

## 目录

第一章 机械零件的失效分析.....	1
第一节 零件在常温静载下的过量变形.....	1
第二节 零件在静载和冲击载荷下的断裂.....	2
第三节 零件在交变载荷下的疲劳断裂.....	3
第四节 零件的磨损失效.....	5
第五节 零件的腐蚀失效.....	5
第六节 零件在高温下的蠕变变形和断裂失效.....	7
第二章 碳钢.....	7
第一节 纯铁的组织 and 性能.....	8
第二节 铁碳合金中的相和组织组成物.....	10
第三章 钢的热处理.....	18
第一节 钢在加热时的转变.....	18
第二节 奥氏体转变图.....	19
第三节 钢的普通热处理.....	21
第四节 钢的表面热处理.....	23
第五节 钢的特种热处理.....	23
第四章 合金钢.....	23
第一节 概述.....	23
第二节 合金结构钢.....	24
第三节 合金工具钢.....	26
第四节 特殊性能钢.....	28
第五章 铸铁.....	31
第一节 铸铁的石墨化.....	32
第二节 常用铸铁.....	33
第六章 有色金属及其合金.....	34
第一节 铝及铝合金.....	35
第二节 滑动轴承合金.....	36
第三节 铜及铜合金.....	37
第七章 高分子材料.....	38
第一节 高分子材料的定义、合成与结构.....	39
第二节 高分子材料的性能.....	41
第三节 常用的高分子材料.....	42
第八章 陶瓷材料.....	43

第九章 复合材料.....	46
第十章 功能材料.....	47
第一节 概述.....	48
第二节 电功能材料.....	49
第三节 磁功能材料.....	50
第四节 热功能材料.....	51
第五节 光功能材料.....	52
第六节 其它功能材料.....	52

## 第一章 机械零件的失效分析

### 一、基本要求

本章主要介绍了机械零件在常温静载下的过量变形、在静载和冲击载荷下的断裂、在交变载荷下的疲劳断裂、零件的磨损失效和腐蚀失效以及在高温下的蠕变变形和断裂失效。要求学生掌握全部内容。

### 二、重点内容

- 1 零件的过量变形以及性能指标, 如屈服强度、抗拉强度、伸长率、硬度等。
- 2 零件在静载和冲击载荷下的断裂及性能指标, 如冲击韧性、断裂韧性等。
- 3 零件在交变载荷下的疲劳断裂、疲劳抗力指标及影响因素。
- 4 零件的磨损和腐蚀失效以及防止措施。
- 5 零件在高温下的蠕变变形和断裂失效。

### 三、难点

断裂韧性及衡量指标, 影响断裂的因素。

### 四、基本知识点

## 第一节 零件在常温静载下的过量变形

### 1、工程材料在静拉伸时的应力-应变行为

变形：材料在外力作用下产生的形状或尺寸的变化。

弹性变形：外力去除后可恢复变形。

塑性变形：外力去除后不可恢复。

低碳钢，正火、退火、调质态的中碳钢或低、中碳合金钢和有些铝合金及某些高分子材料都具有图 1-1 所示的应力-应变行为。即在拉伸应力的作用下的变形过程分为四个阶段：弹性变形、屈服塑性变形、均匀塑性变形、不均匀集中塑性变形。

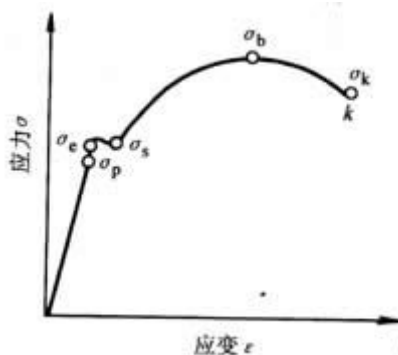


图 1-1 低碳钢拉伸时的应力-应变曲线示意图

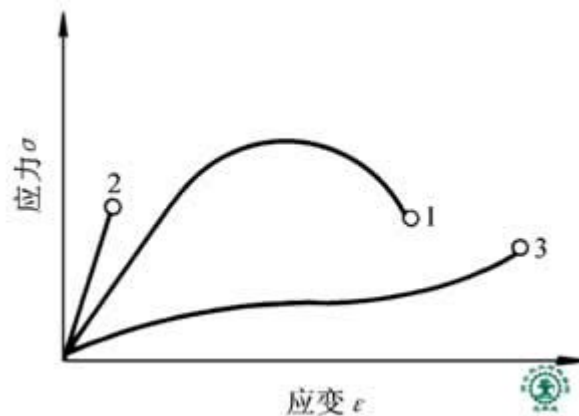


图 1-2 三种类型材料的应力-应变曲线示意图 1-纯金属 2-脆性材料 3-高弹性材料

## 2、静载试验材料性能指标

刚度：零构件在受力时抵抗弹性变形的能力。等于材料弹性模量与零构件截面积的乘积。

强度：材料抵抗变形或者断裂的能力，屈服强度、抗拉强度、断裂强度。

弹性指标：弹性比功。

塑性指标：伸长率、断面收缩率。

硬度：布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HRC)、维氏硬度 (HV)

## 3 过量变形失效

过量弹性变形抗力指标：弹性模量  $E$  或者切变模量  $G$ 。

过量塑性变形抗力指标：比列极限、弹性极限或者屈服强度。

## 第二节 零件在静载和冲击载荷下的断裂

### 1、基本概念

断裂：材料在应力作用下分为两个或两个以上部分的现象。

韧性断裂：断裂前发生明显宏观塑性变形。

脆性断裂：断裂前不发生塑性变形，断裂后其断口齐平，由无数发亮的小平面组成。

### 2、冲击韧性及衡量指标

冲击韧性：材料在冲击载荷下吸收塑性变形功和断裂功的能力，是材料强度和塑性的综合表现。

冲击试验与衡量指标：冲击吸收功  $A_k$  或冲击韧度  $a_k$ 。工程材料的冲击吸收功通常是在室温测得，若降低试验温度，在低温下不同温度进行冲击试验（称之为低温冲击试验或系列冲击试验），可以得到冲击吸收功  $A_k$  随温度的变化曲线，如图 1-3 所示。

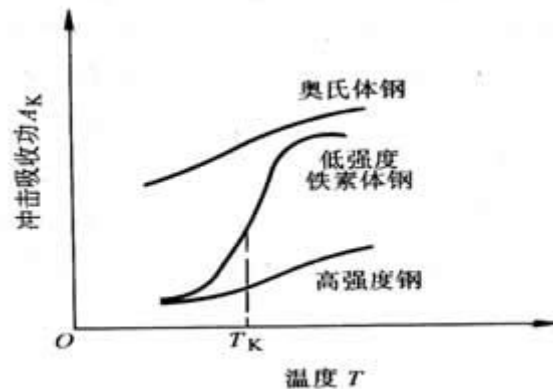


图 1-3 三种钢的冲击韧性随温度变化曲线示意图

$T_k$  为韧脆转变温度：A<sub>k</sub>-T 曲线上冲击吸收功急剧变化的温度。当试验温度低于  $T_k$  时，冲击吸收功明显降低，材料由韧性状态变为脆性状态，这种现象称为低温脆性。

### 3、断裂韧性及衡量指标

断裂韧性  $K_{IC}$ ：是评定材料抵抗脆性断裂的力学性能指标，指的是材料抵抗裂纹失稳扩展的能力，单位： $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  或者  $\text{MN} \cdot \text{m}^{-3/2}$

断裂判据：

$K_I < K_{IC}$  构件安全

$K_I > K_{IC}$  构件发生脆性断裂

$K_I = K_{IC}$  构件发生低应力脆性断裂的临界条件

### 4、影响脆性断裂的因素

决定材料断裂类型的主要因素有：加载方式、材料本质、温度、加载速度、应力集中及零件尺寸。

加载方式不同，断裂方式不同；

一般降低温度和增加加载速度都会引起材料脆化；

应力集中改变了应力状态， $\sigma_{\max} \uparrow$ ， $\tau_{\max} \downarrow$ ， $\alpha \downarrow$ ；

单向拉伸  $\alpha = 0.5$ ，而缺口拉伸试样  $\alpha < 0.5$ ，易引起脆断，因此，应力集中会引起材料脆化；

薄板处于平面应力状态， $\alpha$  较大，厚板处于平面应变状态， $\alpha$  较小，易产生脆断。

## 第三节 零件在交变载荷下的疲劳断裂

### 1、基本概念

交变载荷：载荷大小和方向随时间发生周期变化的载荷。

疲劳断裂：零件在交变载荷下经过长时间工作而发生断裂的现象称为疲劳断裂。

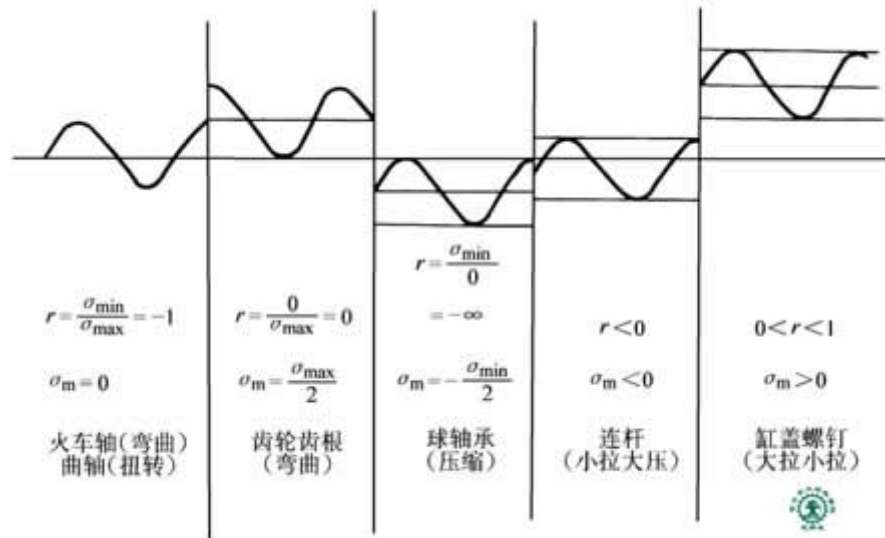


图 1-4 几种常见的交变应力

## 2、疲劳断口的特点

疲劳断裂过程：裂纹萌生、疲劳裂纹扩展、最后断裂。

疲劳断裂特征：

- 1) 断裂应力低
- 2) 无明显宏观塑变
- 3) 断口清楚显示裂纹形成、扩展和断裂阶段

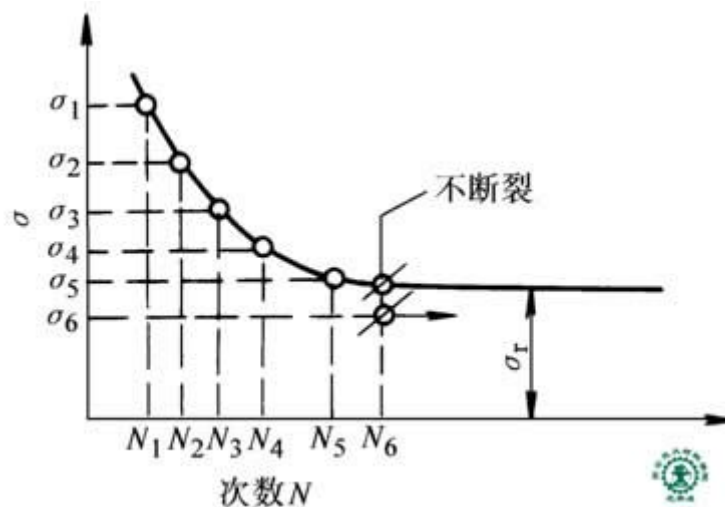


图 1-5 疲劳曲线示意图

## 3、疲劳抗力指标

无裂纹构件的疲劳抗力指标：疲劳极限、过载持久值、疲劳缺口敏感度。

带裂纹构件的疲劳抗力指标：疲劳裂纹扩展门槛值  $\Delta K_{th}$  和裂纹扩展速率  $da/dN$ 。

## 4、影响疲劳抗力的因素

载荷类型：拉压、扭转与旋转弯曲等；

材料本质：不同材料有不同的疲劳曲线， $\sigma_r$ 、 $q$ 、 $da/dN$ 、 $KIC$ 及 $K_{th}$ 不同；

零件表面状态：零件的表面缺陷（如裂纹、刀痕等）对其强度影响不大，但疲劳极限有显著影响；

工作温度： $T \uparrow$   $\sigma_s \downarrow$   $\sigma_r \downarrow$ ， $\Delta K_{th} \downarrow$ ， $da/dN \uparrow$ ；

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>4</sup> 考研、就业尽在材料人网

腐蚀介质: 在腐蚀介质作用下,  $\sigma_r \downarrow$ ,  $\Delta K_{th} \downarrow$ ,  $da/dN \uparrow$ 。

## 第四节 零件的磨损失效

### 1、磨损的基本概念

磨损的定义: 在摩擦过程中零件表面发生尺寸变化和物质耗损的现象叫做磨损。

### 2、磨损的过程和机理

粘着磨损:

1) 定义: 又称咬合磨损, 在滑动摩擦条件下, 摩擦副的接触面发生金属粘着, 在随后的相对滑动中粘着处被破坏, 有金属屑粒被拉拽下来或者是金属表面被擦伤的一种磨损形式。

2) 过程:



3) 粘着磨损的特点: 磨损速度大; 破坏严重。

4) 防止措施: 合理选材, 摩擦副配对材料选用硬度差较大的材料;

提高表面硬度;

合理设计减小接触压应力;

减小表面粗糙度。

磨粒磨损:

1) 定义: 又称磨料磨损, 在滑动摩擦时零件表面存在硬质磨粒, 使磨面发生局部塑性变形, 磨粒嵌入、磨粒切割金属表面从而导致零件表面逐渐损耗的一种磨损。

2) 过程:



3) 防止措施:

提高表面硬度 (从选材与材料表面处理方面);

减少磨粒数量 (从工作状况方面)。

接触疲劳 (疲劳磨损, 麻点磨损):

1) 定义: 零件工作面作滚动或滚动加滑动摩擦时, 在交变接触压应力的长期作用下引起的表面疲劳剥落破坏的现象。

2) 过程: 类似于疲劳断裂, 是裂纹萌生和扩展过程。

三种主要形式: 麻点剥落、浅层剥落、硬化层剥落

3) 主要防止措施: 提高材料硬度; 提高材料纯度; 提高零件心部和表面强度; 减小表面粗糙度。

## 第五节 零件的腐蚀失效

### 1、腐蚀的定义和分类

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>5</sup> 考研、就业尽在材料人网

腐蚀：材料表面和周围介质发生化学反应或者电化学反应所引起的表面损伤现象。

分类：化学腐蚀和电化学腐蚀。

## 2、腐蚀过程及防止

化学腐蚀过程（以高温氧化腐蚀为主）：

高温氧化过程：

- 1) 金属失去电子成为金属离子
- 2) 氧原子吸收电子成为氧离子
- 3) 金属离子和氧离子结合为金属氧化物

基体金属能否继续氧化，取决于氧化物薄膜是否致密。

提高钢抗氧化能力：加入 Al、Si、Cr 等元素，与氧结合形成致密的氧化物膜，防止基体金属进一步氧化。

电化学腐蚀：

条件：金属间存在电极电位差，并且相互接触并处于相互联通的电介质溶液中形成微电池。

过程：

阳极：失去电子， $M \rightarrow M^{n+} + ne$  (被腐蚀)

阴极：发生析氢反应或者吸氧反应

特点：速度快、选择性

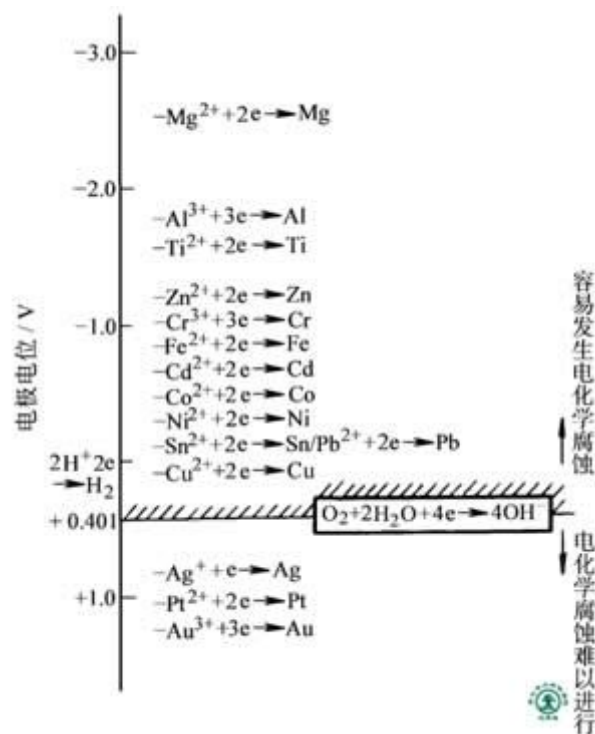


图 1-6 不同金属的电极电位

常见局部腐蚀：电偶腐蚀、小孔腐蚀、缝隙腐蚀、晶界腐蚀（不锈钢）。

应力腐蚀：

定义：零（构件）在拉应力和特定介质联合作用下产生的低应力脆断现象。

特点：拉应力小；介质腐蚀性弱；易忽视

## 3、零件防止腐蚀的措施

对于化学腐蚀：选择抗氧化材料如耐热钢、高温合金、陶瓷材料等，零件表面涂层。

对于电化学腐蚀：选择耐腐蚀材料；表面涂层；电化学保护；加缓蚀剂。

对于应力腐蚀：减小拉应力；去应力退火；选择  $K_{Isc}$  高的材料；改善介质条件。

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>6</sup> 考研、就业尽在材料人网



## 第六节 零件在高温下的蠕变变形和断裂失效

### 1、材料在高温下的力学行为

- 1) 材料的强度随温度的升高而降低。
- 2) 高温下材料的强度随时间的延长而降低。
- 3) 高温下材料的变形量随时间的延长而增加。

蠕变：材料在长时间恒应力作用下缓慢产生塑性变形的现象称为蠕变。

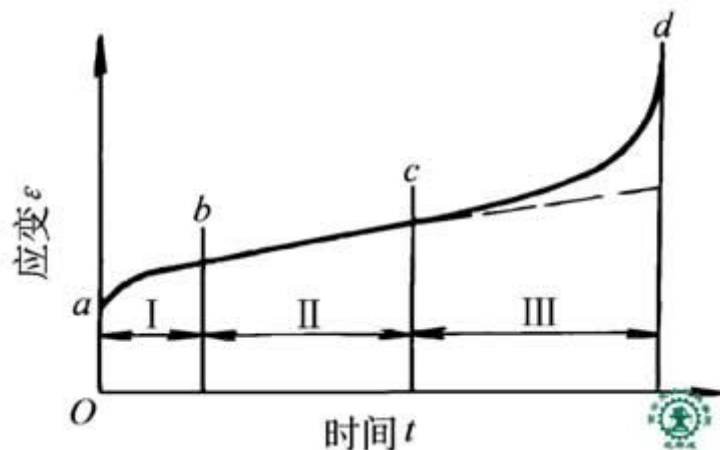


图 1-7 典型的蠕变曲线

### 2、评价材料高温力学性能指标

蠕变极限：高温长期载荷作用下材料对塑性变形的抗力指标称为蠕变极限。

表示方法：在规定温度下使试样产生规定稳态蠕变速率的应力值；给定温度下，在规定时间内使试样产生一定蠕变总变形量  $\delta$  的应力值

持久强度：材料在高温长期载荷作用下抵抗断裂的能力。用给定温度和规定时间内试样发生断裂时的应力表示。

### 3、高温下零件的失效和防止

高温下零件的失效形式：过量塑性变形（蠕变变形）、断裂、磨损、氧化腐蚀等。

防止措施：正确选材（选熔点高、组织稳定的材料）；

表面镀硬铬、热喷涂铝和陶瓷等

## 第二章 碳钢

### 一、基本要求

本章主要介绍了纯铁的组织 and 性能、Fe-Fe<sub>3</sub>C 图的分析 and 应用、压力加工对钢的组织 and 性能的影响等内容。通过本章的学习，要求学生能够掌握晶体结构与晶体缺陷的基本概念、铁碳合金的结晶过程分析 with 压力加工对钢的组织 and 性能的影响等知识。

### 二、重点内容

- 1 纯铁的结晶过程、纯铁的晶体结构、纯铁的同素异构转变。
- 2 铁和碳的相互作用、铁碳合金中的相和组织组成物。
- 3 二元相图的杠杆定律、Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图分析及应用。
- 4 压力加工对钢的组织 and 性能的影响。

### 三、难点

应用杠杆定律计算碳钢在室温下的组织组成物 and 相组成物的质量分数。

### 四、基本知识点

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>7</sup> 考研、就业尽在材料人网

## 第一节 纯铁的组织 and 性能

### 1、过冷现象和过冷度

纯铁结晶时，实际开始结晶温度与理论结晶温度之间的温度差 $\Delta T$ （=—），称为过冷度。过冷度是一切物质结晶的必要条件，液体冷速越快，过冷度越大，液体与固体间的自由能差 $\Delta F$ （=FL—FS）越大，物质结晶的驱动力越大。

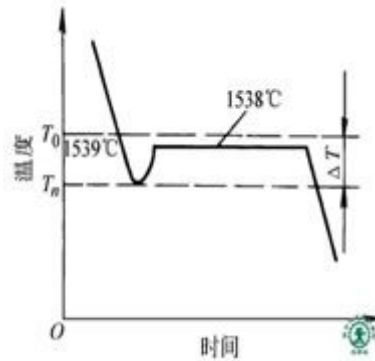


图 2-1 纯铁的冷却曲线（部分）

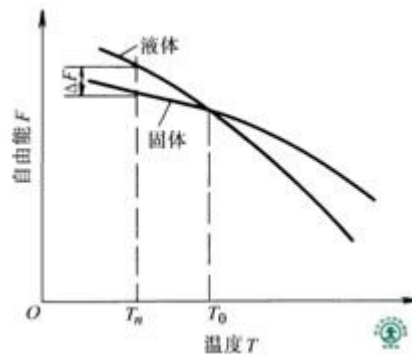


图 2-2 液体和固体自由能随温度的变化

### 2、纯铁的结晶过程

在液体中形成的稳定微小晶体称为晶核，纯铁的结晶过程是不断形成晶核与晶核不断长大的过程。由一个晶核长成的晶体称作晶粒，由许多晶粒组成的晶体称作多晶体。多晶体结晶时，冷却速度越快、过冷度越大、形核数量越多、晶粒越细。金属的晶粒越细，其强韧性越好。

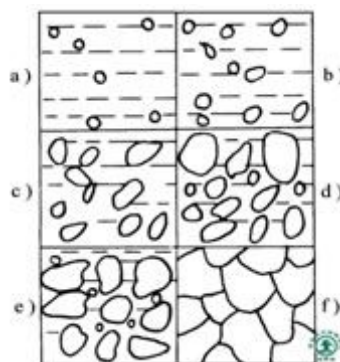


图 2-3 纯铁结晶过程示意图

### 3、晶体结构基本概念

晶体：指原子（离子或分子）在空间呈规则排列的物体。

晶体结构：指晶体中的原子（离子或分子）在空间的具体排列。

晶胞：是能够反映晶格中原子重复排列规律的最基本单元。

金属中常见的晶体结构有：体心立方结构、面心立方结构和密排六方结构。

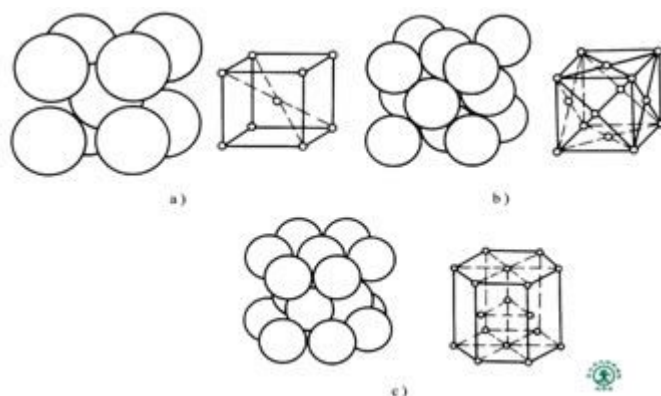


图 2-4 三种常见的金属晶胞 a) 体心立方晶胞 b) 面心立方晶胞 c) 密排六方晶胞

#### 4 晶体缺陷的基本概念

按照晶体中原子排列不规则区域的尺寸大小，将晶体缺陷分为点缺陷、线缺陷和面缺陷。

**点缺陷：**指原子排列的不规则区域在空间三个方向上尺寸都是很小的一种缺陷，如空位、间隙原子和置换原子(见图 2-8)。

**线缺陷：**指原子排列的不规则区域在空间一个方向上尺寸很大，而在另外两个方向尺寸是很小的一种缺陷，如刃型位错(图 2-9)。

**面缺陷：**指原子排列的不规则区域在空间两个方向上尺寸很大，而在另外一个方向尺寸是很小的一种缺陷，如晶界、亚晶界(图 2-11)。

在点缺陷、线缺陷和面缺陷附近，原子都偏离了原来的平衡位置，使晶格发生畸变，对晶体的性能会产生明显的影响。晶体缺陷越多，金属强度越高。细晶强化是提高金属材料强度的重要方法。

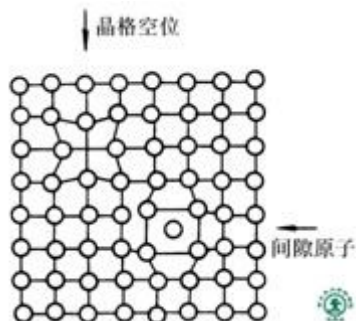


图 2-5 点缺陷示意图

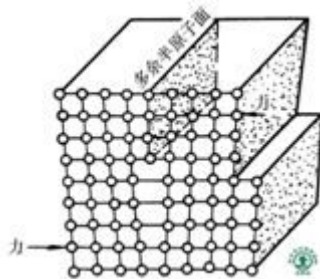


图 2-6 刃型位错示意图

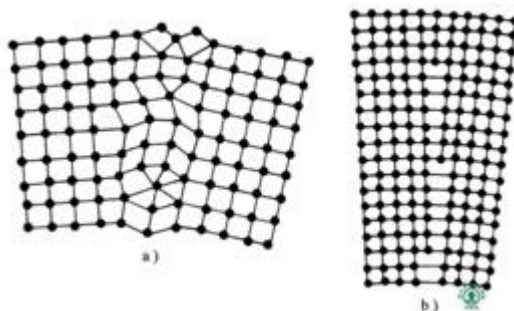


图 2-7 晶界 a) 及亚晶界 b) 的示意图

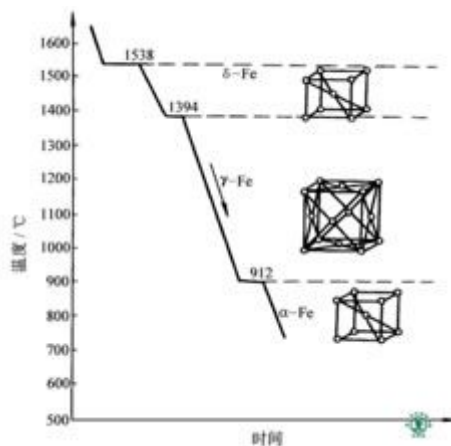


图 2-8 纯铁的冷却曲线及晶体结构的变化

## 5、纯铁的晶体结构及同素异构转变

纯铁结晶完成后，固态纯铁在随后的冷却过程中还会发生两次晶体结构转变(见图 2-12)。这种同一元素在固态下随温度变化而发生的晶体结构转变，称为同素异构转变。铁碳合金正是因为具有同素异构转变，所以才能通过热处理来改变其内部结构，改变其性能。

## 第二节 铁碳合金中的相和组织组成物

### 1、铁和碳形成固溶体

固溶体：是溶质原子溶入溶剂中形成的均匀晶体。溶质和溶剂的原子尺寸相差较小时，两者之间能够形成置换固溶体。溶质和溶剂的原子尺寸相差很大时，两者之间能够形成间隙固溶体(见图 2-15)。

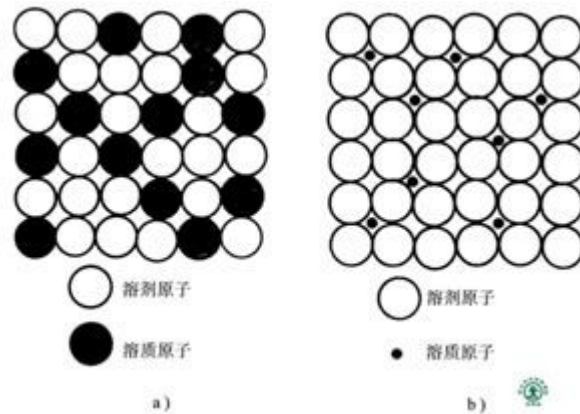


图 2-9 置换固溶体 a) 及间隙固溶体 b) 示意图

碳溶于 $\alpha$ -Fe中形成的间隙固溶体，称为铁素体，以 $F$ 表示。

碳溶于 $\gamma$ -Fe中形成的间隙固溶体，称为奥氏体，以 $g$ 或 $A$ 表示。

由于形成固溶体时溶剂晶格能产生畸变，所以便会导致材料强度、硬度升高，塑性、韧性降低。

**固溶强化：**指通过形成固溶体而导致材料强度升高现象。与加工硬化、细晶强化一样，固溶强化也是提高材料强度的重要方法。

## 2、碳和铁形成化合物

当碳在 $\alpha$ -Fe中的含量超过了碳的溶解度极限时，碳原子便会与铁原子形成渗碳体。

渗碳体：含碳量为 6.69%，具有正交晶体结构。

特点：熔点高、硬而脆，塑性几乎等于零。

渗碳体对铁碳合金性能的影响，与其形态有关。当渗碳体以细小的片状或球状出现时，对铁碳合金具有强化作用。

## 3、铁碳合金中的相和组织组成物

系统中具有同一聚集状态、同一化学成分、同一结构并以界面相互隔开的均匀组成部份被称为相。

$F$ 、 $A$ 和 $Fe_3C$ 是铁碳合金中的基本相。这些可独立存在的基本相，以及由这些基本相所组成的混合物，又可称为是铁碳合金的组织组成物。

组织组成物：是指构成显微组织的独立部份。

## 4、相图的基本概念

相图是表示合金在缓慢冷却的平衡状态下其所含的相或组织与温度以及成分之间关系的一种图形。

匀晶转变：是指从液相中直接结晶出单相固溶体的转变。

## 5、二元相图的杠杆定律

见图 2-21，设合金的总质量为 1，在温度  $t$  时液相的质量为  $M_L$ ，固溶体的质量为  $M_\alpha$ ，则有： $M_L + M_\alpha = 1$ 。

由于合金中所含镍的质量等于液相中镍的质量与固溶体中镍的质量之和，而有： $M_L X_L + M_\alpha X_\alpha = 1X$ ，

所以，由以上两式联解，就能得到两相相对质量的计算公式为：

$$M_L = (X_\alpha - X) / (X_\alpha - X_L) = r_b / a_b$$

$$M_\alpha = (X - X_L) / (X_\alpha - X_L) = a_r / a_b$$

$$\text{或} \quad M_L / M_\alpha = r_b / a_r$$

注：杠杆定律只适用于两相区



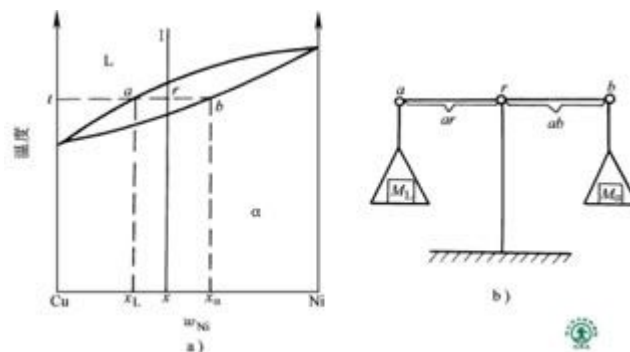


图 2-10 杠杆定律的证明和力学比喻

## 6、Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图分析

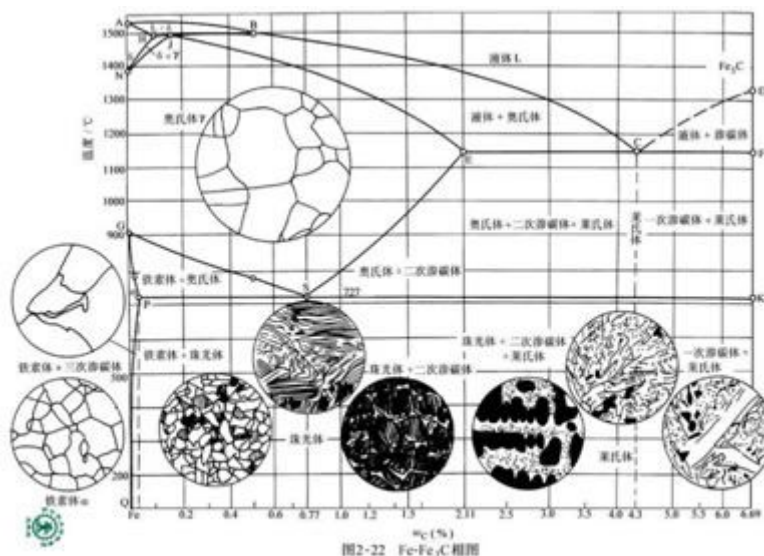
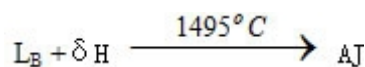


图 2-11 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图

见图 2-11，ABCD 点的连线是铁碳合金的液相线，AHJECF 点的连线是碳碳合金的固相线。在 HJB 线上发生的转变称为包晶转变，所谓包晶转变：是指由一定成分的液相和一定成分的固相相互作用而生成另一个一定成分的固相的转变。

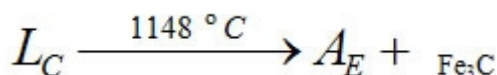
反应式为：



包晶转变只能在含碳为 0.09~0.53% 的铁碳合金中发生，其中，只有 J 点成分的铁碳合金经包晶转变后能够获得单一的奥氏体。

在 ECF 线上发生的转变称为共晶转变，所谓共晶转变：是指由一定成分的液相同时转变成两种一定成分的固相的转变。

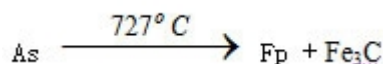
反应式为：



共晶转变只能在含碳为 2.11~6.69% 的铁碳合金中发生，其中，只有 C 点成分的铁碳合金经共晶转变后能够获得单一的莱氏体。

在 PSK 线上发生的转变称为共析转变，所谓共析转变：是指由一定成分的固相同时转变成两种一定成分的新固相的转变。

反应式为：



PSK 线又称 A1 线，所有含碳 > 0.0218% 的铁碳合金冷却至这条线上时都会发生共析转变，其中只有含碳为 0.77% 的铁碳合金经共析转变后能够获得单一的珠光体。

GS 线：又称 A3 线，是冷却时 A 中开始析出 F，加热时 F 全部溶入到 A 中的转变线。

ES 线：是碳在 A 中的溶解度线，又称 Acm 线。

PQ 线，是碳在 F 中的溶解度线。

## 7、铁碳合金的分类

根据铁碳合金的含碳量及其室温平衡组织的不同，铁碳合金可分为三类。

① 工业纯铁 ( $w_c < 0.0218\%$ ) 一室温组织是铁素体和少量三次渗碳体。

② 钢 ( $w_c$  为 0.0218~2.11%)。

其中：亚共析钢 ( $w_c < 0.77\%$ ) 一室温组织是铁素体和珠光体。

共析钢 ( $w_c$  为 0.77%) 一室温组织是珠光体。

过共析钢 ( $w_c > 0.77$ ) 一室温组织是珠光体和二次渗碳体。

③ 白口铸铁 ( $w_c$  为 2.11~6.69%)，其中：

亚共晶白口铸铁 ( $w_c < 4.3\%$ ) 一室温组织是珠光体、二次渗碳体和莱氏体。

共晶白口铸铁 ( $w_c$  为 4.3%) 一室温组织是莱氏体

过共晶白口铸铁 ( $w_c > 4.3\%$ ) 一室温组织是莱氏体和一次渗碳体。

## 8、典型合金的结晶过程分析

①  $w_c$  为 0.4% 的亚共析钢

$L \rightarrow L + \delta \rightarrow L + A \rightarrow A \rightarrow A + F \rightarrow P + F$

②  $w_c$  为 0.77% 的共析钢

$L \rightarrow L + A \rightarrow A \rightarrow P$

③  $w_c$  为 1.2% 的过共析钢

$L \rightarrow L + A \rightarrow A \rightarrow A + Fe_3C II \rightarrow P + Fe_3C II$

④ 共晶白口铸铁

$L \rightarrow L_d (A + Fe_3C) \rightarrow L_d (A + Fe_3C II + Fe_3C) \rightarrow L'd (P + Fe_3C II + Fe_3C)$

## 9、含碳量对力学性能的影响

渗碳体是铁碳合金中的强化相。随着含碳量的增加，渗碳体含量的增多，钢的强度、硬度增加，塑性、韧性降低。当含碳量大于 1.0% 时，由于网状二次渗碳体的出现，使钢的强度又会降低。

## 10、碳对铁碳合金平衡组织的影响

随着含碳量的增加，铁碳合金的组织发生以下变化：

$+ Fe_3C III$	$\rightarrow$	$+ P$	$\rightarrow P$	$\rightarrow$	$P + Fe_3C II$	$\rightarrow$	
工业纯铁		亚共析钢		共析钢		过共析钢	

析钢

$P + Fe_3C II + L'd$	$\rightarrow$	$L'd$	$\rightarrow$	$L'd + Fe_3C I$
亚共晶白口铸铁		共晶白口铸铁		过共晶白口铸铁

随着含碳量的增加，渗碳体分布和形态发生以下变化：沿铁素体晶界分布的薄片状  $Fe_3C III \rightarrow$  分布在铁素体内的层片状共析  $Fe_3C \rightarrow$  沿奥氏体晶界分布的网状  $Fe_3C II \rightarrow$  作为莱氏体基体的共晶  $Fe_3C \rightarrow$  分布在莱氏体上的粗大片状  $Fe_3C I$ 。

## 11、碳对铁碳合金性能的影响

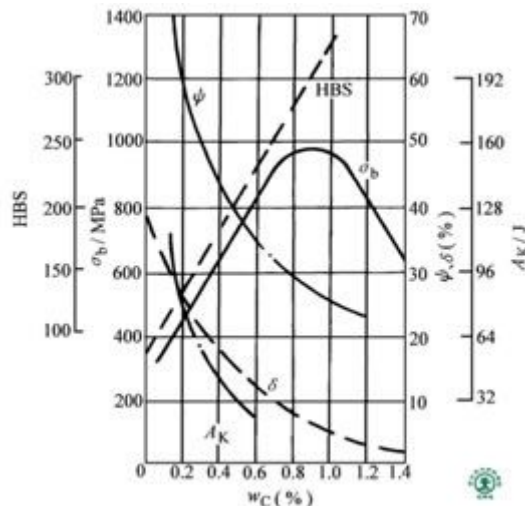


图 2-12 碳的质量分数对缓冷碳钢力学性能的影响

珠光体是由铁素体和渗碳体所组成的两相组织，兼有铁素体和渗碳体的优点，既有较高的强度和硬度，又有良好的塑性和韧性。渗碳体是铁碳合金中的强化相，当渗碳体是以细小的片状分布在铁素体上时，对碳钢具有强化作用。

随着碳的质量分数增加，珠光体含量的增多，渗碳体含量的增加，碳钢的强度、硬度增加，塑性、韧性降低。当碳的质量分数大于 1%，钢中出现网状  $\text{Fe}_3\text{C II}$ ，由于钢的性能就会恶化，所以钢的强度又会降低(见图 2-39)。

#### 12、Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$ 相图. 的实际应用

在实际应用中，Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  相图具有以下作用：

##### ① 能为选材提供成分依据

由于 Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  相图能够反映碳钢的成分和组织的关系，而钢的组织与钢的性能之间又有着紧密的联系，所以，根据零件的不同性能要求，可分别选用低碳钢、中碳钢或高碳钢为制造材料。按照不同要求，就可选用适当成分的钢种。

##### ② 能为制定热加工工艺提供依据

由于液相线和固相线的距离越小，合金的铸造性能越好，钢在单相奥氏体相区内锻造性能最好，所以，由 Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  相图可知，共晶成分的合金铸造性能最好，钢在奥氏体相区内进行锻造最好（见图 2-40）

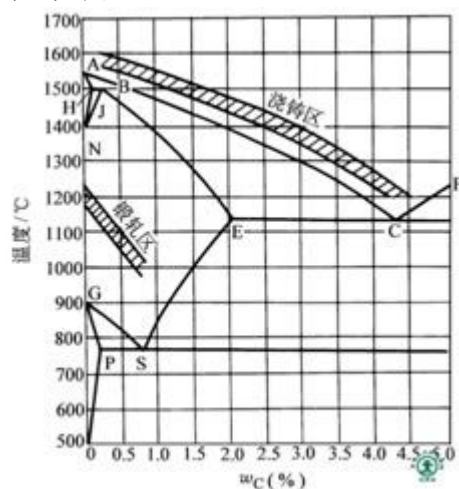


图 2-13 Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  相图与铸锻工艺的关系

#### 13、钢中常存杂质元素对钢的性能影响

##### ① Si、Mn 的影响

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>14</sup>考研、就业尽在材料人网



当大部分 Si、Mn 元素都能固溶于铁素体中时，Si、Mn 是钢中的有益元素，它们的存在因能产生固溶强化而能够提高钢的强度。

### ② S、P 的影响

S 在钢中能够形成熔点为 989℃ 并分布在奥氏体晶界上的共晶体，能导致的钢的脆性增大，P 能显著降低钢的韧性，特别是能显著降低钢的低温韧性，所以，S、P 都是钢中的有害元素。由 S 导致的钢的脆性增大现象，被称为热脆。由 P 引起的钢的低温脆性增大现象，被称为冷脆。

### ③ H 的影响

微量的 H 溶入钢中，就会导致钢的脆性增大。H 也是钢中的有害元素。由 H 导致的钢的脆性增大现象，被称为的氢脆，

### ④ N 的影响

N 能引起钢的应变时效而导致钢的强度升高、脆性增大。N 的存在，对锅炉、化工容器等安全性能要求较高的构件是不利的。

应变时效，是指冷变形低碳钢在室温放置或加热一定时间后所出现的强度升高，塑性、韧性降低现象。

## 14、钢锭的组织缺陷

按照钢液浇铸前的脱氧情况和钢锭凝固时析出一氧化碳的程度，可把钢锭分为镇静钢锭、沸腾钢锭和半镇静钢锭。

镇静钢锭的组织为三个区，分别是：表层细晶区、柱状晶区和中心等轴晶区（见图 2-43）。

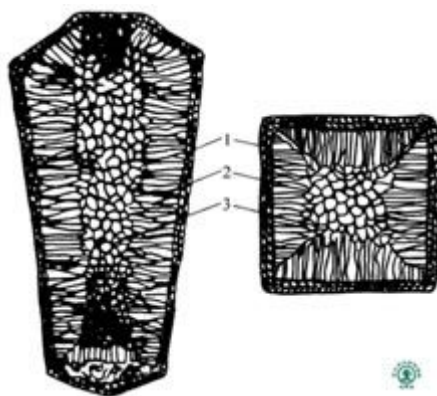


图 2-14 镇静钢锭宏观组织示意图

加入有效的变质剂为人工晶核或采用机械搅拌等方法使形核均匀化，可使钢锭获得均匀细小的等轴晶组织而能改善钢的性能。

## 15、镇静钢锭的缺陷

钢锭中常见的组织缺陷有缩孔、疏松、成分偏析和气泡。

缩孔：是钢锭凝固时由集中体积收缩所引起的一种组织缺陷。

疏松：是钢锭凝固时由分散体积收缩所造成的一种组织缺陷。

区域偏析：是指钢锭不同部位化学成分不同的现象。

气泡：钢液凝固时因有一部分气体来不及逸出便会以气泡形式留在钢中。

钢锭在使用前须经压力加工消除缺陷，以改善其组织，提高其性能。

## 16、冷加工对钢的组织性能的影响

### ① 晶体的滑移

滑移线：是滑移面与试样表面形成的交线。

滑移带：是由具有共同滑移方向的若干个滑移面发生滑移并逸出试样表面时所留下的痕迹（见图 2-46）。

滑移是塑性变形的形式。滑移的机理是位错的运动。

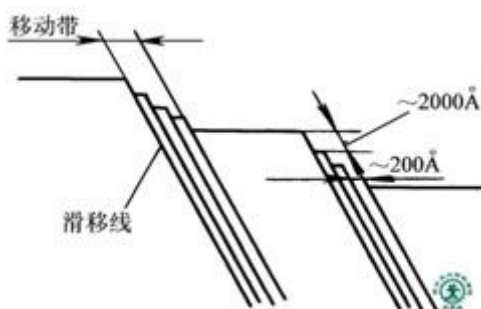


图 2-15 滑移线和滑移带示意图

## ② 塑性变形导致的组织变化

$\text{Fe}_3\text{C}$  对变形的阻碍作用依次为：片状  $\text{Fe}_3\text{C}$  > 球状  $\text{Fe}_3\text{C}$ ，细片状  $\text{Fe}_3\text{C}$  > 粗片状  $\text{Fe}_3\text{C}$ 。

随着碳的质量分数增加， $\text{Fe}_3\text{C}$  含量的增多，碳钢的形变抗力增大。当  $\text{Fe}_3\text{C}$  以网状形态出现时，对变形的阻碍作用最大，会使钢的脆性增加。

## ③ 塑性变形导致的性能变化

加工硬化：指由塑性变形导致材料强度、硬度升高，塑性、韧性降低现象。

加工硬化具有以下技术意义：

- a 是提高金属材料强度的一种重要方法；
- b 能使金属的各种冷成型工艺得以进行；
- c 能防止零件的偶然过载断裂。

形变组织：指通过塑性变形而使各晶粒内原子排列位向趋于一致的现象。

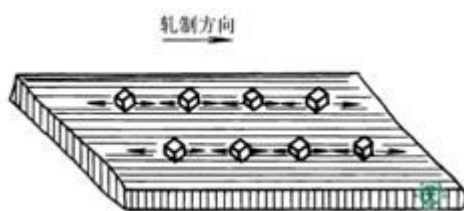


图 2-16 工业纯铁的组织示意图

宏观残余内应力：是由金属各部位变形不均匀所引起的一种内应力。

微观残余内应力：是晶粒间变形不均匀所引起的一种内应力。

残余内应力会造成零件形状与尺寸不稳定，会降低金属的耐腐蚀性能。残余压应力能显著提高零件的疲劳强度。

## 17、冷变形钢在加热过程中组织和性能的变化

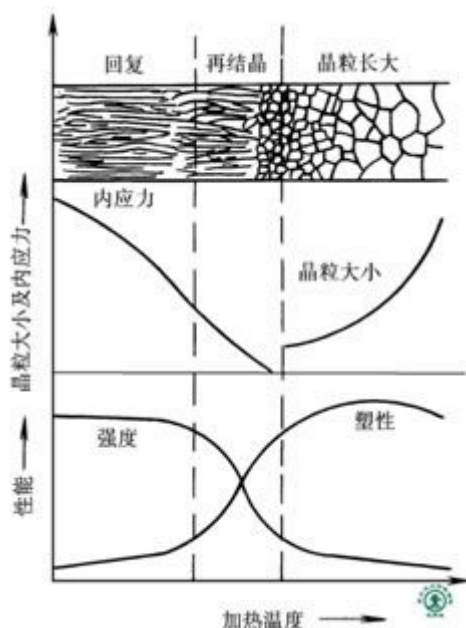


图 2-17 变形金属在不同加热温度时组织和性能变化示意图

加热温度较低时，变形金属的组织 and 力学性能没有明显变化，但残余内应力明显降低、电阻明显下降。这一性能变化阶段称为变形金属的回复。由于经回复后，变形金属的残余内应力能明显降低，所以利用回复现象对冷变形金属进行去应力退火，能够达到稳定零件尺寸的目的。

加热温度较高时，变形金属的强度显著降低，塑性显著提高，加工硬化效果会彻底消除。变形金属的组织由破碎的、被拉长的或被压扁的变形晶粒变成细小的无变形的等轴晶粒的过程称为再结晶。由于再结晶能够消除加工硬化，所以利用再结晶退火能恢复变形金属的塑性。再结晶结束后，继续升高加热温度或延长加热时间，会出现晶粒长大的现象，金属的强度和韧性随着晶粒的长大而降低。

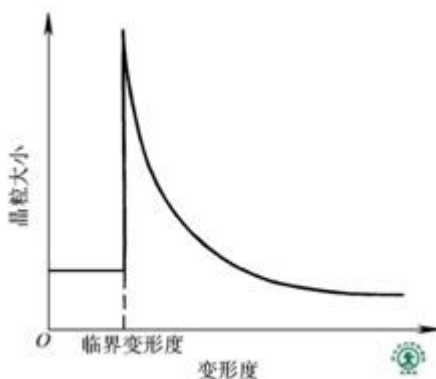


图 2-18 再结晶晶粒大小与冷变形度的关系

金属的变形度对再结晶晶粒大小有明显的影响，临界变形度：指再结晶晶粒极度长大所对应的变形度。为保证变形金属再结晶后能够获得细小的晶粒，应避免在临界变形度附近对金属进行冷加工。

## 18、热变形加工

热加工：指在再结晶温度以上进行的不会造成加工硬化的压力加工。

热加工主要具有以下作用：

- ① 改变工件的形状和尺寸；

② 改善钢的组织，提高钢的性能。即通过消除铸造缺陷，细化钢的晶粒，改善钢中的夹杂物分布，能提高钢的机械性能。

### 19、碳钢的分类

按含碳量分类，碳钢分为：低碳钢、中碳钢和高碳钢。

按钢中的 S、P 含量分类，碳钢分为：普通碳钢、优质碳钢和高级优质碳钢。

按用途分类，碳钢分为：碳素结构钢和碳素工具钢。

按冶炼方法分类，碳钢分为：镇静钢、沸腾钢和半镇静钢。

## 第三章 钢的热处理

### 一、基本要求

本章主要介绍了钢的热处理的基本知识、普通热处理、表面热处理以及特种热处理工艺及应用。要求学生掌握钢在加热时的转变、过冷奥氏体等温冷却转变、淬火钢的回火转变、普通热处理及表面热处理工艺及应用。一般了解钢的特种热处理。

### 二、重点内容

- 1、钢的热处理的基本知识；
- 2、钢的普通热处理。

### 三、难点

奥氏体化、过冷奥氏体转变及淬火钢的回火转变。

### 四、基本知识点

在固态下通过加热、保温和冷却的方法，改变钢的组织，从而获得所需性能的工艺称为钢的热处理。

## 第一节 钢在加热时的转变

### 1、奥氏体的形成

将共析钢、亚共析钢和过共析钢分别加热到  $A_1$ 、 $A_3$  和  $A_{cm}$  以上时，都会完全转变为奥氏体组织，这种加热转变称为奥氏体化。

#### 1) 共析钢的奥氏体的形成过程

奥氏体的形成过程包括：形核、长大、残留渗碳体溶解和奥氏体均匀化四步。

形核： $\alpha$  和  $Fe_3C$  的相界面最易于形核，通过同素异构转变  $\alpha \rightarrow \gamma$  和  $Fe_3C$  的溶解来实现。

长大：一旦形核， $\gamma$  则向  $\alpha$  和  $Fe_3C$  方向长大，此过程同样通过同素异构转变  $\alpha \rightarrow \gamma$  和  $Fe_3C$  的溶解来实现。

残留渗碳体溶解：由于同素异构转变  $\alpha \rightarrow \gamma$  的速度比和  $Fe_3C$  向  $\gamma$  中溶解的速度快，所以，同素异构转变完成后，还有一部分碳化物（残留碳化物）尚未溶解，它会在随后的加热过程中继续向奥氏体中溶解。

奥氏体均匀化：残留碳化物溶解完毕后， $\gamma$  的成分是不均匀的，原来  $\alpha$  处含碳量低，而原来  $Fe_3C$  处含碳量高。只有经过足够长的保温时间，才能通过 C 的扩散形成均匀的  $\gamma$  等轴晶。

#### 2) 影响 $\gamma$ 形成的因素

影响因素有：加热温度、加热速度、钢的原始组织、碳含量、合金元素。

#### 3) 亚共析钢和过共析钢的 $\gamma$ 形成过程

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>18</sup> 考研、就业尽在材料人网

亚共析钢和过共析钢中 P 的  $\gamma$  形成过程同共析钢是一样的。此外，其  $\gamma$  化过程中还分别发生先共析铁素体的奥氏体化和先共析二次渗碳体的溶解过程。

## 2、奥氏体晶粒大小

### 1) 奥氏体的实际晶粒度

在实际热处理加热条件下得到的奥氏体晶粒大小称为奥氏体实际晶粒大小或奥氏体实际晶粒度。

### 2) 奥氏体的本质晶粒度

本质晶粒度表示钢在加热时奥氏体晶粒长大倾向的大小，并不表示奥氏体实际晶粒的大小。

用 Al 脱氧或含有 Nb、V、Ti 等元素的钢为本质细晶粒钢，而用 Si、Mn 脱氧的钢则为本质粗晶粒钢。

## 第二节奥氏体转变图

**过冷奥氏体：**在临界温度 ( $A_1$ 、 $A_3$ 、 $A_{cm}$ ) 以下尚未发生转变的不稳定的奥氏体。

**奥氏体转变图：**描述过冷奥氏体的“温度-时间-转变”三者间关系的曲线。

### 1、过冷奥氏体的等温转变

(1) 奥氏体等温转变图 (TTT 图、C 曲线) 的建立

(2) 奥氏体等温转变图的分析

#### 1) 孕育期和转变速度随等温温度而变化

由于过冷度增大，相变驱动力增大，在“鼻温”时  $\gamma$  转变的孕育期最短，转变速度最快；而在“鼻温”以下温度时，随温度的降低，原子的活动能力下降，故孕育期增长，转变速度变慢。

#### 2) 转变类型随等温温度而变化

(1) P 型转变 ( $A_1 \sim T_A$ )

(2) B 型转变 ( $T_A \sim M_s$ )

(3) M 型转变 ( $M_s \sim M_f$ )

### 2、过冷 $\gamma$ 等温转变过程及产物

过冷  $\gamma$  等温转变图 (C 曲线) 如下图所示。

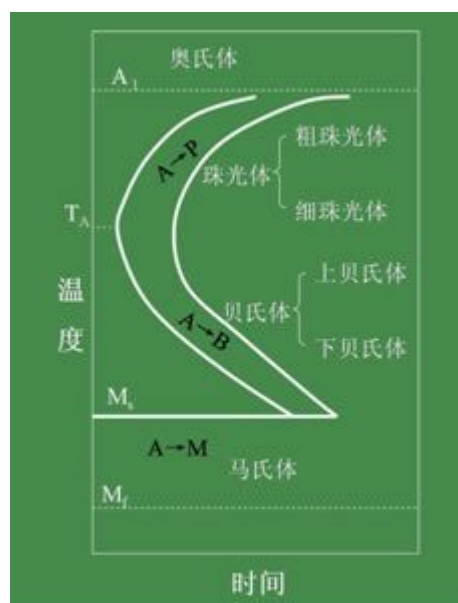


图 3-1 过冷奥氏体的等温转变示意图

### 1) 珠光体转变

在  $A_1 \sim 560^\circ\text{C}$  恒温下，过冷  $\gamma$  发生 P 转变，产物为层片状 P 组织。不同转变温度下层片大小及距离不同，据此可将 P 转变产物分为：

珠光体 P:  $A_1 \sim 650^\circ\text{C}$

索氏体 S:  $650 \sim 600^\circ\text{C}$

托氏体 T:  $600 \sim 560^\circ\text{C}$

P、S、T 无本质区别，只有形态上的粗细之分，P 较粗、S 较细、T 更细。P、S、T 通称 P 型组织，组织越细，强度、硬度越高，塑、韧性越好。

### 2) 贝氏体 (B) 转变

贝氏体：过饱和铁素体和  $\text{Fe}_3\text{C}$  的机械混合物。

B 转变也是 B 形核与长大的过程。首先沿奥氏体晶界形成过饱和铁素体晶核并长大，随后在这种铁素体中析出细小的渗碳体。不同温度下产生的 B 的形态不同：

560  $\sim$  350  $^\circ\text{C}$  形成的 B 称为  $B_{\text{上}}$ 、350  $\sim$  Ms 形成的 B 称为  $B_{\text{下}}$ 。

$B_{\text{上}}$  呈羽毛状，由互相平行的过饱和铁素体和分布在片间的断续细小的渗碳体组成。硬度高，可达 40 $\sim$ 45HRC，但因铁素体片粗大且平行分布，同时晶间有脆性的渗碳体，故塑、韧性差，应用少。

$B_{\text{下}}$  呈针叶状，由针叶状过饱和铁素体和弥散分布在其中的极细小的渗碳体组成。硬度高 50 $\sim$ 60 HRC，强度高，耐磨性好，塑性、韧性高，具有良好的综合力学性能。生产中“等温淬火”的目的就是为了得到  $B_{\text{下}}$  组织

### 3) 马氏体 (M) 转变

#### (1) 马氏体转变过程

转变温度低，C 不能扩散。 $\gamma \rightarrow \alpha$ ，C 完全保留在  $\alpha\text{-Fe}$  中，引起过饱和。M 又称碳过饱和铁素体。M 转变产生体积膨胀，会造成较大的内应力及变形。

#### (2) 马氏体的形态

片状马氏体：呈双凸透镜状，高碳、孪晶 M，强度高，塑韧性低

板条马氏体：呈细长板条状，低碳，强度高，塑韧性好。

$w_{\text{C}} > 1.0\%$  的钢淬火后，几乎全部为片 M； $w_{\text{C}} < 0.2\%$  的钢淬火后，基本上全部为板条 M； $0.2\% < w_{\text{C}} < 1.0\%$  的钢淬火后，为两种 M 的混合物。

## 3、影响奥氏体等温转变图的主要因素

### 1) 含 C 量的影响

亚共析钢及过共析钢的过冷奥氏体的等温转变与共析钢一样，亦分为高温 P 型转变、中温 B 型转变和低温 M 型转变。但在 P 型转变之前，亚共析钢有铁素体的析出，过共析钢有  $\text{Fe}_3\text{C}$  析出。

亚共析钢： $w_{\text{C}} \uparrow$ ，C 曲线右移；过共析钢： $w_{\text{C}} \uparrow$ ，C 曲线左移；共析钢过冷奥氏体最稳定（C 曲线最靠右）。

### 2) 合金元素的影响

合金元素对 C 曲线的影响是复杂的，几乎除 Co 外，所有溶入奥氏体中的合金元素均使曲线右移。除 Co、Al 外，溶入奥氏体的合金元素都使 C 曲线上的  $M_s$ 、 $M_f$  点降低。

过冷奥氏体的连续转变图 (CCT 图)

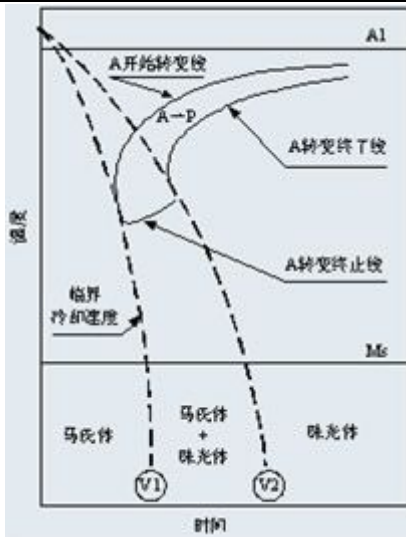


图 3-2 过冷奥氏体的连续转变示意图

CCT 曲线位于 C 曲线右下方, P 转变温度更低, 时间更长; 共析钢及过共析钢的 CCT 曲线中无 B 型转变, 而多了一条 P 转变终止线; 亚共析钢在连续冷却时在一定温度范围内过冷 A 会部分转变为 B。

由于CCT曲线测定比较困难,实际热处理中常参照C曲线来定性估计连续冷却转变过程。

### 第三节钢的普通热处理

钢制零件在制造过程中至少都要进行一次热处理。钢的普通热处理是将工件加整体进行加热、保温和冷却，以期获得均匀的组织 and 性能和一种操作。包括：退火、正火、淬火和回火四种工艺。

## 1、钢的退火

将钢件加热到临界温度 ( $A_1$ 、 $A_3$ 、 $A_{cm}$ ) 以上 (有时以下) 保温一定时间, 然后缓慢冷却的热处理工艺称退火。常用的有完全退火、球化退火和去应力退火等。

### 1) 完全退火

加热至  $A_{c_3}$  以上，保温一定时间，然后缓慢冷却到  $500^{\circ}\text{C}$  后出炉冷却。

应用：亚共析钢和合金钢的铸、锻、及热轧型材，也可以用于焊件。

目的：改善组织、细化晶粒，降低硬度，改善切削加工性。常作为对强度要求不高的零件的最终热处理，或重要零件的预先热处理。

## 2) 球化退火

加热至  $A_{c1}$  以上, 保温一定时间, 使钢的  $Fe_3C$  (碳化物) 趋于球化, 然后缓慢冷却到  $600^{\circ}C$  后出炉冷却。

应用：共析钢和过共析钢及合金钢。

目的：降低硬度，改善切削加工性能，并为淬火作组织准备。

### 3) 去应力退火

把钢件加热到 500~650℃，保温一定时间，随炉冷却至 200℃后出炉。

应用：铸件、锻件、焊件、冷冲压件及机加工件。

目的：消除残余应力，以防止零件变形或产生裂纹。

## 2、钢的正火

将工件加热至奥氏体区，保温一定时间后，出炉空冷的热处理工艺称为正火。

应用：普通结构件作为最终热处理；低、中碳钢作为预先热处理，改善切削加工性能；过共析钢消除网状渗碳体。



目的：细化组织，适当提高硬度和强度。

选择退火或正火工艺时应考虑以下因素：

(1) 改善切削加工性能

低碳钢：硬度低，粘刀，选择正火；

高碳钢：硬度高，难切削，选择退火；

中碳钢：退火、正火皆可。

(2) 使用性能

普通结构件，以正火作为最终热处理，以细化晶粒，提高力学性能；形状复杂的结构件，采用退火作为最终热处理，以消除应力防止裂纹。

(3) 经济性

正火周期短，耗能少，操作简便，尽量以正火代替退火。

### 3、钢的淬火

将钢加热到临界温度以上，保温后快速冷却获得 M 的热处理工艺称为淬火。

1) 目的

获得 M 组织，提高工件的强度和硬度。

2) 淬火介质

(1) 理想的淬火冷却速度

高温慢冷，中温快冷，低温慢冷。

(2) 常用淬火介质

水、盐水、油

3) 常用淬火方法

单液淬火、双液淬火、分级淬火、等温淬火

4) 钢的淬透性

(1) 淬透性及其测定

钢件淬火时，表层直接与淬火介质接触，冷却速度快；而心部则要靠热传导通过表层来散热，冷却速度慢。因此钢件表层得到 M，而心部只能获得部分 M，甚至完全得不到 M。

由钢件表面到半 M 层的区域称为淬硬层，其深度称淬硬层深度。

常用的测定淬透性的方法有：临界直径法和顶端淬火法。

(2) 影响淬透性的主要因素

合金元素、含碳量。

### 4、钢的回火

将淬火后的钢重新加热到  $A_{c1}$  以下某一温度，保温一定时间，然后冷却到室温的热处理工艺称为回火。

回火的目的：消除淬火应力，降低钢的脆性；稳定工件尺寸；获得工件所要求的组织和性能。

1) 淬火钢回火时组织和性能的变化

(1) 组织变化

回火温度  $80\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，C 以  $\epsilon$  碳化物形式析出，弥散分布、极细、粒状，与 M 保持共格关系的薄片，其晶体结构为正交晶格，分子式为  $\text{Fe}_{2.4}\text{C}$ ，此时组织为回火 M。

回火温度  $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，M 分解使得体积  $\downarrow$ ，残留奥氏体分解了过饱和铁素体 + 碳化物。

回火温度  $250\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，马氏体分解完成。铁素体中含碳量降低到正常饱和状态， $\epsilon$  碳化物转变为极细的颗粒状渗碳体。

回火温度在  $400^{\circ}\text{C}$  以上，渗碳体颗粒聚集长大并形成球状，铁素体发生回复、再结晶。

(2) 性能变化

材料资讯、实验耗材及测试<sup>22</sup>考研、就业尽在材料人网



随回火温度升高，硬度、强度降低，塑性、韧性升高。

#### 2) 回火各类及应用

(1) 低温回火(150~250℃) 组织：回火M。性能：高硬度、强度。应用：高碳钢和高碳合金钢工具钢制造的工模具和滚动轴承。

(2) 中温回火(350~500℃) 组织：回火T。性能：较高的韧性和高的弹性及屈服强度。应用：弹簧。

(3) 高温回火(500~650℃) 组织：回火S。性能：良好的综合力学性能。应用：广泛应用于各种机械零件。

### 第四节钢的表面热处理

#### 1、表面淬火

将工件表面快速加热到奥氏体区，在热量尚未传到材料心部时立即迅速冷却，使其表面得到一定深度的淬硬层，而心部仍保持原始组织的一种局部淬火方法。

常用的表面淬火方法有：火焰加热表面淬火、感应加热表面淬火、激光加热表面淬火。

#### 2、钢的化学热处理

将工件置于一定的化学介质中，通过加热、保温和冷却，使介质中的某些元素渗入到工件表层，以改变表层的化学成份和组织，从而使工件表面具有与心部不同的性能的一种热处理工艺。与表面淬火热处理相比，化学热处理不仅使工件表面与心部的组织不同，且成份亦不同。

最常用的表面化学热处理有：渗碳、渗氮、碳氮共渗

### 第五节钢的特种热处理

#### 1、真空热处理

#### 2、可控气氛热处理

#### 3、形变热处理

## 第四章 合金钢

### 一、基本要求

本章概要叙述了合金元素在钢中的作用，合金钢的分类。主要介绍了工程上常用的合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢。要求学生掌握主要合金元素在钢中的作用，熟悉合金钢的分类，重点掌握低合金高强度结构钢、不锈钢和镍基合金的成分、组织、性能特点。一般了解合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢、轴承钢、超高强度钢、合金工具钢、耐热钢和高温合金、低温钢的性能、热处理和应用。

### 二、重点内容

- 1、合金元素在钢中的作用，存在形式。
- 2、低合金高强度钢的成分、组织、性能特点及其热处理。
- 3、不锈钢和镍基合金的成分、组织、性能特点及用途。

### 三、难点

第一次回火脆性和第二次回火脆性的防止。

### 四、基本知识点

## 第一节 概述

### 1、合金元素在钢中的作用（八大作用）

作用 主要元素

材料资讯、实验耗材及测试<sup>23</sup>考研、就业尽在材料人网

细化 A 晶粒	Ti、V、Nb、Zr、Al
提高淬透性	除 Co 以外，如 Mn、Cr、W、Mo
提高回火抗力	Cr、W、Mo、V
固溶强化	Ni、Si、Al、Co、Cu、Mn、Cr、Mo、W
第二相强化	Mn、Cr、Mo、W
扩大 A 相	Ni、Mn、Cu、N
扩大 F 相	Si、Al、Ni、Cr、W、Mo、Ti
形成致密氧化膜	Si、Cr、W、Mo、V、Ti、Al

重点是 Cr、W、Mo 占了六大作用，另外两个作用一个是细晶，一个是扩大 A。

## 2、合金元素在钢中存在的形式（三种）

固溶体、化合物和游离态。

## 3、第一类回火脆性

一般认为低温回火脆性是由于 M 分解时沿 M 板条或片的界面析出断续的薄壳状碳化物，降低了晶界的断裂强度，使之成为裂纹扩展的途径，因而导致脆性断裂。

防止第一类回火脆性的措施是避免在 250℃~400℃回火。

## 4、第二类回火脆性

第二类回火脆性是在回火过程中 Sb、P、Sn 在 A 晶界偏聚而引起的脆化现象。

防止第二类回火脆性措施有两个：

1) 加入 W、Mo 等能强烈阻止或延缓杂质元素在 A 晶界的偏聚。

2) 450℃~650℃回火快冷

## 5、合金钢的分类及其牌号

分类：合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢的分类

## 第二节 合金结构钢

### 1、合金结构钢的分类、应用

应用：最为广泛

分类：低合金高强度钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢、轴承钢、超高强度钢等。

### 2、低合金高强度钢

1) 简介

又称低合金高强度钢 广泛用于制造在大气和海洋工作的大型焊接结构件，如桥梁、车辆、船舶、输油气管、压力容器等。

2) 成分及性能特点

主要合金元素：Mn、Ti、V、Nb、Cu、P、Re 等

作用：强化 F，细化晶粒，从而提高钢的强度，Cu、Pb 还可以提高钢的耐大气腐蚀抗力。

3) 典型牌号

16Mn、09MnNb、15MnVN 等

### 3、合金渗碳钢

1) 简介

是指经过渗碳热处理后使用的低碳合金钢。主要用于制造在摩擦力、交变接触应力和冲击波条件下工作的零件。如齿轮：表面要求高的硬度和耐磨性及高的接触疲劳强度，心部则要求良好的韧性。

2) 成分及性能特点

$W_c=0.10\% \sim 0.25\%$ ，保证零件心部足够的韧性。

加 Cr、Ni、Mn、B，提高钢的淬透性。

加 V、Ti、W、Mo 形成特殊碳化物，阻止 A 增长。

### 3) 典型牌号

低淬透性：20Mn2、20MnV

中淬透性：20CrMn、20CrMnTi

高淬透性：18Cr2Ni4WA

## 4 、合金调质钢

### 1) 简介

经过调质处理（淬火+高温回火）后使用的中碳合金结构钢。主要用于制造受力复杂、要求综合力学性能的重要零件如精密机床的主轴、发动机的曲轴等等。

### 2) 成分及性能特点

$W_c=0.25\sim0.50\%$ ，多为 0.40% 保证调质后足够的强度和韧性。

主要加 Mn、Cr、Si、Ni、B，等提高钢的淬透性。强化 F。有时加微量 V 以细化晶粒，加 Mo、W 防止或减轻第二类回火脆性。

### 3) 典型牌号 Typical Trademark

低淬透性：40Cr、40MnB

中淬透性：35CrMo、38CrSi

高淬透性：38CrMoAl、40CrNiMoA

## 5、合金弹簧钢

### 1) 简介

是用来制造弹簧和其它弹性零件的钢种。如拖拉机上的板弹簧。

### 2) 成分及性能特点

$W_c=0.45\sim0.70\%$ ，含 C 量比合金调质钢高，为保证高强度和高的弹性极限。

加 Si、Mn、Cr、V、Nb、Mo、W 提高钢的淬透性和回火抗力。强化 F 加 Mo、W、V、Nb 可以降低因 Si 的加入造成的脱 C 敏感性。

### 3) 典型牌号

60Si2Mn（含 Si、Mn 元素的合金弹簧钢，用于制造截面尺寸 $\leq 25\text{mm}$ 的弹簧，如汽车脱拉机的板弹簧）。

50CrVA（含 Cr、V 元素的合金弹簧钢，用于截面 $\leq 30\text{mm}$ 并在 350~400℃工作的重载弹簧，如阀门弹簧）。

## 6、滚动轴承钢

### 1) 简介

用于制造滚动轴承的滚珠、滚柱和套圈等钢种。也可以用于制作精密量具、冷冲模、机床丝杠及柴油机油泵的精密件要求具有高的接触疲劳强度，高而均匀的耐磨性及一定的韧性和耐腐蚀性能。

### 2) 成分及性能特点

$W_c=0.95\sim1.1\%$ ，是高 C 低 Cr 钢，可以保证钢有高的硬度和强度。

$W_{Cr}=0.40\sim1.65\%$  提高钢的淬透性，并形成合金渗碳体，使钢具有高的接触疲劳强度和耐磨性。对于大型轴承用钢加 Si、Mn、Mo 可进一步提高淬透性和强度

### 3) 典型牌号 Typical Trademark

含 Cr 轴承钢：GCr9、GCr15、GCr9SiMn、GCr15SiMn

无 Cr 轴承钢，性能和 GCr 15 相当，但可以节约 Cr GCrMnMoVRe、GCrSiMoMnV

## 7、超高强度钢

### 1) 简介

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>25</sup> 考研、就业尽在材料人网

$\sigma_b > 1500\text{MPa}$ 。主要用于制造飞机起落架、机翼大梁，火箭发动机壳体、液体燃料氧化剂储藏箱、炮筒、枪筒、防弹板等等。

2) 成分及性能特点

$W_c = 0.03\% \sim 0.45\%$ ，含 C 范围宽。

加入 Cr、Mn、Ni、Si 大大增加钢的淬透性；

加入 Mo、V、Nb、Ti、Al 形成特殊碳化物使钢产生二次硬化，

加入 V、Nb、Ti 细化晶粒。

基本准则：少量多元。

3) 典型牌号

低合金超高强度钢：合金总量  $\leq 5\%$ ；

中合金超高强度钢：合金总量  $5\% \sim 10\%$ ；

高合金超高强度钢：合金总量  $> 10\%$ 。

### 第三节 合金工具钢

#### 1、简介

工具钢是用于制造刀具、模具、量具的钢种。

#### 2、合金工具钢的主要失效形式

1) 刀具主要失效形式：

(1) 摩擦导致严重磨损，伴随高温；

(2) 大的切削力导致刃部崩缺；

(3) 振动，冲击使刀具发生断裂。

2) 模具主要失效形式：

(1) 磨损

(2) 刃口钝化

(3) 塌陷

(4) 沟槽

(5) 热疲劳

(6) 断裂

3) 量具主要失效形式：

(1) 磨损

(2) 碰撞

(3) 变形

#### 3、对合金工具钢的要求

1) 高的硬度

2) 耐磨损

3) 足够的韧性

4) 抗热脆性

5) 耐热疲劳性

#### 4、常用合金工具钢及其热处理

1) 分类

(1) 高碳低合金工具钢

(2) 高碳高合金工具钢

(3) 中碳合金工具钢

2) 高碳低合金工具钢

(1) 成分及性能特点

$W_c = 0.85\% \sim 1.1\%$ ,  $W_{Me} \leq 5\%$

主要合金元素 Si、Mn、Cr、W、V 等，

加入 Si、Mn、Cr 是提高钢的淬透性和回火抗力、固溶强化 M，从而提高强度。

加入 W、V 是形成特殊化合物，细晶提高韧性。

(2) 典型牌号

9Mn2V、9SiCr、Cr2、CrWMn 等

主要用于制造低速和中速切削刀具，中等负荷的冷变形模具及量具

(3) 热处理工艺

预先热处理：球化退火，获得颗粒状碳化物，改善切削加工性能。

最终热处理：淬火+低温回火，冷处理和时效处理

回火后的组织：细针状回火 M+细颗粒状碳化+少量残余 A

3) 高碳高合金工具钢

(1) 成分及性能特点

$W_c = 0.70\% \sim 2.3\%$ ,  $W_{Me} > 10\%$

具有优良的淬硬性、回火抗力、红硬性和耐磨性。

$T_{回} > 300^\circ\text{C}$ ，低碳低合金工具钢硬度变急剧下降不能适合高温的要求。所以高碳应运而生。

(2) 典型牌号

高速钢：用于制造高速切削刀具的钢种有钨系、钼系、钒系等。

高铬钢：用于制造承受重载荷、形状复杂、要求变形小、耐磨性高、红硬性好的模具材料。

典型有 Cr12 和 Cr12MoV。

(3) 高速钢

a) 成分及性能特点

高碳和大量的碳化物形成元素

$C = 0.70\% \sim 1.5\%$ 、 $Cr = 3.8\% \sim 4.0\%$ 、 $W = 6.0\% \sim 19.0\%$ 、

$Mo = 0 \sim 6.0\%$ 、 $V = 1.0\% \sim 5.0\%$ 。

b) 典型牌号 Typical Trademark

W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2

c) 锻造工艺

在制造工具前必须进行锻造使粗大的碳化物成小颗粒均匀分布以提高钢的强度，塑性和韧性。

d) 热处理工艺

预先热处理：球化退火

进一步细化碳化物，降低硬度，改善切削加工性能。

组织为：索氏体 + 细粒状碳化物。

最终热处理：淬火+高温回火，冷处理和时效处理。

回火后的组织：细针状回火 M+细颗粒状碳化+少量残余 A

(4) 高铬钢

a) 成分及性能特点

高碳高铬可以承受重载荷。形状复杂、要求变形小、耐磨性高、红硬性好。Cr 提高钢的淬透性，回火抗力，抗氧化，抗脱碳，抗腐蚀能力。

b) 典型牌号

Cr12、成分： $C = 2.00\% \sim 2.30\%$   $Cr = 11.50\% \sim 13.00\%$

Cr12MoV 成分： $C = 1.45\% \sim 1.70\%$   $Cr = 11.00\% \sim 12.50\%$

c) 制造工艺

锻造 → 球化退火 → 机加工 → 淬火 + 回火 →

淬火 + 回火 → 工艺 1 : 低温淬火 + 低温回火

淬火 + 回火 → 工艺 2: 高温淬火 + 高温回火

4) 中碳合金工具钢

(1) 成分及性能特点

$W_c = 0.35\% \sim 0.60\%$

加 Mn、Ni、Si、Cr、W、Mo、V 等以提高钢的淬透性和回火稳定性及强化 F。

加入 W、Mo 可抑制高温回火脆性，

加入 Cr、W、Mo、Si 还能提高钢的耐热疲劳性能。因提高了相变温度，M→A 不发生

(2) 典型牌号 Typical Trademark

5CrNiMo、5CrMnMo、3Cr2W8V 等

这类钢主要用来制造热模具，如热锻模、热挤压模、压铸模。

## 第四节 特殊性能钢

### 1、分类

特殊性能钢是指具有特殊物理、化学、力学性能的钢种。

主要分为：不锈钢、耐热钢、低温钢和耐磨钢。

### 2、不锈钢

在自然环境或一定工业介质中具有耐腐蚀性能的钢称不锈钢。广泛应用于石油、化工等领域。

1) 不锈钢的发现

在铬发现 100 年以后，英国人 Harry Brearley 第一个认识到含铬铁基合金具有优异的耐腐蚀性，1912 年 Brearley 命名 Fe-Cr 合金为不锈钢。

1912 年 Maurer (德国) 偶然观察到 Strauss 制备的合金置于其实验室酸雾中数月后仍然没有被腐蚀 8%Ni 的 Fe-Cr 奥氏体合金具有耐蚀性。

2) 成分及性能特点

$W_c = 0.03\% \sim 0.95\%$ ,

从耐蚀角度 C 越低越好，可以防止  $Cr_{23}C_6$ 。

$W_{Me} = 12\% \sim 38\%$

常加入：Cr、Ni、Si、Al、Mo、Ti、Nb

主要是 (1) 提高电极电位，

(2) 室温获得单相组织，

(3) 在钢表面形成致密氧化膜，

(4) 形成稳定碳化物和金属间化合物。

3) 分类

(1) M 型不锈钢

(2) F 型不锈钢

(3) A 型不锈钢

(4) A-F 型不锈钢

(5) 沉淀硬化不锈钢

#### 4) M 型不锈钢

##### (1) 成分及性能特点

$W_c=0.1\% \sim 1.0\%$ ,  $W_{Cr}=12\% \sim 18\%$ , 淬透性好、空冷时可形成 M, 但由于合金元素单一, 这类钢只有在氧化性介质中(如大气、水蒸气、氧化性酸)有较好的耐蚀性。其耐蚀性还随着碳的质量分数增加而降低。

##### (2) 典型牌号

1Cr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13、9Cr18

因为 Cr 加入, 使共析点转移到 0.3% 附近, 所以 3Cr13、4Cr13 分别属于共析钢和过共析钢, 故工业上一般把 1Cr13、2Cr13 作为结构钢用, 3Cr13、4Cr13、9Cr18 作为工具钢用。

##### (3) 热处理

材料: 1Cr13 2Cr13

热处理: 调质

组织: S<sub>回</sub>

用途: 汽轮机叶片蒸气管附件

材料: 3Cr13、4Cr13、9Cr18

热处理: 淬火+ 低温回火

组织: M<sub>回</sub>

用途: 医疗器械、刀具。

#### 5) F 型不锈钢

##### (1) 成分及性能特点

$W_c < 0.15\%$ ,  $W_{Cr} = 12\% \sim 30\%$ , 和 M 型不锈钢相比, 低碳, 高铬, 钢从室温加热到 1000℃ 均为单相 F 不发生 F→A。F 不锈钢的耐蚀性、塑性、焊接性均优于 M 不锈钢。但其强度较低, 主要用于对力学性能要求不高, 但对耐蚀性要求很高的机器零件和结构。

##### (2) 典型牌号

0Cr13、1Cr17、1Cr28

##### (3) 热处理

材料: 0Cr13、1Cr17、1Cr28

热处理: 调质

组织: F

用途: 对耐蚀性能要求, 很高的机器零件, 如: 硝酸的吸收塔、热交换器、磷酸槽等。

#### 5) A 型不锈钢

##### (1) 成分及性能特点

$W_c < 0.12\%$ ,  $W_{Cr}=17\% \sim 25\%$ ,  $W_{Ni}=8\% \sim 29\%$

不仅仅有高的耐腐蚀性, 还有高的塑性, 低温韧性, 加工硬化能力与良好的焊接性。广泛应用于制造硝酸、有机酸、盐、碱等工业中的机械零件及构件。Ni 扩大 A, Cr 提高电极电位, A 不锈钢的耐蚀性比 M 不锈钢有进一步的提高。

##### (2) 典型牌号

0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti 等

##### (3) 热处理

材料: 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti

热处理: 固溶处理

组织: A

用途: 广泛应用于硝酸, 有机酸, 盐, 碱等; 工业中的机械零件及构件。

材料资讯、实验耗材及测试<sup>29</sup>考研、就业尽在材料人网

(4) 焦点问题晶间腐蚀

主要原因: 晶界析出  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$

对策:

- a) 降碳
- b) 加强碳化物形成元素 Ti, Nb
- c) 固溶处理或者退火处理

6) A-F 型不锈钢

(1) 成分及性能特点

在 18-8A 的基础上调整 Cr、Ni 的含量, 并加入适量的 Mn、Mo、W、Cu、N 等而形成的双相不锈钢。兼有 A 不锈钢和 F 不锈钢的特性。不仅仅有良好的耐蚀性, 还有较高的抗 SCC 能力, 抗晶间腐蚀能力及良好的焊接性。适合于制作硝酸工业与尿素、尼龙生产的零件和设备。

(2) 典型牌号

1Cr21Ni5Ti、1Cr17Mn9Ni3Mo3Cu2N、1Cr18Mn10Ni5Mo3N

(3) 热处理

热处理:  $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$  淬火

组织: A + F

用途: 硝酸工业与尿素

尼龙生产设备及零件

7) 沉淀硬化型不锈钢

(1) 成分及性能特点

在 18-8A 的基础上降低 Ni 的含量, 并加入适量的 Al、Cu、Mo、Nb 等, 在热处理中析出金属间化合物, 实现沉淀强化, 这类钢叫沉淀强化不锈钢。对于复杂的零件, 形变强化很难应用, 选择沉淀强化不锈钢

(2) 典型牌号

0Cr17Ni7Al、0Cr15Ni7Mo2Al

(3) 热处理

热处理: 固溶处理 ( $1060^\circ\text{C}$  空冷) 获得 A

$750 \sim 760^\circ\text{C}$  空冷获得 A+M

$560 \sim 570^\circ\text{C}$  时效析出金属间化合物如:  $\text{Ni}_3\text{Al}$

组织: A + M + 金属间化合物

用途: 高强度, 高硬度, 耐腐蚀的化工机械设备。

### 3、镍基耐蚀合金

1) 成分及性能特点

低碳高合金

$W_{\text{C}}=0.03\% \sim 0.2\%$ ,  $W_{\text{Ni}}=30\% \sim 48\%$

在自然环境或一定工业介质中具有耐腐蚀性能的合金称耐蚀合金。广泛应用于石油、化工等领域。

2) 分类

锻造镍、镍-铜合金、镍-铬-铁合金

3) 用途

锻造镍: 耐蚀性特强, 强度较高, 耐高温和低温制作与强酸, 强碱接触的泵壳, 容器, 火箭, 导弹耐蚀零件。

常用牌号 200 和 201



镍-铜合金：在氢氟酸中的耐蚀性居所有金属材料之首。

常用牌号：Ni-29.5Cu, (Monel K-500)

Ni-31Cu-1.5Mn-1.4Fe, (Ni66Cu31Fe)

Ni-28Cu-1.5Mn-2.5Fe, (Ni68Cu28Fe)

镍-铬-铁合金：优良的耐蚀性，高温强度高，辐照稳定性好。制作高温下要求耐腐蚀的零构件。

常用牌号 Inconel 600、Inconel 706、Inconel 718

#### 4、耐热钢

##### 1) 成分及性能特点

耐热钢是指在高温下, 具有高热稳定性和热强性的特殊钢。

主要用于制造工业加热炉、高压锅炉、汽轮机、内燃机、航空发动机、热交换器等在高温下工作的构件和零件。

性能要求:

高的热稳定性, 即具有高温抗氧化能力。

高的热强性, 即具有高的抗蠕变抗力和持久强度。

##### 2) 典型分类

P 耐热钢、M 耐热钢、F 耐热钢、A 耐热钢

#### 5、高温合金

##### 1) 特点

对于航空、航天飞机的零构件, 如喷气发动机的压气机燃烧室、涡轮、尾喷管等等, 在 800℃ 以上温度长期服役, 耐热钢已经不能满足抗氧化和高温强度的要求, 这时候就应该选用高温合金。

##### 2) 分类:

铁基、镍基、钴基、铌基、钼基等

#### 6、低温钢

##### 1) 简介

低温钢是指工作温度在 0℃ 以下的零件和结构件钢种。广泛用于低温下工作的设备, 如冷冻设备、制氧设备、石油液化设备、航天工业用的高能推进剂液氢、液氮等液体燃料的制造、贮运装置、寒冷地区开发所用的机械设施等等。

##### 2) 成分及性能特点

C、S、P 会增加 TATT, Mn、Ni 会降低 TATT, BCC 随 T 降低韧性显著降低, FCC 随 T 降低影响不大。

##### 3) 典型低温钢

低碳锰钢、镍钢、A 不锈钢

#### 7、耐磨钢

##### 1) 简介

耐磨钢是指用于制造高耐磨零件及构件的一些钢种

##### 2) 分类

高碳铸钢、硅锰结构钢、高碳工具钢、滚动轴承钢等

### 第五章 铸铁

#### 一、基本要求

本章主要介绍了铸铁的石墨化和各类铸铁的特点及应用。要求掌握铸铁石墨化三阶段, 重点了解灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁的特点及应用。一般了解合金铸铁的发展及其应用。

## 二、重点内容

- 1、铁-石墨相图
- 2、石墨化三阶段
- 3、工程上常用灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁的特点及应用。

## 三、难点

影响石墨化因素。常用铸铁的组织组织特点和应用。

## 四、基本知识点

# 第一节 铸铁的石墨化

## 1、铸铁特点

- 1) 生产设备、冶炼工艺简单
- 2) 价格低廉
- 3) 良好的铸造性能
- 4) 减摩
- 5) 切削加工好
- 6) 低的缺口敏感性
- 7) 消震性能等等

## 2、组织特点

### 1) 简介

碳在铸铁中以亚稳相  $\text{Fe}_3\text{C}$  或游离态的石墨 ( $G$  — Graphite) 两种形式在。

### 2) 铸铁组织

铸铁中的  $C$  主要以游离态  $G$  存在, 而基体组织几乎和钢没有什么区别, 随工艺条件及热处理条件的不同, 可以获得  $F$ 、 $P$ 、 $S$ 、 $T$ 、 $M$ 、 $A$  等组织, 故铸铁可以简单看作由钢的基体上分布着不同形态的石墨。

### 3) 析出对比

在成分和结构上石墨与铁液相差很大, 但渗碳体和液相差别较小, 因此, 从铸铁中液相或  $A$  中析出渗碳体比石墨较为容易。

### 4) 石墨的晶体结构

简单六方晶体: 在简单六方晶体中, 碳原子是分层排列, 同一层上的原子间距小 ( $0.142\text{nm}$ ), 结合力强. 层间原子间距大 ( $0.340\text{nm}$ ) 结合力弱. 结晶时原子层方向的生长速度大于层间容易形成片状石墨

## 3、铁-碳双重相图

结合  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  相图, 熟悉  $\text{Fe}-G$  相图。

## 4、铸铁的石墨化过程

### 1) 三阶段

铸铁组织中析出碳原子形成石墨的过程称石墨化过程。

第一阶段(液态阶段)

从铸铁液相中直接析出  $G$

第二阶段(共晶—共析阶段)

自  $A$  中沿  $E'S'$  线不断析出二次  $G$

第三阶段(共析阶段)

发生共析反应析出  $G$

### 2) 石墨化后得到的组织(灰口铸铁)

石墨化程度			显微组织
第一阶段	第二阶段	第三阶段	
充分进行	充分进行	充分进行	F+G
充分进行	充分进行	部分进行	F+P+G
充分进行	充分进行	不进行	P+G

### 3) 影响石墨化的因素

#### (1) 化学成分

当铁液中 C、Si 的含量较高，石墨化倾向增加，可以用公式来判断石墨化倾向  $W_c + 1/3W_{Si}$ 。高碳、高硅易于石墨化。

#### (2) 冷却速度

冷却速度愈慢，愈有利于石墨化过程的进行。

## 第二节 常用铸铁

### 1、分类

#### 1) 按石墨化程度

##### (1) 灰口铸铁

石墨化程度最高，断口呈灰色。

##### (2) 白口铸铁

没有石墨化过程，碳主要以  $Fe_3C$  形式存在，断口白色，脆断。

##### (3) 麻口铸铁

介于灰口铸铁和白口铸铁之间。

#### 2) 按石墨形态

##### (1) 灰铸铁

##### (2) 可锻铸铁

##### (3) 球墨铸铁

##### (4) 蠕墨铸铁

### 2、常用铸铁的特性及其用途

#### 1) 灰铸铁

##### (1) 成分及性能特点

C (2.8~3.5%)、Si (1.2~2.2%)、Mn (0.5~1.3%)、 $P \leq 0.30\%$ 、 $S \leq 0.15\%$

##### (2) 石墨化特点

第一阶段和第二阶段石墨化过程都能充分进行时形成的铸铁。

显微组织特征是片状石墨分布在钢的基体组织上。

##### (3) 分类

F 灰口铁、F+P 灰口铁、P 灰口铁

##### (4) 用途

使用范围：低负荷和不重要的零件。

主要特点：价格便宜。

注意事项：HT 的强度随厚度增加而降低，选材时应注意。

#### 2) 球墨铸铁

##### (1) 球磨化措施

措施：球化剂+孕育剂

即在尚未浇铸的一定成分的铁水中加入一定量的球化剂（如Mg、Ca、Xt 等）进行球化处理，并加入少量的孕育剂（Si-Fe、 Si-Ca 合金）以促进石墨化，在浇铸后得到具有球状石墨的铸铁。

#### （2）成分及性能特点

和灰铁相比，球铁的成分更严格，C、Si↑， S、P↓、C—3.6~3.9%、 Mn—0.6~0.8% 、Si—2.0~2.8%、S≤0.07%、 P ≤0.10%

组织特点：钢基体上分布着球化石墨

#### （3）分类

F 球墨铸铁、F+P 球墨铸铁、P 球墨铸铁。

#### （4）用途

使用范围：重要的零件。

主要特点：其强度可以和普通钢媲美，但铸造性能优越。

注意事项：价格高，F 和 P 球墨铸铁应用最为广泛。

#### 3) 可锻铸铁

##### （1）简介

可锻铸铁是由白口铸铁在固态下，经长时间的石墨化退火，使其中的  $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{G}$  而得到团絮状石墨的一种铸铁。可锻铸铁具有高的强度、塑性和抗冲击能力。

##### （2）分类

a) 黑心可锻铸铁，也叫F可锻铸铁。

b) 白心可锻铸铁，也叫P可锻铸铁。

#### 4) 蠕墨铸铁

##### （1）蠕墨化措施

措施：蠕化剂+孕育剂

即在尚未浇铸的一定成分的铁水中加入一定量的蠕化剂（如稀土硅钙合金 等）进行蠕化处理，并加入少量的孕育剂（Si-Fe、 Si-Ca 合金）以促进石墨化，在浇铸后得到具有蠕虫状石墨的铸铁。

##### （2）成分及性能特点

蠕墨铸铁的成分依然采用高C高Si低S、P。C—3.6~3.9%、 Mn—0.4~0.8% 、Si—2.2~2.8%、S≤0.1%、 P ≤0.1%

组织特点：钢基体上分布着蠕虫状石墨

##### （3）分类

F 蠕墨铸铁、F+P 蠕墨铸铁、P 蠕墨铸铁。

##### （4）用途

使用范围：常用于在热循环载荷条件下工作的零件。

主要特点：性能远优于灰口铁，和球墨铸铁接近，但价格便宜。

### 3、合金铸铁

主要有：

（1）高强度合金铸铁

（2）耐热合金铸铁

（3）耐蚀合金铸铁

（4）耐磨合金铸铁

## 第六章 有色金属及其合金

### 一、基本要求

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>34</sup>考研、就业尽在材料人网

本章主要介绍了工程上常用的有色金属及其合金：铝及铝合金，铜及铜合金，钛及钛合金，镁及镁合金，滑动轴承合金。要求学生掌握铝及铝合金、滑动轴承合金的组织、性能和应用。一般了解铜及铜合金和钛及钛合金、镁及镁合金的性能和应用。

## 二、重点内容

1、铝合金的强化方式，工程上常用的铝合金的分类和性能及主要用途。

2、滑动轴承的组织特点，工程上常用的滑动轴承合金的性能和用途。

## 三、难点

铝合金时效强化及应用，轴承合金的组织特点和应用

## 四、基本知识点

# 第一节 铝及铝合金

## 1、纯铝的性能特点

密度低（轻金属）；抗大气腐蚀；导电导热性好；加工性能好

## 2、纯铝的应用

配置铝合金；包覆材料，代替铜制作导线、电容器，包装材料

## 3、铝合金

向铝中加入适量的合金元素制成铝合金，可改变组织结构，提高其力学性能。

## 4、铝合金中常用的合金元素

铝合金中常用的合金元素分为主要合金元素（含量较多）和微量元素（少量）。

主要合金元素：Cu, Mg, Si, Zn, Mn 等

微量元素：Ti, Zr, Cr, B 等

## 5、合金元素的作用

固溶强化，形成第二相强化

## 6、铝合金的分类

工业上常用的分类根据铝合金的成分和工艺特点分类

铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金。

变形铝合金有根据成分特点分为能热处理强化铝合金和不能热处理强化铝合金

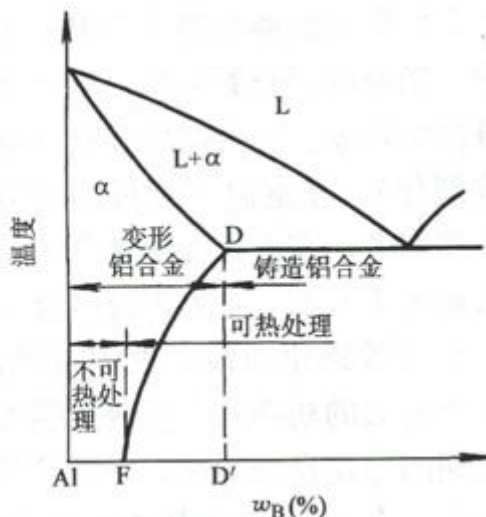


图 6-1 铝合金相图的一般形式

## 7、铝合金的强化方式

铝合金的强化方式由冷变形（加工硬化）、变质处理（细晶强化）和热处理强化（时效强化）。

## 8、时效强化

铝合金淬火后在室温或者较低温度下加热保温一段时间, 随时间延长其强度硬度显著增加的现象。

## 9、铝合金的时效分类

自然时效: 淬火后在室温下放置一段时间(4-5 天)。

人工时效: 淬火后在一定温度下保温几小时。

## 10、变形铝合金的种类、性能和应用

### 1) 不可热处理强化的铝合金

这类铝合金通常指铝-锰合金(牌号为 3xxx)和铝-镁合金(牌号为 5xxx)。

性能特点: 抗蚀性高, 塑性好, 易于加工。

应用: 铝-锰合金常用于制造弯曲、深加工的零件, 如油罐、油箱、管道和铆钉; 铝-镁合金常用于管道、容器、铆钉和承受中等载荷的零件。

### 2) 可热处理强化的铝合金

这类铝合金通常指铝-铜合金(牌号为 2xxx)和铝-锌合金(牌号为 7xxx)。

性能特点: 可热处理强化, 强度高。其中铝-锌合金是强度最高的铝合金, 抗拉强度可达到 680MPa。有比较好的塑性, 可变形加工。

应用: 铝-铜合金一般用于飞机蒙皮、螺旋桨、叶片、喷气发动机的叶轮、导风轮等; 铝-锌合金一般用于要求重量轻、工作温度不超过 120-130 的受力较大的零件, 例如飞机的壁板、大梁、起落架部件和隔框等。

## 11、铸造铝合金的种类、性能和应用

铸造铝合金的分类按照成分分: 铝-硅系铸造铝合金, 铝-铜系铸造铝合金, 铝-镁系铸造铝合金, 铝-锌系铸造铝合金。

性能: 铸造性能好, 可生产形状复杂的零件毛坯, 但是力学性能不如变形铝合金好。其中铝-硅系铸造铝合金是铸造性能和力学性能匹配最好的一类铝合金。

应用: 强度较低的铸造铝合金主要用于形状复杂、受力不大的零件, 如活塞、仪表外壳; 强度较高的铸造铝合金主要用于制造形状复杂中等强度的零件, 如气缸体、发动机活塞、变速箱体、风机叶片、液压泵壳体等。

## 第二节 滑动轴承合金

### 1、轴承的分类、作用

作用: 支撑轴作旋转运动

分类: 滑动轴承和滚动轴承

### 2、滑动轴承的优点、构成和性能要求

滑动轴承的优点: 承压面积大, 工作平稳, 无噪音, 拆装方便。

滑动轴承的构成: 轴承体和轴瓦构成。

性能要求: 足够的抗压强度、疲劳强度和冲击性能; 摩擦系数小, 减摩性能好, 良好的磨合性能和抗咬合能力, 蓄油性能好, 以减小轴颈磨损并防止咬合; 具有小的膨胀系数合良好的导热性能和耐腐蚀性能。

### 3、轴承合金

制造轴瓦和内衬的耐磨合金成为轴承合金。

### 4、轴承合金的组织特点

由软硬不同的多相组成, 才能达到滑动轴承的性能要求

### 5、轴承合金组织类型

(1) 软基体上分布一定数量和大小硬质点 (软基体、硬质点)

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>36</sup>考研、就业尽在材料人网

(2) 硬基体上分布软质点 (硬基体、软质点)

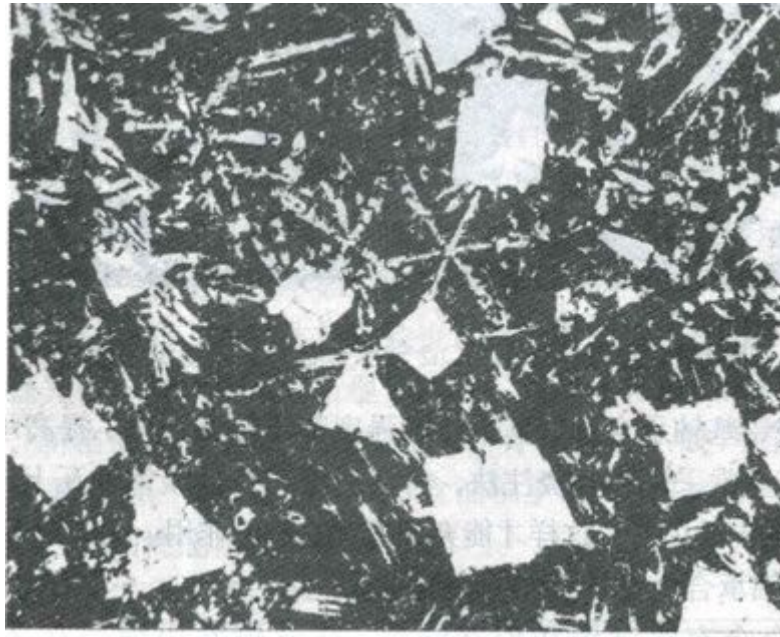


图 6-2 ZSn11Cu6 轴承合金的显微组织'100

## 6、工程上常用的轴承合金

工程上常用的轴承合金有巴氏合金、铜基合金、铝基合金、铸铁等。

### (1) 巴氏合金—锡基和铅基轴承合金

组织特点：软基体、硬质点)

性能：耐磨性、导热性、嵌藏性、耐腐蚀性较好，摩擦系数小，缺点是工作温度较低（低于 150° C），疲劳强度低，价格高。

应用：锡基轴承合金 Sn-Sb-Cu 合金用于重型动力机械，如汽轮机、涡轮机和高速内燃机等中的滑动轴承。铅基轴承合金 Pb-Sn-Sb-Cu 合金用于制造低速和低负荷的轴承合金，汽车、拖拉机的曲轴轴承。

### (2) 铜基轴承合金

组织：软基体硬质点（锡青铜），硬基体软质点（铅青铜）

性能：高耐磨性、高疲劳强度、高导热性和低摩擦系数，工作温度可达 350° C.

应用：应用于高速、重载和重负荷下的轴承，例如航空发动机轴承、高速柴油机和其他大马力发动机的轴瓦。

### (3) 铝基轴承合金

组织：软基体硬质点（铝镉镁合金），硬基体软质点（高锡铝合金）

性能：密度小，导热性好，疲劳强度高，耐磨、耐热和耐腐蚀。

应用：主要用于汽车、拖拉机和内燃机上广泛使用。

### (4) 铸铁：组织为硬基体软质点

性能：摩擦系数大，导热性低，石墨具有润滑作用

应用：用于低速不重要的轴承（价格低廉）。

## 第三节 铜及铜合金

### 1、纯铜的性能及应用

纯铜又称“紫铜”，属于重金属。

性能：无磁性，优良的导热导电性，优良的加工性，耐腐蚀性（大气、海水和冷凝水）

应用：导电导热及耐蚀器件；仪表零件；配置铜合金；

## 2、铜合金

向纯铜中加入合金元素即得到铜合金。加入元素：Zn, Sn, Al, Mn, Ni, Fe, Be, Ti, Si, Cr 等；

## 3、铜合金的分类

按生产方式分：加工铜合金

铸造铜合金

## 4、工程上常用的加工铜合金

加工铜合金按照合金元素可分为加工黄铜、加工青铜和加工白铜。

1) 加工黄铜（Cu—Zn 合金）：（代号 Hxx）

组织特点：单相（黄铜）；双相黄铜；

性能特点：塑性好、强度低；

用途：冷轧板，冷拔线材、管材；深冲压零件。冷凝管散热器等；弹壳；制造枪炮弹壳。

H68, H70——称“弹壳黄铜”

H62, H59——水管、油管、散热器“商业黄铜”。

2) 加工白铜（Cu—Ni 合金）：（代号 Bxx）

组织：单相 α 固溶体；

强化方式：固溶强化，形变强化；

性能：冷热加工性能和耐蚀性好。

应用：精密机械，仪表中零件和冷凝器、热交换器、蒸馏器等冷凝器、蒸馏器、热交换器等。

电工中，热电偶补偿导线。

3) 加工青铜（除了黄铜白铜以外的其它铜合金统称为青铜）。

主要元素：Sn, Al, Si, Be；工业上有锡青铜、铝青铜、硅青铜、铍青铜。

应用：锡青铜具有减磨性、抗磁性、低温韧性、耐腐蚀性等性能特点，用于制造弹性元件，轴承等耐磨、抗磁、耐腐蚀零件。

铝青铜的强度、硬度、耐磨、耐蚀性都高于黄铜、锡青铜高，铸造性能、焊接性能差。主要用于船舶零件如齿轮、轴承、轴套、涡轮、弹性元件等

铍青铜具有高强度、硬度、耐磨性、弹性极限、导电导热性，耐低温、无磁性，受冲击不起火花。主要用于制造重要场合下的弹性元件、耐磨零件防爆工具。

# 第七章 高分子材料

## 一、基本要求

本章主要介绍了高分子材料的合成、结构、聚集状态、性能特点及，工程上常用的高分子材料，包括常用的工程塑料、橡胶、合成纤维、及粘接剂。要求学生掌握高分子链与高分子材料的性能的关系、高分子材料的性能特点及其合理使用。

## 二、重点内容

- 1、了解高分子材料的含义及合成方法
- 2、掌握高分子链与高分子材料的性能的关系
- 3、熟悉高分子材料的性能特点
- 4、熟悉高分子材料的分类及其典型应用

## 三、难点

高分子材料的成份、结构与性能的关系

## 四、基本知识点

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>38</sup>考研、就业尽在材料人网



## 第一节 高分子材料的定义、合成与结构

### 1、高分子材料

以相对分子质量大于 5000 的高分子化合物为主要组成的材料。

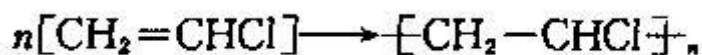
分类：有机高分子 无机高分子

有机高分子又包括天然的和人工合成的，其中天然的有松香、淀粉、蛋白质，人工合成的有塑料、橡胶、粘结剂

无机高分子主要有硅酸盐材料、玻璃、陶瓷

### 2、高分子化合物的合成：

由一种或几种低分子化合物, 通过聚合而重复连接成大分子链状结构



相对平均分子质量越大，高分子黏度越大、强度、硬度越大；反之，流动性好

低分子化合物 → 大分子链 → 高分子化合物 → 高分子材料

1) 聚合物反应类型：加聚反应 缩聚反应

加聚反应：单体经多次相互加成生成高分子化合物的化学反应

特点：一旦开始，就迅速进行，不停留在反应的中间阶段，直至最后形成产品；链节和单体的化学结构相同；没有低分子物质产生。

缩聚反应：由含有两种或两种以上官能团的单体相互缩合聚合生成高聚物

特点：在形成高聚物的同时，有水、氨、卤化氢、醇等低分子物质析出；高聚物具有和单体不同的组成；可在中间阶段停留得到中间产品。

2) 聚合物类型：均聚物 共聚物

均聚物：由一种单体形成的高聚物, 如聚乙烯、聚苯乙烯、尼龙 6 等

共聚物：由两种以上单体合成的高聚物，如丙烯腈 A-丁二烯 B-苯乙烯 S (ABS 塑料)、尼龙 66 等

3) 高聚物改性

物理方法：加入填料（石墨、二硫化钼、铜粉、石棉等）

化学方法：通过共聚、共缩聚、共混、复合等方法

“共聚物”就是高聚物的“合金”

### 3、高分子链结构对性能的影响

1) 高分子链形态（按几何形态分）：线型高分子链 支化型高分子链 体型（网型、交联型）

高分子链形态与高分子化合物的性能

线型、支化型分子链构成的聚合物称为线型聚合物。一般具有高弹性和热塑性；

体型分子链构成的聚合物称为体型聚合物。具有较高的强度和热固性。体形（交联）使聚合物产生老化，使聚合物丧失弹性，变硬变脆

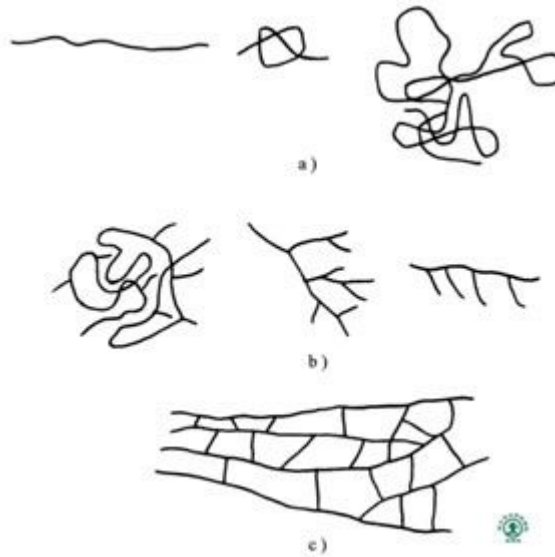


图 7-1 高分子链形态

2) 高分子链的空间构型：高分子链中原子或者原子团在空间的排列形式。

聚合物分子链中若有不对称取代基，就有可能形成不同的链结构。

成分相同的聚合物在不同的链结构下性能不同：

全同和间同立构易结晶，性能好，硬度、密度和软化温度较高。

无规立构不易结晶，性能差，易软化。

3) 高分子链的构像与柔性

构像：分子链的空间形象。

柔性：由于单键内旋转，线性高分子链易呈卷曲或线团状，受拉力易展开，卸载后缩回，这种特性为高分子柔性。

影响因素：

柔性与分子链结构：链长、侧基会使材料硬而脆如：聚苯乙烯硬而脆，聚乙烯软而韧

柔性与温度

柔性与性能：

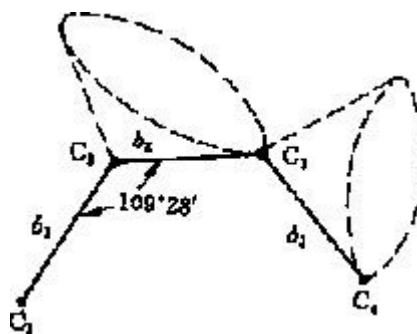


图 7-2 分子链内旋示意图

#### 4、高分子化合物（高聚物）的聚集状态和物理状态

1) 高聚物中的结合力

高分子链上各原子之间是共价键结合，为主价力；

高分子链之间相互作用力是范德华力和氢键，为次价力

2) 高聚物的聚集态

高分子化合物中大分子的排列和堆砌方式称为高聚物的聚集态。

高分子链规则排列：晶态

高分子链不规则排列：非晶态

部分高分子链规则排列：部分晶态

3) 高聚物的物理状态(以线型非晶态高分子化合物为例)

在不同的温度下有三种物理状态：

(1) 玻璃态： $T < T_g$

温度低，分子热运动能力很弱，

高分子链处于“冻结”状态。

受力后弹性变形小，力学性能好。

(2) 高弹态： $T_g < T < T_f$ ：

温度较高，高分子链段运动；

受力后产生较大的弹性变形

(3) 粘流态： $T > T_f$ ；

高分子链段、整个分子链都运动。

稍加外力就产生明显的塑性变形。

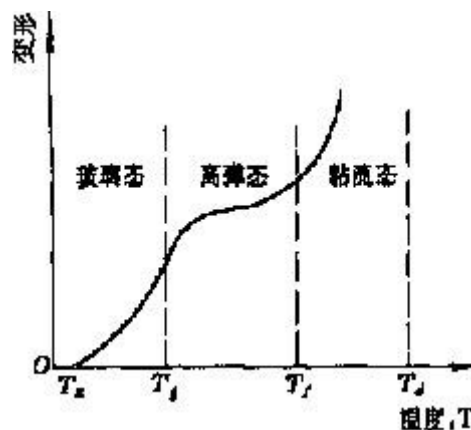


图 7-3 线形非晶态高聚物的变形-温度曲线示意图

(4) 塑料与橡胶

室温下处于玻璃态的高聚物称为塑料。

室温下处于高弹态的高聚物称为橡胶。

室温下处于粘流态的高聚物称为流动树脂。

皮革态：部分晶态线型高分子材料，非晶态区处于  $T_g$  以上，晶态区处于  $T_m$  以下，既韧又硬的状态。

体型非晶态高聚物，其物理状态与网状分子链的交联程度相关。

## 第二节 高分子材料的性能

（综合 除良好的加工性能外，其使用性能特点）

### 1、力学性能特点

低强度，比强度较高（和一些金属材料相当）；低弹性模量，高弹性或无弹性；粘弹性；（蠕变、应力松弛、内耗）；高耐磨性；（摩擦系数低自润滑性）

### 2、物理化学性能

高绝缘性；高化学稳定性（塑料王 F-4）；低导热性；低耐热性；高热膨胀性；溶胀性；

### 3、高分子材料老化

性能恶化的表现：失去弹性、出现龟裂、变应、变软、变粘、变色等；

材料资讯、实验耗材及测试<sup>41</sup>考研、就业尽在材料人网

老化的根本原因：高分子链的交联和裂解。

对策：结构改性（共聚）、防老化剂（水杨酸脂）和表面处理（漆）

### 第三节 常用的高分子材料

（塑料、橡胶、合成纤维、胶粘剂）

#### 1、塑料

以合成树脂为主要成分的合成材料（塑制成型）。

1) 成分： 合成树脂 + 添加剂 （填充剂、增塑剂、稳定剂等）

2) 分类：

按塑料按树脂性质分：热塑性塑料； 热固性塑料；

按应用范围分类：通用塑料和工程塑料（高的机械强度，或耐高温、腐蚀、耐磨等）

3) 常用的热塑性工程塑料

（1）聚酰胺：商品名称为尼龙或锦纶(代号：PA)

树脂：以线型晶态聚酰胺为基体

特点：强度高、韧性好，摩擦系数低，有自润滑性。吸水性大。

应用：在机械行业中应用广泛，如轴承、涡轮、齿轮、凸轮、导板等

（2）ABS 塑料

基体：丙烯腈 A-丁二烯 B-苯乙烯 S 三种单体共聚而成的聚合物

（SAN 塑料+BS 橡胶的复合体）

性能：高强度和高硬度，耐油和耐蚀，“质坚、性韧、刚性大”。

应用：各种电器的外壳，汽车方向盘、仪表盘，飞机舱内装饰板、窗框、隔音板。

（3）氟塑料：聚四氟乙烯(F-4)，聚三氟乙烯，聚全氟乙丙烯。

性能：极优越的化学稳定性，良好的热稳定性；良好的绝缘性，摩擦系数小，有自润滑性，不易老化。

缺点：强度较低，在 390° C 以上分解放出有毒气体，加工成型性较差。

应用：主要用于制造减磨密封零件、密封圈、垫圈等；化工工业中耐腐蚀零件、管道、内衬材料、过滤器，盛放氢氟酸容器；电工中的绝缘材料；医疗中的代用血管、人工心肺等

4) 热固性塑料

（1）酚醛塑料（以非晶态酚醛树脂为基体）+ 填料

性能特点：有一定的机械强度，耐热性好；

具有较高的耐腐蚀性、耐磨性、良好的绝缘性。

脆性大，易碎，阳光下易变色，多是黑色、墨绿色。

应用： 电器开关、插头等绝缘器件；

机械行业中的齿轮、凸轮、手柄等，

化工中的耐酸泵。

（2）环氧塑料（以非晶态酚醛树脂为基体）+ 固化剂+增塑剂+填料

性能特点：比强度高，耐热、耐腐蚀、绝缘、易加工

成本高，固化剂有毒

5) 热塑性和热固性塑料的特点

热塑性塑料

树脂：聚合树脂，线型高分子链。

加热融化、冷却硬化，可反复进行；可以循环使用。

热固性塑料

树脂：缩聚树脂，体型高分子链；  
加热发生化学反应，固化为坚硬制品；  
不溶解，加热时不再融化，不能循环使用。

## 2、橡胶

具有高弹性的有机高分子材料

主要组分：生胶+配合剂+增强材料

工业中常用的橡胶

### 1) 天然橡胶 (NR)

生产：胶乳 → 片状生胶 → 硫化 → 橡胶制品；

性能特点：有较好的弹性，一定的抗拉强度，

较好的耐碱性能；耐油性和耐溶性较差，不耐高温；

应用：制造轮胎、胶带、胶管、胶鞋等

### 2) 通用合成橡胶：丁苯橡胶、顺丁橡胶、氯丁橡胶、乙丙橡胶

丁苯橡胶：由丁二烯和苯乙烯聚合而成。用量最大的合成橡胶

性能特点：苯乙烯多，硬度、耐磨、耐蚀高，但弹性、耐寒差。弹性不如天然橡胶，强度低，加工性差。

应用：由于价格低，和天然橡胶混合使用，主要用于制造轮胎

顺丁橡胶：由丁二烯单体聚合而成。

性能特点：弹性、耐磨性、耐寒性具优于天然橡胶。强度低，加工性差。

应用：主要用于制造轮胎、耐寒运输带、胶带、减震器、耐热胶管等。

氯丁橡胶 (CR)：由氯丁二烯聚合而成。有“万能橡胶”之称。

性能特点：耐油、耐溶剂，耐氧化、耐老化、耐酸、耐热、耐燃烧、耐挠曲等性能，弹性好，绝缘性、强度也较高。

应用：矿井的运输带，电缆包皮，输送腐蚀介质的管道，耐热运输带，制造耐燃橡胶的主要材料。

### 3) 特种合成橡胶

丁腈橡胶：突出优点是耐油性好。

应用：制作耐油制品，如油箱、油封、输油管等；

硅橡胶：突出优点是耐高温和低温，抗老化性能好，无毒无味；

应用：航空中的密封件，或食品机械中零件，

医用中的人造心脏和人造血管。

氟橡胶：突出优点是耐腐蚀性很好，耐热性也好。

应用：主要用于国防科技中，如航天飞行器、导弹的高级密封件，减振元件等。

## 第八章 陶瓷材料

### 一、基本要求

本章主要介绍了工程上常用的无机非金属材料，包括其性能特点、增强增韧途径、及其强度设计，最后简单介绍了粉末冶金及其材料。要求学生掌握陶瓷材料的性能特点、显微组织特点及其合理使用，普通陶瓷及特种陶瓷的区别，常见特种陶瓷的组织、性能和应用，及陶瓷材料强度设计理念。

### 二、重点内容

1、陶瓷材料显微组织及力学性能特点

2、陶瓷材料的增强增韧途径

3、氧化铝、氮化硅、碳化硅的显微组织、力学性能及应用

材料资讯、实验耗材及测试<sup>43</sup>考研、就业尽在材料人网

### 三、难点

陶瓷材料增强增韧途径

### 四、基本知识点

#### 1、陶瓷材料的定义及制备工艺

陶瓷是无机非金属材料，用天然的或人工合成粉状化合物通过成型、高温烧结而制成的多晶固体材料。

制粉（料浆、泥团） → 压（素、生）坯 → 烧结 → 成品

#### 2、陶瓷材料的组织结构

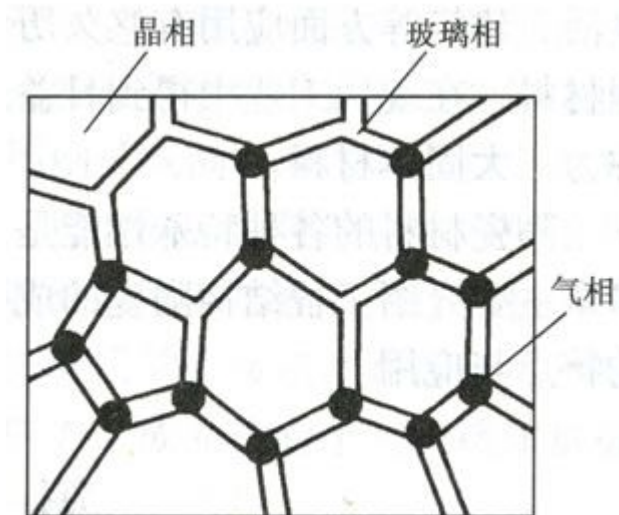


图 8-1 构成陶瓷材料的相：晶相、玻璃相、气孔相

晶相：主要组成相，由离子键或共价键结合而成，决定陶瓷的性能：高熔点、高耐热性、高化学稳定性、高绝缘性、高脆性。

玻璃相：烧结助剂和组成相烧结时形成的非晶态固体，将晶相粘结在一起，降低烧结温度，抑制晶相晶粒长大和填充气孔。熔点低、稳定性差，蠕变、绝缘性

气相：气孔（5%—10%）。增加脆性、降低强度、电击穿强度降低，绝缘性能降低。但可以提高吸振性，使陶瓷密度减小。

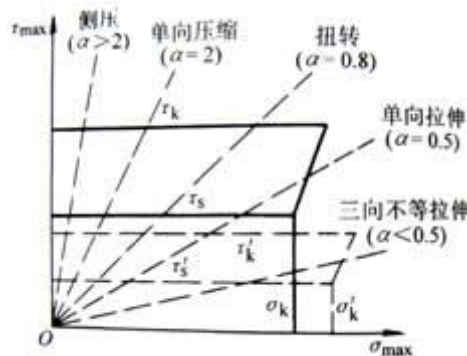


图 8-2 材料的力学行为

#### 3、性能特点

力学性能：

硬度极高：（> 1500HV）

低的抗拉强度（缺陷影响）；

材料资讯、实验耗材及测试<sup>44</sup>考研、就业尽在材料人网

高的抗压强度。

高弹性模量

高脆性，低的塑性、韧性

物理化学性能：

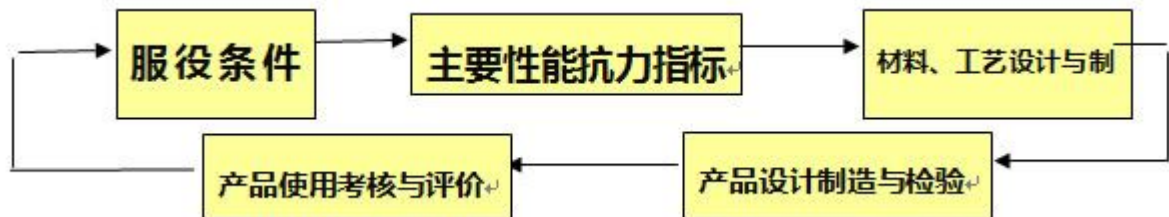
高熔点 ( $T_m > 2000^\circ \text{C}$ ) (高温强度、高温蠕变抗力)

低的热膨胀系数、热导率 (抗热振性能较低) 良好的绝缘性

特殊的光、电、磁性能：如压电性能、激光性能等

结构稳定，化学稳定高，抗氧化性好。

#### 4、设计理念



### 服役条件失效分析

### 主要性能抗力指标

材料、工艺设计与制备材料性能评价与优化

产品设计制造与检验

产品使用考核与评价

#### 5、陶瓷的分类及应用

1) 普通陶瓷：由粘土、长石、石英为原料配制，烧结而成。

组织：主晶相 莫来石 ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) 25—30%；次晶相 ( $\text{SiO}_2$ )；玻璃相 35—60%；气相 1—3%

性能特点：质地坚硬，不氧化、不生锈、耐高温；成型性好，成本低。强度低，绝缘性、耐高温性不如其它陶瓷。

应用：生活中常用的各类陶瓷制品；电瓷绝缘子耐酸、的容器和反应塔管道，纺织机械中的导纱零件

2) 特种陶瓷：以纯度较高的人工化合物为原料制作的陶瓷

氧化铝陶瓷：刚玉

组织： $\text{Al}_2\text{O}_3$  主晶相，还有少量  $\text{SiO}_2$ ；

性能：硬度高；耐高温（抗氧化性能，高的蠕变抗力）；

耐腐蚀，绝缘性好；

脆性大，抗热振性差；

氮化硅陶瓷： $\text{Si}_3\text{N}_4$

材料资讯、实验耗材及测试<sup>45</sup>考研、就业尽在材料人网

制备有两种方法：热压烧结；反应烧结

性能特点：硬度高，摩擦系数小，极优异的耐磨材料。

蠕变抗力高，热膨胀系数小，抗热振性能最好。

化学稳定性好(除氢氟酸外)，优异的绝缘性能。

碳化硅陶瓷：SiC。

制备：反应烧结；热压烧结；

性能特点：高温强度高，导热性好。耐放射元素辐射；

热稳定性、抗蠕变、耐腐蚀性能好；

氮化硼陶瓷：BN；

晶体结构：六方结构，与石墨相似，称“白石墨”。

性能特点：耐热性、导热性好；热稳定好，抗热振性好；

核反应堆中吸收热中子的控制棒

### 3) 金属陶瓷

成分：金属氧化物或碳化物 + 添加适量的金属粉末

制备：粉末冶金

过程：制粉→压制成型→烧结→后处理

性能特点：高硬度、高热硬性、高耐磨性（由于高速刚）；

抗压强度高，抗弯强度低，弹性模量高。

耐蚀性好，热膨胀系数比钢低；

脆性大，不能用于切削的方法加工

## 第九章 复合材料

### 一、基本要求

本章主要介绍了工程上常用的复合材料，包括其性能特点、增强材料及其增强机制，常用复合材料，包括塑料基复合材料、金属基复合材料、橡胶基复合材料、陶瓷基复合材料等。

### 二、重点内容

1、复合材料的定义和分类

2、复合材料的结构与性能特点

3、塑料基复合材料的应用

### 三、难点

增强材料及其增强机制

### 四、基本知识点

#### 1、复合材料

定义：将两种或者两种以上的材料用人工方法合成的多相材料。

特点：既保持组成材料的特性又具有组合后的新特性。

#### 2、复合材料的分类

1) 按照基体来分

非金属基复合材料，如树脂基复合材料、橡胶基复合材料、陶瓷基复合材料等

金属基复合材料：铝基复合材料、钛基复合材料和铜基复合材料。

2) 按照增强相的形态来分类

纤维增强复合材料

颗粒增强复合材料



叠层复合材料

### 3、复合材料的性能特点

#### 1) 比强度和比模量高

比强度和比模量高时材料承载能力的重要指标，复合材料的密度小，所以比强度和比模量高

#### 2) 抗疲劳和破坏安全性能好

复合材料的疲劳强度较高;破坏安全性能好

#### 3) 高温性能优良

提高基体材料的使用温度和高温强度和模量

#### 4) 减振性能好

避免构件在工作状态下产生共振; 另外复合材料的吸振性能好。

### 4、增强材料与增强机制简介

复合材料=基体+界面+增强相

#### 1) 增强材料

纤维: 玻璃纤维 碳纤维 Kevlar 纤维 B 纤维

颗粒: 各种陶瓷颗粒 SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> SiC;

高分子材料的各种填料

#### 2) 增强机制

纤维增强: 纤维化 基体保护 纤维裂纹界面扩展 纤维的拔出

颗粒增强: 阻碍位错或分子链运动

### 5、常用的复合材料

#### 1) 塑料基复合材料

##### (1) 玻璃纤维增强塑料(玻璃钢):

性能特点: 高强度、高的冲击韧性、良好的低温性能, 低的热膨胀系数; 具有绝缘、绝热性, 吸水性低, 通过改性进一步提高性能。

应用: 应用于制造要求自重轻的受力构件、要求无磁性、绝缘性、耐腐蚀性的零件

##### (2) 其他纤维增强塑料

碳纤维增强 B 纤维增强 Kevlar 增强

#### 2) 金属基复合材料

##### (1) 纤维增强铝基复合材料: B 纤维增强铝基复合材料

组成: 硼纤维+铝合金

性能特点: 高的拉伸模量、高横向模量、高的抗压强度、剪切强度和疲劳强度以及比强

##### (2) 颗粒增强铝基复合材料: SiC 颗粒增强铝基复合材料

特点: 与纤维增强复合材料相比, 颗粒增强金属基复合材料的工艺简单, 价格便宜。

应用: 用于汽车的驱动轴、刹车盘、发动机的缸套等

## 第十章 功能材料

### 一、基本要求

本章主要介绍了电功能材料、磁功能材料、热功能材料、光功能材料及其它功能材料的性能特点、功能原理、种类及用途。要求学生自学。

### 二、重点内容

电功能材料及磁功能材料

### 三、难点

半导体的能带理论, 超导体的约瑟夫森效用。

材料资讯、实验耗材及测试<sup>47</sup>考研、就业尽在材料人网

#### 四、基本知识

### 第一节 概述

#### 1、定义

以特殊的电、磁、声、光、热、力、化学及生物学等性能作为主要性能指标的一类材料。是用于非结构目的高技术材料。

功能材料在电力技术、电子信息技术、微电子技术、激光技术、空间技术、海洋技术等领域得到广泛应用。

#### 2、分类

功能材料种类繁多，涉及面广，有多种分类方法。目前主要是根据材料的化学组成、应用领域、使用性能进行分类。

按化学组成为金属功能材料、陶瓷功能材料、高分子功能材料和复合功能材料。

按应用领域分为电工材料、能源材料、信息材料、光学材料、仪器仪表材料、航空航天材料、生物医学材料和传感器用敏感材料等。

按使用性能分为电功能材料、磁功能材料、光功能材料、热功能材料、化学功能材料、生物功能材料、声功能材料和隐形功能材料等。

#### 3、功能材料的现状

近几年来，功能材料迅速发展，已有几十大类，10 万多品种，且每年都有大量新品种问世。现已开发的以物理功能材料最多，主要有：

- 1) 单功能材料，如：导电材料、介电材料、铁电材料、磁性材料、磁信息材料、发热材料、热控材料、光学材料、激光材料、红外材料等。
  - 2) 功能转换材料，如：压电材料、光电材料、热电材料、磁光材料、声光材料、电流变材料、磁敏材料、磁致伸缩材料、电色材料等。
  - 3) 多功能材料：如防振降噪材料、三防材料（防热、防激光和防核）、电磁材料等。
  - 4) 复合和综合功能材料，如：形状记忆材料、隐身材料、传感材料、智能材料、显示材料、分离功能材料、环境材料、电磁屏蔽材料等。
  - 5) 新形态和新概念功能材料，如：液晶材料、梯度材料、纳米材料、非平衡材料等。
- 目前，化学和生物功能材料的种类虽较少，但其发展速度很快，其功能也更多样化。

#### 4 功能材料的展望

展望 21 世纪，功能材料的发展趋势为：

- 1) 开发高技术所需的新型功能材料，特别是尖端领域（航空航天、分子电子学、新能源、海洋技术和生命科学等）所需和在极端条件下（超高温、超高压、超低温、强腐蚀、高真空、强辐射等）工作的高性能功能材料；
- 2) 功能材料的功能从单功能向多功能和复合或综合功能发展，从低级功能向高级功能发展；
- 3) 功能材料和器件的一体化、高集成化、超微型化、高密积化和超分子化；
- 4) 功能材料和结构材料兼容，即功能材料结构化，结构材料功能化；
- 5) 进一步研究和发展功能材料的新概念、新设计和新工艺；
- 6) 完善和发展功能材料检测和评价的方法；
- 7) 加强功能材料的应用研究，扩展功能材料的应用领域，加强推广成熟的研究成果，以形成生产力。

#### 5、主要内容

电功能材料、磁功能材料、热功能材料、光功能材料及其它功能材料简介。

## 第二节 电功能材料

### 1、半导体材料

1) 导电性能介于金属和绝缘体之间；（ $\sigma = 10^{-7} \sim 10^4$ ）

具有负的电阻温度系数（导体具有正的电阻温度系数）。

2) 半导体的能带结构

能带：由于相邻原子电子云相互交叠，对应于孤立原子中的每一能级都将分裂成有一定能量宽度的能带。

带隙：能带之间的区域

禁带：带隙不存在电子能级

价带：对应价电子能级的能带

空带：价带上面的能带

导带：最靠近价带的空带

满带：价带被电子填满

导体的能带中都有未被填满的价带，在外电场的作用下，电子可由价带跃迁到导带，从而形成电流。

绝缘体的能带结构是满带与导带之间被一个较宽的禁带所隔开，在常温下几乎很少有电子可以被激发越过禁带，因此其电导率很低。

半导体能带结构下面是价带，其价带是充满了电子，因此是一个满价带。上面是导带，而导带是空的。

满价带和空导带之间是禁带，其禁带宽度比较窄，一般在 1eV 左右。价带中的电子受能量激发后，如果激发能大于  $E_g$ ，电子可以从价带跃迁到导带上，同时在价带中留下一个空的能级位置——空穴。

3) 半导体的导电机理

半导体价带中的电子受激发后从满价带跃到空导带中，跃迁电子可在导带中自由运动，传导电子的负电荷。同时，在满价带中留下空穴，空穴带正电荷，在价带中空穴可按电子运动相反的方向运动而传导正电荷。因此，半导体的导电来源于电子和空穴的运动，电子和空穴都是半导体中导电的载流子。

4) 典型半导体材料及其应用

按组成分类：元素半导体、化合物半导体和固溶体半导体。

5) 半导体材料的应用

半导体材料在集成电路上的应用：最早用锗单晶制造二极管和三极管；现在发展硅器件，以硅单晶为基材的集成电路在电子器件中占主导地位。化合物半导体砷化镓做微波、超高频晶体管等；

半导体在光电子器件、微波器件和电声耦合器上的应用：发光管、激光器、光电池、光集成等；

半导体材料在传感器上的应用：半导体传感器

### 2、超导材料

1) 定义

超导电现象：材料的电阻随温度降低而减小并最终出现零电阻的现象。

超导体：低于某一温度出现超导电性的物质。

2) 超导体的基本特性

完全导电性（零电阻）；

完全抗磁性；

材料资讯、实验耗材及测试<sup>49</sup>考研、就业尽在材料人网

临界温度 ( $T_c$ )、临界磁场 ( $H_c$ )、临界电流  $J_c$  是约束超导现象的三大临界条件；约瑟夫森 (B D Josephson) 效应：承担超导电的超导电子还可以穿越极薄绝缘体势垒。

### 3) 超导体的种类

按照迈斯纳 (Meissner) 效应分类：第一类超导体 (软超导体) 和第二类超导体 (硬超导体)

4) 超导材料：元素超导体、合金超导体、金属间化合物超导体、陶瓷超导体和高分子超导体。

### 5) 超导材料的应用

超导的应用，基本上可以分为强电强磁和弱电弱磁两大类。

超导强电强磁应用：

主要基于超导体的零电阻特性和完全抗磁性以及非理想第二类超导体所特有的高临界电流密度和高临界磁场。

主要应用在电力方面如超导电缆、超导磁体 (如超导磁悬浮列车)、巨大环形超导磁体、超导磁分离等。

超导弱电弱磁的应用：

基于 Josephson 效应为基础，建立极灵敏的电子测量装置为目标的超导电子学，发展了低温电子学。如超导量子干涉器件是一种高灵敏度的测量装置，主要功能是测量磁场。它可以在电工仪表、医学、生物、资源开发、环境保护、固体材料、地球物理等领域应用。

## 3、电接点 (触头) 材料

电接点是建立和解除电接触的导电构件，广泛应用于电力系统、电器装置，仪器仪表、电信和电子设备。

按电负荷的大小，电接点分为：强电、中电和弱电。

## 第三节 磁功能材料

### 1、简介

磁性是物质的基本属性之一。磁性现象是与各种形式的电荷运动相关联的，由于物质内部的电子运动和自旋会产生一定大小的磁场，因而产生磁性。一切物质都具有磁性。但磁性材料通常是指那些在实际工程意义上具有较强磁性的材料。

磁性材料是电子工业的重要基础功能材料，广泛应用于计算机、电子器件、通讯、汽车和航空航天等工业领域，随着世界经济和科学技术的迅猛发展，磁性材料的需求将空前广阔。当前我国磁性材料的发展居世界之首，已经成为世界上永磁材料生产量最大的国家。

### 2、基本概念

“磁”来源于电。一个环形电流在其运动中心产生的磁矩为  $P=is$ ， $i$  为电流强度， $s$  为环形回路所包围的面积。

磁场强度 ( $H$ )：指空间某处磁场的大小，单位：安/米；

磁化强度 ( $M$ )：物质的磁性来源于内部的磁矩，只有当内部磁矩同向有序排列时才对外显示强磁性。单位体积内磁矩矢量和称为  $M$ ，单位：安/米；

磁感应强度 ( $B$ )：物质在外磁场作用下，其内部原子磁矩的有序排列还将产生一个附加磁场。在磁性材料内部外加磁场与附加磁场的和，称为磁感应强度。 $B = \mu_0 (H+M)$ ， $\mu_0$  是一个系数，叫做真空磁导率。磁感应强度又称为磁通密度，单位是特斯拉 (T)；

磁导率 ( $\mu$ )： $\mu=B/H$ ，是磁化曲线上任意一点上  $B$  和  $H$  的比值。导磁率实际上代表了磁性材料被磁化的容易程度，或者说是材料对外部磁场的灵敏程度；

磁化率 ( $\chi$ )：磁化强度与磁场强度的比值， $\chi = M / H$ 。

### 3、磁滞回线

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>50</sup> 考研、就业尽在材料人网

在外加磁场的作用下磁体会被磁化，磁体内部的磁感应强度  $B$  随外磁场  $H$  的变化是非线性的，当  $H$  减少为零时， $B$  并未回到零值，出现剩磁  $B_r$ 。磁感应强度滞后于磁场强度变化的性质称为磁滞性。图为磁性物质的磁滞曲线：

要使剩磁消失，通常需进行反向磁化。将  $B=0$  时的  $H$  值称为矫顽磁力  $H_c$ ； $B_r$  称为剩余磁感应强度， $B_s$  称为最大磁感应强度（饱和磁感应强度）。

图 10-1 软磁材料和硬磁材料的磁滞回线

#### 4、磁性材料的分类

根据滞回曲线和磁化曲线的不同，分成三类：

- (1) 软磁材料：其矫顽磁力较小，磁滞回线较窄。（铁心）
- (2) 硬磁材料：其矫顽磁力较大，磁滞回线较宽。（磁铁）
- (3) 矩磁材料：其剩磁大而矫顽磁力小，磁滞回线为矩形。（记忆元件）

#### 5、软磁材料

1) 定义：指在外磁场作用下，很容易磁化，去掉外磁场时又很容易去磁的磁性材料。

2) 软磁材料的特性

高的磁导率和磁感应强度；

矫顽力和磁滞损耗低；（矫顽力一般小于  $1\text{kA/m}$ ）

电阻率较高，反复磁化和退磁时产生的涡流损耗小。

3) 典型软磁材料及其应用

常用的软磁材料有：电工纯铁、硅钢片、铁铝合金、镍铁合金、铁氧体软磁材料等。

#### 6、硬磁材料

硬磁材料是具有很强的抗退磁能力和高的剩余磁感应强度的强磁性材料，又称永磁材料。

硬磁材料一旦经外加磁场饱和强化后，如果撤去外加磁场，在磁铁两个磁极之间的空隙便可产生恒定磁场，对外界提供有用的磁能。

硬磁材料的磁滞回线又宽又高，有较大的矫顽力，典型只为  $10^4 \sim 10^6 \text{A/m}$ 。

硬磁材料抗干扰性好，对温度、振动、时间、辐射及其它因素的干扰不敏感。典型的硬磁材料主要包括铝镍钴系永磁、铁氧体永磁和稀土系永磁。

#### 7、磁致伸缩材料

1) 磁致伸缩效应：磁性材料在外磁场作用下，产生伸长或缩短的现象—为磁致伸缩效应。

2) 常用磁致伸缩材料：镍、铁镍、铁铝、铁钴钒、铁氧体。

3) 磁致伸缩材料的应用

在磁（电）—声换能器中的应用：声纳、超声换能器、扬声器等。

在磁（电）—机械致动器中的应用：精密流体控制、超精密加工、超精密定位、机器人、精密阀门、微马达以及振动控制等工程领域。

传感器敏感元件：超磁致伸缩材料除用于驱动之外，利用其磁致伸缩效应或逆效应还可以制作检测磁场、电流、应变、位移、扭矩、压力和加速度等的传感器敏感元件。磁致伸缩液位传感器，可实现对液位的高精度计量，其测量分辨率高于  $0.11 \text{ mm}$ 。

### 第四节 热功能材料

#### 1、简介

1) 定义：随着温度的变化，有些材料的某些物理性能会发生显著变化，如热胀冷缩、出现形状记忆效应或热电效应等，这类材料称为热功能材料。

2) 本节主要内容：膨胀材料、形状记忆材料、测温材料。

#### 2、膨胀材料

材料资讯、实验耗材及测试<sup>51</sup>考研、就业尽在材料人网

热膨胀是指材料的长度或体积在不加外力时随温度的升高而变大的现象。

材料热膨胀的本质是原子间的平均距离随温度的升高而增大，即是由原子的非简谐振动引起的。

材料热膨胀系数的大小与其原子间的接合键强弱有关，结合键越强，则给定温度下的热膨胀系数越小，材料中陶瓷的结合键（离子键和共价键）最强，金属的（金属键）次之，高聚物的（范德华力）最弱，因此热膨胀系数依次增大。

常用的膨胀材料包括低膨胀材料、定膨胀材料和热双金属材料

### 3、形状记忆材料

将具有某种初始形状的制品进行变形后，通过加热等手段处理时，制品又恢复到初始形状。

形状记忆材料通常包括：形状记忆合金、形状记忆聚合物、形状记忆陶瓷。

形状记忆材料的应用：机械工程领域 热套；生物医学方面 接骨板、人工关节等；空间技术 压缩天线。

## 第五节 光功能材料

### 1、分类

光功能材料按用途分为：光介质材料、固体激光材料、固体发光材料、非线性光学材料、金铁电光晶体材料、光导纤维、光学薄膜和弹光与声光材料等。

### 2、固体激光材料

#### 1) 激光的产生

只有能量为  $h\nu = E_2 - E_1$  的光子才能引起受激辐射；

受激辐射后，就有两个能量都是  $h\nu$  的光子；

受激辐射光的位相、偏振都与入射光相同；

在外界光子引发受激辐射的同时，也发生吸收的过程；

处于低能态的原子数总是很多，外界光子被吸收的可能性更大，引发受激辐射的可能性很小。

#### 2) 产生激光的必要条件

只有让高能级的原子数大于低能级的原子数；（也叫粒子数反转）

才可能使受激辐射的几率大于吸收几率；

维持连续不断的受激辐射。

#### 3) 产生激光的充分条件

单色光

粒子数反转产生的激光寿命短、微弱，没有实用价值；

必须经过光谐振器，使光子不断增值，最后产生很强的位相相同的单色光，就是实用的激光。

### 3、光导纤维

1) 光纤是一种非常细的可弯曲的导光材料。单根光纤的直径约为几到几百微米，它由内层材料（芯料）和包层材料（涂层）组成的复合结构。为了保护其不受损坏、最外面再加一层塑料套管。

2) 常用光纤材料：石英玻璃光纤、多组分玻璃光纤、高双折射偏振保持光纤、单偏振光纤、各种传感器用光纤等。

## 第六节 其它功能材料

### 1、主要内容

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>52</sup>考研、就业尽在材料人网

敏感材料、储氢材料、隐形材料、声功能材料。

## 2、敏感材料

敏感材料可以分为：声、光、电压、磁、气、热、湿、力、电化学、生物等敏感材料

气敏感材料：随着环境气氛的变化，这类材料的电阻会明显改变，俗称“电鼻子”，用以检测环境中气氛的变化。

光敏感材料：光敏感材料是指与光发生作用后，某些性质会发生明显变化，以反映光信号的强弱及其携带的信息。

声敏感材料：压电材料：压电晶体、压电陶瓷。

## 3、储氢材料

1) 储氢合金：镁系、稀土系、钛系。

2) 应用：

储氢容器：储氢合金的储氢密度高于液态氢的密度。

氢化物电极：镍氢电池比能量高、对人体无害。

制备超纯氢：含有杂质的氢气与储氢合金接触，氢被合金吸收，杂质则被吸附在合金表面。

## 4、隐形材料

1) 隐身技术是通过降低武器装备等目标的可探测信息特征，使敌方探测系统难以发现或者发现距离缩短的综合技术。

广泛用于：飞机、导弹、坦克、舰船等。

2) 雷达隐形材料

雷达隐身技术中目前主要使用吸波涂料、吸波结构材料、透波材料和智能蒙皮材料。

## 5、声功能材料

主要用在声发射、声接收、声光转换以及声吸收等方面。

# 2011

1. 热电偶测温原理及常用热电偶及其测温区间
2. 什么是形状记忆原理？什么是形状记忆合金？两个用形状记忆合金制成的管道如何铆接？
3. 机械工程材料选材工艺路线及原则？汽车拖拉机齿轮一般选用什么钢？并写出其加工工艺路线
4. 缺口对材料性能的影响？
5. 什么是石墨化？铸铁的石墨形态对铸铁的力学性能的影响？
6. 说出塑料与橡胶的本质区别
7. 材料的韧性分为几种及其特点
8. 铝合金的分类及铝合金相图的一般形式
9. 什么是临界变形度？为什么冷热加工都要避开临界变形度？
10. 影响过冷奥氏体等温转变的主要因素有哪些？定性比较亚共析钢，共析钢，过共析钢的奥氏体等温转变图。

一、填空题（每空 1 分，共 30 分）

1. 纯金属常见的晶体结构有面心（1）结构，体心（2）结构和密排（3）结构。金属中常见的点缺陷为（4），线缺陷为（5），面缺陷为（6）；工程实践中，通常采用（7）晶体缺陷数量的方法强化金属
2. 铁素体的强度高于纯铁，是由于发生了（8）强化；孕育铸铁的强度高于普通灰口铸铁，是由于发生了（9）强化；冷变形钢丝的强度高于退火态钢丝，是由于发生了（10）强化；珠光体的强度高于铁素体，是由于发生了（11）强化。
3. 石墨为片状的灰口铸铁称为（12）铸铁，石墨为团絮状的灰口铸铁称为（13）铸铁，石墨为球状的灰口铸铁称为（14）铸铁。其中，（15）铸铁的韧性最（16），因而可以锻造。
4. 高分子材料中分子链的形状有三种，其中的（17）型具有热固性，而（18）具有热（19）性。按照物理状态，室温下处于（20）态的高分子材料称为塑料，处于（21）态的称为橡胶。高分子材料的加工成型是在其（22）态下进行的。
5. 滑动轴承材料的显微组织特征是：（23）粒子分布在软（24）中，或（25）粒子分布在硬（26）中，前者的承载能力（27）于后者。
6. 陶瓷材料中的气相是指（28），它是在（29）过程中形成的，它（30）了陶瓷的强度。

二、判断题（每小题 1 分，共 10 分）

1. 回火托氏体和托氏体都是由铁素体和渗碳体两个相构成的组织，因而他们的性能相同。
2. 冷却速度越快，钢的淬透性越高。
3. 钢的淬透性越高，产生焊接裂纹的倾向越大。
4. 铝合金也可以象钢那样通过淬火明显提高其硬度。
5. 所有强化金属的手段，都在提高强度的同时降低了韧性。
6. 可锻铸铁中的团絮状石墨是浇注球墨铸铁时石墨球化不良的结果。
7. 一定加热温度下，奥氏体晶粒长大倾向小的钢称为本质细晶粒钢。
8. 所谓过量弹性变形，是指零件发生了塑性变形。
9. 铝极易氧化，故铝制品的抗氧化失效能力极差。
10. 弹簧钢淬火后采用中温回火是想提高钢的弹性模量。

三、单项选择题（每小题 1 分，共 10 分）

1. 40 钢钢锭在 1000℃左右轧制，有时会发生开裂，最可能的原因是  
(a) 温度过低；(b) 温度过高；(c) 钢锭含磷量过高；(d) 钢锭含硫量过高
2. 下列碳钢中，淬透性最高的是  
(a) 20 钢；(b) 40 钢；(c) T8 钢；(d) T12 钢
3. Ni 在 1Cr18Ni9Ti 钢中的主要作用是  
(a) 提高淬透性；(b) 固溶强化；(c) 扩大 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中的 $\gamma$ 相区；(d) 细化晶粒
4. W18Cr4V 钢锻造后，在机械加工之前应进行  
(a) 完全退火；(b) 球化退火；(c) 去应力退火；(d) 再结晶退火
5. 下列材料中，最适合制造机床床身的是  
(a) 40 钢；(b) T12 钢；(c) HT300；(d) KTH300-06
6. 下列材料中，最适合制造气轮机叶片的是  
(a) 1Cr13 钢；(b) 1Cr17 钢；(c) 3Cr13 钢；(d) 4Cr13 钢
7. 下列材料中，最适合制造飞机蒙皮的是  
(a) ZAlSi12；(b) 2A50(旧牌号 LD5)；(c) ZAlMg10；(d) 2A12(旧牌号 LY12)
8. 下列材料中，最适合制造盛放氢氟酸容器的是  
(a) 1Cr17；(b) 1Cr18Ni9Ti；(c) 聚四氟乙烯；(d) SiO<sub>2</sub>
9. 下列材料中，最适合制造汽车板弹簧的是



(a) 60Si2Mn; (b) 5CrNiMo; (c) Cr12MoV; (d) GCr15

10. 下列材料中，最适合制造汽车火花塞绝缘体的是

(a) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; (b) 聚苯乙烯; (c) 聚丙烯; (d) 饱和聚酯

#### 四、简答题（共 20 分）

1. （6 分）何谓碳钢中的铁素体、渗碳体、珠光体？他们的力学性能各有何特点？
2. （6 分）写出碳质量分数为 1.2% 的碳钢室温时的相组成物和组织组成物，并计算各相组成物和组织组成物的质量分数。
3. （8 分）示意画出平衡态碳钢的强度随钢的碳质量分数变化曲线，并定性解释该曲线。

#### 五、综合题（共 20 分）

欲用 20CrMnTi 钢制造汽车变速齿轮。

1. （5 分） 定性分析该齿轮的受力情况及常见失效方式。
2. （3 分） 该齿轮应当具有怎样的力学性能特点？
3. （12 分） 写出该齿轮的制造工艺路线，并说明工艺路线中各热处理工序的作用及热处理加热温度和冷却方式。

#### 六、论述题（10 分）

定性比较金属材料、陶瓷材料、高分子材料的性能特点，他们在机械工程中的应用范围有何不同？

---

试题答案

西安交通大学本科生课程考试试题标准答案与评分标准

课程名称: 工程材料基础 课时: 48 考试时间: 2007 年 1 月 24 日

一、填空题(每空 1 分, 共 30 分)

1. (1) 立方; (2) 立方; (3) 六方; (4) 间隙原子或空位或杂质原子; (5) 位错; (6) 晶界或亚晶界; (7) 增加;
2. (8) 固溶; (9) 细晶; (10) 形变; (11) 第二相;
3. (12) 普通灰口; (13) 可锻; (14) 球墨; (15) 球墨; (16) 高;
4. (17) 交联; (18) 线型和支化型; (19) 塑; (20) 玻璃; (21) 高弹; (22) 粘流;
5. (23) 硬; (24) 基体; (25) 软; (26) 基体; (27) 低;
6. (28) 气孔; (29) 烧结; (30) 降低。

二、判断题(每小题 1 分, 共 10 分)

1. 错误; 2. 错误; 3. 正确; 4. 错误; 5. 错误;
6. 错误; 7. 正确; 8. 错误; 9. 错误; 10. 错误。

三、单项选择题(每小题 1 分, 共 10 分)

1. (d); 2. (c); 3. (c); 4. (b); 5. (c);
6. (a); 7. (d); 8. (c); 9. (a); 10. (a)。

四、简答题(共 20 分)

1. (6 分)

铁素体——碳在  $\alpha$ -Fe 中的间隙固溶体, 软而韧。 (2 分)

渗碳体——碳与铁形成的间隙化合物, 硬而脆。 (2 分)

珠光体——铁素体与渗碳体形成的层片状交替排列的机械混合物, 良好的综合力学性能。 (2 分)

2. (6 分)

相组成物:  $\alpha + Fe_3C$ , (1 分)

$$w_{\alpha} \% = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.0008} \times 100\% = 82.07\%, \quad (1 分)$$

$$w_{Fe_3C} \% = 1 - w_{\alpha} \% = 17.93\% \quad (1 分)$$

组织组成物:  $P + Fe_3C$ , (1分)

$$w_p \% = \frac{6.69 - 1.2}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 92.74\%, \quad (1分)$$

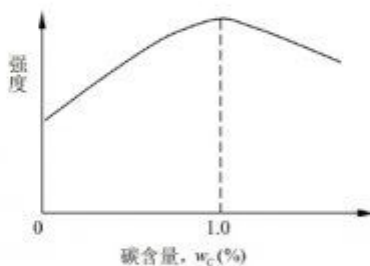
$$w_{Fe_3C} \% = 1 - w_p \% = 7.26\% \quad (1分)$$

3. (8分)

如图所示, (2分)

强度随碳含量增加先增高后下降, 在碳含量约 1.0% 时为强度极大值。 (2分)

强度的这种变化与平衡态碳钢中的组织随碳含量变化有关: 当  $w_c \leq 0.77\%$  时, 钢中的组织为铁素体+珠光体, 且珠光体的分数随碳含量增高而增大, 而珠光体在钢中起强化作用, 故强度随碳含量增加而增高; 当  $w_c > 0.77\%$  后, 钢中的组织为二次渗碳体+珠光体, 二次渗碳体以网状分割珠光体, 且二次渗碳体的分数随碳含量增高而增大。渗碳体硬而脆, 少量的不连续分布的二次渗碳体起强化作用, 故强度随碳含量增加继续增高; 但当  $w_c > 1.0\%$  后, 二次渗碳体的分数增加到呈连续网状分布, 则会在外力作用下首先断裂形成微裂纹, 故强度下降。 (4分)



第四题第3题解答图

五、综合题 (共 20 分)

1. (5分)

弯曲应力 (1分)

接触摩擦应力 (1分)

冲击力 (1分)

齿断裂 (1分)

齿面损伤 (1分)

2. (3分)

高的弯曲疲劳强度 (1分)

足够高的齿心强度和韧性 (1分)

足够高的齿面接触疲劳强度和硬度 (1分)

3. (12分)

下料 → 锻造 → 正火 → 机械加工 → 渗碳、淬火 + 低温回火 → 喷丸 → 磨加工 → 成品 (6分)

正火: 调整硬度, 以利于机械加工;  $\sim 930^{\circ}\text{C}$ , 空冷; (2分)

渗碳、淬火: 提高齿面碳含量, 获得一定马氏体淬硬层, 以提高齿面硬度疲劳强度;

$\sim 930^{\circ}\text{C}$ , 油冷; (2分)

低温回火: 消除淬火应力, 降低脆性, 以提高冲击抗力;  $\sim 200^{\circ}\text{C}$ , 炉冷。 (2分)

六、论述题 (10分)

答案要点:

金属材料的具有加工性能优异, 金属材料可铸造成型, 具有塑性、强度和韧性良好的匹配, 导电导热性好。金属材料是适用范围最广泛的一类工程材料, 可用于工程结构件、机器零件和智能材料, 比如桥梁、曲轴、汽车变速箱齿轮等。 (4分)

陶瓷材料显著的性能特点是硬度高、脆性大、弹性模量高, 抗压强度高, 另外陶瓷材料抗氧化、耐高温, 多数陶瓷电阻率高, 可用于绝缘体。陶瓷材料主要用于耐高温、抗氧化以及需要绝缘的场合, 比如氧化铝陶瓷用于内燃机火花塞绝缘体, 碳化硅陶瓷用于高温轴承等。 (3分)

高分子材料 (本课程主要指有机高分子材料) 其性能特点是低强度、高的比强度, 高弹性模量、高弹性模量。粘弹性和高耐腐性, 另外还有高绝缘性、低耐热性、低导热性以及高的化学稳定性。工程塑料主要用于耐油、耐腐蚀的环境, 橡胶主要用于制造轮胎、减震器、橡胶管等制品。 (3分)

判断题测试 1 上贝氏体的高温转变温度高于下贝氏体，它较之下贝氏体有更高的韧性

正确 错误

2 淬透性高的钢，其淬硬层一定比淬透性低的钢更深

正确 错误

3 可锻铸铁中的石墨是在铸造冷却过程中形成的

正确 错误

4 金属结晶时，冷却速度越快其结晶温度越低

正确 错误

5 铝合金都可通过时效处理来提高强度

正确 错误

6 所有强化金属的手段，在提高强度的同时都使金属的韧性下降

正确 错误

7 淬透性越高的钢其焊接性能越差

正确 错误

8 合金元素能明显提高钢的室温硬度

正确 错误

9 含碳量小于 0.77% 的合金钢并非都属亚共析钢

正确 错误

10 从本质上讲，回火索氏体与正火索氏体是同一种组织，它们性能相同

正确 错误

11 可锻铸铁可以锻造成复杂形状的零件

正确 错误

12 冷却速度越快，钢的淬透性越好

正确 错误

13 金属和合金的弹性模量很难通过合金化、热处理改变

正确 错误

14 采用异类材料匹配可以显著减轻粘着磨损

正确 错误

15 钢淬火后可得到马氏体，强度和硬度显著提高，可以直接使用

正确 错误

16 钢的第二类回火脆性可以通过添加合金元素消除

正确 错误

17 温度降低、加载速率增加都使材料脆性断裂的倾向增大

正确 错误

18 碳钢的强度随含碳量的增加而增加

正确 错误

19 T12 钢可用正火作为预先热处理，目的是降低硬度，改善切削加工性

正确 错误

20 碳钢淬火时，淬火介质的冷却能力越大，工件变形和开裂的倾向越大

正确 错误

21 高分子化合物是由高分子链聚集而成，高分子链之间的作用力为共价力

正确 错误

22 材料断裂前都会发生明显的塑性变形

正确 错误

- 23 用于结构件的金属材料一般都是多晶体  
正确 错误
- 24 复合材料一定是一种多相材料  
正确 错误
- 25 用金属模比用砂模浇注金属铸件可获得更细小的晶粒  
正确 错误
- 26 减小淬火时的冷却速度会降低钢的淬透性  
正确 错误
- 27 可锻铸铁是塑、韧性最好的灰口铸铁  
正确 错误
- 28 对所有使钢"C"曲线的孕育期变长的合金元素都可提高淬透性  
正确 错误
- 29 铝极易氧化，故其抗大气腐蚀能力极低  
正确 错误
- 30 钢淬火后的硬度主要取决于钢中的合金元素  
正确 错误
- 31 淬透性越低的钢越不容易出焊接裂纹  
正确 错误
- 32 形变铝合金都可通过时效处理提高强度  
正确 错误
- 33 正火索氏体和回火索氏体都由  $\alpha$  和  $\text{Fe}_3\text{C}$  两相组成  
正确 错误
- 34 平衡态碳钢在室温下都由  $\alpha$  和  $\text{Fe}_3\text{C}$  两相组成  
正确 错误
- 35 固态纯铁在不同温度范围有不同的晶体结构  
正确 错误
- 36 经冷塑性变形后，金属的强度、硬度升高，但塑性、韧性降低  
正确 错误
- 37 碳钢在淬火时，都需先加热至单相奥氏体状态  
正确 错误
- 38 钢制弹簧淬火后需进行中温回火  
正确 错误
- 39 室温下，橡胶处在高弹态，而塑料处在玻璃态  
正确 错误
- 40 陶瓷材料通常由晶相、玻璃相和气相组成  
正确 错误
- 41 晶粒细小的比粗大的同一种金属，其强度更高，塑性更好  
正确 错误
- 42 球墨铸铁比相同含碳量的白口铸铁塑性更好  
正确 错误
- 43 多晶体材料都是多相材料  
正确 错误
- 44 复合材料可以是单相材料  
正确 错误

- 45 截面较小的零件比截面较大的零件有更高的淬透性  
正确 错误
- 46 淬透性好的钢，淬火后的硬度也一定高  
正确 错误
- 47 16Mn 钢中的 Mn 元素的主要作用是提高淬透性  
正确 错误
- 48 碳钢退火后都是由铁素体和渗碳体组成  
正确 错误
- 49 高速钢淬火后应在 200℃进行低温回火，以获得高硬度和高耐磨性  
正确 错误
- 50 对碳钢在淬火时，通常都先加热到单相奥氏体状态  
正确 错误
- 51 LF5、LY12、LD5 都是变形铝合金  
正确 错误
- 52 材料的硬度越高，则其强度也就越高  
正确 错误
- 53 本质细晶粒钢，是一种在任何加热条件下晶粒均不会粗化的钢  
正确 错误
- 54 为改善低碳钢的机械性能和切削加工性能，常用正火工艺  
正确 错误
- 55 为提高钢制零件的刚度，常用的方法是进行热处理  
正确 错误
- 56 一般材料的使用温度都要求高于它的韧脆转变温度  
正确 错误
- 57 用高速钢制造工具时，首先要对其进行反复锻造，原因是其硬度太高而不易成型  
正确 错误
- 58 铸铁的石墨化过程只与其成分有关，而与其结晶时的冷却速度无关  
正确 错误
- 59 再结晶退火作为软化材料的手段，常用于淬火钢  
正确 错误
- 60 同一种钢在相同加热条件下，水淬比油淬的淬透性好，小件比大件的淬透性好  
正确 错误
- 61 钢的淬硬性主要决定于淬火介质的淬冷能力  
正确 错误
- 62 提高材料屈服强度可增加其疲劳寿命  
正确 错误
- 63 铝有较好的抗氧化能力，是由于铝不易与氧发生反应  
正确 错误
- 64 ZGMn13 有良好的抗冲击磨损性能，是由于其有很高的硬度  
正确 错误
- 65 1Cr18Ni9 有较好的抗腐蚀性能，是由于其处在单相状态  
正确 错误
- 66 在铁碳合金中，共晶反应和共析反应都是在一定成分和一定温度下进行的  
正确 错误

- 
- 67 淬火钢件韧性差的主要原因在于钢中存在残余奥氏体  
正确 错误
- 68 凡是碳钢在结晶过程中都有共析转变，而铸铁只有共晶转变，没有共析转变  
正确 错误
- 69 过冷奥氏体分解时形成的索氏体和回火索氏体，两者只是形成过程不同，但组织形态和性能则是相同的  
正确 错误
- 70 第一类回火脆性是可避免的，第二类回火脆性是不可避免的  
正确 错误
- 71 钢的淬透性主要取决于淬火时的冷却速度  
正确 错误
- 72 玻璃钢是由玻璃纤维与塑料复合而成的复合材料  
正确 错误
- 73 实际金属在不同的方向上的性能是一样的  
正确 错误
- 74 铁素体和奥氏体的根本区别在于它们的溶碳能力不同，前者少，后者多  
正确 错误
- 75 亚共析钢和过共析钢室温相组成物都是 F 和 Fe<sub>3</sub>C  
正确 错误
- 76 包晶反应是液相分解成两个固相的反应，因此，它也是一种三相反应，反应时温度与三个相的成分均发生变化  
正确 错误
- 77 P 元素将造成材料冷脆，S 元素将导致热脆  
正确 错误
- 78 物质从液相转变为固相的过程称为结晶过程  
正确 错误
- 79 Cu、Al 晶体结构为面心立方  
正确 错误
- 80 工业纯铁中含有少量的碳元素  
正确 错误
- 81 钢都需经过热处理后才能使用  
正确 错误
- 82 热加工就是在加热的条件下进行塑性变形  
正确 错误
- 83 所谓退火是将工件加热到临界点以上或临界点以下某一温度保温一定时间后，以十分缓慢的冷却速度冷却的一种操作  
正确 错误
- 84 为了便于切削加工，钢在切削加工前都要进行退火处理  
正确 错误
- 85 弹簧钢需经淬火+高温回火以获得好的综合机械性能和高的弹性极限  
正确 错误
- 86 强度，硬度与塑韧性是一对矛盾，所以当强度，硬度升高时，塑韧性一定下降  
正确 错误
- 87 高锰钢是耐磨钢，在任何情况下，都有较高的抵抗磨损的能力



- 正确 错误
- 88 黄铜具有高的塑韧性，故子弹壳可以用黄铜来做  
正确 错误
- 89 淬火后 A 可以 100%地转变为 M  
正确 错误
- 90 钢淬火后，必须配合适当的回火处理才能使用  
正确 错误
- 91 A 不能在室温下存在  
正确 错误
- 92 本质细晶粒钢的奥氏体晶粒要比本质粗晶粒钢的细小  
正确 错误
- 93 钢中合金元素除钴外，都可提高钢的淬透性  
正确 错误
- 94 马氏体是碳在  $\gamma$ -Fe 中的过饱和固溶体  
正确 错误
- 95 钢淬火后的硬度主要取决于钢的碳含量  
正确 错误
- 96 铝合金都可进行形变强化  
正确 错误
- 97 任何纤维与任何基体都能组成复合材料  
正确 错误
- 98 铁碳合金中的一次渗碳体、二次渗碳体、三次渗碳体、共晶渗碳体及共析渗碳体都属同一个相  
正确 错误
- 99 冷变形纤维组织和热加工纤维组织都会使材料产生各向异性  
正确 错误
- 100 只要加载不超过材料的屈服强度，材料就不会发生断裂  
正确 错误
- 题目 1.回答错误。
- 题目 2.回答错误。
- 题目 3.回答错误。
- 题目 5.回答错误。
- 题目 6.回答错误。
- 题目 8.回答错误。
- 题目 10.回答错误。
- 题目 11.回答错误。
- 题目 12.回答错误。
- 题目 15.回答错误。
- 题目 18.回答错误。
- 题目 19.回答错误。
- 题目 21.回答错误。
- 题目 22.回答错误。
- 题目 26.回答错误。
- 题目 27.回答错误。

题目 29.回答错误。  
题目 30.回答错误。  
题目 32.回答错误。  
题目 37.回答错误。  
题目 43.回答错误。  
题目 44.回答错误。  
题目 45.回答错误。  
题目 46.回答错误。  
题目 47.回答错误。  
题目 49.回答错误。  
题目 50.回答错误。  
题目 52.回答错误。  
题目 53.回答错误。  
题目 55.回答错误。  
题目 57.回答错误。  
题目 58.回答错误。  
题目 59.回答错误。  
题目 60.回答错误。  
题目 61.回答错误。  
题目 62.回答错误。  
题目 63.回答错误。  
题目 64.回答错误。  
题目 67.回答错误。  
题目 68.回答错误。  
题目 69.回答错误。  
题目 70.回答错误。  
题目 71.回答错误。  
题目 74.回答错误。  
题目 76.回答错误。  
题目 78.回答错误。  
题目 82.回答错误。  
题目 84.回答错误。  
题目 85.回答错误。  
题目 86.回答错误。  
题目 87.回答错误。  
题目 89.回答错误。  
题目 91.回答错误。  
题目 92.回答错误。  
题目 94.回答错误。  
题目 96.回答错误。  
题目 97.回答错误。  
题目 100.回答错误。  
其余为正确

# 一 失效分析

## 1 断裂可分为几类？韧性断裂和脆性断裂如何区分？

答：1) 根据材料断裂前所产生的宏观变形量大小，将断裂分为韧性断裂和脆性断裂。

2) 韧性断裂是断裂前发生明显宏观塑性变形。而脆性断裂是断裂前不发生塑性变形，断裂后其断口齐平，由无数发亮的小平面组成。

## 2 断裂过程分为几个阶段？韧性断裂和脆性断裂的断裂过程的区别在哪里？

答：1) 无论是韧性断裂还是脆性断裂，其断裂过程均包含裂纹形成和扩展两个阶段。裂纹自形成到扩展至临界长度的过程称为裂纹亚稳扩展阶段，在这一阶段裂纹扩展阻力大，扩展速度较慢；而把裂纹达到临界长度后的扩展阶段称为失稳扩展阶段，在这一阶段裂纹扩展阻力小，扩展速度很快。

2) 对于韧性断裂，裂纹形成后经历很长的裂纹亚稳扩展阶段，裂纹扩展与塑性变形同时进行，直至达到临界裂纹长度，最后经历失稳扩展阶段而瞬时断裂，因此韧性断裂前有明显的塑性变形。

对于脆性断裂，裂纹形成后很快达到临界长度，几乎不经历裂纹亚稳扩展阶段就进入裂纹失稳扩展阶段，裂纹扩展速度极快，故脆性断裂前无明显塑性变形。

## 3 什么是材料的韧性？评价材料韧性的力学性能指标有哪些？

答：1) 韧性是表示材料在塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力，它是材料强度和塑性的综合表现。材料韧性好，则发生脆性断裂的倾向小。

2) 评价材料韧性的力学性能是冲击韧性和断裂韧性。

冲击韧性是材料在冲击载荷下吸收塑性变形功和断裂功的能力，常用标准试样的冲击吸收功  $A_k$  表示。

断裂韧性  $K_{Ic}$  是评定材料抵抗脆性断裂的力学性能指标，指的是材料抵抗裂纹失稳扩展的能力。

## 4 材料韧性指标的含义及应用？

答：1) 冲击吸收功  $A_k$  是衡量材料冲击韧性的力学性能指标，冲击吸收功由冲击试验测得，它是将带有 U 形或 V 形缺口的标准试样放在冲击试验机上，用摆锤将试样冲断。冲断试样所消耗的功即为冲击吸收功  $A_k$ ，其单位为 J。 $A_k$  越高和韧脆转变温度  $T_k$  越低，则材料的冲击韧性越好。

2) 断裂韧性  $K_{IC}$  是评定材料抵抗脆性断裂的力学性能指标，指的是材料抵抗裂纹失稳扩展的能力，其单位为  $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  或  $\text{MN}\cdot\text{m}^{-3/2}$ 。

裂纹尖端应力场强度因子  $K_I$ 、零件裂纹半长度  $a$  和零件工作应力  $\sigma$  之间存在如下关系： $K_I = Y\sigma a^{1/2}$  式中， $Y=1\sim 2$ ，为零件中裂纹的几何形状因子。当  $K_I \geq K_{IC}$  时，零件发生低应力脆性断裂；当  $K_I < K_{IC}$  时，零件安全可靠。因此， $K_I = K_{IC}$  是零件发生低应力脆断的临界条件，即  $K_I = Y\sigma a^{1/2} = K_{IC}$  由此式可知，为了使零件不发生脆断，可以控制三个参数，即  $K_{IC}$ 、 $\sigma$  和  $a$ 。

## 5 什么是疲劳断裂？

答：疲劳断裂是指零件在交变载荷下经过较长时间的工作而发生断裂的现象。所谓交变载荷，是指载荷的大小、方向随时间发生周期性变化的载荷。

## 6 疲劳断口由哪几个部分组成？

答：典型的疲劳断口形貌由疲劳源区、疲劳裂纹扩展区和最后断裂区三部分组成。

## 7 什么是腐蚀？可分为几类？

答：1) 腐蚀是材料表面和周围介质发生化学反应或者电化学反应所引起的表面损伤现象。

2) 分类：化学腐蚀和电化学腐蚀。

## 8 发生电化学腐蚀的条件是什么？

答：不同金属间或同一金属的各个部分之间存在着电极电位差，而且它们是相互接触并处于相互连通的电解质溶液中构成微电池。

## 9 改善零件腐蚀抗力的主要措施是什么？

答：对于化学腐蚀：选择抗氧化材料如耐热钢、高温合金、陶瓷材料等，  
零件表面涂层。

对于电化学腐蚀：选择耐腐蚀材料；表面涂层；电化学保护；加缓蚀剂。

对于应力腐蚀：减小拉应力；去应力退火；选择  $K_{Isc}$  高的材料；改善介质。

### 10 金属材料在高温下的力学行为有哪些特点？

答：1) 材料的强度随温度的升高而降低。

2) 高温下材料的强度随时间的延长而降低。

3) 高温下材料的变形量随时间的延长而增加。

### 11 什么是蠕变？

答：材料在长时间恒温、恒应力作用下缓慢产生塑性变形的现象称为蠕变。

### 12 评价金属材料高温力学性能指标有哪些？

答：蠕变极限：高温长期载荷作用下材料对塑性变形的抗力指标称为蠕变极限。

持久强度：材料在高温长期载荷作用下抵抗断裂的能力。

### 13 高温下零件的失效方式有哪些？如何防止？

答：1) 高温下零件的失效形式：过量塑性变形（蠕变变形）、断裂、磨损、氧化腐蚀等。

2) 防止措施：正确选材（选熔点高、组织稳定的材料）；

表面处理（表面渡硬铬、热喷涂铝和陶瓷等）。

## 二 碳钢与热处理

### 1 细晶粒金属为什么在氧化腐蚀环境下使用性能不好？

答：由于晶界处原子能量较高，活性较大，易与异类原子发生相互作用，使晶界在高温下易氧化，在腐蚀介质中易腐蚀。所以，在氧化腐蚀环境下，晶粒越细、晶界越多，

材料资讯、实验耗材及测试、<sup>67</sup>考研、就业尽在材料人网

金属的抗氧化腐蚀性能越差，使用性能越不好。

## 2 应用杠杆定律计算平衡态 40 钢室温下的相组成物和组织组成物的质量百分数。

答：① 钢中的相组成物为铁素体和渗碳体，由杠杆定律：

$$M_{Fe_3C} = \frac{0.4 - 0.0008}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 6\%$$

$$M_{\alpha} = 1 - M_{Fe_3C} \approx 94\%$$

② 钢中的组织组成物为铁素体和珠光体，由杠杆定律：

$$M_{Fe_3C} = \frac{0.4 - 0.0008}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 6\%$$

$$M_{\alpha} = 1 - M_{Fe_3C} \approx 94\%$$

## 3 应用杠杆定律计算平衡态 T12 钢室温下的相组成物和组织组成物的质量百分数。

答：① 钢中的相组成物为铁素体和渗碳体，由杠杆定律：

$$M_{Fe_3C} = \frac{0.4 - 0.0008}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 6\%$$

$$M_{\alpha} = 1 - M_{Fe_3C} \approx 94\%$$

② 钢中的组织组成物为珠光体和 Fe<sub>3</sub>C II，由杠杆定律：

$$M_{Fe_3C} = \frac{0.4 - 0.0008}{6.69 - 0.0008} \times 100\% \approx 6\%$$

$$M_{\alpha} = 1 - M_{Fe_3C} \approx 94\%$$

## 4 残余压应力为什么能提高零件的疲劳性能？

答：当零件表层存在一定大小的残余压应力时，因能抵消零件在交变载荷作用下所承受的部分拉应力，所以能提高零件的疲劳性能。

### 5 造成回复阶段残余内应力明显下降的原因是什么？

答：通过原子的短距离扩散，能使变形金属中的弹性应变显著减小。

### 6 再结晶与同素异构转变为什么有着本质的不同？

答：在再结晶过程中变形金属并没有形成新相，新形成的晶粒在成分和晶格类型上与原来的晶粒完全相同，只不过是新晶粒消除了变形所产生的各种晶体缺陷而已。所以再结晶与同素异构转变有着本质的不同。

### 7 何谓过冷奥氏体？

答：在临界温度以下尚未发生转变的不稳定的奥氏体称为过冷奥氏体。

### 8 共析钢奥氏体等温转变产物的形成条件、组织形态及性能各有何特点？

答：P 型转变  $A_1 \sim 560^\circ\text{C}$

珠光体 P:  $A_1 \sim 650^\circ\text{C}$

索氏体 S:  $650 \sim 600^\circ\text{C}$

托氏体 T:  $600 \sim 560^\circ\text{C}$

P、S、T 无本质区别，只有形态上的粗细之分，P 较粗、S 较细、T 更细。P、S、T 通称 P 型组织，组织越细，强度、硬度越高，塑、韧性越好

B 型转变  $560^\circ\text{C} \sim M_s$

$560 \sim 350^\circ\text{C}$  形成的 B 称为  $B_{\text{上}}$ ；

$350^\circ\text{C} \sim M_s$  形成的 B 称为  $B_{\text{下}}$ 。

$B_{\text{上}}$  由互相平行的过饱和 F 和分布在片间的断续细小的渗碳体组成，呈羽毛状，性硬而脆

$B_{\text{下}}$  由针叶状过饱和 F 和弥散分布在其中的极细小的渗碳体组成呈针叶状，具有良好综合力学性能。

M 型转变  $M_s \sim M_f$

片状马氏体：高碳，呈双凸透镜状，显微镜下呈针片状，强度高，塑韧性较差

板条马氏体：低碳，呈细长板条状，强度高，塑韧性好。

**9 影响奥氏体等温转变图的主要因素有哪些?比较亚共析钢、共析钢、过共析钢的奥氏体等温转变图。**

答: 影响奥氏体等温转变图的主要因素为: 含碳量及合金元素含量。

亚共析钢随  $w_c \uparrow$ , C 曲线右移; 过共析钢随  $w_c \uparrow$ , C 曲线左移; 共析钢过冷 A 最稳定 (C 曲线最靠右)

除 Co 外, 所有溶入 A 中的合金元素均使曲线右移。除 Co、Al 外, 溶入 A 的合金元素都使 C 曲线上的 Ms、Mf 点降低。

亚共析钢及过共析钢的过冷 A 的等温转变与共析钢一样, 亦可分为高温 P 型转变、中温 B 型转变和低温 M 型转变。但在 P 型转变之前, 亚共析钢有 F 的析出, 过共析钢有  $Fe_3C$  析出。

**10 钢在被处理成马氏体组织时为什么还会有残余奥氏体存在?对钢的性能有何影响?**

答: 在 M 相变时, 由于体积膨胀, 使尚未发生相变的过冷 A 受压, 而停止相变, 这部分 A 称为残余奥氏体 A'。

残余奥氏体使淬火钢的硬度降低, 它是一种不稳定的组织, 在温度下降时还会发生转变而使工件变形。

**11 何谓退火、正火、淬火及回火? 并说明其目的是什么。**

答: 将钢件加热到临界温度 ( $Ac_1$ 、 $Ac_3$ 、 $Accm$ ) 以上 (有时以下) 保温一定时间, 然后缓冷 (炉冷、坑冷、灰冷) 的热处理工艺称退火。目的: 得到平衡状态的组织。

将钢件加热到临界温度  $Ac_3$ 、 $Accm$  以上  $30 \sim 80^\circ C$ , 保温一段时间后空冷的热处理工艺称正火。目的: 对普通结构件为最终热处理, 以细化组织, 提高其强度和韧性; 使中、低碳结构钢组织正常化, 改善切削加工性能; 为淬火作组织准备; 抑制或消除过共析钢的网状渗碳体, 为球化退火作组织准备。

将钢加热到临界温度 (亚共析钢  $Ac_3$ , 过共析钢  $Ac_1$ ) 以上  $30 \sim 50^\circ C$ , 保温后快速冷却获得 M 的热处理工艺称淬火。目的: 获得 M 组织提高钢的强度和硬度。

将淬火后的钢重新加热到  $Ac_1$  以下某一温度, 保温一定时间, 然后冷却到室温的热处理工艺称回火。目的: 消除淬火应力, 降低钢的脆性; 稳定工件尺寸 (淬火 M 和残余 A 是非稳定组织, 如果发生转变, 则零件的尺寸会发生变化); 获得工件所要求的组织性



能；回火是热处理工序中最后一道工序。

### 12 何谓钢的淬透性?影响淬透性的因素有哪些?在选材中如何考虑钢的淬透性?

答：淬透性是表征钢件淬火时形成M的能力，或者说表征钢件淬火时所能得到的淬硬层的深度。淬透性与钢中过冷 A 稳定性有关，影响因素主要是合金元素含，含碳量亦有影响。

钢的淬透性是机械设计中选材时应予考虑的重要因素之一。

大截面零件、承受动载的重要零件、承受拉力和压力的许多重要零件（螺栓、拉杆、锻模、锤杆等），要求表面和心部力学性能一致，故应选择淬透性高的材料；心部力学性能对使用寿命无明显影响的零件（承受弯曲或扭转的轴类），可选用淬透性低的钢，获得 1/2~1/4 淬硬层深度即可；焊接件、承受强力冲击和复杂应力的冷锻凸模等，不能或不宜选择淬透性大的材料。

## 三 金属材料

### 1 哪些合金元素可以使得钢在室温下获得铁素体组织?

答：主要元素为 Si、Al、Ni、Cr、W、Mo、Ti 等。

### 2 哪些合金元素可以使得钢在室温下获得奥氏体组织?

答：主要元素为 Ni、Mn、Cu、N 等。

### 3 什么是第一次回火脆性?

答：一般认为低温回火（250℃~400℃）脆性是由于 M 分解时沿 M 板条或片的界面析出断续的薄壳状碳化物，降低了晶界的断裂强度，使之成为裂纹扩展的途径，因而导致脆性断裂。

### 4 防止第一类回火脆性的措施?

答：防止第一类回火脆性的措施是避免在 250℃~400℃回火。

### 5 什么是第二类回火脆性？

答：第二类回火脆性是在  $450^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$  回火过程中 Sb、P、Sn 在 A 晶界偏聚而引起的脆化现象。也叫高温回火脆性。

### 6 防止第二类回火脆性的措施？

答：防止第二类回火脆性措施有两个：

- 1) 加入 W、Mo 等能强烈阻止或延缓杂质元素在 A 晶界的偏聚。
- 2)  $450^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$  回火快冷

### 7 何为不锈钢？

答：在自然环境或一定工业介质中具有耐腐蚀性能的钢称不锈钢。广泛应用于石油、化工等领域。

### 8 何为超高度度钢？

答：抗拉强度大于 1500Mpa 的钢叫超高强度钢。

主要用于制造飞机起落架、机翼大梁，火箭发动机壳体、液体燃料氧化剂储藏箱、炮筒、枪筒、防弹板等等。

### 9 何为低温钢？

答：低温钢是指工作温度在  $0^{\circ}\text{C}$  以下的零件和结构件钢种。

广泛用于低温下工作的设备，如冷冻设备、制氧设备、石油液化设备、航天工业用的高能推进剂液氢、液氮等液体燃料的制造、贮运装置、寒冷地区开发所用的机械设施等。

### 10 对比下列材料耐蚀性？

- 1) 1Cr18Ni9
- 2) 0Cr18Ni9
- 3) 1Cr18Ni9Ti

答：不锈钢中含碳量越多，越容易形成  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ，降低了基体的 Cr 含量和电极电位，钢的耐蚀性越差。所以 0Cr18Ni9 的耐蚀性比 1Cr18Ni9 优越，因为碳含量低。

1Cr18Ni9Ti 的耐蚀性比 1Cr18Ni9 优越，因为 Ti 可以与碳形成 TiC，结果阻止了  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  的形成，从而提高了其耐蚀性。

0Cr18Ni9 的耐蚀性比 1Cr18Ni9Ti 优越，原因在于碳对耐蚀性能的影响更大，所以低碳、超低碳不锈钢耐蚀性能随着碳的降低而更优越，但是低碳也意味着价格贵。

### 11. 手术刀一般用哪种不锈钢来制造？

- (A) 马氏体不锈钢；      (B) 铁素体不锈钢；  
(C) 奥氏体不锈钢；      (D) 沉淀硬化不锈钢。

答：(A)

### 12 奥氏体不锈钢室温依然是奥氏体，主要是因为加了

- (A) Cr；      (B) Ni；  
(C) C；      (D) Mo。

答：(B)

### 13 下列零件选用何种材料？

- 1) 大桥
- 2) 汽车齿轮
- 3) 镗床镗杆
- 4) 汽车板簧
- 5) 汽车拖拉机连杆螺栓
- 6) 拖拉机履带板
- 7) 汽轮机叶片
- 8) 硫酸、硝酸容器
- 9) 锅炉
- 10) 加热炉炉底板

答：见下表：

零件或构件	可选材
1) 大桥	低合金高强度钢（桥梁用钢）
2) 汽车齿轮	合金渗碳钢
3) 镗床镗杆	合金调质钢
4) 汽车板簧	合金弹簧钢
5) 汽车拖拉机连杆螺栓	合金调质钢
6) 拖拉机履带板	耐磨钢（高锰钢）
7) 汽轮机叶片	不锈钢
8) 硫酸、硝酸容器	镍基耐蚀合金
9) 锅炉	锅炉用钢、耐热钢、不锈钢等
10) 加热炉炉底板	高温合金

#### 14 何为石墨化？

答：铸铁组织中析出碳原子形成石墨的过程称石墨化过程。

#### 15 石墨化过程分哪三个阶段？

答：第一阶段(液态阶段) 从铸铁液相中直接析出 G  
第二阶段(共晶—共析阶段) 自 A 中沿 E'S'线不断析出二次 G  
第三阶段(共析阶段) 发生共析反应析出 G

#### 16 三阶段石墨化程度对铸铁组织有何影响？

答： 见下表

石墨化程度			显微组织
第一阶段	第二阶段	第三阶段	
充分进行	充分进行	充分进行	F + G
充分进行	充分进行	部分进行	F +P+G
充分进行	充分进行	不进行	P+G

#### 17 可锻铸铁可以锻造吗？

答：可锻铸铁不能锻造。

#### 18 可锻铸铁如何获得？

答：可锻铸铁是由白口铸铁在固态下，经长时间的石墨化退火，使其中的  $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{G}$  而得到团絮状石墨的一种铸铁。

### 19 何谓白心可锻铸铁？

答：白口铸铁在固态下，经长时间的石墨化退火，最终得到 P + 团絮状石墨的一种铸铁。

### 20 何谓黑心可锻铸铁？

答：白口铸铁在固态下，经长时间的石墨化退火，最终得到 F + 团絮状石墨的一种铸铁。

### 21 下列铸件宜选择何种铸铁制造

- 1) 机床床身；
- 2) 汽车、拖拉机曲轴；
- 3) 1000~1100℃加热炉炉体；
- 4) 硝酸盛贮器；
- 5) 汽车、拖拉机转向壳；
- 6) 球磨机衬板。

答：见下表：

铸件	宜选择铸铁
1) 机床床身	灰铸铁
2) 汽车、拖拉机曲轴	球墨铸铁
3) 1000~1100℃加热炉炉体	耐热合金铸铁
4) 硝酸盛贮器	耐蚀合金铸铁
5) 汽车、拖拉机转向壳	可锻铸铁
6) 球磨机衬板	耐磨合金铸铁

### 22 铝合金的代号和成分有什么对应关系？

答：目前铝合金的牌号采用四位字符，例如 2024。每一个牌号的第一个数字代表了主加合金元素的种类。

2 xxx：以铜（Cu）为主要合金元素的铝合金

3 xxx：以锰（Mn）为主要合金元素的铝合金

4 xxx：以硅（Si）为主要合金元素的铝合金

5 xxx: 以镁 (Mg) 为主要合金元素的铝合金

6 xxx: 以镁和硅 (Mg/Si) 为主要合金元素的铝合金

7 xxx: 以锌 (Zn) 为主要合金元素的铝合金

9 xxx: 备用合金组

1 xxx: 纯铝

### 23 铝合金实效强化（热处理）的机理是什么？

答：对于可热处理强化的铝合金，例如铝-铜系、铝-锌系，加热到一定的温度得到单一的  $\alpha$  相，快速冷却到室温，因为冷却速度太快  $\alpha$  相中合金元素来不及析出，被过饱和固溶于  $\alpha$  相中，放置一段时间或者在一定温度下保温，过饱和的合金元素就以化合物的形式析出，析出的化合物尺度在几纳米到几十纳米范围，与基体保持共格界面，强烈阻碍位错运动，因而起到强化作用。

### 24 为什么有些铝合金不能热处理强化？

答：实际上铝-锰、铝-镁合金不能热处理强化，在使用的合金成分下， $\alpha$  相固溶体的成分不随温度的变化而改变， $\alpha$  相不能析出第二相，因此没有强化作用。

### 25 铝-锰合金适合用什么方式强化？

答：铝-锰合金一般冷加工硬化（形变强化）。

### 26 铸造铝合金适合用什么方式强化？

答：铸造铝合金一般适合细晶强化（变质处理），对于复杂的铝-硅系铸造铝合金（复杂硅铝明），也可以用热处理强化。

### 27 铝合金为什么适用于航空工业？

答：在飞机零构件设计时要考虑零件的自重，采用比强度指标，即强度/密度。虽然铝合金的强度低于钢的强度，但是铝的密度大约是钢的  $1/3$ ，所以铝合金的比强度超过钢的比强度。用铝合金制造飞机零件可以保证强度时有效减轻构件自重。因此铝合金广泛应用于航空工业。

### 28 滑动轴承合金组织为什么是软硬多相合金？

答：因为滑动轴承运转时，组织中有一部分要求摩擦后凹陷，可储存润滑油，形成油膜，另一部分仍保持突起状态支撑轴颈。所以摩擦后凹陷的部分要求比较软，其支撑作用的要求比较硬。这样决定了滑动轴承合金是软硬多相合金。

### 29 什么是“双金属”轴承？

答：最常用的铅基轴承合金和锡基轴承合金，其熔点、硬度比较低。为了提高轴承承压能力和使用寿命，生产商采用离心浇注办法，将轴承合金镶铸在低碳钢的轴瓦上，形成一薄层均匀的内衬，称其为“双金属”轴承。

### 30 除了金属，其他种类的材料可以做轴承吗？

答：当然可以。化工上常用工程塑料做轴承，用于腐蚀介质中。还有用氮化硅陶瓷做轴承，用于高温环境中。

### 31 用黄铜冲压的子弹壳，为什么必须经过去应力退火？

答：用黄铜冲压子弹壳，属于冷加工变形，冲压成的子弹壳中有残余应力。如果不进行去应力退火释放残余应力，在以后的存储和使用中，在潮湿环境中容易发生应力腐蚀开裂。所以，用黄铜冲压的子弹壳必须进行去应力退火，避免应力腐蚀开裂。

## 四 非金属材料

### 1 什么是内耗？它有什么害处和作用？

答：内耗是在交变应力作用下，处于高弹态的高分子，当其变形速度跟不上应力变化速度时，就会出现应变滞后应力的想象，这样就使有些热量消耗于材料中分子内摩擦并转化为热能放出，这种由于力学滞后使机械性能转化为热能的想象成为内耗。

内耗对橡胶制品不利，加速其老化。但内耗对减振有利，可利用内耗吸收振动能，

用于减振的橡胶应有尽可能大的内耗。

## 2 塑料的几种常用成型方法有哪些？各有什么特点？

答：塑料的几种常用的成型方法有注射成型法，模压成型法，浇铸成型法，挤压成型法等。注射成型法的特点是生产率很高，可以实现高度机械化、自动化生产，制品尺寸精确，可以生产复杂形状、壁薄和带金属嵌件的塑料制品，适用于大批量生产。模压法通常用于热固性塑料的成型，有时也用于热塑性塑料模压法特别适用于形状复杂的或带有复杂嵌件的制品。浇铸成型法的设备简单，操作方便，成本低，便于制作大型制件，但生产周期长，收缩率较大。挤压法成型法用于热塑性塑料各种型材的生产，一般需要经过二次加工才制成零件。

## 3 试述酚醛塑料的分类、性能特点及应用。

答：根据所加填料的不同，酚醛塑料有粉状酚醛塑料，通常称为胶木粉，供模压成型用；根据纤维填料不同，纤维状酚醛塑料又分棉纤维酚醛塑料、石棉纤维酚醛塑料、玻璃纤维酚醛塑料等；层压酚醛塑料是由浸渍过液态酚醛树脂的片状填料制成的，根据填料的不同又有纸层酚醛塑料、布层酚醛塑料和玻璃布层酚醛塑料等。

酚醛塑料具有一定的机械强度，层压塑料的抗拉强度可达 140MPa，刚度大，制品尺寸稳定，有良好的绝缘性，可在 110~140℃ 下使用。具有较高的耐磨性、耐腐蚀性及良好的绝缘性。但性脆易碎，抗冲击强度低，在阳光下易变色。

## 4 陶瓷制品的基本生产工艺过程有哪些？

答：陶瓷制品的生产工艺过程各有不同，但一般都要经过以下三个阶段：即坯料制备-成型-烧结的生产工艺过程。

坯料的制备是通过机械或物理或化学方法制备粉料，其粉料制备的质量直接影响成型加工性能和陶瓷制品的使用性能。因此，需要控制坯料粉的粒度、形状、纯度及脱水脱气，以及配料比例和混料均匀等质量要求。按不同的成型工艺要求，坯料可以是粉料、浆料或可塑泥团。

成型是将坯料用一定工具或模具制成一定形状和尺寸的制品坯型，并要求有一定密度和强度。此坯型成为生坯。



陶瓷的生坯经过初步干燥之后，就要进行涂釉烧结，或直接送去烧结。在高温下烧结时，陶瓷内部要发生一系列物理化学变化及相变，如体积减小、密度增加、强度、硬度提高、晶粒发生相变等，使陶瓷制品达到所要求的物理性能和力学性能。

### 5 陶瓷中气孔对陶瓷性能有什么影响？

答：气孔对陶瓷性能有显著影响，它使陶瓷强度降低，介电损耗增大，电击穿强度下降，绝缘性降低，这是不利的。但它使陶瓷密度降低，并能吸收振动，这是有利的。

### 6 陶瓷材料的力学性能特点有哪些？

答：陶瓷具有极高的硬度，其硬度多大在 1500HV 以上，因此陶瓷的耐磨性好，常用陶瓷作新型的刀具和耐磨零件。陶瓷材料由于其内部和表面缺陷（如气孔、微裂纹、位错等）的影响，其抗拉强度低，而且实际强度远低于理论强度（仅为  $1/100 \sim 1/200$ ）。但抗压强度较高，约为抗拉强度的  $10 \sim 40$  倍。减少陶瓷中的杂质和气孔，细化晶粒，提高致密度和均匀度，可以提高陶瓷强度。陶瓷具有高弹性模量，高脆性。冲击韧度和断裂韧度都很低，其断裂韧度约为金属的  $1/60 \sim 1/100$ 。

### 7 试述氮化硅的性能特点及应用。

答：氮化硅陶瓷的硬度高，摩擦系数小（ $0.1 \sim 0.2$ ），并有自润滑性，是极优的耐磨材料；蠕变抗力高，热膨胀系数小，抗热振性能在陶瓷中最好；化学稳定性好，除氢氟酸外，能耐各种酸、王水和碱溶液的腐蚀，也能抗熔融金属的侵蚀；此外，由于氮化硅是共价键晶体，既无自由电子也无离子，因此，具有优异的电绝缘性能。

反应烧结氮化硅陶瓷易于加工，性能优异。主要用于耐磨、耐高温、耐腐蚀、形状复杂且尺寸精度高的制品，如石油化工泵的密封环、高温轴承、热电偶套管、燃气轮机转子叶片等；热压烧结氮化硅陶瓷用于制造形状简单的耐磨、耐高温零件和工具，如切削刀具、转子发动机刮片、高温轴承等。

### 8 复合材料的增强体有哪些？举几个颗粒增强材料应用的例子。

答：复合材料的增强体通常有纤维增强材料、颗粒增强材料和片层状增强材料。增强材料中增强效果最明显、应用最广泛的是纤维增强材料，主要有玻璃纤维、碳纤维、芳

纶纤维、硼纤维、碳化硅纤维和氧化铝纤维等。颗粒增强材料主要选用的是各种陶瓷颗粒，如氧化铝、碳化硅、氮化硅、碳化钨、碳化钛、碳化硼及石墨等。

例如碳黑和白碳黑可明显提高橡胶的强度、硬度和弹性模量。对塑料来说，石墨、银粉、铜粉等可改善其导电性；氧化铁磁粉可改善聚合物的导磁性；二硫化钼可以提高聚合物的自润滑性；空心玻璃微珠不仅可以减小聚合物的密度还可以提高聚合物的耐热性。

### 9 玻璃钢的性能有哪些特点？

答：玻璃钢按塑料基体性质可分为热塑性玻璃钢和热固性玻璃钢。热塑性玻璃钢是由体积分数为 20%~40%的玻璃纤维与 60%~80%的热塑性树脂组成，具有高强度和高冲击韧性、良好的低温性能及低热膨胀系数。热固性玻璃钢是由体积分数为 60%~70%的玻璃纤维（或玻璃布）与 30%~40%的热固性树脂组成，其主要优点是密度小、强度高。它的比强度超过一般高强度钢和铝合金及钛合金；耐腐蚀；绝缘、绝热性好；吸水性低；防磁；微波透过性好；易于加工成型。其缺点是弹性模量低，只有结构高的 1/5~1/10，刚性差；耐热性虽比热塑性玻璃钢好，但仍不够高，只能在 300℃以下使用。为了提高性能，可对其进行改性。

### 10 纤维增强陶瓷基复合材料中使用的纤维有哪些？这使纤维增强陶瓷具有哪些优异的性能？

所用的纤维主要是碳纤维、氧化铝纤维、碳化硅纤维或晶须以及金属纤维等。研究较多的是碳纤维增强无定形二氧化硅、碳纤维增强碳化硅、碳纤维增强氮化硅、碳化硅纤维增强氮化硅、氮化硅纤维增强氧化铝、氧化锆纤维增强氧化锆等。纤维增强陶瓷基复合材料不仅保持了原陶瓷材料高硬度、耐高温、抗氧化、耐磨、耐腐蚀、弹性模量高、抗压强度大等优点，而且韧性和强度得到了明显提高。可用作切削刀具。此外，纤维增强陶瓷还具有比强度和比模量高、韧性好的特点，在军事和空间技术上有很好的应用前景。

单项选择题测试

- 1 再结晶退火作为软化材料的手段，常用于  
淬火件 铸件 锻压件 冷塑性变形后的零件
- 2 碳钢的最低再结晶温度大约为  
250℃左右 450℃左右 650℃左右 750℃左右
- 3 弹簧获得高弹性时热处理工艺为  
正火 淬火+高温回火 淬火+中温回火 淬火+低温回火
- 4 表面淬火的零件常选用  
低碳钢 中碳调质钢 T12 高碳钢
- 5 渗碳零件一般的选用  
 $c < 0.25\%$  中碳钢 工具钢  $c > 0.5\%$
- 6 零件经渗碳后还需经过  
淬火+低温回火 调质 不再热处理 时效
- 7 切削加工刀具的性能主要应达到  
高强度,高韧性 硬度与强度的适当配合 高的弹性模量及钢度 高硬度高耐磨性及红硬性
- 8 切削刀具和冷变形模具用碳钢制造时,要进行  
调质 再结晶退火 淬火+低温回火 淬火+高温回火
- 9 20CrMnTi 钢中 Ti 元素主要作用是  
提高强度 提高回火抗力 细化晶粒 提高硬度
- 10 40CrNiMo 钢中 Cr、Ni 元素的主要作用是  
提高强度 强化铁素体提高淬透性 提高红硬性 细化晶粒
- 11 1Cr18Ni9Ti 钢中 Ni 元素的主要作用是  
细化晶粒 提高淬透性 获得单相奥氏体组织 提高强度
- 12 下列材料中,蠕变抗力最高的是  
金属 有机高分子 陶瓷 热塑性玻璃钢
- 13 下列材料中,韧性最好的是  
金属 有机高分子 陶瓷 热塑性玻璃钢

- 14 导致"泰坦尼克"号轮船沉没的最可能原因是  
船体钢板硬度过低 船体钢板弹性模量过低 船体钢板硫磷含量过高 船体钢板屈服强度过低
- 15 下列材料中，适合作赛艇壳体的是  
16Mn 尼龙 铝合金 热固性玻璃钢
- 16 下列材料中，适合作飞机蒙皮的是  
L01 LY12 LD7 ZL102
- 17 下列材料中适合作汽车减速器壳的是  
KT350-10 QT400-15 16Mn ZG35
- 18 下列材料中，适合作盛放氢氟酸容器的是  
聚四氟乙烯 1Cr17 1Cr18Ni9 玻璃钢
- 19 下列材料中，适合作汽车轮胎的是  
顺丁橡胶 硅橡胶 氟橡胶 丁腈橡胶
- 20 下列材料中，适合制作锉刀的是  
20 钢 60 钢 T8 钢 T12 钢
- 21 20 钢加工切削前应进行  
完全退火 正火 球化退火 再结晶退火
- 22 40Cr 钢制汽车连杆螺栓淬火后高温回火时应  
炉冷 空冷 油冷 水冷
- 23 下列材料中，适合制作手术刀的是  
1Cr13 4Cr13 1Cr17 1Cr18Ni9
- 24 ZG35 在铸造后应进行  
正火 去应力退火 再结晶退火 球化退火
- 25 汽车油刹车制动软管应选用  
丁腈橡胶基复合材料管 塑料管 热塑性玻璃钢管 铝合金管
- 26 下列材料中适合制作冷作模具的是  
Cr12MoV 38CrMoA1A HT350 5CrNiMo
- 27 下列材料中，适合作汽车板弹簧的是  
20 钢 60Si2Mn GCr15 T12

- 28 下列材料中，适合坦克履带板的是  
ZChPbSb16-16-2 ZG35 ZL203 ZGMn13
- 29 下列材料中，适合作机床床身的是  
HT300 KTH300-06 KTZ450-06 QT450-10
- 30 W18Cr4V 钢在切削加工之前应进行  
去应力退火 再结晶退火 完全退火 球化退火
- 31 在工程设计中，对易发生脆性断裂的重要零构件，应按进行设计  
屈服强度 抗拉强度 断裂韧性 冲击韧性
- 32 制造内燃机火花塞绝缘体的合适材料是  
氧化铝陶瓷 酚醛塑料 尼龙 顺丁橡胶
- 33 制造内燃机活塞的合适材料是  
5CrNiMo W18Cr4V ZAlCu5Mn HT300
- 34 制造内燃机曲轴轴瓦内衬的合适材料是  
ZChSnSb4-4 HT200 GCr15 20 钢
- 35 用 T12 钢制造锉刀，淬火后的回火温度应为  
200℃ 350℃ 450℃ 550℃
- 36 40Cr 钢制内燃机连杆螺栓，淬火加热的合适温度为  
650℃ 750℃ 850℃ 950℃
- 37 40 钢钢锭在 1000℃ 左右轧制，有时会出现开裂，最可能的原因是  
温度过低 温度过高 含磷量过高 含硫量过高
- 38 W18Cr4V 钢在锻造后机加工之前应进行  
球化退火 完全退火 去应力退火 再结晶退火
- 39 60Si2Mn 制造汽车板弹簧，淬火后回火时的加热温度约为  
150℃ 300℃ 450℃ 550℃
- 40 在工程设计中，对易发生脆性断裂的重要零构件，应按材料哪种性能指标进行设计  
 $\sigma_y$   $\sigma_b$  KIC  $a_k$
- 41 制造航空发动机轴瓦的合适材料是  
ZQPb30 ZChSnSb12-4-10 GCr15 ZCuPb15Sn8
- 42 制造钢桥的合适材料是  
16Mn 20 钢 60 钢 T12 钢

- 43 T8 钢淬火加热的合适温度约为  
580℃ 680℃ 780℃ 880℃
- 44 钢淬火后还要经过什么热处理  
回火 正火 退火 渗碳
- 45 35CrMo 钢中 Mo 的主要作用是  
提高红硬性 提高耐腐蚀性 消除第二类回火脆性 细化晶粒
- 46 钢中细化晶粒的主要合金元素是  
Cr、Al、Si V、Ti、Nb W、Mo、Re P、Cu、Mn
- 47 耐腐蚀性能最好的工程塑料是  
聚砜 聚四氟乙烯 聚甲醛 聚碳酸酯
- 48 材料摩擦系数最大的配对材料是  
金属-高分子 硬金属-软金属 金属-陶瓷 真空中纯净金属-纯净金属
- 49 无相变合金的强化方法主要是  
马氏体强化 时效强化 变形强化 细晶强化
- 50 钢的淬透性主要决定于  
合金元素 冷却速度 工件尺寸 冷却介质
- 51 40CrMo 钢制连杆螺栓淬火并经高温回火后，应该  
炉冷 空冷 水冷 油冷
- 52 常用工程材料中，密度最高的是  
金属材料 陶瓷材料 高分子材料 复合材料
- 53 实际晶体材料强度远低于理论值的原因是晶体中存在  
晶界 溶质 位错 第二相
- 54 材料产生低应力脆断是因为材料中存在  
位错 裂纹 晶界 第二相
- 55 既可提高材料强度又可改善材料塑韧性的方法是  
时效强化 淬火强化 细晶强化 固溶强化
- 56 下列材料适合作板簧的是  
Mn13 16Mn 20Mn2V 65Mn
- 57 下列钢中耐腐蚀性最好的是

1Cr18Ni9Ti GCr15 12CrMoV Cr12MoV

- 58 弹簧类零件常用的热处理工艺是  
淬火加高温回火 淬火加低温回火 正火加中温回火 淬火加中温回火
- 59 提高材料表面硬度可提高材料的  
抗磨损能力 抗腐蚀能力 抗蠕变能力 抗弹性变形能力
- 60 不锈钢焊接时焊缝处易发生  
小孔腐蚀 缝隙腐蚀 晶间腐蚀 均匀腐蚀
- 61 牺牲阳极保护法中的阳极可选用  
Zn Ti Fe 任何金属
- 62 高速钢的红硬性可保持到  
250℃ 425℃ 600℃ 1500℃
- 63 压力容器用钢应选用  
低碳钢 中碳钢 高碳钢 中、高碳钢
- 64 为了提高钢制零件的刚度可采用  
热处理 改用合金钢 增大零件尺寸 加工硬化
- 65 螺栓高温工作时会产生  
应力松弛 变形（伸长）增加 突然断裂 无任何变化
- 66 实际使用的抗蠕变材料大多数是  
金属材料 陶瓷材料 高分子材料 复合材料
- 67 下列钢中哪一种淬透性最好  
40 40Co 40Cr 40CrNiMo
- 68 一般压力容器均为焊接件，因此压力容器强度设计应采用  
断裂韧性设计 静强度设计 疲劳强度设计 刚度设计
- 69 K I C 是什么性能指标  
强度 硬度 塑性 韧性
- 70 Mn13 是耐磨钢，其良好的耐磨性来自于  
形成大量碳化物 加工硬化能力强 大量锰元素固溶强化 铸造后就有高硬度
- 71 汽车齿轮可选用的材料和热处理工艺是  
40CrNiMo / 调质 40CrNiMo / 渗碳,淬火 20CrMnTi / 调质 20CrMnTi / 渗碳、淬火低温回火

- 72 为获得合适的切削加工性能，20 钢应采用  
退火 正火 淬火 淬火加低温回火
- 73 陶瓷材料的主要优缺点是  
硬度高 / 塑性低 硬度高 / 熔点低 塑性好 / 易蠕变 抗蠕变 / 刚度低
- 74 高分子材料的主要优缺点是  
刚度低 / 耐腐蚀性差 强度高 / 易蠕变 塑性好 / 易蠕变 抗蠕变 / 刚度低
- 75 高分子材料分子主干链上原子的主要结合方式是  
共价键 二次键 金属键 共价键和金属键
- 76 硬质合金材料是  
金属材料 陶瓷材料 高分子材料 复合材料
- 77 W18Cr4V 钢淬火后的回火温度应为  
200℃ 400℃ 560℃ 460℃
- 78 制造钢铆钉的合适材料是  
10 钢 T10 60 钢 20 钢
- 79 制造滑动轴承的合适材料是  
GCr15 HT200 ZChSnSb4-4 Cr12MoV
- 80 制造高压容器的合适材料是  
40Cr T12 16Mn 10 钢
- 81 制造热锻模具的合适材料是  
5CrNiMo T12 20CrMnTi Cr12MoV
- 82 制造冷作模具的合适材料是  
1Cr17 60Si2Mn Cr12MoV GCr15
- 83 制造高速切削车刀的合适材料是  
W18Cr4V T12 40 钢 20 钢
- 84 制造汽轮机叶片的合适材料是  
1Cr13 1Cr17 5CrNiMo GCr15
- 85 制造汽车曲轴的合适材料是  
10 钢 45 钢 T10 20 钢
- 86 制造拉丝模、切边模常选用



15CrMo 1Cr18Ni9Ti Cr12MoV 2Cr13

87 制造精密机床主轴的合金钢为

20CrMnTi 38CrMoAlA 50CrVA 9SiCr

88 下面所给出的几种合金元素,哪种元素不能提高钢的淬透性

Co Cr V Mo

89 某汽车制造厂要给汽车变速箱齿轮选材,请问哪种材料最合适

T12 W18Cr4V 16Mn 20CrMnTi

90 对于金属材料来讲,下面哪一个性能指标是不能通过合金化或者热处理改变的

疲劳强度 弹性模量 断裂韧性 屈服强度

91 下面所给的三种常用的淬火介质,按冷却能力由大到小的排列顺序为

水,盐水(10%的浓度),机油 盐水(10%的浓度),水,机油 机油,水,盐水(10%的浓度) 机油,盐水(10%的浓度),水

92 零件产生过量弹性变形的原因是

刚度不足 强度太低 塑性太差 韧性太差

93 采用异类材料匹配可以显著减轻哪类磨损

黏着磨损 磨粒磨损 疲劳磨损 腐蚀磨损

94 经过冷轧后的 15 钢板,采用何种热处理可以降低硬度

淬火 回火 去应力退火 再结晶退火

95 我国南京长江大桥是采用钢建造的

16Mn 20 1Cr13 T18

96 位错属于晶体缺陷的哪一种

点缺陷 线缺陷 面缺陷 体缺陷

97 铁素体属于下面哪一种

间隙固溶体 置换固溶体 化合物 中间相

98 铁碳相图中的转变下面哪个是非恒温转变

共晶转变 匀晶转变 共析转变 包晶转变

99 莱氏体是以下哪两个相组成的混合物

铁素体和奥氏体 奥氏体和渗碳体 铁素体和渗碳体 珠光体和渗碳体

100 下面哪一项不是复合材料性能特点

比强度和比模量高 良好的抗疲劳和破断安全性能 优良的高温性能和减震性能 弹性

模量不易改变

- 题目 1.回答错误。正确答案为 d  
题目 2.回答错误。正确答案为 b  
题目 3.回答错误。正确答案为 c  
题目 4.回答错误。正确答案为 b  
题目 7.回答错误。正确答案为 d  
题目 8.回答错误。正确答案为 c  
题目 9.回答错误。正确答案为 c  
题目 10.回答错误。正确答案为 b  
题目 11.回答错误。正确答案为 c  
题目 12.回答错误。正确答案为 c  
题目 14.回答错误。正确答案为 c  
题目 15.回答错误。正确答案为 d  
题目 16.回答错误。正确答案为 b  
题目 20.回答错误。正确答案为 d  
题目 21.回答错误。正确答案为 b  
题目 22.回答错误。正确答案为 d  
题目 23.回答错误。正确答案为 b  
题目 24.回答错误。正确答案为 b  
题目 27.回答错误。正确答案为 b  
题目 28.回答错误。正确答案为 d  
题目 30.回答错误。正确答案为 d  
题目 31.回答错误。正确答案为 c  
题目 33.回答错误。正确答案为 c  
题目 36.回答错误。正确答案为 c  
题目 37.回答错误。正确答案为 d  
题目 39.回答错误。正确答案为 c  
题目 40.回答错误。正确答案为 c  
题目 41.回答错误。正确答案为 d  
题目 43.回答错误。正确答案为 c  
题目 45.回答错误。正确答案为 c  
题目 46.回答错误。正确答案为 b  
题目 47.回答错误。正确答案为 b  
题目 48.回答错误。正确答案为 d  
题目 49.回答错误。正确答案为 c  
题目 51.回答错误。正确答案为 b  
题目 53.回答错误。正确答案为 c  
题目 54.回答错误。正确答案为 b  
题目 55.回答错误。正确答案为 c  
题目 56.回答错误。正确答案为 d  
题目 58.回答错误。正确答案为 c  
题目 60.回答错误。正确答案为 c  
题目 62.回答错误。正确答案为 c  
题目 64.回答错误。正确答案为 c

题目 67.回答错误。正确答案为 d  
题目 69.回答错误。正确答案为 d  
题目 70.回答错误。正确答案为 b  
题目 71.回答错误。正确答案为 d  
题目 72.回答错误。正确答案为 b  
题目 74.回答错误。正确答案为 c  
题目 76.回答错误。正确答案为 d  
题目 77.回答错误。正确答案为 c  
题目 79.回答错误。正确答案为 c  
题目 80.回答错误。正确答案为 c  
题目 82.回答错误。正确答案为 c  
题目 85.回答错误。正确答案为 b  
题目 86.回答错误。正确答案为 c  
题目 87.回答错误。正确答案为 b  
题目 89.回答错误。正确答案为 d  
题目 90.回答错误。正确答案为 b  
题目 91.回答错误。正确答案为 b  
题目 94.回答错误。正确答案为 d  
题目 96.回答错误。正确答案为 b  
题目 98.回答错误。正确答案为 b  
题目 99.回答错误。正确答案为 b  
题目 100.回答错误。正确答案为 d  
其余答案为 A