晶核生长

(6) 液态和固态之间的自由能差; 固体表面自由能的增加

(7) 理论结晶温度与实际结晶温度之差; ΔT

(8) 表层细晶区; 柱状晶区; 中心等轴晶区

(9) 高

(10) 碳, 氢, 氧; 碳链大分子; 杂链大分子; 元素链大分子

(11) 线型; 支链型; 网状型; 线型; 网状型

(12) 结晶态; 部分结晶态; 非结晶态

(13) 玻璃态; 高弹态; 黏流态

(14) 缩小

3. 是非题

(1) × (2) × (3) × (4) × (5) × (6) √

4. 单选题

(1) C (2) B (3) B (4) A (5) C (6) C (7) B (8) B

5. 综合分析题(部分)

(1) 常见金属晶体结构有: 体心立方晶格、面心立方晶格、密排六方晶格。原子半径各为: $\sqrt{3}a/4$, $\sqrt{2}a/4$, $a/2$ 。致密度各为: 0.68, 0.74, 0.74。 α -Fe、V 是体心立方晶格, Al、Cu、Ni 是面心立方晶格, Mg、Zn 是密排六方晶格。

(4) $r = \sqrt{3}a/4 = \sqrt{3}/4 \times 2.87 \times 10^{-10} \approx 1.24 \times 10^{-10}(\text{m})$; $K = nU/V = (2 \times 4/3 \pi r^3)/a^3 \approx 0.68$ 。

(5) 铜为面心立方晶格, 由 $r = \sqrt{2}a/4$, $d = \sqrt{2}a/2$, 因而 $a = 2d/\sqrt{2}$ 。 $a = 2 \times 2.55 \times 10^{-10}/\sqrt{2} \approx 3.61 \times 10^{-10}(\text{m})$ 。

(6) 点缺陷: 晶格空位、间隙原子、异类原子。点缺陷造成局部晶格畸变, 使金属的电阻率、屈服强度增加, 密度发生变化。线缺陷: 刃型位错、螺型位错。位错的存在极大地影响金属的力学性能。当金属为理想晶体或仅含极少量位错时, 金属的屈服强度很高, 当含有一定量的位错时, 强度降低。当进行形变加工时, 位错密度增加, 屈服强度将会增高。面缺陷: 晶界、亚晶界。面缺陷是由位错垂直排列成位错墙而构成。亚晶界是晶粒内的一种面缺陷。在晶界、亚晶界或金属内部的其他界面上, 原子的排列偏离平衡位置, 晶格畸变较大, 位错密度较大(可达 $10 \sim 16 \text{ m}^{-2}$), 原子处于较高的能量状态, 原子的活性较大, 所以对金属中许多过程的进行, 具有极为重要的作用。晶界和亚晶界均可提高金属的强度。晶界越多, 晶粒

越细，金属的塑性变形能力越大，塑性越好。

(7) 形成固溶体使金属强度和硬度提高的现象称为固溶强化。其原因是固溶体随着溶质原子的溶入晶格发生畸变，增大位错运动的阻力，使金属的滑移变形变得更加困难，从而提高合金的强度和硬度。

(8) 合金组元通过溶解形成一种成分和性能均匀的且结构与组元之一相同的固相称为固溶体。间隙固溶体中溶质原子进入溶剂晶格的间隙之中。间隙固溶体的晶体结构与溶剂相同。

由过渡族金属元素与碳、氮、氢、硼等原子半径较小的非金属元素形成的化合物为间隙化合物。当非金属原子半径与金属原子半径之比小于 0.59 时，形成具有简单晶格的间隙化合物，称为间隙相。间隙相具有金属特性，有极高的熔点和硬度，非常稳定。它们的合理存在，可有效地提高钢的强度、热强性、红硬性和耐磨性，是高合金钢和硬质合金中的重要组成相。

(14) 液态金属结晶的条件是金属必须过冷，即要有一定的过冷度。液体金属结晶的动力是金属在液态和固态之间存在的自由能差 (ΔF)。同一金属，结晶时的冷却速度越大，则过冷度越大。

(15) 液态金属结晶是由形核和长大两个密切联系的基本过程来实现的。液态金属结晶时，首先在液体中形成一些极微小的晶体（称为晶核），然后再以它们为核心不断地长大。在这些晶体长大的同时，又出现新的晶核并逐渐长大，直至液体金属消失。

(16) ①增大过冷度：提高液态金属的冷却速度，增大金属的过冷度。②变质处理：在液体金属中加入孕育剂或变质剂，增加晶核的数量或者阻碍晶核的长大，以细化晶粒和改善组织。③振动和搅拌：对即将凝固的金属进行振动和搅拌。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晶枝破碎，晶核数量增加。

(17) ①砂模浇注比金属模浇注的铸件晶粒大。②变质处理比不变质处理的铸件晶粒小。③铸成厚件比铸成薄件的铸件晶粒大。④浇注时采用振动比不采用振动的铸件晶粒小。

(18) 柱状晶区是由外往里顺序结晶的，晶质较致密。但柱状晶的接触面由于常有非金属夹杂或低熔点杂质而为弱面，在热轧、锻造时容易开裂，所以对于熔点高和杂质多的金属，例如铁、镍及其合金，不希望生成柱状晶。

(19) 有些金属在固态下，存在两种或两种以上的晶格形式，如铁、钴、钛等。这类金属在冷却或加热过程中，其晶格形式会发生变化。金属在固态下随温度的改变，由一种晶格转变为另一种晶格的现象，称为同素异构转变。金属的同素异构转变过程，也就是原子重新排列的过程，与液态金属的结晶过程相似，故称为二次结晶或重结晶。

第 2 章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

(1) 断后伸长率；断面收缩率；断面收缩率

(2) 变形；断裂

(3) 屈服强度；抗拉强度

- (4) 冲击韧度; J/cm^2
- (5) 淬火钢球; 硬质合金球
- (6) 洛氏硬度; 组织粗大且不均匀的金属材料
- (7) 布氏硬度; 洛氏硬度; 维氏硬度; 布氏硬度
- (8) 洛氏硬度; HR; 布氏硬度; 650
- (9) 维氏
- (10) 冷; 热
- (11) 滑移; 孪生
- (12) 晶体内部的位错在切应力作用下运动的结果
- (13) 高; 好; 细晶
- (14) 高; 晶界; 位向差别
- (15) 变形; 形成; 增多
- (16) 位错密度及其他晶体缺陷的增加
- (17) $T_{\text{再}} = (0.35 \sim 0.45) T_{\text{熔点}}$
- (18) 加热温度和保温时间; 预先变形程度
- (19) 特别粗大; 降低

3. 是非题

- (1) × (2) × (3) × (4) √ (5) √ (6) √ (7) × (8) × (9) √ (10) √
- (11) √ (12) × (13) × (14) × (15) ×

4. 单选题

- (1) A (2) C (3) D (4) D (5) D (6) B (7) C (8) B (9) B (10) B (11) B
- (12) C (13) D (14) B (15) C

5. 综合分析题

(6) 布氏硬度适用于测定退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及非铁金属材料的硬度。洛氏硬度用于金属材料、塑料、橡胶、陶瓷等各种材料的硬度测量, 不同类型和级别的洛氏硬度标尺适用于不同硬度范围和材料。HRA 标尺适用于高硬度材料, 如硬质合金; HRB 标尺适用于较软的金属材料, 如退火铜合金等; HRC 标尺则适用于硬度较高的金属材料, 如淬火钢等。测试原理略。

(11) 金属的工艺性能是指在制造机械零件或工具的过程中, 金属材料适应各种冷、热加工和热处理的性能。主要包括: 铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能及热处理性能。

(12) ①锉刀采用洛氏硬度测定其硬度。②黄铜轴套采用布氏硬度测定其硬度。③供货状态(相当于正火状态)的各种碳钢钢材采用布氏硬度测定其硬度。④硬质合金的刀片采用洛氏硬度测定其硬度。

(13) 多晶体的塑性变形与单晶体无本质上的区别, 每个晶粒的塑性变形仍然以滑移或孪生的方式进行。但因多晶体金属中存在大量的晶界和不同位向的晶粒, 所以其变形比单晶体要复杂得多。多晶体塑性变形特点为: 各晶粒变形的不同时性; 各晶粒变形的相互协调性; 晶界阻碍位错运动。

(21) $T_{\text{再}} = (0.35 \sim 0.45) T_{\text{熔点}}$ (T 为绝对温度)。金属钨: $T_{\text{再}} = (3380 + 273) \times 0.35 - 273 =$

1005.55℃, 900℃为冷加工。铅: $T_{\text{再}} = (327+273) \times 0.35 - 273 = -63^\circ\text{C}$, 室温为热加工。

(22)由圆棒料加热并锻打成形再机加成成品的方法较理想。因为齿轮经锻造可以使流线合理分布, 力学性能会较高。

第3章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

- (1) 缓冷; 状态、温度、成分
- (2) $L \rightarrow \alpha + \beta$; 一定成分的液相在一定温度下同时结晶出成分一定的两个不同的新固相
- (3) 铁素体; 奥氏体; 渗碳体; 珠光体; 莱氏体
- (4) 铁素体和渗碳体组成的多相组织
- (5) 网状; 块状; 弥散分布的点状、颗粒状
- (6) 白色长条状; 网状; 短棒状(片状)
- (7) 共晶转变; 莱氏体; 共析转变; 珠光体; $A \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$; 二次渗碳体; $A \rightarrow F$; 铁素体
- (8) D; E; P; S; C
- (9) $P+F$; $F+\text{Fe}_3\text{C}$
- (10) $F+\text{Fe}_3\text{C}$; $P+\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$
- (11) 0.616%
- (12) Fe_3C ; Fe_3C ; F
- (13) 高; 低; 最差
- (14) 小; 好; 共晶成分
- (15) Si; Mn; S; P; S; P
- (16) 碳素工具; 高碳; 优质
- (17) 优质碳素结构; 中碳; 优质; $P+F$
- (18) 优质; 优质; 普通质量; 优质; 高级优质

3. 是非题

- (1) × (2) × (3) × (4) × (5) × (6) × (7) × (8) ✓ (9) × (10) ✓
 (11) × (12) × (13) ✓ (14) × (15) × (16) × (17) × (18) × (19) ×

4. 单选题

- (1) B (2) C (3) D (4) B (5) C (6) B (7) C (8) A (9) B (10) B (11) B
 (12) C (13) C (14) A (15) D (16) B (17) B (18) B

5. 综合分析题(部分)

(1) 关系: 描述合金在不同温度、成分下各相的平衡关系, 包括液相线、固相线、共晶点、共析点等。实际意义: 指导材料设计、预测组织转变、优化工艺参数(如铸造、热处理)。

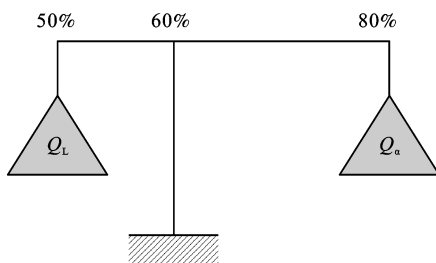
(2) 枝晶偏析: 凝固过程中溶质元素在枝晶间分布不均; 通过扩散退火(均匀化退火)消除。比重偏析: 因密度差异导致成分分层; 通过快速冷却或机械搅拌避免。

(3) ①高于 300°C : 单一液相(L)。②刚冷到 183°C (共晶未开始): 液相(L)和初生 β 相。
 ③共晶转变完毕: 共晶体($\alpha+\beta$)。④室温: α 相与共晶体($\alpha+\beta$)。

相含量计算：根据杠杆定律，液相与固相的比例由相图确定。

(4) ①液相 50% Ni，固相 80% Ni。

② $Q_L/Q_\alpha = (80-60)/(60-50) = 2/1 = 2$ 。

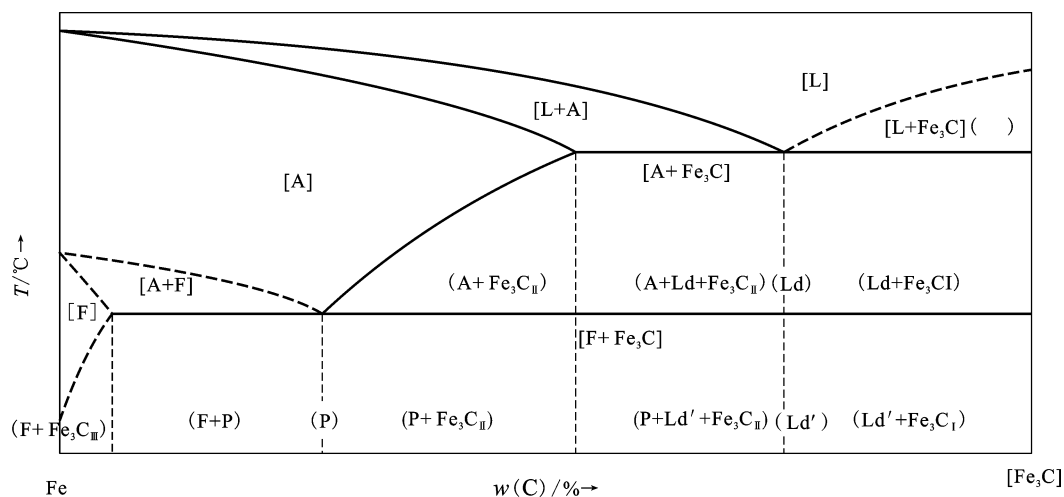


③ $3Q_L = (80-60)/(80-50) = 2/3 = 66.7\%$; $Q_\alpha = (50-60)/(80-50) = 2/3 = 33.3\%$ 。

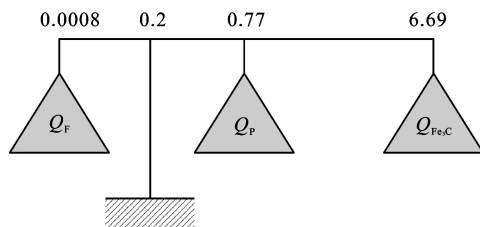
④ $m_L = 66.7\% \times (20+30) = 33.35 \text{ kg}$; $m_\alpha = 33.3\% \times (20+30) = 16.65 \text{ kg}$ 。

(6) 塑性提升：奥氏体具有面心立方结构，塑性好，易于变形。均匀性：单相奥氏体组织减小内应力，避免开裂。

(7) 简化后的铁碳合金相图中各区域的相组成物和组织组成物如下图所示：



(9) ①室温下，含碳 0.2% 的铁碳合金中相组成物和组织组成物的相对含量：



相组成物的相对含量：

$$Q_F = (6.69 - 0.2) / (6.69 - 0.0008) \times 100\%$$

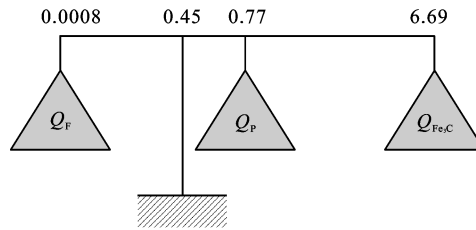
$$Q_{Fe_3C} = (0.2 - 0.0008) / (6.69 - 0.0008) \times 100\%$$

组织组成物的相对含量：

$$Q_F = (0.77 - 0.2) / (0.77 - 0.0008) \times 100\%$$

$$Q_P = (0.2 - 0.0008) / (0.77 - 0.0008) \times 100\%$$

②室温下，含碳 0.45% 的铁碳合金中相组成物和组织组成物的相对含量：



相组成物的相对含量：

$$Q_F = (6.69 - 0.45) / (6.69 - 0.0008) \times 100\%$$

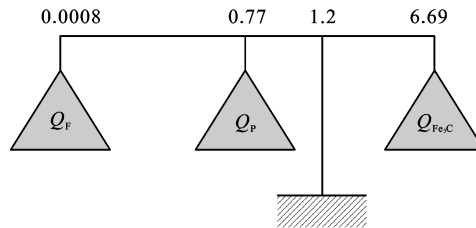
$$Q_{Fe_3C} = (0.45 - 0.0008) / (6.69 - 0.0008) \times 100\%$$

组织组成物的相对含量：

$$Q_F = (0.77 - 0.45) / (0.77 - 0.0008) \times 100\%$$

$$Q_P = (0.45 - 0.0008) / (0.77 - 0.0008) \times 100\%$$

③室温下，含碳 1.2% 的铁碳合金中相组成物和组织组成物的相对含量：



相组成物的相对含量：

$$Q_F = (6.69 - 1.2) / (6.69 - 0.0008) \times 100\%$$

$$Q_{Fe_3C} = (1.2 - 0.0008) / (6.69 - 0.0008) \times 100\%$$

组织组成物的相对含量：

$$Q_P = (6.69 - 1.2) / (6.69 - 0.77) \times 100\%$$

$$Q_{Fe_3C_{II}} = (1.2 - 0.77) / (6.69 - 0.77) \times 100\%$$

(10) 试样 1 (41.6% F + 58.4% P)：亚共析钢，含碳量 $\approx 0.4\%$ (如 40 钢)。试样 2 (7.3% Fe_3C_{II} + 92.7% P)：过共析钢，含碳量 $\approx 1.0\%$ (如 T10 钢)。

(11) 硬度：T12 钢 > T8 钢 > 45 钢 (因碳含量递增)。强度：T12 钢 > T8 钢 > 45 钢。塑性：45 钢 > T8 钢 > T12 钢。

(12) 敲击法: 白口铸铁脆性大, 敲击声音沉闷; 15 钢较韧, 声音清脆。

(13) P 会导致冷脆性(低温脆化), S 会导致热脆性(高温开裂)。

(14) ①含碳量 1.0% 的钢比 0.5% 的钢硬度高。原因: 碳含量越高, 钢中渗碳体(Fe_3C)比例越大。渗碳体是硬脆相, 能显著提高硬度。1.0% C 钢的渗碳体含量高于 0.5% C 钢, 因此硬度更高。

②室温下 0.8% C 钢的强度比 1.2% C 钢高。原因: 0.8% C 钢接近共析成分(0.77% C), 组织为均匀细密的珠光体; 而 1.2% C 钢中过量的碳会形成网状二次渗碳体, 破坏晶界结合力, 导致脆性增加, 强度下降。

③莱氏体塑性比珠光体塑性差。原因: 莱氏体由渗碳体和珠光体组成, 其中渗碳体作为基体(占大部分), 硬脆且几乎无塑性; 珠光体则是铁素体与渗碳体的层片状混合物, 铁素体提供一定塑性。

④在 1100℃, 0.4% C 钢能锻造, 4.0% C 铸铁不能锻造。原因: 0.4% C 钢在 1100℃时为单相奥氏体(塑性好, 变形抗力小); 4.0% C 铸铁在高温下仍存在莱氏体组织, 渗碳体硬脆且分布不均, 难以塑性变形。

⑤钢锭在 950~1100℃轧制时开裂。原因: 加热不均或保温时间不足导致内部热应力和组织应力叠加; 钢锭中夹杂物(如硫化物、氧化物)破坏金属连续性, 在应力下引发裂纹。

⑥钢加热到高温(1000~1250℃)进行热轧或锻造。原因: 高温下奥氏体塑性好, 变形抗力低; 同时高温再结晶细化晶粒, 消除铸造缺陷, 改善力学性能。

⑦钢铆钉用低碳钢制造。原因: 低碳钢(如 10、20 钢)塑性好, 易于冷镦成形; 高碳钢硬脆, 加工时易开裂。

⑧绑扎用铁丝(镀锌低碳钢), 起重用钢丝绳(高碳钢)。原因: 低碳钢(铁丝)延展性好, 适合弯曲绑扎; 高碳钢(如 60、70 钢)强度高、抗拉性能优异, 适用于承重。

⑨锯 T8 等高碳钢费力且锯条易钝。原因: T8、T10 等高碳工具钢含大量渗碳体, 硬度高(退火态 $\text{HB} > 300$), 切削时摩擦剧烈, 导致锯条磨损快; 10、20 钢硬度低($\text{HB} < 155$), 易加工。

⑩钢适合压力加工, 铸铁适合铸造。钢: 高温下奥氏体塑性好, 可通过轧制、锻造细化晶粒; 铸铁(如 4.3% C)含大量渗碳体和莱氏体, 硬脆且无法塑性变形。铸铁: 液态流动性好, 适合复杂铸件, 但固态下脆性大, 无法压力加工。

(15) 手锯锯条: T10 或 T12 钢(高碳工具钢, 淬火后硬度高、耐磨)。普通螺钉: 低碳钢(如 10、20 钢, 塑性好, 易冷镦成形)。车床主轴: 中碳合金钢(如 40Cr, 调质后综合力学性能优异)。

(16) ①Q235 属于碳素结构钢, 主要特点为低碳($\leq 0.22\%$ C), 塑性好, 焊接性好, 用途为建筑结构、铆钉、螺栓等。

②08F 属于优质碳素结构钢, 主要特点为超低碳(0.05%~0.11% C), 冷成形性极佳, 用途为汽车覆盖件、冲压件等。

③65 属于优质碳素结构钢, 主要特点为中高碳(0.62%~0.70% C), 弹性极限高, 用途为弹簧、离合器片等。

④T12A 属于高级优质碳素工具钢, 主要特点为高碳(1.15%~1.24% C), 硬度高, 耐磨性好, 用途为锉刀、钻头、刀具等。

第 4 章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

- (1) 加热; 保温; 冷却; 形状; 组织; 性能
- (2) 加热温度; 碳含量; 合金元素; 原始组织
- (3) $A_1-550^{\circ}\text{C}$; 铁; 碳
- (4) 右; 左; 共析; 高
- (5) 均为层片状珠光体; 层片间距大小
- (6) 羽毛; 针
- (7) 板条状; 针状; 板条马氏体
- (8) 靠右; 小
- (9) 铸; 锻; 焊; 热轧
- (10) 亚共析; $Ac_3+30\sim 50^{\circ}\text{C}$; 随炉缓冷; 铁素体和珠光体
- (11) $Ac_1+20\sim 30^{\circ}\text{C}$; 随炉; 球状 P
- (12) 降低硬度、提高塑性、改善切削加工性能; 过共析钢及合金工具
- (13) $Ac_3+30\sim 50^{\circ}\text{C}$; A; 空冷; 索氏体; $F+Fe_3C$
- (14) $Ac_3+30\sim 100^{\circ}\text{C}$; $Ac_1+30\sim 70^{\circ}\text{C}$
- (15) A; B 下; 细小条状碳化物和 F; 针
- (16) 稳定钢的组织尺寸、减少或消除内应力、获得所需的力学性能; 低
- (17) 150~250; 350~500; 500~650; 低
- (18) 回火马氏体; 回火托氏体; 回火索氏体; 良好综合力学
- (19) Mn、Cr、Mo、W、V、Ti、Nb、Zr
- (20) Mn、P
- (21) Co; Al; 增多; 降低
- (22) Cr、Ni、Si、Mn; Mo; W
- (23) 集肤效应; 感应电流
- (24) 直接淬火法; 一次淬火法; 二次淬火法; 0.3~1.6 mm; 57~63 HRC
- (25) 硬度; 耐磨性; 疲劳强度; 耐蚀性

3. 是非题

- (1) × (2) × (3) × (4) √ (5) × (6) × (7) √ (8) √ (9) × (10) ×
- (11) × (12) × (13) × (14) × (15) × (16) × (17) × (18) × (19) √
- (20) × (21) × (22) × (23) × (24) × (25) ×

4. 单选题

- (1) C (2) D (3) A (4) C (5) C (6) B (7) C (8) C (9) C (10) B (11) A
- (12) C (13) A (14) A (15) C (16) A (17) B (18) A (19) B (20) A (21) B
- (22) B (23) A (24) C (25) C (26) C (27) D (28) A (29) C (30) B

5. 综合分析题(部分)

(1) 热处理通过加热、保温、冷却改变组织与性能。热处理与其他加工方法的区别在于不改变形状。

(2) 阶段: 形核→晶核长大→渗碳体溶解→均匀化。亚共析钢: 需加热至 Ac_3 以上。过共析钢: 需保留部分渗碳体。

(3) 高温再结晶细化晶粒(详见教材)。

(4) 珠光体类型组织有珠光体、索氏体、屈氏体。形成条件是在高温转变温度范围内, 因过冷度不同而造成, 组织形态差异在于层片间距和层片厚薄不同。珠光体型组织的力学性能主要取决于层片间距和片层厚度。层片间距越小, 片层越薄则相界面越多, 强度、硬度越高, 塑性和韧性也得到改善。

(5) 贝氏体类型组织有上贝氏体(羽毛状)和下贝氏体(针状)。由于在 $550^{\circ}\text{C} \sim M_s$ 等温转变的过冷度不同, 碳原子的扩散能力也不一样, 故贝氏体的组织形态不同。上贝氏体的强度、硬度比珠光体高, 塑性及韧性差, 生产中很少使用。下贝氏体具有高的强度和硬度, 以及良好的塑形和韧性, 生产中常用等温淬火的方法来获得 $B_{\text{下}}$ 组织, 以提高零件的强韧性。

(6) 马氏体为碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体。马氏体的组织形态主要取决于 $A_{\text{过}}$ 中的碳含量。碳含量低于 0.2% 时, M 几乎全部为板条状, 称为板条状 M 或低碳 M ; 碳含量高于 1.0% 时, M 基本呈针片状, 称为针片状 M 或高碳 M ; 碳含量为 0.2%~1.0% 时, M 是板条状和针片状的混合组织。 M 的力学性能取决于 $A_{\text{过}}$ 中的碳含量及 M 内部的亚结构, 合金元素对 M 的力学性能影响不大。针片状 M 的亚结构以孪晶为主, 滑移系少, 塑性和韧性都很差。板条状 M 的亚结构以位错为主, 故又称位错马氏体, 其位错密度高, 因此它不仅具有较高的强度还有较好的塑性和韧性。随着碳含量增加, 碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和度提高, 晶格畸变增大, 碳原子的固溶强化以及位错、孪晶的综合作用使 M 的强度和硬度提高, 但当碳含量超过 0.6% 以后, 由于钢中 A' 量增多, 致使淬火钢的硬度和强度增加趋于缓慢。

(8) 珠光体①; 索氏体②; 下贝氏体⑤; 屈氏体+马氏体④; 马氏体③。

(9) a: 淬火(水冷), $M+A'$ 。b: 分级淬火: $M+A'$ 。c: 淬火(油冷), $T+M+A'$ 。d: 等温淬火, $B_{\text{下}}$ 。e: 正火(空冷), S 。f: 退火(炉冷), P 。g: 等温退火, P 。

(10) 表面(Ⅰ): 马氏体。过渡区(Ⅱ): 马氏体+残余奥氏体。心部(Ⅲ): 原始回火索氏体。

(11) ①经冷轧后的 15 钢钢板, 要求降低硬度: 再结晶退火。②ZG35 的铸造齿轮: 扩散退火。③锻造过热的 60 钢锻坯: 完全退火。④改善 T12 钢的切削加工性能: 球化退火。⑤弹簧钢丝(强化的)经冷卷成的弹簧: 去应力退火。⑥低碳钢钢丝多次冷拉之间: 再结晶退火。⑦T10 钢车床顶尖锻造以后: 去应力退火。

(12) 700°C : 未完全奥氏体化。 760°C : 马氏体+残余奥氏体。 840°C : 全马氏体。 1100°C : 粗大马氏体。

(13) 淬火方法包括单介质淬火、双介质淬火、分级淬火、等温淬火。主要特点及应用范围(略)。

(14) 淬火内应力由热应力和组织应力引起, 与冷却速度、材料成分相关。

(15) 水(快冷)、油(中速)、空气(慢冷)等。冷却特性、优缺点及应用范围详见教材。

(16) ① 900°C 淬火晶粒粗大; ② 780°C 淬火马氏体碳含量少; ③ 780°C 残余奥氏体多;

④780℃未溶碳化物多；⑤780℃更合适(避免过热)。

(17)随着回火温度的升高，淬火钢的组织发生以下四个阶段的变化：马氏体的分解→残余奥氏体的分解→渗碳体的形成→渗碳体的聚集长大和铁素体的再结晶。

(18)145 钢小轴： $A_{c3}+30\sim 100^{\circ}\text{C}$ ；高温回火($500\sim 650^{\circ}\text{C}$)；回火索氏体。

260 钢弹簧： $A_{c3}+30\sim 100^{\circ}\text{C}$ ；中温回火($350\sim 500^{\circ}\text{C}$)；回火托氏体。

3T12 钢锉刀： $A_{c1}+30\sim 70^{\circ}\text{C}$ ；低温回火($150\sim 250^{\circ}\text{C}$)；回火马氏体。

(19)10 mm 轴全马氏体，横截面上的硬度均匀分布；100 mm 轴表层马氏体，心部非马氏体，横截面上的硬度中间低，外部高。

(20)正火组织为索氏体，调质组织为回火索氏体，后者强韧性更优。

(21)750℃加热组织更优(细晶粒)。

(22)表面淬火：中碳钢，提高硬度。渗碳：低碳钢，表面硬化。氮化：合金钢，高耐磨性。

(23)由于合金元素阻碍马氏体分解和碳化物聚集长大过程，使回火后硬度降低过程变缓，从而提高钢的回火稳定性。

(24)①钢淬火后在 300°C 左右回火时产生的回火脆性称为第一类回火脆性。无论碳钢或合金都可能发生这种脆性，并且它与回火后的冷却方式无关。这种回火脆性产生后无法消除。为了避免第一类回火脆性的发生，一般不在 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 回火。②含有铬、锰、铬、镍等元素的合金钢淬火后，在脆化温度区($400\sim 550^{\circ}\text{C}$)回火，或经更高温度回火后缓慢冷却通过脆化温度区所产生的脆性，称为第二类回火脆性。它与某些杂质元素在原奥氏体晶界上偏聚有关。这种偏聚容易发生在回火后缓慢冷却的过程中，最容易发生在含铬、锰、镍等合金元素的合金钢中。如果回火后快冷，杂质元素来不及在晶界上偏聚就不易发生这类回火脆性。当出现第二类回火脆性时，可将其加热至 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 经保温后快冷，即可消除回火脆性。对于不能快冷的大型结构件或不允许快冷的精密零件，应选用含有适量钼和钨的合金钢，能有效防止第二类回火脆性的发生。

(25)①钢在淬火后，得到的组织 M 和 A' 是不稳定的，存在着自发向稳定组织转变的倾向，必须回火。②从回火的四个阶段可以看出回火后钢的机械性能主要是决定于回火温度：淬火钢回火时，随回火温度的升高，M 中的碳含量、A' 的数量、 Fe_3C 的粗细及内应力的大小等都在发生变化，即由不稳定向较为稳定的组织状态变化，这必然会引起钢性能的变化。③随着回火温度升高，硬度、强度下降，塑性、韧性提高，弹性极限在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 附近达到最大值。

(26)回火组织韧性优于直接冷却产物。回火托氏体组织可使淬火钢中的内应力大大减少，使钢的弹性极限和屈服极限显著提高，同时又具有足够的强度、塑性韧性，主要用于各种弹簧钢、塑料模、热锻模及某些要求强度较高的零件，如刀杆、轴套等，中温回火后硬度为 $35\sim 50\text{ HRC}$ 。回火索氏体组织可得到高的强度和较高塑性、韧性相配合的综合力学性能。生产中一般把淬火+高温回火的热处理称为调质处理。主要用于各种重要的结构零件，特别是在交变载荷下工作的连杆、螺栓、螺帽曲轴和齿轮等零件。调质处理还可作为某些精密零件如丝杠、量具、模具等的预备热处理以减少最终热处理过程中的变形。调质处理后的硬度为 $25\sim 35\text{ HRC}$ 。与正火比较，在相同的硬度下，强度、塑性和韧性均显著高于正火状态，因此，重要构件一般采用调质处理。

(28) 渗碳目的: 提高低碳钢或低碳合金钢表层含碳量(0.8%~1.2%), 经淬火后表面高硬度(60~64 HRC), 心部保持韧性和强度。渗碳层深度规定: 经验公式为层深 $\approx 0.1 \sim 0.3$ 倍模数(齿轮)或按零件截面尺寸的10%~20%; 检测标准为从表面至硬度为550 HV处的垂直距离。选择依据: 载荷大小: 重载零件(如齿轮)需深渗层(1.0~1.5 mm); 服役条件: 冲击负荷下需梯度缓变的渗层以抗剥落; 材料类型: 合金钢(如20CrMnTi)可渗较浅层(0.5~1.0 mm)。

第5章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

- (1) 合金结构; 合金工具; 特殊性能
- (2) 低合金; 中合金; 高合金
- (3) 合金调质; 低合金高强度结构; 易切削结构
- (4) 1Cr13; 20CrMnTi; 60Si2Mn; Cr12MoV; Q345; 40Cr; GCr15; ZGMn13; W18Cr4V; 45CrNiMoV; 5CrNiMo; Y12; 0Cr18Ni9; 20CrMo; CrWMn; 1Cr18Ni9Ti
- (5) 高硬度; 耐磨性; 足够的强度与韧性; 0.6%~1.3%
- (6) 制造耐蚀零件; 0.1%; 奥氏体; 钢的电极电位; 稳定奥氏体组织, 提高钢的韧性和耐蚀性
- (7) 马氏体; 高速钢中合金元素含量高, 提高了钢的淬透性; 刀具; 模具
- (8) 疲劳断裂; 过量变形; 局部过渡磨损
- (9) 轮齿断裂; 齿面点蚀损害; 齿面胶合; 齿面磨损; 齿面塑性变形
- (10) 优质碳素结构; 螺栓、螺母、垫圈等标准件; 机械外壳、支架等焊接结构件; 以及汽车、拖拉机上的一些不太重要的零部件, 如手刹蹄片、杠杆轴等
- (11) 合金工具; 刀具
- (12) 热作模具; 锤锻模; 压力机锻模等热锻模具
- (13) 冷作模具; 冲裁模; 冷挤压模; 拉深模; 滚丝模等冷作模具)。
- (14) 碳素工具; 锉刀、刮刀、钻头、丝锥等切削工具, 以及冲模、拉丝模等模具
- (15) 低合金高强度结构; 桥梁、船舶、车辆、压力容器、建筑结构等
- (16) 合金调质; 齿轮、轴类、连杆、螺栓等重要的机械零件
- (17) 合金弹簧
- (18) 滚动轴承; 铁素体不锈钢
- (19) 马氏体不锈钢; 汽轮机叶片、餐具、医疗器械等
- (20) 合金渗碳; 提高钢的淬透性; 细化晶粒; 淬火+低温回火
- (21) 高速工具; 0.73~0.83; 提高热硬性; 提高淬透性; 提高热硬性和高硬度碳化物; 淬火+三次回火; $M_{\square} + A' + \text{碳化物}$
- (22) 奥氏体不锈钢; 增加耐蚀性; 获得单相奥氏体; 防止晶间腐蚀
- (23) 白口; 高温石墨化退火; 渗碳体; 奥氏体和团絮状石墨
- (24) 灰铸铁; 最低抗拉强度
- (25) 可锻铸铁; 最低抗拉强度; 最低断后伸长率; 铁素体+团絮状石墨

- (26) 球墨铸铁; 最低抗拉强度; 最低断后伸长率; 珠光体+球形石墨
 (27) 高碳、高硅、低硫; 球化; 墨化(孕育)
 (28) 退火; 等温淬火; 正火
 (29) 铸造性能; 减震性; 切削加工性; 塑性和韧性
 (30) 含碳量大于 2.11%; 高硅、高锰; 硫、磷较多
 (31) 碳的存在形式; 石墨形态
 (32) 铁-渗碳体; 铁-石墨
 (33) 化学成分; 成分含量|结晶时的冷却速度; 冷却速度
 (34) 碳硅含量高; 硫磷含量低
 (35) 石墨形态、大小、分布状况; 基体组织
 (36) 铸造性好; 切削加工性能好; 减摩性好
 (37) 机床床身、机架等需要减震的零
 (38) 时效处理; 高温退火

3. 是非题

- (1) × (2) × (3) ✓ (4) × (5) × (6) × (7) × (8) × (9) × (10) ×
 (11) ✓ (12) ✓ (13) × (14) × (15) × (16) ✓ (17) ✓ (18) ✓ (19) ×
 (20) × (21) × (22) × (23) × (24) × (25) × (26) × (27) ✓ (28) ×
 (29) × (30) × (31) ✓ (32) ✓ (33) ✓ (34) × (35) ×

4. 单选题

- (1) D (2) C (3) D (4) A (5) B (6) B (7) C (8) C (9) B (10) D (11) D
 (12) A (13) B (14) C (15) D (16) A (17) A (18) C (19) D (20) D
 (21) C (22) B (23) B (24) D (25) B (26) C (27) C (28) B

5. 综合分析题(部分)

(1) ①淬透性好: 工件淬火时, 若能完成淬透, 则经高温回火后, 工件整个截面上都能获得良好的综合机械性能; 如仅表面淬硬而心部未淬硬, 即淬透性差, 那么经高温回火后, 工件的综合机械性能明显下降。相同直径的碳钢与合金钢, 碳钢即使在强烈的冷却介质中冷却, 其淬火深度也是有限的; 合金钢在同样介质中淬火, 淬火深度要比碳钢深, 甚至在较缓慢的冷却介质中冷却, 也能获得较深的淬透层。

②机械性能好: 含碳量相同的碳钢与合金钢, 经同样的热处理, 其机械性能区别较大。如 40 钢经调质后 $\sigma_b < 750 \text{ MPa}$, 40Cr 钢经调质后 $\sigma_b < 1000 \text{ MPa}$, 故在硬度相同的情况下, 40Cr 钢的塑性和韧性要比 40 钢好。

③具有较高的热硬性: 在相同的回火温度下, 合金钢回火硬度高, 有的合金钢在 723 ~ 873 K 时仍能保持很高的硬度。

④合金钢可具有碳素钢没有的特殊性能, 如耐磨性、耐腐蚀性、耐高温性等。

(2) 合金元素会使奥氏体相区扩大或缩小。镍、锰、碳、氮等元素的加入会使奥氏体相区扩大, 是奥氏体形成元素, 特别以镍、锰的影响更大, 使得合金钢的淬火加热温度比碳钢低。而铬、钼、硅、钨等元素使奥氏体相区缩小, 是铁素体形成元素, 使得大多合金钢的淬火加热温度比碳钢高。

(3) Q235 为普通碳素结构钢; Q345(16MnRe) 为低合金高强度结构钢; 10 为优质碳素结

构钢(低碳钢); 20 为优质碳素结构钢(低碳钢); T12A 为高级优质碳素工具钢; 20CrMnTi 为合金渗碳钢; 35CrMo 为合金调质钢; 40Cr 为合金调质钢; 40CrNiMoA 为合金调质钢; 60 为优质碳素结构钢(中碳钢); 65Mn 为优质碳素结构钢(中高碳钢), 常用于弹簧钢; 60Si2Mn 为合金弹簧钢; 50CrVA 为合金弹簧钢; GCr9 为滚动轴承钢; GCr15 为滚动轴承钢; 9Mn2V 为合金工具钢(冷作模具钢); 9SiCr 为合金工具钢(刀具钢); CrWMn 为合金工具钢(量具刀具钢); W6Mo5Cr4V2 为高速工具钢; W18Cr4V 为高速工具钢; Cr12 为合金工具钢(冷作模具钢); Cr12MoV 为合金工具钢(冷作模具钢); 5CrMnMo 为合金工具钢(热作模具钢); 5CrNiMo 为合金工具钢(热作模具钢); 1Cr13 为马氏体不锈钢; 4Cr13 为马氏体不锈钢; 1Cr18Ni9Ti 为奥氏体不锈钢; ZGMn13 为高锰耐磨钢; HT200 为灰铸铁; QT800-2 为球墨铸铁。

(4)合金元素的作用: W18Cr4V 钢中含有大量的合金元素, 如 W、Cr、V 等。其中, Cr 元素主要是增加钢的淬透性。在空冷过程中, 由于 Cr 的作用, 奥氏体在冷却时能够在较低的冷却速度下保持较低的温度, 从而为马氏体转变提供了条件。奥氏体化状态: 锻造过程中的加热使得 W18Cr4V 钢形成了奥氏体组织。在锻造后的空冷过程中, 由于冷却速度相对较快, 过冷奥氏体来不及发生珠光体、贝氏体等转变, 而直接转变为马氏体。

(5)①细晶强化: 细化晶粒提高金属的屈服极限, 使得金属表现出高强度与高韧性。②固溶强化: 提高溶质原子的浓度, 使得位错受束缚或被钉扎, 从而提高金属的强度、硬度。③弥散强化: 位错线绕过第二相原子并借助粉末冶金的方法加入基体从而起强化作用。④沉淀强化: 位错线切过第二相原子时做了额外的功, 消耗足够大的能量, 从而提高合金的强度。

(7)不正确, 原因如下。①含碳量不合适: 渗碳零件通常要求心部有一定的强度和韧性, 表面具有高硬度和耐磨性。Q235A 钢属于普通碳素结构钢, 其含碳量较低, 一般在 0.14%~0.22% 之间。低碳钢经渗碳处理后, 心部强度较低, 无法满足承受较大载荷的要求。②淬透性差: Q235A 钢的淬透性低, 在渗碳后进行淬火时, 难以获得足够深度的淬硬层, 导致零件表面的硬度和耐磨性不足, 且淬火后零件的心部组织也难以达到理想的强度和韧性要求。③性能稳定性不足: Q235A 钢的成分和性能波动较大, 这是普通碳素结构钢的特点。对于渗碳零件, 尤其是在一些对性能要求较高、工况复杂的场合, 材料性能的稳定性至关重要。

(8)不合理, 原因如下。①含碳量较高: 45 钢属于中碳钢, 含碳量为 0.42%~0.50%。渗碳的目的是提高零件表面的含碳量, 以获得高硬度、高耐磨性和良好的抗疲劳性能。而 45 钢本身含碳量较高, 渗碳后表面含碳量过高, 可能会导致渗碳层中出现过多的渗碳体, 使渗碳层脆性增加, 容易在使用过程中出现剥落、裂纹等缺陷, 影响零件的使用寿命。②淬透性有限: 45 钢的淬透性相对较低, 在渗碳后进行淬火时, 难以获得较深的淬硬层。对于一些对渗碳层深度和硬度要求较高的零件, 45 钢可能无法满足要求。③心部性能不佳: 渗碳件不仅要求表面具有高硬度和耐磨性, 还要求心部有足够的强度和韧性。45 钢经渗碳淬火后, 心部组织为回火索氏体或回火屈氏体等, 强度和韧性的配合不如专门的渗碳钢理想。在承受较大冲击载荷或复杂应力的情况下, 45 钢制造的渗碳件心部可能过早出现疲劳裂纹, 降低零件的整体可靠性。

(9)预备热处理为球化退火; 最终热处理为淬火+低温回火。球化退火: 降低硬度, 便于切削加工, 为最终热处理做组织准备。淬火: 其目的是为了保证块规具有高的硬度(62~65 HRC)。低温回火: 是为了减小应力, 并使冷处理后的过高硬度(66 HRC 左右)降低至所要求的硬度(62~65 HRC)。

(11)①产生二次硬化。由于合金元素扩散慢并阻碍碳的扩散,且阻碍碳化物的聚集和长大,因此合金钢中的碳化物在较高的回火温度时,仍能保持均匀弥散分布的细小碳化物颗粒。强碳化物形成元素如 Cr、W、Mo、V 等,在含量较高及在一定回火温度下,还将沉淀析出各自的特殊碳化物,如 Mo_2C 、 W_2C 、VC 等。析出的碳化物高度弥散分布在马氏体基体上,并与马氏体保持共格关系,阻碍位错运动,使钢的硬度反而有所提高,这就形成了二次硬化。钢的硬度不仅不降低,反而再次提高。在合金钢中,当含有 W、Mo、Ti、V、Si 等,它们一般都推迟 α 相的回复与再结晶和碳化物的聚集,从而抑制钢的硬度和强度的降低。

②提高淬火钢的回火稳定性(耐回火性)。合金元素可阻碍马氏体分解和碳化物聚集长大过程,使回火的硬度降低过程变缓,从而提高钢的回火稳定性。由于合金钢的回火稳定性比碳钢高,若要得到相同的回火硬度时,则合金钢的回火温度要比同样含碳量的碳钢高,回火时间也长。因此当回火温度相同时,合金钢的强度、硬度都比碳钢高。

③回火时产生第二类回火脆性。在合金钢中,除了有低温回火脆性外,在含有 Cr、Ni、Mn 等元素的钢中,在 550~650℃ 回火后,又出现了冲击值的降低,称为高温回火脆性或第二类回火脆性。此高温回火脆性为可逆回火脆性或第二类回火脆性。产生这类回火脆性的原因,一般认为是由于锡、磷、锑、砷等有害元素沿奥氏体晶界偏聚,减弱了晶界上原子间的结合力。

(12)碳素工具钢在温度高于 200℃ 时热硬性变差;低合金刀具钢热硬性在 300℃ 以下;高速钢热硬性可达 600℃。高速钢热硬性高的主要原因是高速钢的含碳量较高, w_c 在 0.75%~1.60% 的范围内,并含有大量的碳化物形成元素,如钨、钼、铬、钒等。高的碳含量是为了在淬火后获得高碳马氏体,并保证形成足够的碳化物,从而保证其高硬度、高耐磨性和良好的热硬性。钨和钼的作用相似(质量分数为 1% 的钼相当于质量分数为 2% 的钨),都能提高钢的热硬性。含有大量钨或钼的马氏体具有很高的回火稳定性,在 500~600℃ 的回火温度下,因析出微细的特殊碳化物(W_2C 、 Mo_2C)而产生二次硬化,使钢具有高的热硬性,提高钢的耐磨性。

(13)热锻模通常采用具有良好耐高温、抗热疲劳、耐磨损和韧性等性能的材料制造。常用钢号有 5CrMnMo、5CrNiMo、3Cr2W8V、H13 等。

(14)W18Cr4V 钢可以用来做模具,但一般用于要求高强度、高耐磨性、少冲击的模具中。然而,由于其韧性较差、材质特性脆、价格贵,因此不建议用作冷冲模。

(15)15Cr 钢:一般采用正火处理。20Cr2Ni4 钢:通常采用退火处理。40Cr 钢:采用调质处理(淬火+高温回火)。5CrMnMo 钢:常采用球化退火处理。GCr15 钢:一般采用球化退火。W18Cr4V 钢:通常采用退火处理。

(16)20 钢属于低碳钢,用其制造的活塞销经渗碳淬火后,一般采用低温回火,回火温度范围通常在 150~200℃。渗碳淬火并低温回火后,活塞销表层组织为回火马氏体+细小碳化物+少量残余奥氏体。渗碳使表层碳含量增加,淬火时形成高碳马氏体。低温回火时,马氏体中的过饱和碳以细小碳化物的形式析出,从而得到回火马氏体。由于渗碳层中碳和合金元素含量较高,淬火后会保留少量残余奥氏体。一般来说,硬度可达到 58~64 HRC。

(17)45 钢(即 AISI 1045)是一种中碳钢,广泛用于制造要求良好综合机械性能的零部件,如连杆。为了满足其强度、硬度和韧性的要求,通常采用调质处理(淬火+高温回火)。

①淬火工艺:45 钢的淬火加热温度一般为 820~860℃,加热后采用水或油进行淬火,具体介

质选择取决于零件的尺寸和形状。淬火后,组织主要为马氏体,具有较高的硬度和强度,但韧性较差,需进一步回火。②回火工艺:回火加热温度通常控制在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$,以获得优良的综合机械性能。回火后,组织转变为回火索氏体,兼具较高的强度、塑性和韧性,使连杆能够承受较大的冲击载荷和交变应力。综上,45钢连杆的调质处理可采用 $820\sim 860^{\circ}\text{C}$ 淬火+ $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 高温回火,最终获得回火索氏体组织,实现较优的力学性能。

(18) T10钢(即碳含量为1.0%的工具钢)是一种高碳钢,常用于制造要求高硬度和耐磨性的工具,如手锯条。为了实现这些性能要求,通常采用淬火和回火工艺来改善T10钢的硬度和耐磨性。①淬火工艺:T10钢的淬火加热温度一般为 $780\sim 820^{\circ}\text{C}$,加热至此温度后进行快速淬火,通常使用油或空气冷却。淬火后,T10钢的组织主要为马氏体,这是一种硬度较高的组织,适合用来提高手锯条的硬度和耐磨性。②回火工艺:为了降低淬火后马氏体的脆性并调整其韧性,T10钢通常会进行回火处理。回火温度一般在 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 范围内,回火时间视具体要求而定。回火后的组织会以回火马氏体或回火索氏体为主,回火马氏体在保持较高硬度的同时,具有更好的韧性,适合承受工作过程中的应力和冲击。综上,T10钢制造的手锯条的热处理工艺为 $780\sim 820^{\circ}\text{C}$ 淬火+ $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 回火,通过淬火得到马氏体组织,再通过回火调整硬度和韧性,最终获得高硬度和耐磨性的综合性能。

(19) ①工艺路线为:锻造→退火→机加工→淬火后低温回火→磨加工。退火处理可细化组织,调整硬度,改善切削加工性;淬火及低温回火可获得高硬度和耐磨性以及去除内应力。②最终热处理后的显微组织为回火马氏体,大致的硬度60 HRC。③T10车刀的淬火温度为 780°C 左右,冷却介质为水;回火温度为 $150^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

(20) 碳钢是指碳质量分数为 $0.02\%\sim 2.14\%$ 的铁碳合金,铸铁是指碳质量分数大于 2.14% 的铁碳合金。与钢相比,铸铁中含碳及含硅量较高,且含有较多硫、磷等杂质元素。钢的组织为铁素体+珠光体、珠光体+二次渗碳体;铸铁的组织为珠光体+二次渗碳体+莱氏体、莱氏体、一次渗碳体+莱氏体。钢中低碳钢塑性韧性较好,强度和硬度较低,具有良好的焊接性能和冷成形性能;中碳钢有优良的综合机械性能;高碳钢塑性韧性较低,但强度和硬度较高,耐磨性较好。以上钢均可进行锻造和轧制,并可经过热处理改变其组织,进而极大地提高其性能。白口铸铁组织中存在着共晶莱氏体,性能硬而脆,很难切削加工,但其耐磨性好,铸造性能优良。灰铸铁组织中碳全部或大部分以片状石墨形式存在,其铸造性能、切削加工性、减摩性、消振性能良好,缺口敏感性较低。

(21) 铸铁中碳的存在形式有固溶于基体的碳、化合态的渗碳体和游离状态的石墨三种。碳的存在形式不仅影响合金铸铁的力学性能,还对其耐磨性、耐腐蚀性等其他性能产生影响。①力学性能:石墨和渗碳体的形态、大小和分布都会影响铸铁的强度和韧性。合理的碳形态和分布可以提高铸铁的强度和韧性,从而延长其使用寿命。②耐磨性:游离碳以石墨形态存在时,可以减少铸铁件之间的摩擦,从而提高其耐磨性。而化合碳则以渗碳体形式增强铸铁的硬度,也有助于提高耐磨性。③耐腐蚀性:碳的形态和分布还会影响铸铁的耐腐蚀性。合理的碳形态可以提高铸铁的致密性,从而降低腐蚀介质的渗透性,提高耐腐蚀性。

(22) ①化学成分。a. 碳和硅:碳和硅是强烈促进石墨化元素,铸铁中碳和硅的含量越高,就越容易充分进行石墨化。由于共晶成分的铸铁具有最佳的铸造性能。因此,将灰铸铁的碳当量均配制到4%左右。b. 锰:锰是阻止石墨化的元素,但锰与硫化合生成硫化锰,减弱了硫的有害作用,结果又间接促进石墨化的作用。故铸铁中有适量的锰是必要的。c. 硫:硫是

强烈阻碍石墨化的元素，它不仅强烈地促使白口化，而且还会降低铸铁的流动性和力学性能，所以硫是有害元素，必须严格控制其含量。d. 磷：磷是弱促进石墨化的元素，同时能提高铁液的流动性，但磷的含量过高会增加铸铁的脆性，使铸铁在冷却过程中易开裂，所以也应严格控制其含量。②冷却速度。生产实践证明，在同一成分的铸铁件中，其表面和薄壁部分易出现白口组织，而内部和厚壁处则容易进行石墨化。由此可见，冷却速度对石墨化的影响很大。冷却速度越慢，原子扩散时间充分，也就越有利于石墨化的进行。冷却速度主要决定于浇注温度、铸件壁厚和铸型材料。

(23) 铸铁中石墨有片状、团絮状、球状和蠕虫状等形态。在相同基体的情况下，不同形态和数量的石墨对基体的割裂作用不同。呈片状时，石墨表面积最大，割裂最严重；蠕虫状次之；球状石墨表面积最小、应力最分散，割裂作用的影响最小。石墨的数量越多、越集中，对基体的割裂越严重，铸铁的抗拉强度越低，塑性越差。

(24) 铸铁具有良好的铸造性能、切削加工性能、减磨性、消震性，以及低的缺口敏感性。因此，一般机器的支架、机床的床身常用灰口铸铁制造。

(25) 铸造性能和切削加工性能很好，是工业上应用最广泛的铸铁；常用来制造各种承受压力和要求消振性好的床身、箱体及经受摩擦的导轨、缸体等

(26) 石墨形态上前者为片层状，后者为球状球墨铸铁。与灰铸铁相比，球墨铸铁具有高的强度和良好的塑性和韧性，屈服点比碳素结构钢高，疲劳强度接近中碳钢。同时，它具有灰铸铁的减震性、减磨性和小的缺口敏感性等优良性能。球墨铸铁中的石墨球的圆管度越好、球径越小、分布越均匀，则其力学性能就越好(高强度，塑性、韧性好)。

(27) ①碳钢是指含碳量为 0.02%~2.14% 的铁碳合金，铸铁是指含碳量大于 2.14% 的铁碳合金。与钢相比，铸铁中含碳及含硅量较高，且含有较多硫、磷等杂质元素。钢的组织为铁素体+珠光体、珠光体、珠光体+二次渗碳体；钢的组织为珠光体+二次渗碳体+莱氏体、莱氏体、一次渗碳体+莱氏体。钢中低碳钢塑性韧性较好、强度和硬度较低，良好的焊接性能和冷成形性能；中碳钢有优良的综合机械性能；高碳钢塑性韧性较低，但强度和硬度较高、耐磨性较好。以上钢均可进行锻造和轧制，并可经过热处理改变其组织，进而极大的提高其性能。②白口铸铁组织中存在着共晶莱氏体，性能硬而脆，很难切削加工，但其耐磨性好，铸造性能优良。③灰口铸铁组织中碳全部或大部分以片状石墨形式存在，断口呈暗灰色。其铸造性能、切削加工性、减磨性、消震性能良好，缺口敏感性较低。

(28) 根据零件对抗拉强度和抗弯强度的要求，可选用 HT200 牌号的灰口铸铁来制造。

(29) 影响铸铁抗拉强度的因素：主要取决于基体组织和石墨形态。珠光体含量高的基体强度较高；石墨呈球状时(如球墨铸铁)，对基体割裂作用小，抗拉强度高；而灰铸铁中片状石墨会严重割裂基体，降低抗拉强度。影响铸铁硬度的因素：主要取决于碳含量和合金元素。碳含量越高，渗碳体越多，硬度越高；加入铬、钼等合金元素，可通过固溶强化基体或形成合金碳化物来提高硬度。提高铸铁抗拉强度和硬度的方法：①合金化。添加镍、铬、钼等合金元素，强化基体，提高强度和硬度。②孕育处理。加入孕育剂，促进石墨化，细化石墨并使其分布均匀，提高力学性能。③热处理。通过淬火、回火、正火等热处理工艺，改变铸铁的组织，提高强度和硬度。抗拉强度与硬度的关系：一般情况下，铸铁抗拉强度高，硬度也会较高。因为两者都与基体组织、石墨形态等因素密切相关，强化基体、改善石墨形态等提高抗拉强度的措施，通常也会提高硬度。

(30) 因为薄壁处由于冷却速度快, 易析出渗碳体, 易获得白口组织, 所以可锻铸铁适宜制造壁厚较薄的零件。

(31) ①原因: 冷却速度快, 铸型激冷使铸件表层快速冷却, 抑制石墨化, 渗碳体增多, 硬度上升。化学成分不当, 碳、硅含量低, 硫含量高, 阻碍石墨化, 导致表层过硬。②补救方法: 高温石墨化退火, 加热到 $900 \sim 950^{\circ}\text{C}$ 保温后随炉缓冷, 使渗碳体分解, 降低硬度。表面软化处理, 如软氮化, 在表层形成硬度较低的氮化层, 改善切削性能。③改进意见: 控制化学成分, 保证碳含量 $3.0\% \sim 3.5\%$, 硅含量 $1.8\% \sim 2.4\%$, 硫含量低于 0.15% 。优化铸型工艺, 采用保温材料或涂料, 降低激冷作用, 减缓表层冷却速度。加强孕育处理, 加入硅铁、硅钙合金等孕育剂, 促进石墨化, 细化石墨, 使组织均匀。

(32) ①QT450-5: QT 表示球墨铸铁的代号; 450 表示该球墨铸铁的最低抗拉强度为 450 MPa; 5 表示其最低伸长率为 5%。

②KT370-12: KT 表示可锻铸铁的代号; 370 表示该可锻铸铁的最低抗拉强度为 370 MPa; 12 表示其最低伸长率为 12%。

③KTZ700-2: KTZ 表示珠光体可锻铸铁的代号; 700 表示该珠光体可锻铸铁的最低抗拉强度为 700 MPa; 2 表示其最低伸长率为 2%。

④HT200: HT 表示灰铸铁的代号; 200 表示该灰铸铁的最低抗拉强度为 200 MPa。

第 6 章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

(1) 铸造; 变质处理

(2) 黄铜; 单相 α 固溶体; 固溶强化

(3) 铅青铜; 铸造; 铅的质量分数; 滑动轴承等减磨

(4) 固溶; 过饱和固溶体; 时效

(5) 锡基巴氏; 铸造轴承合金; 83%左右

(6) 铍青铜; 固溶时效

3. 是非题

(1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\checkmark$ (4) $\times$ (5) $\times$ (6) $\times$ (7) $\times$ (8) $\checkmark$

4. 单选题

(1) B (2) B (3) B (4) B (5) A (6) B

5. 综合分析题(部分)

(1) ①铝合金按相图可分为以下两类。变形铝合金: 在相图上, 其成分一般处于固溶体区或接近固溶体区。该类铝合金通过压力加工能获得良好的塑性变形能力, 可进行多种加工, 如工业纯铝、防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金等。铸造铝合金: 通常在相图上位于共晶点附近或有较多第二相析出区域。其具有良好的铸造性能, 能铸造成复杂形状的零件, 但力学性能一般低于变形铝合金, 常见的有铝硅系、铝铜系、铝镁系和铝锌系等。②一般情况下, 铝合金晶粒粗大不能用重新加热的方法使其细化。因为铝合金加热时, 若温度过高或保温时间过长, 原子活动能力增强, 晶粒边界原子易迁移, 会使晶粒长大。当晶粒已经粗大时,

重新加热若不能控制好参数,反而会使晶粒进一步粗大。要细化铝合金晶粒,通常需采用加入细化剂、合理冷加工变形后再退火以及快速冷却等特殊方法。

(2) 铝合金的热处理机理与钢不同。一般钢经淬火后,硬度和强度立即提高,塑性下降。铝合金则不同,能热处理强化的铝合金,淬火后硬度和强度不能立即提高,而塑性与韧性却显著提高。但在室温放置一段时间后,硬度和强度才显著提高,塑性与韧性则明显下降。

(3) 为了细化共晶硅。

(4) 铸造铝合金通常采用固溶处理及时效处理来提高其性能,以下是处理后组织和性能的变化。

①固溶处理。处理方法:将铸造铝合金加热到适当温度,保温足够时间,使合金中的强化相充分溶解到铝基体中,形成均匀的过饱和固溶体,然后迅速冷却,将高温下的过饱和固溶体保留到室温。组织变化:合金中的强化相(如第二相粒子等)逐渐溶入铝基体,原本存在的一些第二相粒子减少甚至消失,组织变得更加均匀一致,形成单一的过饱和固溶体组织。性能变化:固溶处理后,铝合金的强度和硬度会有所提高,同时塑性和韧性也能得到一定程度的改善,这是因为过饱和固溶体中溶质原子的存在阻碍了位错运动,使合金抵抗变形的能力增强。

②时效处理。处理方法:固溶处理后的铝合金在室温或加热条件下保持一段时间。根据时效温度不同,分为自然时效(室温下时效)和人工时效(加热到一定温度时效)。组织变化:过饱和固溶体发生分解,从铝基体中析出细小弥散的强化相粒子。这些粒子通常在晶内和晶界处均匀析出,随着时效时间延长,粒子尺寸逐渐增大,数量也增多。性能变化:时效处理能显著提高铝合金的强度和硬度。在时效初期,随着强化相的析出,合金的强度和硬度快速上升;当时效达到峰值时,合金的强度和硬度达到最大值,此时合金的综合力学性能较好;如果时效时间过长,强化相粒子会进一步长大,导致合金的强度和硬度下降,塑性和韧性有所提高,即发生过时效现象。

(5) ①铝合金:第一位数字表示铝合金的组别,第二位数字(或字母)表示原始合金的改型情况,0表示原始合金,1-9表示对原始合金的改型。最后两位数字表示纯铝中最低铝含量的百分数中小数点后面的两位数字,或者表示合金中主要合金元素(或其他元素)的名义百分含量。②钛合金:钛及钛合金牌号用“TA”“TB”“TC”加上序号表示,其中“TA”表示 α 型钛合金,“TB”表示 β 型钛合金,“TC”表示 $\alpha+\beta$ 型钛合金。例如,TA1表示1号 α 型钛合金,TC4表示4号 $\alpha+\beta$ 型钛合金。

(6) ①性能特点:强度高、密度低;耐腐蚀性好;耐高温性能优异;生物相容性良好。②用途举例:航空航天结构件(如飞机发动机叶片);化工设备耐腐蚀部件;医疗人工关节;船舶潜艇组件。

(7) ①H80。

类别:属于黄铜,是铜锌合金,其中铜的含量约为80%。

用途:具有较高的强度和良好的耐蚀性,常用于造纸工业用铜网、薄壁管、装饰品等。

②H62。

类别:普通黄铜,铜含量约62%,锌含量约38%。

用途:有良好的力学性能和加工性能,价格相对便宜,广泛用于制造各种结构件,如散热器、垫圈、弹簧、各种导管等。

③HPb63-3。

类别：铅黄铜，是在铜锌合金基础上加入铅元素，铜含量约 63%，铅含量约 3%。

用途：具有良好的切削性能和耐磨性能，主要用于制造各种切削加工零件，如钟表零件、汽车和拖拉机零件等。

④HNI65-5。

类别：镍黄铜，铜含量约 65%，镍含量约 5%。

用途：具有较高的耐蚀性和强度，在船舶工业、化工工业中常用于制造耐蚀零件，如冷凝器管、海水阀门等。

⑤QSn6.5-0.1。

类别：锡青铜，锡含量约 6.5%，磷含量约 0.1%，是在铜中加入锡和少量磷组成的合金。

用途：具有良好的耐磨性、耐蚀性和弹性，常用于制造弹性元件、耐磨零件，如弹簧、轴瓦、齿轮等，还用于制造艺术铸件。

⑥QBe2。

类别：铍青铜，铍含量约 2% 左右，是一种时效强化型铜合金。

用途：具有高的强度、硬度、弹性极限、疲劳极限和耐磨性，同时还具有良好的导电性、导热性和耐蚀性，广泛应用于航空航天、电子、仪表、机械等领域，如制造各种精密弹簧、膜片、高速高压下工作的轴承、衬套以及电焊机电极等。

(8)①青铜。

定义：青铜原指铜锡合金，因颜色呈青灰色而得名。现在除了黄铜和白铜(铜镍合金)以外的铜合金均称为青铜，如锡青铜、铝青铜、铍青铜等。

特点：与纯铜相比，青铜具有更高的强度和硬度。其中，锡青铜的铸造性能好，减摩性和抗蚀性优良，适合制造耐磨零件和耐腐蚀零件；铝青铜具有较高的强度、硬度和耐磨性，同时具有良好的耐蚀性，特别是对海水的耐蚀性强；铍青铜具有很高的强度、硬度、弹性极限和疲劳极限，并且有良好的导电性、导热性和耐蚀性。

②黄铜。

定义：黄铜是由铜和锌所组成的合金。如果只是由铜、锌组成的黄铜就叫作普通黄铜。如果是由二种以上的元素组成的多种合金就称为特殊黄铜，如铅黄铜、锡黄铜、铝黄铜等。

特点：普通黄铜具有良好的力学性能、加工性能和耐蚀性，价格相对纯铜较低，强度和硬度高于纯铜，同时具有较好的塑性，能承受冷热加工。特殊黄铜中，铅黄铜具有良好的切削性能；锡黄铜在海水中具有良好的耐蚀性；铝黄铜具有较高的强度和硬度，同时在大气和海水中的耐蚀性较好。

(9)①加热方面。

相同点：两者在淬火前加热的目的都是为了获得均匀的单相组织，以便在后续冷却过程中发生相应的相变，为提高材料性能做准备。

不同点：钢加热到奥氏体区，形成单相奥氏体组织，该过程中碳等合金元素充分溶解于奥氏体中，其加热温度通常较高，一般在 A_{c3} (亚共析钢)或 A_{c1} (过共析钢)以上几十到上百摄氏度。铝合金加热是为了使合金元素充分溶解于铝基体中形成均匀的固溶体，加热温度相对较低，一般在 $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 左右，且对加热温度控制要求更为严格，因为温度过高易引起过烧，降低合金性能。

②冷却方面。

相同点：都需要快速冷却，以抑制平衡相变的发生，获得非平衡组织，从而为后续的强化奠定基础。

不同点：钢的淬火冷却速度要求较高，通常需要在水、油等冷却介质中快速冷却，以避免奥氏体发生珠光体或贝氏体转变，获得马氏体组织。铝合金淬火冷却速度相对要求较低，一般在空气中或在热水中冷却即可获得过饱和固溶体，若冷却速度过快，可能会导致过大的内应力，引起零件变形甚至开裂。

③组织强化作用方面。

相同点：都是通过改变材料的组织结构来提高材料的强度、硬度等力学性能。

不同点：钢淬火后得到的马氏体是碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体，由于碳的过饱和固溶使晶格发生严重畸变，产生固溶强化作用，从而显著提高钢的强度和硬度。铝合金淬火后得到过饱和固溶体，此时强度、硬度提高并不明显，需经过时效处理，从过饱和固溶体中析出细小弥散的第二相粒子。这些粒子阻碍位错运动，引起晶格畸变，产生沉淀强化作用，使铝合金的强度、硬度大幅提高。

(10)性能要求：良好的减摩性、足够的强度和硬度、高的耐磨性和耐蚀性、良好的顺应性和嵌藏性、良好的导热性和较小的热膨胀系数。常用种类及应用场合如下。锡基轴承合金(锡基巴氏合金)应用场合：常用于高速、重载的机械设备，如汽轮机、发动机、压缩机等的轴承。铅基轴承合金(铅基巴氏合金)应用场合：适用于中、低速和中、低载荷的机械，如汽车、拖拉机的曲轴轴承等。铝基轴承合金应用场合：广泛应用于汽车、拖拉机、内燃机等发动机的轴承，以及一些轻载、高速的机械轴承。铜基轴承合金应用场合：常用于大型电机、船舶、矿山机械等重载、低速的轴承。

(11)①灰铸铁件时效。

意义：灰铸铁件在铸造过程中会产生内应力，形状复杂或大的铸件内应力更为显著。在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 进行时效处理，是为了消除铸造内应力。

作用：防止铸件在加工和使用过程中因内应力释放而产生变形和开裂，稳定铸件的尺寸精度，提高其力学性能和加工性能。同时，一定程度上还能改善铸铁的组织，使石墨化更充分，提高铸铁的强度和韧性。

②铝合金件(LC4)时效。

意义：LC4 铝合金淬火后得到过饱和固溶体，处于不稳定状态。在 140°C 进行时效处理，是为了促使过饱和固溶体中合金元素析出，实现沉淀强化。

作用：使铝合金的强度、硬度显著提高，同时保持较好的韧性和抗蚀性，提高铝合金件的综合力学性能，满足航空航天、高速列车等对材料高性能的要求。

③T10A 钢制造的一级精度丝杠时效。

意义：T10A 钢属于高碳钢，在加工丝杠过程中会产生加工应力，且作为一级精度丝杠，对尺寸稳定性要求极高。在 150°C 进行时效处理，是为了消除加工应力，稳定组织。

作用：保证丝杠的尺寸精度长期稳定，防止因应力松弛和组织转变导致丝杠变形，提高丝杠的耐磨性和硬度，从而提高丝杠的传动精度和使用寿命，满足高精度机械传动的要求。

(12)比强度高：航空、航天设备需要在保证结构强度的同时，尽可能减轻自身重量，以提高飞行性能和效率。铝合金和钛合金的比强度(强度与密度之比)较高，虽然它们的绝对强度可能不如高强度合金钢，但在相同重量下，能够提供相当甚至更优的强度性能，有助于实

现设备的轻量化设计。例如,钛合金的密度约为高强度合金钢的一半,但强度却能达到较高水平,在航空发动机的风扇叶片、压气机叶片等部件中得到广泛应用,有效减轻了发动机重量,提高了推重比。

(13)①烧结后制品可直接应用,金属损耗低(1~5%),而一般金属轧制、挤压的成材率为50~60%,镁合金为20%~30%。由于模具昂贵,大规模生产更具有经济性。②可制备其他方法不能生产或虽能生产但很困难的制品,如多孔材料、复合材料、耐高温材料、高纯材料、硬质合金等。③由于粉末冶金在成形过程采用与最终产品形状非常接近的模具,因此产品加工量少,节省材料。④对于一部分产品,尤其是形状特异的产品,采用模具生产更容易,且工件加工量少,成本低,如齿轮产品。

(14)粉末冶金材料一般不用于制造像机床床身及基座等大零件,主要原因是材料性能不均匀。在压制大型粉末冶金零件时,由于粉末颗粒之间的摩擦力及粉末与模具壁之间的摩擦力,很难使整个零件各个部位的压实程度一致。这会造成零件不同部位的密度存在差异,进而导致材料性能不均匀。对于像机床床身及基座这样需要承受复杂载荷且要求整体性能稳定的零件来说,这种性能不均匀是难以接受的,可能会影响机床的精度保持性和稳定性。

(15)①硬质合金按成分和性能特点可分为以下几类:钨钴类硬质合金(YG)、钨钛钴类硬质合金(YT)、钨钛钽(铌)类硬质合金(YW)。②硬质合金的性能特点如下:高强度和抗压性、高硬度和耐磨性、耐热性好、耐腐蚀性和抗氧化性。③应用:切削刀具、模具、量具。

第7章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

(1)塑料;橡胶;纤维;胶黏剂与涂料

(2)热塑性塑料;热固性塑料;通用塑料;工程塑料;特种塑料

(3)100℃以下;250℃以上

(4)聚乙烯(PE);聚丙烯(PP);聚氯乙烯(PVC);聚苯乙烯(PS);丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS);聚碳酸酯(PC);聚酰胺(PA);聚甲醛(POM);聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA);聚四氟乙烯(PTFE);聚醚醚酮(PEEK);聚苯硫醚(PPS)

(5)酚醛树脂(PF);环氧树脂(EP)

3. 是非题

(1)× (2)× (3)× (4)√ (5)×

4. 选择题

(1)B (2)A (3)C (4)D (5)A (6)B (7)C (8)D

第8章答案

1. 名词解释(略)

2. 填空题

(1)明显的塑性变形;韧窝;撕裂棱

(2)无明显塑性变形;常有人字纹或放射状条纹;解理台阶;河流花样

- (3) 微凸体或接触点; 粘着或冷焊; 转移; 脱落
- (4) 相对运动; 硬颗粒; 粗糙凸起
- (5) 电化学腐蚀; 化学腐蚀; 应力腐蚀
- (6) 使用性能满足零件使用要求; 具有良好的工艺性能; 具有合适的经济性; 环保性
- (7) 力学性能; 物理性能; 化学性能
- (8) 加工性能; 生产工艺
- (9) 下料; 锻造; 预备热处理; 粗加工; 最终热处理; 精加工
- (10) 高接触疲劳强度; 高弯曲疲劳强度; 良好的耐磨性与韧性
- (11) 调质钢; 合金渗碳钢; 铸钢或铸铁
- (12) 中碳合金钢; 调质处理及局部表面淬火
- (13) 60Si2Mn、55CrMnA
- (14) 磷青铜
- (15) 碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷材料
- (16) 200~300℃; 600℃; 800~1000℃; 1000~1300℃
- (17) 碳素工具钢; 淬火+低温回火
- (18) 高速钢(如 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2); 淬火+三次高温回火
- (19) 聚乙烯(PE); 轻便、耐腐蚀、透光保温、成本低
- (20) 氧化铝(刚玉)或碳化硅
- (21) 热固性塑料(如 DMC/BMC); 绝缘性能优异, 耐高温、阻燃, 成形性好、成本低, 机械强度高
- (22) 灰铸铁(如 HT250); 铝合金(如 Al-Si 合金)
- (23) 合金铸铁或高磷铸铁; 镀硬铬、磷化处理或激光淬火
- (24) 铝合金(如共晶 Al-Si 合金 ZL109); 固溶处理+时效强化
- (25) 低碳合金钢(如 20Cr、20CrMnTi); 渗碳淬火+低温回火
- (26) 中碳钢或中碳合金钢
- (27) 碳素钢; 低合金钢; 不锈钢
- (28) 中碳合金钢(如 40Cr、40MnB、42CrMo)

3. 综合分析题(部分)

(1) 零件的失效是指零件在正常工作条件下, 因某种原因丧失其使用功能或无法满足预期使用要求的现象。零件失效类型有断裂失效、过量变形失效和表面损伤失效三大类。分析零件失效的主要目的: 确定失效原因、改进设计与材料、预防重复失效、提升安全性与经济性、推动技术发展等。

(2) 机械零件正确选材的基本原则: 材料使用性能应能满足零件使用要求; 材料应具有良好的工艺性能; 材料应具有合适经济性。此外, 还要考虑材料生产、使用过程中及失效后对环境的影响, 即环保性能。

(5) ①正火目的: 细化晶粒, 均匀组织(锻造后的钢件内部可能存在粗大晶粒或带状组织, 正火通过加热至奥氏体化温度后空冷, 细化晶粒, 改善材料均匀性); 消除锻造应力(锻造过程中产生的残余内应力通过正火得到释放, 避免后续加工或使用中变形开裂); 改善切削加工性[中碳钢正火后硬度适中(约 160~220 HB), 可降低刀具磨损, 提高粗加工效率]; 为调质处理奠定基础(均匀的组织为后续调质提供良好的初始条件, 确保调质后性能稳定)。

②调质处理目的: 获得回火索氏体组织[通过淬火(快速冷却)形成马氏体, 再经高温回火($500\sim 650^{\circ}\text{C}$)转化为回火索氏体]; 提升综合力学性能; 优化心部性能(调质处理后的齿轮心部兼具强度与韧性, 为后续表面淬火提供支撑, 防止表面硬化层因心部过软而压溃)。

③高频淬火及回火的目的: 表面硬化(利用高频感应加热快速将齿面加热至奥氏体化温度, 随后水冷或油冷, 表层形成高硬度马氏体); 提高耐磨性与接触疲劳强度(硬化层深度通常为 $0.5\sim 2\text{ mm}$, 显著增强齿面抗磨损和抗点蚀能力, 适应齿轮啮合时的高接触应力); 保持心部韧性(高频淬火仅对表层加热, 心部仍保留调质后的回火索氏体组织, 实现“外硬内韧”的复合性能); 低温回火(消除淬火残余应力, 减少脆性, 稳定马氏体组织, 防止服役过程中尺寸变化或开裂)。

(6)①渗碳处理目的: 提高表面碳含量, 为后续淬火硬化奠定基础; 形成梯度组织, 实现“表硬内韧”的复合性能; 增强耐磨性。

②淬火目的: 表面硬化(表层形成高硬度马氏体); 心部强化(由于含有 Cr、Mn 等合金元素, 心部淬透性较好, 形成低碳马氏体或贝氏体, 保持较高韧性)。

③低温回火目的: 消除淬火应力(减少淬火产生的内应力, 避免齿轮变形或开裂); 稳定组织[回火马氏体保留高硬度($55\sim 60\text{ HRC}$)的同时, 适当提升韧性, 增强抗冲击能力]。

④喷丸处理目的: 引入表面残余压应力(喷丸使表层产生塑性变形, 形成深度 $0.1\sim 0.3\text{ mm}$ 的残余压应力层, 延缓疲劳裂纹扩展; 齿轮根部等应力集中区域通过喷丸处理, 疲劳强度提高 $30\%\sim 50\%$); 改善表面质量(喷丸可闭合表面微小裂纹或孔隙, 减少应力集中点, 降低接触疲劳引发的点蚀风险); 协同强化[喷丸与渗碳淬火协同进一步强化已硬化的渗碳层, 使齿轮在交变载荷(如啮合冲击)下兼具高耐磨性和抗疲劳性]。

(10)①选用 45 钢: 这是因为车床传动齿轮工作中受力不大, 转速中等, 工作平稳, 无强烈冲击, 工作条件较好, 且对强度和韧性要求均不高。

②选材的四大原则是: 使用性能原则、工艺性能原则、经济性原则及环保性原则。选材时应首先满足零件的使用性能方面的要求; 在此基础上再选用加工工艺性能好的材料; 然后再考虑材料的经济性, 即采用便宜的材料, 以保证性能同时降低成本; 还要考虑材料生产、使用过程中及失效后对环境的影响。选材理由: 该零件为车床主轴箱齿轮, 对轮齿的耐磨性及抗冲击性要求不高。齿轮心部要有较好的综合力学性能, 表面具有较高的硬度、耐磨性和接触疲劳强度。45 钢经调质和高频感应淬火、低温回火之后能满足使用性能要求; 心部具有较好的强度和韧性; 表层具有较高的硬度、耐磨性和疲劳抗力。

③加工及热处理工艺路线: 下料→锻造→正火→粗加工→调质(淬火+高温回火)→精加工→齿面高频淬火+低温回火→精磨→检验。

目的: 正火处理($860\sim 880^{\circ}\text{C}$ 空冷): 细化晶粒, 均匀组织; 消除锻造应力; 改善切削加工性。

调质处理(淬火+高温回火): 淬火($830\sim 850^{\circ}\text{C}$ 水冷或油冷)形成马氏体, 提高心部硬度和强度; 高温回火($500\sim 600^{\circ}\text{C}$)获得回火索氏体组织, 使心部兼具较高强度和韧性, 满足“较好综合力学性能”需求。通过以上两步优化齿轮心部性能, 为表面高频淬火提供强韧支撑, 避免表面硬化层因心部过软而失效。

齿面高频淬火($850\sim 900^{\circ}\text{C}$ 快速加热后水冷/油冷): 使表面硬化, 同时保留心部韧性。

低温回火($180\sim 200^{\circ}\text{C}$): 消除淬火应力, 稳定组织。