

## 写给你的话：

首先感谢你对我的信任和对辅导班、这本资料的认可。读书不易，越来越体会到，选择读研前途未必有那么想象的好，也未必有想象的那么不好，但是有一点可以证明，那就是你选择了前进和向上，毕竟那是自己辛苦之后还得三年的时间才能磨出来的经历，无论本科怎么样，选择了一种积极的态度生活，为自己以后的生活不留下遗憾。

闲话少说，专业课最容易得分，众所周知，是否超过 350 以上就必须要有强劲的专业课成绩，毋庸置疑。材料科学基础要求计算的很少，大篇的要求强制性的记忆，所以自己把前人留下的笔记好好研读了  $n$  遍，感觉很好，并且要求你和我一样每页都能够熟练地背诵，包括你熟知的你陌生的。在临考之前天天记忆，保证能记住能写下来，切记，这是强制性的，必须记忆。另外本人辛苦地搜集了近十年的材料学院考研真题，自己将每年的考题答案都做了详细的记录，尤其比较难的，我都亲自讨教了像曹占义、赵明等老师，还有问了许多当年的考研的战友，为的是自己做出的答案必需是正确的，自己真正考试的时候就是要在试卷上面写的答案，为了向自己负责，同时也是为了自己的成绩有更大的提高，所以可以说是很是不容易，望你珍惜。《材料科学基础》如果参考的话可以选择上交版的，毕竟是汉语，再说比较详细和全面些，不过不能太抠而浪费时间复习其它课程。

考研是种坚持的考验，如果你真的能坚持下来你的分数自然不会低，哪怕你的英语和我一样烂，只要坚持了，过线肯定是没有问题的。如果你真的坚持了，哪怕你的高数在大一大二从来没有高过，像我一样烂的基础也能考个不错的分数。如果你坚持了，哪怕你的专业课之前学的怎样不好，到时候自然庆幸幸亏它给你提分了，给力了。闲话勿说，坚持就是抵御诱惑的能力，抵御来自工作的诱惑，抵御懒惰寒冷，抵御孤单，抵御失落，抵御挫败等，单一句话，无论怎么坚持都不是过分，因为你的坚持大家都经历过，你受的寂寞大家都体会过，你受的苦大家同样也遭遇过，所以，这个世界上最辛苦的不是你，你只有默默的付出，才能证明自己的强大或者是成功！

祝你好运！

才疏浅陋，错误在所难免，万望理解。如需帮助，承蒙不弃，可以找我，QQ849055570。

张宏强

## 《专业课复习指南》

### 专业课参考书目

#### 1.所有指定教材

化学工业出版社，《FUNDAMENTALS OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 材料科学与工程基础》(第五版)William D. Callister, Jr 编著

#### 2.参考书目

上海交通大学出版社，《材料科学与工程基础》，蔡珣编著

### 第一轮复习：基本复习阶段

时间安排：10月之前完成

#### 复习要求：

1.将上海交通大学出版社出版的《材料科学与基础》以快速的方式完整看一遍，不能细扣，这本书难度太大，有些章节根本不考。

2.将教材《FUNDAMENTALS OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 材料科学与工程基础》的课件要详细地看一遍，尤其记住那些章节和上交版的相同，那些不相同。

#### 复习目标：

对各门课程有个系统性的了解，弄清每本书的章节分布情况，内在逻辑结构，重点章节所在等。

#### 《材料科学与工程基础》重点介绍：

##### 第1章 原子结构与键合

重点与考点：原子的结构，金属键，离子键，共价键，范德瓦耳斯力，氢键，进程有序，远程有序。

##### 第2章 固体结构

重点与考点：空间点阵，晶胞，晶面指数，晶向指数，三种典型的金属晶体结构，堆垛方式，固溶体，中间相。

##### 第3章 晶体缺陷

吉林大学材料学院内部专业课辅导 主讲人：张宏强 QQ:849055570 TN:15948092895

重点与考点：点缺陷（形成、平衡浓度、运动），位错（基本类型与特征、生成和增值），表面和界面（外表面、晶界、亚晶界、孪晶界和相界）

#### 第4章 固体中原子与分子运动

重点与考点：菲克第一定律，菲克第二定律（表述，字母意义，适用范围），扩散机制，影响扩散的因素。

#### 第5章 材料的形变与结晶

重点与考点：弹性，滞弹性，塑性（单晶和多晶），回复和再结晶，蠕变。

#### 第6章 单元相图及纯晶体的凝固

重点与考点：相平衡条件，相律，形核（均匀和非均匀），晶体长大（光滑和粗糙），长大方式。

#### 第7章 二元相图及其合金的凝固

重点和考点：相图（铁碳相图），杠杆法则，二元相图分析（匀晶，共晶和包晶），

#### 第8章 三元相图（不考）

#### 第9章 材料的亚稳态

重点和考点：纳米晶，准晶，非晶的概念，固态相变形成的亚稳态相，马氏体转变，贝氏体转变。

#### 第10章 材料的功能性能

重点与考点：能带，费米能，电性能

## 第二轮复习：重点讲课阶段

时间安排：10月之内完成

主要任务：基础知识及考试重点复习阶段。全面阅读指定参考书目，讲解书中重要知识点，识记关键环节，理清知识脉络结构，形成系统化网络。

预计课时：12课时（4次课）

具体计划：

第1次课：第1章 原子结构与键合

第2章 固体结构

第3章 晶体缺陷

第2次课：第4章 固体中原子与分子运动

吉林大学材料学院内部专业课辅导 主讲人：张宏强 QQ:849055570 TN:15948092895

第5章 材料的形变与结晶

第6章 单元相图及纯晶体的凝固

第3次课: 第7章 二元相图及其合金的凝固

第9章 材料的亚稳态

第10章 材料的功能性能

第4次课: 补充讲解, 考点, 考试方法, 强调重点。

补充说明:

1. 第一章—第十章, 主要讲解上海交通大学出版社的出版的参考书《材料科学基础》(中文)。
2. Chapter1—chapter12, 化工出版社出版的教材《材料科学与工程基础》(英文)课件。
3. Word1—word12, 化工出版社出版的教材《材料科学与工程基础》相关的中文版课件注释。
4. Chapter 和 word 都会发给学员。

### 第三轮复习: 重点记忆阶段

时间安排: 11月-12月

复习方法:

1. 经过之前系统复习, 现在开始重点性记忆。强制性记忆重点笔记, 每一页都要背下下来; 材料科学基础要求计算也就是五六分, 剩余 145 左右的全是概念性知识。

2. 开始做真题, 自己先认真地体会并做出答案, 然后将真题答案背诵, 因为出原题的概率很高, 切忌自己记忆的答案保证正确!

复习目标: 争取背两到三遍, 闭上书要能回答出要点, 甚至要做到能扩展开来。

### 第四轮复习: 查漏补缺阶段

时间安排: 1月到考试前

复习方法:

1. 查漏补缺，看看哪些章节还没掌握好，再仔细复习一下。

2. 注重真题，将正确答案反复记忆，重复率很高。

复习目标：专业课至少 120 以上，冲刺 140 以上！

#### 四、专业课复习过程中应注意的问题

##### 1. 对学生的要求

首先树立必胜的信心，再次要坚定自己的选择，最后要义无反顾的奋斗！

认真听讲，及时做笔记，勤于思考，敢于问问题。

##### 2. 对学生的鼓励

材料加工不是那么难考，只要你真正彻底地付出了，努力了，如果再来一次你也只能努力到这种程度，以后回想起来不是因为努力而遗憾，达到这样的程度你肯定没问题，肯定能考上，相信自己！

##### 3. 答题方法和技巧的提示

字迹清晰认真，书写尽可能规范，通常采用黑色中性笔书写。

不要着急，慢慢作答，专业课考试时间都是相当充足的，每一道题目经过思考之后作答！切忌惯性思维式的作答！

# 第一章

## 1. 材料的分类:

- ①. 金属: 具有光泽而不透明(对可见光强烈反射的结果), 富有展性, 延性及导热性、导电性的一类物质。
- ②. 陶瓷: 各种无机非金属材料。
- ③. 聚合物: 由小单元结构单元(链节)组成的具有高分子量的同种金属(通常是有机物)的物质。

## 2. 其他类型:

- ①. 复合材料: 以一种材料为基体, 另一种材料为增强体组合而成的材料。  
特点: 比重小, 比强度和比模量大。
- ②. 半导体材料: 导电能力介于导体与绝缘体之间的物质。  
特点: 电学性质对光、热、电、磁等外界因素的变化十分敏感。
- ③. 生物材料: 指以医学为目的, 用于和机体组织接触, 以形成功能的无生命的材料。

## 3. 金属与非金属的本质差别:

金属晶体的结合键是金属键, 由于金属键具有无饱和性和无方向性的特点, 从而使金属内部的原子趋于紧密排列, 构成高度对称的简单晶体结构。

非金属晶体的主要结合键为共价键, 由于共价键具有方向性、饱和性, 从而使它具有复杂的晶体结构。

## 第二章:

### 强键(化学键)

① 离子键: 原子之间发生电子转移, 形成正、负离子, 并通过静电作用而形成化学键。

特点: 以离子而不是原子为结构单元; 离子晶体中离子般有较高的配位数; 熔点和硬度高; 良好的绝缘体, 高温熔融状态时有导电性; 无方向性, 无饱和性。

② 共价键: 由两个或多个电负性相差不大的原子间, 通过共用电子对而形成的化学键。

特点: 有方向性, 有饱和性; 配位数小, 结构稳定, 熔点高; 强度硬度高, 导电能力差。

③ 金属键: 在液态或固态金属中, 价电子可以自由地在不同原子间移动, 使其为多个原子共有, 这些共用电子与金属离子相互作用构成的键合。

特点: 无方向性, 无饱和性, 电子共有化, 有良好的延展性, 导热、导电性, 密度高。

### 弱键(物理键):

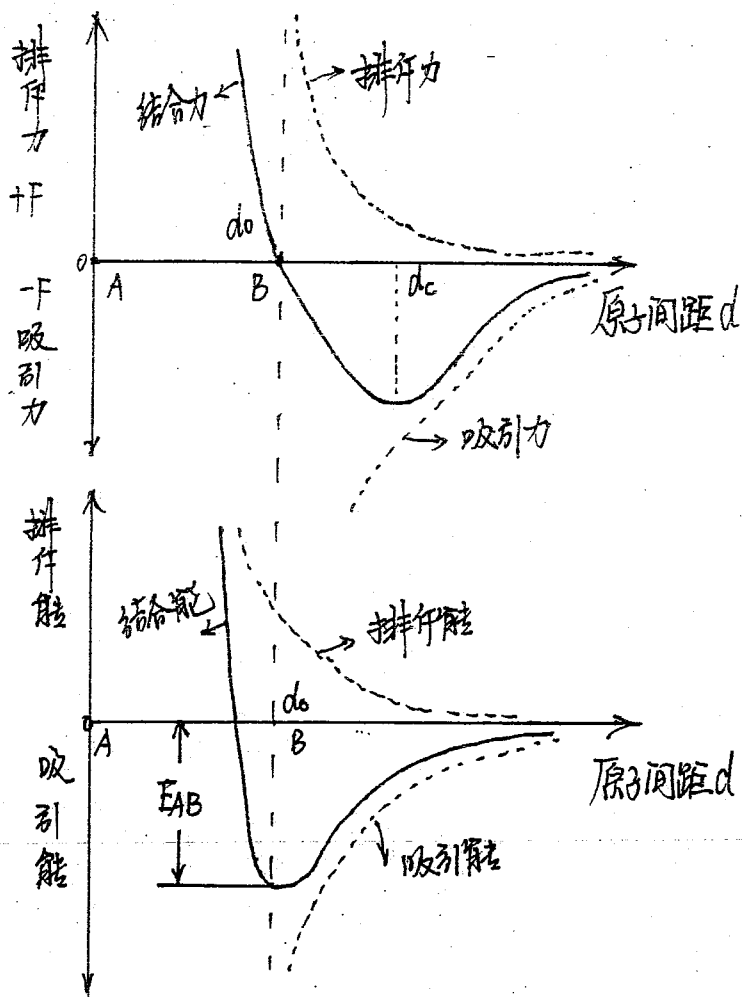
① 范德瓦耳斯力: 借助微弱的, 瞬时的电偶极矩的感应作用, 将原来具有稳定的原子结构的原子或分子结合为一体的键合。

② 特点: 无方向性, 无饱和性; 键能小; 存在于中性原子或分子间。

③ 氢键: 特殊的分子间作用力, 它是由氢原子同时与两个电负性很大而原子半径较小的原子相结合而产生的, 具有比一般次价键大的键力。

特点: 有方向性, 有饱和性; 存在于分子内或分子间。

### 3. 结合力与结合能。



- ① 吸引力是一种长程力；排斥力是一种短程力；
- ②  $d_c$  对应最大结合力，反映金属的理论抗拉强度，金属不同，原子的最大结合力不同。
- ③ 当原子移至平衡距离  $d_0$  时，其结合能达到最低值，即此时原子的势能最低，最稳定。
- ④  $E_{AB}$  称为原子间的结合能或键能，金属不同，其结合能的大小不同。



### 第三章：金属与陶瓷结构

晶体：物质中的原子在空间呈有规则的周期性重复排列形成的物质。（长程有序）

金属一般为晶体，晶体中原子排列规律不同，其性能也不同。

非晶体：物质中的原子在空间无规则排列形成的物质。（不存在长程有序）

晶体与非晶体的区别：

① 晶体熔化时有固定的熔点，而非晶体没有，只是存在一个软化温度范围。

② 晶体具有各向异性，而非晶体具有各向同性。

各向异性：晶体的某些物理性能、力学性能在不同晶向上具有不同的数值现象。

各向同性：材料的各项性能与测量方向无关的现象。

晶格：为便于描述空间点阵的图形，用许多平行的直线将各阵点连接起来就构成了一个三维几何格架，称为晶格。

阵点 ~~空间点阵~~：将实际晶体结构看成完整无缺的理想晶体，并将其中每个质点抽象为规则排列于空间的几何点，称为阵点。

空间点阵：阵点在空间呈周期性规则排列，并具有完全相同的周围环境，这种由它们在三维空间规则排列的阵列称为空间点阵（阵点阵）。

晶胞：为说明点阵排列的规律和特点，可在点阵中取出一个具有代表性的基本单元（最小平行六面体）作为点阵的组成单元，称为晶胞。

晶格常数（点阵常数）：晶胞的棱边长度。

棱边夹角（轴间夹角）：晶胞的棱边夹角。

晶系：根据晶胞外形即棱边长度之间关系和晶轴夹角情况对晶体进行分类。

七大晶系：三斜、单斜、正方、六方、菱方、四方、立方。

单晶：对于晶体来说，如果晶体中的原子是按周期性重复排列并且对整个晶体来说并没有被打断过，换句话说就是由一个晶粒组成的晶体。

多晶：大多数晶体都是由许多晶粒组成的，这样的晶体称为多晶。

非晶：非晶材料中的原子是无规则排列的，无周期性的，主要是在冷却过程中，利用先进技术手段使材料进入玻璃态，这样形成的材料称为非晶材料。非晶材料处于亚稳态。

纳米晶：通常所说的纳米材料，是指至少在一个方向上尺寸为几个纳米的结构单元所构成的晶体材料。

准晶：材料的制备过程中出现了不符合晶体对称条件，但呈一定的周期性的有序排列的类似于晶态的固体。

多晶型性：有些固态金属在不同的温度和压力下具有不同的晶体结构的性质。

晶带：所有平行或相交于某一晶向直线的晶面构成的一个晶带。

晶带轴：所有平行或相交于某一晶向直线的晶面构成一个晶带，此直线称为晶带轴。

共带面：属于同一晶带的晶面。

晶向：晶体中原子的位置，原子列的方向称为晶向，用  $[a, b, c]$  表示。

晶向族：原子排列相同但空间位向不同的所有晶向称为晶向族，用  $\langle u, v, w \rangle$  表示。

晶面：晶体中原子构成的平面，用  $(a, b, c)$  表示。

晶面族：在晶体中凡晶面间距和晶面上原子的分布完全相同，只是空间位向不同的

晶面可归并为一个晶面族，用  $\{h, k, l\}$  表示。

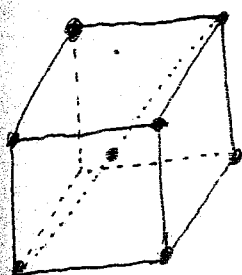
晶向指数与晶面指数：为区分不同的晶向和晶面，需要一个统一的标号来标定它们，这种标号叫做晶向指数或晶面指数。

求法 { 晶向指数：终点坐标 - 起点坐标；  
晶面指数：不过0点，取各轴截点的倒数。

配位数：在晶体中，离子或原子周围与它直接相邻的异号离子或原子个数 (CN)。

致密度：晶胞中原子体积与晶胞体积的比值 (APF)。  $K = \frac{nV_1}{V}$  ;  $\rho = \frac{K}{N_A}$

1) 体心立方 (BCC):



点阵常数:  $a$

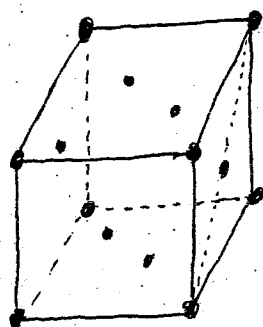
原子数目:  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$

配位数: 8

原子半径:  $R = \frac{\sqrt{3}}{4} a$

致密度:  $K = \frac{nV_1}{V} = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi (\frac{\sqrt{3}}{4}a)^3}{a^3} \approx 0.68$

2) 面心立方 (FCC):



点阵常数:  $a$

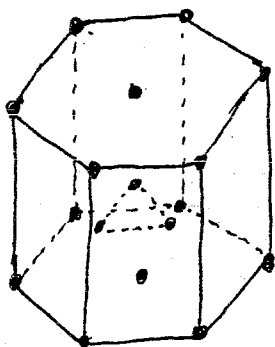
原子数目:  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$

配位数: 12

原子半径:  $R = \frac{\sqrt{2}}{4} a$

致密度:  $K = \frac{nV_1}{V} = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi (\frac{\sqrt{2}}{4}a)^3}{a^3} \approx 0.74$

3) 密排六方 (HCP):



原子数目:  $12 \times \frac{1}{6} + 3 + 2 \times \frac{1}{2} = 6$

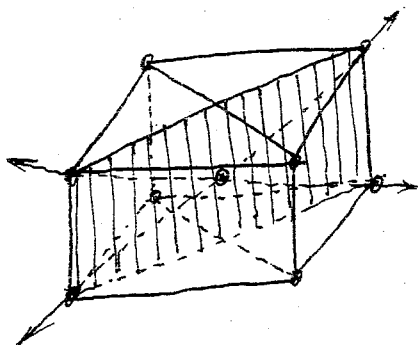
配位数: 12

原子半径:  $\frac{a}{2}$

致密度:  $K = \frac{nV_1}{V} = \frac{6 \times \frac{4}{3}\pi (\frac{a}{2})^3}{\frac{3\sqrt{3}}{2}a^2 \frac{\sqrt{3}}{3}a} \approx 0.74$

# 三种常见金属晶体结构的滑移系:

## 1. 体心立方结构:

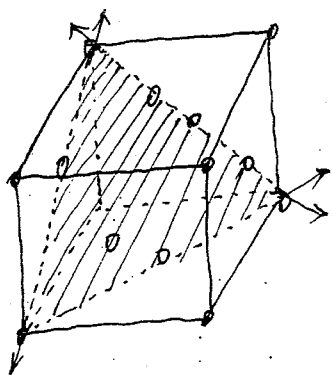


滑移面  $\{110\}$ ;

滑移方向  $\langle 111 \rangle$ ;

滑移系数目:  $6 \times 2 = 12$

## 2. 面心立方结构:

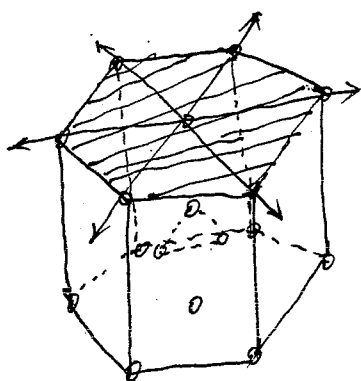


滑移面  $\{111\}$

滑移方向  $\langle 110 \rangle$

滑移系数目:  $4 \times 3 = 12$

## 3. 密排六方结构:



滑移面  $\{0001\}$

滑移方向  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$

滑移系数目:  $1 \times 3 = 3$

平行面只算一个面

## 陶瓷晶体结构:

离子晶体结构: 陶瓷材料属于无机非金属材料, 是由金属与非金属元素通过离子键或兼有离子键和共价键的方式结合起来的结构。

最重要的是判断阳离子的配位数:

- ①  $\frac{r_{阳}}{r_{阴}} < 0.155$ ; 配位数 2; 直线正中间
- ②  $0.155 < r_{阳}/r_{阴} < 0.225$ ; 配位数 3; 平面正三角形结构
- ③  $0.225 < r_{阳}/r_{阴} < 0.414$ ; 配位数 4; 阳离子位于四面体的中心;
- ④  $0.414 < r_{阳}/r_{阴} < 0.732$ ; 配位数 6; 阳离子位于八面体的中心;
- ⑤  $0.732 < r_{阳}/r_{阴} < 1$ ; 配位数 8; 阳离子位于体心立方中心;

## 典型离子晶体结构:

1. AB型化合物:
- ①  $\left\{ \begin{array}{l} \text{CsCl型: 简单体心立方点阵 BCC;} \\ \text{CsBr型: Cl}^- \text{构成正八面体, Cs}^+ \text{在中心} \\ \text{CsI型: Cs}^+ \text{与Cl}^- \text{的配位数均为8.} \end{array} \right.$

- ② NaCl型: 立方晶系, 面心立方点阵 (FCC)

$\text{Na}^+$  位于  $\text{Cl}^-$  的面心体间隙中, 配位数为 6;

- ③ 立方 ZnS型: 立方晶系, 面心立方点阵 FCC;

配位数为 4。

## 2. AB<sub>2</sub>型化合物:

$\text{CaF}_2$ 型: 立方晶系, 面心立方点阵 FCC; 正负离子比 1:2; 配位数为 4。

## 聚合物结构:

单体: 高分子化合物独立存在的单元, 是单个分子的稳定状态。

聚合物: 由小重复单元(链节)组成的具有高分子量的同态非金属的物质。

同素异构: 具有相同成分的碳氢化合物, 但具有不同的原子排列顺序的现象。

均聚物: 由相同的链节组成的链状聚合物。

共聚物: 由两种或多种不同链节组成分子链的聚合物。

分子结构:

- ① 线性聚合物;
- ② 支链聚合物;
- ③ 交联聚合物;
- ④ 网络型聚合物。

聚合物晶体: 聚合物中分子链排列呈周期和重复的原子排列, 这样的聚合物称聚合物晶体。

高分子链: 由单体通过聚合反应连接而成的链状分子。

聚合度: 高分子链中的重复结构单元的数目。

热固性聚合物: 这种聚合物一旦由化学手段固化或硬化, 再进行加热时将不能变软或熔化。

热塑性聚合物: 这种聚合物当加热时变软、冷却时变硬, 所以当这种颗粒状物质处于软态时能够模具成型或挤压成型。

## 固体中的缺陷:

**晶体缺陷:** 在实际晶体中, 由于原子(或离子、分子)的热运动, 以及晶体的形成条件、冷加工和其他辐射, 杂质的影响, 实际晶体中原子的排列不可能那样规则、完整, 常存在各种偏离理想结构的情况, 即晶体缺陷。

**点缺陷:** 在三维空间的各个方向上尺寸都很小, 尺寸范围约为一个或几个原子尺寸, 故称为零维缺陷, 包括空位、间隙原子, 或溶质原子等。

**线缺陷:** 两个方向上尺寸都很小, 另外一个方向上延伸较长, 也称一维缺陷, 如各类位错。

**面缺陷:** 在一个方向上尺寸很小, 另外两个方向上伸展很大, 也称二维缺陷, 包括表面、晶界、亚晶界等。

**空位:** 当点阵中某一原子具有足够大的振动能而使振幅增大到一定限度时, 就可能克服周围原子对它的制约作用, 脱离其原来的位置, 使点阵中形成空结点。

**热平衡缺陷:** 由于热起伏促使原子脱离点阵位置而形成的点缺陷。

**电荷缺陷:** 失去电子的位置留下电子空穴, 得到电子的位置就使负电荷增加, 从而造成晶体内电荷的分布, 引起周围势能的畸变, 造成晶体的不完整性。

**迁移:** 空位周围的原子, 由于热激活, 某个原子有可能获得足够的能量而跳入空位中, 并占据这个空位位置, 该原子的原来位置上就形成了空位, 这个过程...

**复合:** 在运动过程中, 当间隙原子与一个空位相遇时, 它将落入该空位, 使两者都消失, 这一过程...

**间隙原子:** 在一定条件下, 晶格表面上的原子也可能跑到晶体内部的间隙位置, 形成间隙原子。

**弗伦克尔缺陷:** 在离子晶体中的阳离子-空位对和阳离子-间隙原子对。

**肖特基缺陷:** 在离子晶体中的一种缺陷称谓, 它是由一个阳离子空位和一个阴离子空位形成的空位对。

刃型位错：一种一维线型晶体缺陷，形态上可以描述为晶体中存在的多余半原子面的末端附近区域所形成的原子错排组态。

特点：位错线与柏氏矢量相垂直。

螺型位错：一种一维线型晶体缺陷，形态上可以描述为相互平行的相邻晶面间依次错粘合在一起形成的螺旋斜面的中心线附近区域所形成的原子错排组态。

特点：位错线与柏氏矢量相平行。

混合位错：当柏氏矢量与位错线既不平行又不垂直而交成任意角度时，则位错是刃型与螺型的混合类型。

位错环：由于位错线是已滑移区和未滑移区的分界线，因此，位错具有一个重要性质，即一根位错线不能终止于晶体内部，而只能露头于晶体表面。若它终止于晶体内部，则必与其他位错线相接，或在晶体内部形成封闭线，形成封闭线的位错称位错环。

位错密度：单位体积晶体中所含有的位错线的总长度，实际当中定义为材料内部穿过单位面积和的位错线数目。

单位位错：把柏氏矢量等于单位点阵矢量的位错称单位位错。

滑移带：为观察滑移现象，可将经良好抛光的单晶体金属棒试样进行适当拉伸，使之发生一定的塑性变形，即可在金属表面见到一条条细线，通常称滑移带。在宏观观察中看到的滑移带并不是单线而是一系列相互平行的更细的线组成，称为滑移线。



滑移：晶体中相邻两部分在外应力作用下沿着一定的晶面和晶向相对滑动。

滑移系：一个滑移面和其面上的一个滑移方向合起来称一个滑移系。

位错的滑移：在外加切应力的作用下，通过位错中心附近的原子沿柏氏矢量方向在滑移面上不断地作少量的位移而逐步实现的。

柏氏矢量：是反映位错周围点阵畸变积累的物理量，矢量的方向表示位错的性质与位错的取向，而大小表示畸变的强度，称位错的强度。

特征：① 守恒性：与回路起点及其具体途径无关。

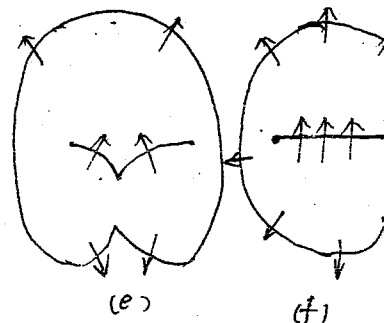
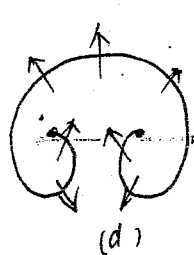
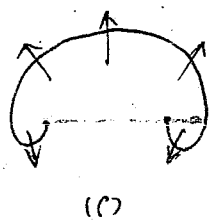
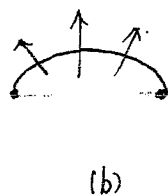
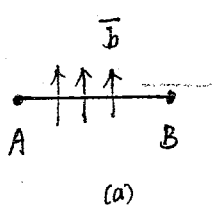
② 一个柏氏矢量可分解为几个柏氏矢量位错，则分解后各柏氏矢量之和等于原位错的柏氏矢量。 矢量性

③ 一根位错线有唯一的柏氏矢量。 唯一性

④ 位错有连续性。不能中断于晶体内部，可以形成位错环或终止于晶界。 连续性

⑤ 位错的增殖：(Frank-Read 位错源)。

前提：位错网络上的结点可能成为固定的结点。



位错的割断：前提：多滑移时，滑移面相交，发生割断。

两位置柏氏矢量方向不同。

位错的塞积：遇到障碍物（固定位错、杂质粒子、晶界等）。

表面: 是指固体材料与气体或液体的分界面。

表面能: 晶体表面单位面积自由能的增加。

界面: 通常包含几个原子层厚的区域, 该区域内的原子排列甚至化学成分往往不同于晶体内部, 又因其系二维分布, 故又称晶体的面缺陷。(包括外表面和内界面)。

外表面: 包括表面或自由界面。

内表面: 晶界、亚晶界、孪晶界、相界、层错。

晶界: 多数晶体物质是由许多晶粒所组成的, 晶体结构相同, 但位向不同的晶粒之间的界。

亚晶界: 每个晶粒有时由若干位向稍有差异的亚晶粒所组成, 相邻亚晶粒间的界面。

小角度晶界: 相邻晶粒的位向差小于 $1^\circ$ 的晶界。

大角度晶界: 相邻晶粒的位向差大于 $1^\circ$ 的晶界。

晶界能: 形成单位面积界面时, 系统的自由能变化 ( $dF/da$ ): 等于界面反单位面积能量减去无界面时该反单位面积的能量。

晶界的特征: ① 点阵畸变大, 存在晶界能。

② 原子排列不规则, 宏观表现为晶界强度和硬度高于晶内。

③ 原子在晶界处扩散速度比晶内快, 晶界处原子偏离平衡位置, 具有较高的动能, 并且存在诸如空穴、杂质原子、位错等缺陷。

④ 固态相变时新相易于在晶界处优先形核。

⑤ 晶界能量高, 原子处于不稳定状态, 杂质原子富集, 晶界腐蚀速度快。

相界: 具有不同结构两相之间的分界面。

共格相界、半共格相界、非共格相界。

堆垛层错: 实际晶体结构中, 密排面的正常堆垛顺序有可能遭到破坏与错排。

孪晶: 两个晶体 (或一个晶体两部分) 沿着一个公共面构成镜面对称位向关系, 这两个晶体就称为“孪晶”, 此公共面称为孪晶面。

## 合金相结构

合金：由两种或两种以上的金属或金属与非金属经熔炼、烧结或其他方法组合而形成的具有金属特性的物质。（改变和提高金属材料性能，合金化是最主要途径）。

组元：组成一个体系的基本单元。

相：体系具有相同的物理和化学性质，并与其他部分以界面分开的均匀部分。

固溶体：以某一组元为溶剂，在其晶格点阵中溶入其他组元原子（溶质原子）所形成的均匀混合的固态溶体。（保持着溶剂的晶格结构类型）。

中间相：若组成合金相的异类原子有固定的比例，所形成的固相晶格结构与各组元均不相同，而这种相的成分多数介于A在B中溶解度限和B在A中溶解度限之间，即落在相图的中部部位。

置换固溶体：溶质原子取代或代替溶剂原子而形成的固溶体。

间隙固溶体：溶质原子分布于溶剂晶格间隙而形成的固溶体。

影响置换固溶体溶解度的因素：

- ① 晶格结构：晶格结构相同是组元间形成无限固溶体的必要条件。
- ② 原子尺寸：原子半径差  $\Delta r < 15\%$  时，利于形成溶解度较大的固溶体。  
 $\Delta r > 15\%$  时， $\Delta r$  越大，溶解度越小。（稳定性差，畸变程度大）。
- ③ 化学亲和力：电负性相近易溶。
- ④ 原子价：溶质原子价浓度越高，溶解度越低，越易形成化合物。
- ⑤ 电子浓度：合金中价电子数与原子数目比值， $e/a$ 。  
 $e/a = 1.4$  为极限电子浓度， $e/a > 1.4$ ，固溶体不稳定，形成另外相。
- ⑥ 温度：温度越高，溶解度越大。

无限固溶体：溶质原子能无限溶于溶剂中形成的固溶体。

有限固溶体：溶质原子不能无限溶于溶剂中形成的固溶体。

有序固溶体 | 无序固溶体。

# 扩散

扩散：固体中原子或分子，通过热运动而发生大程迁移，或宏观物质传输现象。

自扩散：把不依赖于浓度梯度，而仅由热振动而产生的扩散称为自扩散。

化学扩散：扩散是由于浓度梯度所引起的，这样的扩散称为化学扩散。

互扩散：一种物质向另一种物质进行扩散，另一种物质也向该物质扩散。  
(互扩散)

稳态扩散：扩散通量不随时间而变化的扩散。

非稳态扩散：在大多数实际情况下，扩散通量通常是由随时间变化而变化的扩散。

上坡扩散：物质从低浓度区向高浓度区扩散，扩散的结果是提高了浓度梯度。

反应扩散：通过扩散形成新相的现象称为反应扩散。

短路扩散：在晶界、表面及位错等缺陷处的扩散。

菲克第一定律：扩散中原子的通量与质量浓度梯度成正比，即  $J = -D \frac{dp}{dx}$

①  $J$ ：扩散通量，表示单位时间内通过垂直于扩散方向  $x$  的单位面积的扩散物质的质量。 ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

②  $D$ ：扩散系数  $\text{m}^2/\text{s}$

③  $p$ ：扩散物质的质量浓度  $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

④  $-$ ：表示物质的扩散方向与物质质量浓度梯度方向相反，即表示物质从高的质量浓度向低的质量浓度方向迁移。

⑤ 菲克第一定律描述了一种稳态扩散。

菲克第二定律： $\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D \frac{\partial p}{\partial x})$  或  $\frac{\partial p}{\partial t} = D \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$  (假设  $D$  与浓度无关)。

菲克第二定律描述了一种非稳态扩散。

扩散系数：单位浓度梯度下的扩散通量。

扩散机制：① 交换机制：包括直接交换与环状交换，扩散结果是互扩散。

② 间隙机制：所需要的扩散激活能较大，会引起较大晶格畸变。

③ 空位机制：借助空位原子进行扩散，空位使原子扩散更容易，所需扩散激活能小，此机制使扩散出现不等量扩散。

④ 界面扩散及表面扩散：由于晶界、表面及位错均可视为晶体缺陷，使得原子迁移比完整晶体内容易，导致这些缺陷中的扩散速率大于完整晶体的。  
因此，晶界、表面及位错处有利于原子的扩散。

渗碳：从周围环境中向铁基合金表面扩散碳，从而使其表面碳浓度提高的工艺过程。

扩散驱动力：化学势梯度  $\partial\mu/\partial x$ ； $F = -(\frac{\partial\mu}{\partial x})$ 。

负号表示驱动力与化学势下降方向一致，即扩散总是向化学势减小方向进行。

扩散激活能：原子扩散所需要的能量。

影响扩散的因素：

① 温度：最主要因素，温度越高，热激活能越大，扩散系数越大。

② 固溶体类型：不同类型的固溶体，扩散机制与扩散激活能不同。

③ 晶体结构：结构不同，致密度不同，扩散速度不同。

④ 晶体缺陷：缺陷处点阵畸变大，原子处于高能态，扩散激活能小，加快原子扩散。

⑤ 化学成分：第三组元可促进、减缓或不改变扩散。

⑥ 应力的作用：应力会提供原子扩散驱动力，促进扩散。

# 力学性质

弹性变形：外力除去后能够完全恢复的那部分变形。

塑性变形：超出弹性形变发生的范围，其应力与应变不再成正比，永久不可回复的形变发生。

屈服：金属的屈服是指塑性或永久形变开始发生的现象。

屈服强度：塑性变形开始时的应力。

拉伸应力（拉伸强度）：样品可承受的最大拉伸应力。

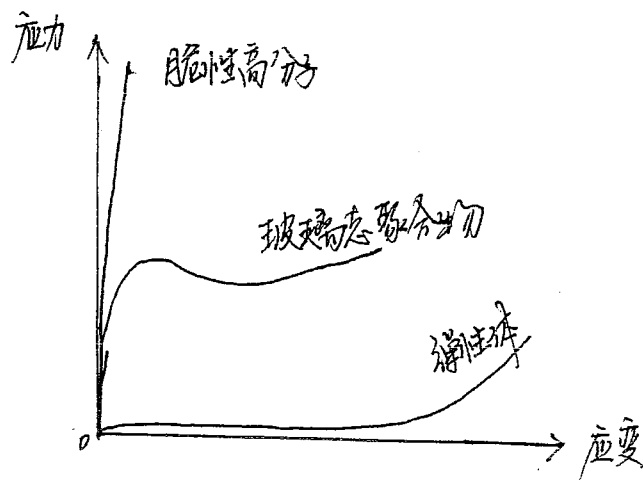
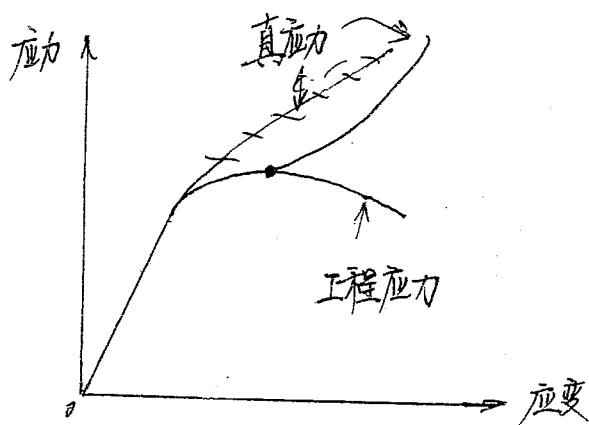
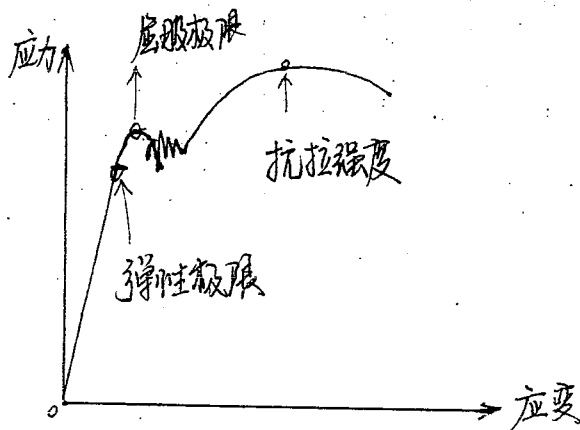
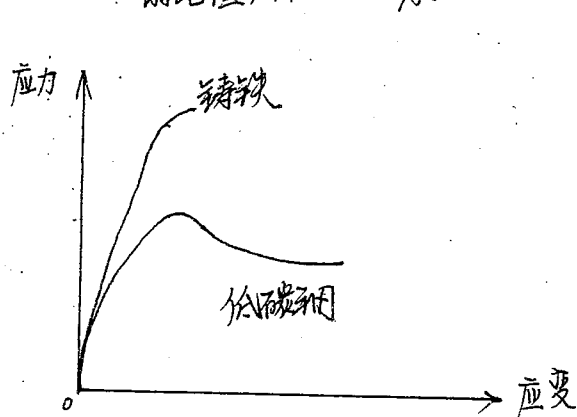
真应力：载荷  $F$  与应变开始的瞬时横截面积  $A_i$  的比值  $\Delta T = \frac{F}{A_i}$

真应变：如果无体积变化的情况下，真应力与真应变关系为  $\epsilon_T = \ln(H\epsilon)$

$\epsilon_T = \ln(\frac{l_i}{l_0})$   $l_0$ : 样品加载前长度,  $l_i$  加载瞬间长度。

工程应变：与初始长度相比较，某一时刻样品形变的延长率或长度变化，即  $\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$

工程应力：指加载在垂直样品横截面的瞬时载荷与加载前样品的初始横截面积，的比值，即  $\sigma = \frac{F_i}{A_0}$  (MPa)。



## 塑性变形微观解释:

超过弹性极限发生层错之间的相对滑移,大量的滑移积累构成宏观变形。

## 弹性变形的本质:

原子处于平衡位置时,原子间距为 $r_0$ ,势能 $U$ 处于最低位置,相互作用力为零,这是稳定状态,当原子受力后将偏离其平衡位置,原子间距增大时将产生引力,原子间距减小时产生斥力,这样外力去除后,原子会恢复其原来的平衡位置,所产生的变形完全消失。

滞弹性: 应力施加后,大多数工程材料弹性形变都会持续,并且撤去加载,样品的完全回复需要一定的时间,这种与时间相关的弹性形变为滞弹性。

韧性: 材料在断裂前所能吸收能量的量度。

弹性: 材料在弹性形变中吸收能量的能力。

硬度: 材料抵抗局部塑性形变的量度。

抗拉强度: 样品可能承受的最大拉伸应力。

抗弯强度: 对脆性陶瓷材料来说,抗弯强度即为横向弯曲试验中样品断裂时的应力。

弹性回复: 指当样品所受应力撤销后,其完全回复到初始形状的现象。

## 金属的变形特点及微观解释:

(1): 金属晶体受力发生塑性变形时,是通过滑移过程进行的,而对滑移影响最大的因素是位错,因此当金属中存在阻碍位错运动的因素,都会阻碍晶体发生塑性变形。

① 固溶强化中的溶质原子或杂质原子以及时效硬化后合金中均匀分散的粒子,引起晶格畸变

② 细晶粒的合金中的晶界增多。

③ 加工硬化后的金属中含有的位错密度增大。

上述因素会导致位错运动的困难,从而阻碍晶体发生塑性变形。

(2) 单相固溶体中因为溶质原子的加入不仅提高了整个应力应变曲线水平,而且使合金的

加工硬化速率增大。

37. 有些单相固溶体会出现明显的屈服点和应变时效现象。

① 屈服现象的物理本质：溶质原子或杂质与位错交互作用而形成溶质原子云团（Cottrell 云团）。其次当位错处于较低能量时，位错趋于稳定，不易运动，即对位错有“钉扎作用”。位错要运动，必须在更大的应力作用下才能挣脱 Cottrell 云团的钉扎作用而移动，从而形成上屈服点。而且挣脱后位错就比较容易移动，即应力突然下降，并在应力基本恒定的下屈服点发生屈服和伸长，出现下屈服点和平台区。

② 应变时效行为：将金属试样拉伸至屈服点并发生少量变形后卸载（已挣脱云团的钉扎），然后立即重新加载拉伸，其拉伸曲线不再出现屈服点；若常温放置几天或  $200^{\circ}\text{C}$  左右短时加热，然后再进行拉伸，屈服现象又出现。

47. 多相合金的塑性变形中，第二相的数量、尺寸、形状和分布对合金的塑性变形都有不同的影响。

① 第二相粒子与基体晶粒尺寸属同一量级，则合金的变形能力取决于两相的体积分数。

② 第二相粒子细小弥散的微粒均匀分布于基体相中时，将产生显著的强化效果。

457. 多晶体变形特点：

① 一个多晶体是否能够发生塑性变形，决定于它是否具备有 5 个独立的滑移系来满足各晶粒变形时相互协调的要求。

② 晶界的影响：由于晶界上点阵畸变严重，原子排列不规整且晶界两侧的晶粒取向不同，因而在相邻晶粒中滑移的位错不能直接进入第二相粒子。要使第二晶粒产生滑移，必须增大外应力。常温下晶界对滑移具有阻碍作用，随晶粒细化程度增加，晶界数量越多，阻碍作用越明显。



## 陶瓷材料的特点及微观解释:

- 1.17. 相对金属与高分子材料而言, 陶瓷材料由共价键和离子键构成, 脆和难以变形是其主要特点。共价晶体由于共价键决定了晶体难以变形, 离子晶体由于离子键决定了晶体脆性断裂。
- 1.27. 陶瓷材料制备中材料难免存在显微孔隙, 因而其抗压强度大于抗拉强度。
- 1.37. 变形温度对陶瓷材料的力学性能产生显著影响, 高温下, 陶瓷变形容易, 还会发生蠕变和黏性流动。

## 高分子(高聚物)的变形特点:

- 1.17. 聚合物的塑性变形是靠黏性流动, 而不是靠滑移产生。其力学性能对时间和温度的依赖性强。
- 1.27. 很多高分子材料在塑性变形时会出现均匀变形的不稳定性。最常见的是细颈形成。
- 1.37. 影响高分子材料变形的因素: ①温度 ②应变速率 ③分子的质量 ④结晶度。

## 变形与强化机制

冷加工(冷变形): 金属在再结晶温度以下进行的塑性变形。

热加工(热变形): 金属在再结晶温度以上进行的塑性变形。

临界剪切应力: 使得晶体开始滑移所需要的纯剪切应力, 在某一定滑移面和滑移方向上的分量。

晶粒长大: 多晶体材料中晶粒尺寸的增大, 对大多数材料来说, 晶粒长大只在开了温度加热的时候发生。

晶格应变: 原子相对于它们正常点阵位置的轻微位移, 通常是由晶体缺陷引起的。

回复: 冷塑性变形金属释放其部分应变能的过程, 通常采用热处理方法。

再结晶: 在冷塑性变形材料的内部生成等轴状新晶粒的过程。

再结晶温度: 对于某种合金, 在大约一小时的时间里, 完成再结晶所需要的最低温度。

固溶强化: 由于合金化形成固溶体而导致的材料硬化和强化, 实质在于溶质原子对位错运动的阻碍作用。

加工硬化: 塑性材料于再结晶温度以下进行塑性变形引起的硬度和强度升高的现象。

回复退火: 主要用除去应力退火, 使冷加工的金属在基本保持加工硬化状态的条件下降低内应力, 以避免变形并改善工件的耐蚀性。

回复机制: ① 低温回复: 回复主要与点缺陷的迁移有关, 对点缺陷敏感。

② 中温回复: 会发生位错运动与重新分布。

③ 高温回复: 刃型位错获得足够能量产生攀移。

回复特点: ① 无孕育期

② 初期回复速率很大, 随后逐渐变慢至趋近于零。

③ 每一温度的回复程度有一极限值, 退火温度越高, 此极限值越高。

④ 预变形量越大, 起始的回复速率也越快, 晶粒尺寸细小有利于回复过程。

二次再结晶(异常晶粒长大): 当晶粒细小的一次再结晶组织被继续加热时, 阻碍正常晶粒长大的因素一旦开始消除时, 少数特殊晶界将加速迁移, 这些晶粒一旦长到超过它周围晶粒时, 由于大晶界总是凹向外侧, 因而晶界总是向外迁移而扩大, 结果它就愈长愈大, 直到相互接触为止, 形成二次再结晶。

再结晶的特点: ① 驱动力: 是变形金属经回复后未释放的位错能。

② 形核: 主要有两种机制——晶界形核与亚晶界形核机制。

③ 晶粒长大: 界面迁移的推动力是无畸变的新晶粒与周围畸变的母体之间的应变能差。

再结晶的影响因素: ① 变形程度: 变形程度越大, 储能越高, 再结晶速度越快。

② 原始晶粒尺寸: 原始晶粒越细小, 变形抗力越大, 冷变形后储能的能量较高, 再结晶温度则较低。

③ 微量溶质原子: 微量溶质元素不利于再结晶的进行。

④ 第二相粒子: 第二相粒子既可能促进, 又可能阻碍再结晶。

⑤ 再结晶退火工艺参数: 加热温度、加热速度、保温时间。

冷变形金属加热时组织与性能变化:

① 强度、硬度: 回复阶段硬度变化小, 再结晶阶段下降大, 硬度不变。

② 电阻: 电阻率下降。

③ 内应力: 回复阶段大部分或全部宏观内应力消除。微观应力只能在再结晶消除。

④ 亚晶粒尺寸: 回复前期变化不大, 后期显著增大。

⑤ 金属密度: 显著提高。

⑥ 储能释放: 回复时释放少, 再结晶时释放多。

再结晶与凝固过程结晶的异同:

① 相同点: ① 再结晶与凝固过程都有形核和长大两过程。  
② 温度对两者都是一个重要参数。

127 不同点: ①二者的形核和长大的具体过程与方式不一样。

②再结晶的晶核不是新相,其晶体结构并未改变,它是存在于局部高能量区域内的,以多边形形成的亚晶为基础形核。凝固过程的形核有均匀和非均匀形核,它形成了新相。

再结晶晶体长大方式是借界面的移动而向周围的畸变区域长大,凝固过程晶体的长大原子依附晶体表面,按照晶体表面原子排列要求结合起来的。

③再结晶的驱动力是变形金属经回复后未被释放的不稳定性。

凝固过程的驱动力是过冷度,吸收能量的过程。

④再结晶形成的组织是无畸变的等轴晶粒;

凝固后形成的微观组织与凝固的温度、速率等外界因素有关。

⑤再结晶过程是一个显微组织重新改组的过程。

凝固结晶过程是一个相变过程,由液相转变为固相。

### 纯晶体的凝固:

理论结晶温度: 原子在固态中自由能与液态中自由能随温度变化的两条曲线的交点。

过冷度: 理论结晶温度与实际结晶温度的差值称为过冷度  $\Delta T = T_m - T$ ;

凝固: 由液相互固相的转变,如果凝固后的固体是晶体,则又称为结晶。

晶体凝固的热力学条件: 实际结晶温度低于理论结晶温度,即存在过冷度。

临界过冷度: 在冷液体中,能够形成临界晶核半径的晶胚的过冷度。

晶胚(胚芽): 在液态金属中,时聚时散的这些有序原子团是形成晶核的胚芽。

临界形核:  $r=r^*$  时,晶胚的长大趋势等于消失趋势,这样的晶核称为临界形核。

均匀形核: 晶体在结晶过程中,在液相内部由于热过冷的存在,完全依靠液体内部的晶胚的形核过程。

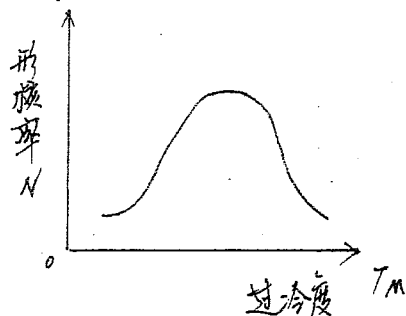
非均匀形核: 依靠外来杂质或铸型内壁形核的过程。

结构起伏：液态结构的最重要特征是原子排列为长程无序，短程有序，并且短程有序

原子集团不是固定不变的，它是一种此消彼长，瞬息万变，尺寸不稳定的结构。

能量起伏：体系中每个微小体积，所具有的能量会偏离体系平均能量水平而瞬时涨落的现象。

过冷度对形核率的影响：



在过冷度较小时，形核率受形核率因子控制，随着过冷度的增加，所需的临界形核半径减小，因此形核率迅速增大并达到最高值。当过冷度继续增大，尽管所需临界形核半径减小，但较低温度下原子难以扩散，形核率减小。

晶体的长大方式：

① 按固液相前沿的界面结构来确定：粗糙界面（非小平面界面）和光滑界面（小平面界面）。

粗糙界面：在固液两相之间的界面从微观来看是高低不平，存在几个原子层厚度的过渡层，在过渡层中约有半数的位置为固相原子占据。但由于过渡层很薄，因此从宏观来看，界面显得平直，不出现曲折小平面，这种界面称为非小平面界面。

光滑界面：在界面处固液两相截然分开，固相的表面为基本完整的原子密排面，从微观上来看，是光滑的，但宏观上它往往由不同位向的小平面所组成，故呈折线状，这类界面也称为小平面界面。

② 金属与一些低熔点的有机化合物其液固界面多为粗糙界面。

大多数无机化合物及亚金属、半导体其液固界面为光滑界面。

③ 粗糙界面一般为连续长大；光滑界面为二维晶核长大和二维型位错长大。

（掌握二维晶核长大与螺旋型位错长大）。

晶体的生长形态：

晶体的生长形态主要受温度梯度的影响：

- ① 正温度梯度：固液界面一般保持平面生长形态，偶有突起，也会受到液相内高温的影响而熔掉。
- ② 负温度梯度：晶体的生长方式一般以树枝晶的方式生长，负温度梯度有利于树枝晶的形成和快速长大。

## 失效

延性断裂(韧性断裂): 一种伴随着大量塑性变形的断裂方式。

脆性断裂: 通过快速裂纹扩展发生断裂, 没有任何可预见的塑性变形。

穿晶断裂: 断裂过程中裂纹扩展是从晶粒中间穿过的断裂。

沿晶断裂: 对于某些合金来说, 裂纹扩展是沿晶界完成的断裂。

延性-脆性转变: 体心立方合金随着温度的降低表现出从延性到脆性的行为。

断裂韧性(KIC): 发生裂纹扩展时应力强度因子的临界值。

平面应变断裂韧性: 平面应变条件下应力强度因子的临界值。

冲击功(缺口韧性): 标准尺寸及形状的试样受到快速冲击载荷时, 断裂过程中所吸收的能量量度。

疲劳极限: 对疲劳而言, 最大应力幅值水平, 低于该材料可以承受无限次应力循环而不失效。

疲劳强度: 对应某一特定循环次数, 材料能承受而不失效的最大应力水平。

表面硬化: 通过渗碳或渗氮方法使钢件的外表面或表面硬化, 改善耐磨性。

蠕变: 材料在静态作用力及特定温度条件下, 材料的变形随时间的塑性变形。

疲劳: 在相对低的应力水平下, 承受交变和循环应力时结构的失效。

疲劳寿命: 在某一指定应力幅值下, 引起疲劳失效的应力循环总数。

热疲劳: 一种疲劳失效类型, 循环应力是由于交变热应力引起的。

腐蚀疲劳: 由循环应力和化学腐蚀同时作用导致的一类失效。

影响疲劳寿命的因素:

① 平均应力: 平均应力增加, 疲劳寿命降低。

② 表面效应: 表面状态及表面形态, 多数疲劳失效由裂纹在表面萌生。

③ 设计因素: 构件的几何形态防止应力集中。

④ 表面处理: 通过抛丸等方法消除表面缺陷。

组织：在合金中，组织是由许多的相以一定的比例以及分布方式构成。

相律：在平衡状态下体系中所存在的相数与组元数及温度、压力之间的关系规律。 $F = C - P + 2$

奥氏体：具有面心立方晶格结构的 $\gamma$ -Fe，碳溶解于 $\gamma$ -Fe中形成的间隙固溶体。

铁素体：具有体心立方晶格结构的 $\alpha$ -Fe，碳溶解于 $\alpha$ -Fe中形成的间隙固溶体。

渗碳体：铁与碳形成的化合物 $Fe_3C$ 叫做渗碳体，其碳含量为6.69%。

共晶反应：随着冷却过程，一个液相等温可逆地转变为两个紧密结合的新固相的反应。

共析反应：随着冷却过程：一个固相等温可逆地转变为两个紧密结合的新固相的反应。

包晶反应：随着冷却过程，一固相和一液相等温可逆地转变为具有不同组成的固相的反应。

匀晶反应：由液相结晶出单相固溶体的过程。

离异共晶：形成共晶组织的两相分离开来的共晶组织形态。

伪共晶：在非平衡结晶情况下，尽管合金成分偏离相图中共晶成分点，依然能够形成完全的共晶组织形态。

共晶体：共晶转变生成物的两个相的机械混合物。

平衡相图：相图所示的相一般均为平衡状态（外界条件不变时，一般呈种状态也不随时间变化），此相图称平衡相图。

平衡相：是指体系的一种状态，在此状态下，在无限长的时间内，相的性质保持不变。

中间固溶体：非纯组分的更成分范围的固溶体或相。

端部固溶体：成分范围处于二元相图中两端的固溶体。

共晶结构：具有共晶成分的液体凝固得到的两相显微结构组织。

共晶相：共晶结构中存在的两相中的某相。

过共析合金：可得到共析反应的合金体系，此合金中溶质的浓度大于共析成分。

亚共析合金：可得到共析反应的合金体系，此合金中溶质的浓度小于共析成分。



先共析渗碳体：先共析钢中与珠光体共存的最初析出的渗碳体。

先共析铁素体：亚共析钢中珠光体共存的最初析出的铁素体。

金属间化合物：具有明确的化学式的两种金属间的化合物，在相图中，它以中间相出现，其存在的成分范围特别窄。

相图：用图形来描述相平衡系统的成分、外界条件与相的状态，呈各种几何图形。

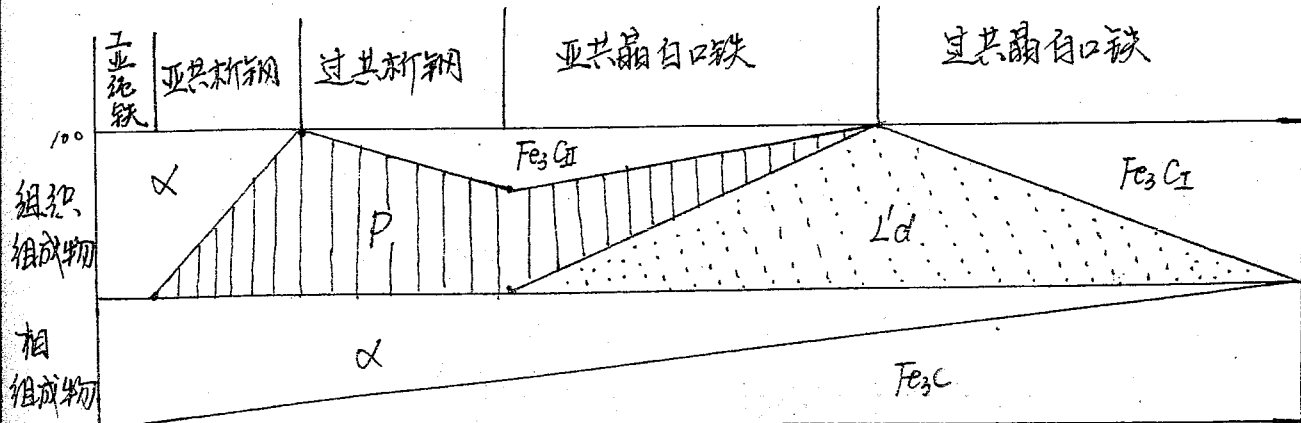
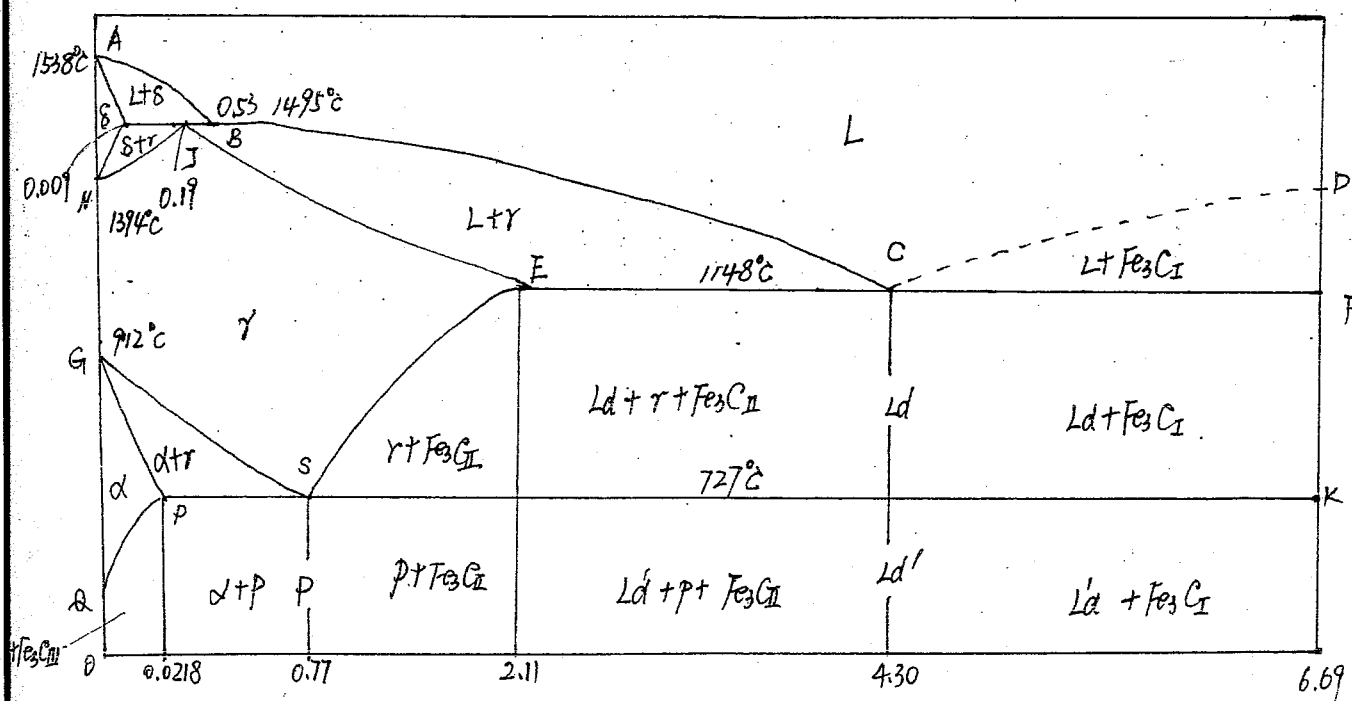
合金钢：含有显著的合金元素（除C和残余的Mn、Si、S和P）浓度的铁合金。

溶解度：不形成新相的条件下，溶质可溶解在溶剂中的最大浓度。

平衡凝固：凝固过程中每个阶段都满足平衡条件。

三个过程：①液相内的扩散过程；②固相的扩散系数大；③固相的扩散过程。

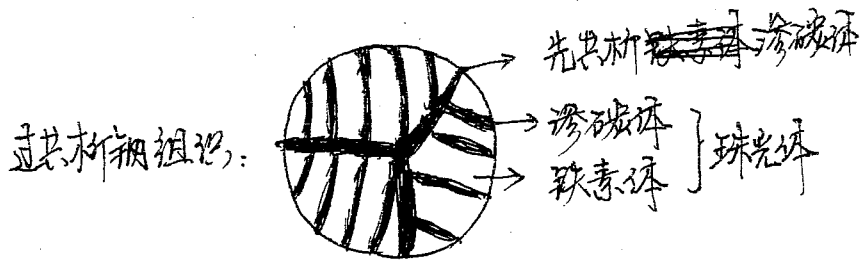
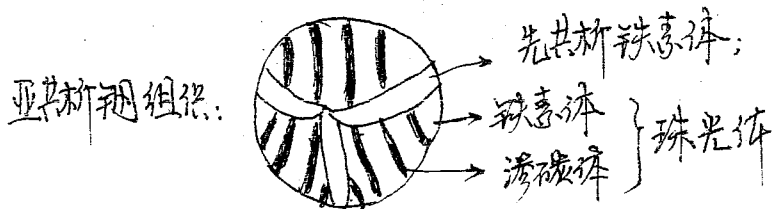
非平衡凝固：凝固过程是偏离平衡条件下的过程。



包晶反应:  $\delta (wt\%0.09) + L (0.53 wt\%C) \xrightarrow{1493^{\circ}C} \gamma (0.1 wt\%C)$

共晶反应:  $L (4.30 wt\%C) \xrightarrow{1148^{\circ}C} \gamma (2.11 wt\%C) + Fe_3C (6.67 wt\%C)$

共析反应:  $\gamma (0.77 wt\%C) \xrightarrow{727^{\circ}C} \alpha (0.0218 wt\%C) + Fe_3C (6.67 wt\%C)$



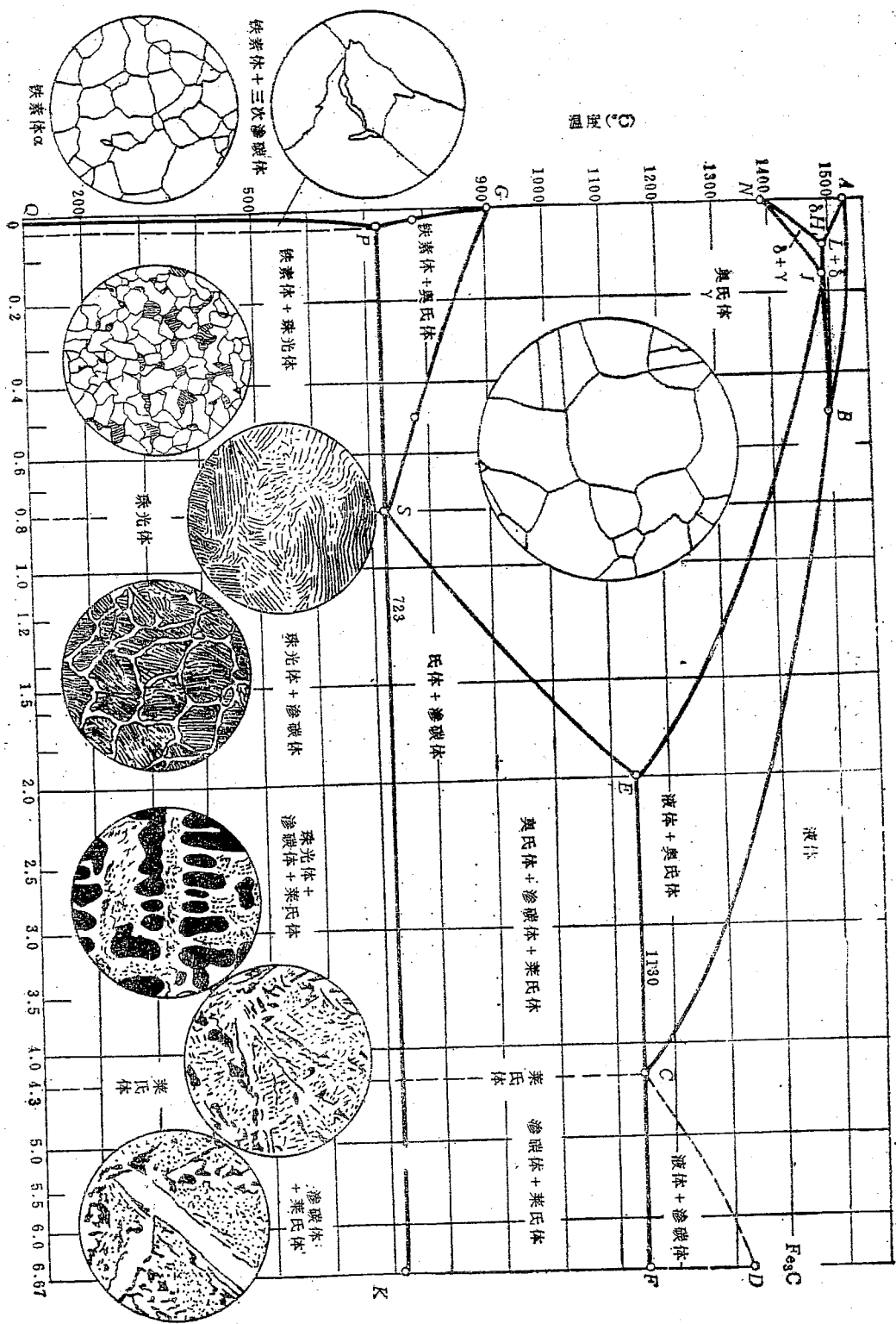


图2-40 Fe-Fe<sub>3</sub>C相图

## 相变

**珠光体**: 由铁素体成分的铁素体转变而得到的在一些钢和铸铁中出现的显微结构, 是由铁素体和渗碳体交互形成的层状或片状组成。

**贝氏体**: 钢和铸铁中发生的铁素体的转变产物, 珠光体和马氏体转变发生的温度区间产生贝氏体。贝氏体的显微结构由铁素体和精细分散的渗碳体组成。

**马氏体**: 过饱和碳的亚稳态相, 是铁素体的无扩散转变产物。

**回火马氏体**: 加热温度为  $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ , 回火后得到的碳在  $\alpha\text{-Fe}$  中过饱和程度较小的固溶体。

**人工时效**: 通过室温以上的时效, 产生的沉淀硬化。

**自然时效**: 通过室温以下的时效, 产生的沉淀硬化。

**过时效**: 沉淀硬化过程中, 超过最大的强度和硬度点的时效。

**粗状珠光体**: 铁素体和渗碳体交替重叠的层距相对厚的珠光体。

**精细珠光体**: 铁素体和渗碳体交替重叠的层距相对薄的珠光体。

**连续冷却转变图 (CCT)**: 确定成分的钢合金, 其温度对时间对数图, 用于确定铁素体材料以确定的速率连续冷却时, 开始转变所需要时间。可预测最终的显微结构和力学性能。

**等温转变图 (TTT)**: 确定成分的钢合金, 其温度对时间的对数图, 用于确定先前为铁素体的合金在等温热处理条件下开始转变和结束转变所需时间。

**玻璃转变温度**: 非晶陶瓷或聚合物的过冷液体冷却转变时为刚性玻璃时的温度。

**相变**: 组成合金显微组织的相的数量或性质发生变化。

**莱氏体**: 铁素体与渗碳体的机械混合物  $L_d$ ;

**变态莱氏体**: 室温下, 珠光体与渗碳体的机械混合物  $L_d'$ 。

## 珠光体组织形态的鉴别:

① 根据珠光体片层间距大小不同可分三类:

A<sub>1</sub>-550℃: 片状珠光体, 光学显微镜下可分辨。

650~600℃: 索氏体, 细片状, 在高速光镜下分辨。

600℃~550℃: 屈氏体, 片间距极细, 电镜下分辨。

② 粒状珠光体: 在铁素体上分布着粒状珠光体组织, 一般经球化退火或淬火后的高温回火得到。

③ 成分相同条件下, 粒状珠光体比片状珠光体强度稍低, 但塑性较好。

相同点: 本质相同都是铁素体和渗碳体的片层相间的机械混合物。

不同点: 片间距和珠光体的直径不同。

## 贝氏体的组织形态及性能:

① 上贝氏体: 中、高碳钢大约在 350℃~550℃ 之间形成。羽毛状和颗粒状铁素体和碳化物, 具有明显的方向性, 易脆断。

② 下贝氏体: 中、高碳钢大约在 350℃~Ms 之间形成。铁素体细小, 分布均匀, 在铁素体内又沉淀析出大量细小弥散的碳化物, 强度高, 韧性好。

③ 粒状贝氏体: 形成于上贝氏体转变在上限温度范围内。

## 马氏体的组织形态及性能:

① 组织形态: 板条马氏体: 成群的板条组成, 有高密度位错, 又称位错马氏体。  
片状马氏体: 呈竹叶状或针状, 具有孪晶的亚结构, 又称孪晶马氏体。

② 性能: 高硬度、高强度, 硬度随含碳量的增加而升高。

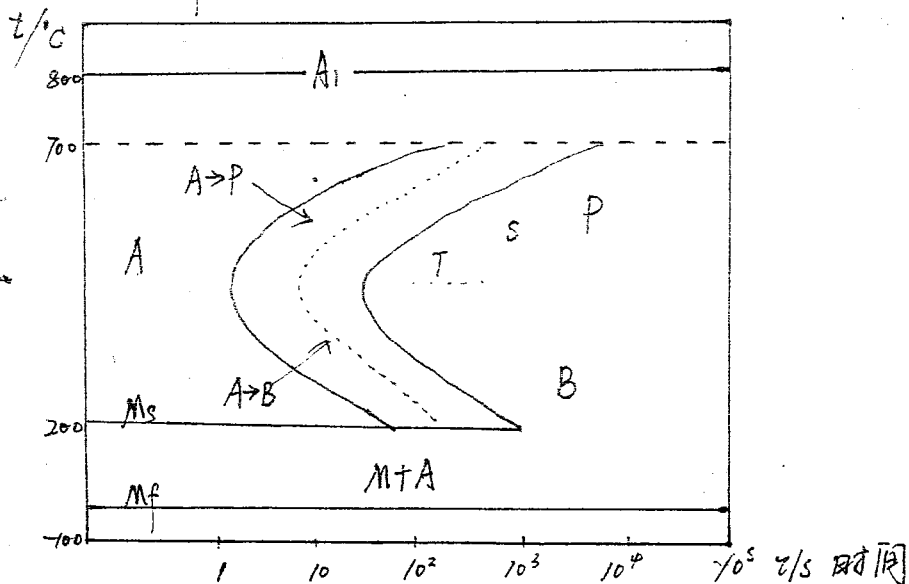
原因: ① 固溶强化: 间隙原子固溶于  $\alpha$ -Fe 点阵中, 形成点阵畸变。  
② 相变强化: 转变中在晶内造成晶格缺陷密度很高的亚结构, 阻碍位错。  
③ 时效强化: 碳及合金元素的原子位错或缺陷处偏聚, 析出。

④ 马氏体的塑性和韧性取决于亚结构。马氏体具有铁磁性, 并且有很大的电阻率。

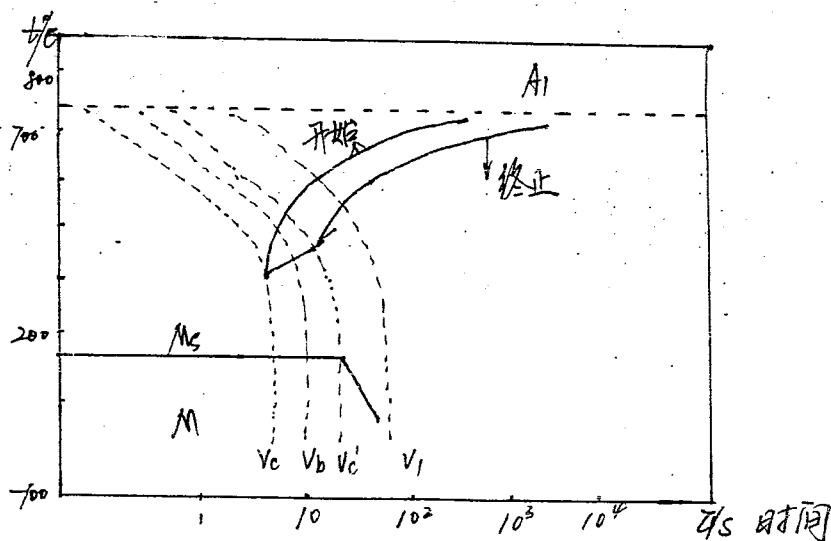
淬透性：钢在淬火时获得马氏体的能力。

淬硬性：钢在淬火后形成成淬火态组织所能达到的硬度。

共析钢的过冷奥氏体等温转变曲线。



共析钢过冷奥氏体连续冷却转变曲线。



CCT与TTT曲线的对比：

- ① 连续冷却转变过程可以看成是无数个温度相差很小的等温转变过程。由于连续冷却时过冷奥氏体的转变是在一个温度区间发生，转变产物是不同温度下等温转变组织的混合物。
- ② 由于连续冷却达不到共析钢利用和共析钢转变成珠光体和贝氏体所必需的时间，因此，在连续冷却情况下，该合金不出现珠光体和贝氏体。连续冷却转变

和等温转变相比,转变温度要低,孕育期要长。

### 珠光体转变特点:

- ① 概念: 单相奥氏体分解为铁素体和渗碳体两个新相的机械混合物的相变过程。
- ② 过冷奥氏体在  $A_1$  温度以下 ( $727^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$ ) 形成的铁素体和渗碳体的机械混合物。
- ③ 共析成分的奥氏体过冷到  $A_1$  线至  $M_s$  温度之间发生的转变称为珠光体转变。
- ④ 珠光体的机械性能主要取决于层片间距的大小。层片间距越小其机械性能也越好, 强度和硬度越高, 塑性和韧性也有所改善。
- ⑤ 珠光体转变为高温转变 ( $A_1 \sim 550^{\circ}\text{C}$ )。
- ⑥ 珠光体转变也具有形核与长大两个过程, 渗碳体为领先相。
- ⑦ 珠光体转变为扩散性相变, 铁碳原子同时扩散, 即碳的重新分布, 铁晶格重组。
- ⑧ 珠光体转变无共格产生。
- ⑨ 合金元素通过扩散完成重新分布, 形成两相组织。

### 贝氏体转变特点:

① 贝氏体转变概念

- ① 贝氏体转变包括形核与长大,  $\alpha$  相为领先相。
- ② 贝氏体转变过程中是碳原子扩散, 铁原子不扩散的半扩散型相变。
- ③ 贝氏体转变过程中, 铁素体和奥氏体保持共格联系, 铁素体的形成是在奥氏体一定的晶面上共格切变的方式形成的, 贝氏体转变有一定的惯习面。
- ④ 贝氏体中碳化物的分布与形成与温度有关, 温度不同, 影响碳的扩散速度与难易程度, 导致形成不同组织。
- ⑤ 贝氏体组织存在许多结构, 此转变具有不完全性。
- ⑥ 贝氏体的组织因碳化物的分布不同, 以及铁素体的形态不同等因素导致其组织形态的多样性。
- ⑦ 贝氏体转变中铁素体与母相奥氏体之间保持孪晶晶体学位向关系。

张宸瑞祝你取得好成绩

QQ: 849055570

# 马氏体转变的特点:

① 马氏体转变特点

① 切变共格和浮凸现象: 马氏体形成以切变方式实现, 马氏体与奥氏体之间界面上的原子是共有的, 即切变共格界面。相变与未相变区表面上的浮凸现象。

② 马氏体转变无扩散性: 原子不发生扩散, 只发生整体运动。成分不发生变化, 转变温度低, 转变速度快。

③ 具有一定的位向关系和惯习面, 新相与母相之间存在一定位向关系, 马氏体是母相的一定晶面上形成的。

④ 马氏体转变具有可逆性。

珠光体、马氏体、贝氏体转变异同:

	马氏体	贝氏体	珠光体
过程	形核、长大	形核、长大	形核、长大
温度	低温转变 ( $M_s \sim M_f$ )	中温转变 ( $B_s \sim B_f$ )	高温转变
扩散性	无扩散性, 转变快 合金元素不扩散	Fe 不扩散, C 扩散 合金元素不扩散	扩散性相变 合金元素扩散
组织	单相组织 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$	两相组织, 珠光体 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$	两相组织 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$
共格性	切变共格, 表面浮凸	有共格, 表面浮凸	无共格性
合金相		一般为铁素体	渗碳体
可逆性	可逆转变	不可逆转变	不可逆转变

材料专业课、辅导热线: 809055570 7:15948092875



## 马氏体转变的特点:

### 1. 马氏体转变的热力学特点:

- ① 亚共晶合金的冷却速度必须大于临界冷却速度  $V_c$ ;
- ② 亚共晶合金的必须深度过冷, 低于点  $M_s$  以下才能发生马氏体转变。
- ③ 快速冷却为了抑制其珠光体和贝氏体转变, 深度过冷是为了获得足够的马氏体转变驱动力。

### 2. 马氏体转变的晶体学特点:

- ① 无扩散性;
- ② 切变性;
- ③ 共格性;
- ④ 严格的位向关系和惯习面;

### 3. 马氏体转变的动力学特点:

① 马氏体的降温转变: 马氏体的转变动力学方式主要有降温转变与等温转变。

残余奥氏体: 从冷却到室温时将保留相当数量未转变的奥氏体。

冷处理: 冷至室温后继续深冷, 使残余奥氏体继续转变为马氏体, 这系中处理方法。

② 奥氏体的稳定化: 指奥氏体在外界因素作用下, 由于内部结构发生了某种变化, 而使奥氏体向马氏体转变温度降低的残余奥氏体增加的转变迟滞现象。

① 热稳定化: 由于等温停留引起奥氏体稳定性提高, 而使马氏体转变迟滞现象。

② 机械稳定化: 机械强化作用使奥氏体稳定化的现象。

### 4. 马氏体转变的可逆性:

在某些铁基合金中, 奥氏体可以在冷却时转变为马氏体, 而已形成的马氏体在加热时又可重新无扩散的转变为奥氏体的现象称为马氏体转变的可逆性。

### 固态相变的特点:

① 相变的驱动力: 新旧两相之间的自由能差。

② 相变过程: 形核与晶粒长大。

## 固态相变与液态相变的区别:

- ① 相变阻力大: 固态相变包括相变能与应变能, 而液态相变仅为相变能。
- ② 固态相变时扩散更困难。
- ③ 固态相变中母相晶界缺陷处晶格畸变大, 自由能高, 对相变有明显的促进作用。
- ④ 固态相变阻力大, 原时扩散困难, 易于出现一些亚稳态过渡相。

相变动力学: 对相变反应速率及影响因素的研究。

1.1. 时间: 保持温度不变, 反应速率与时间关系是  $n = \frac{1}{t^n}$ , 因为固态相变需原子扩散 (马氏体转变除外), 原子扩散与时间有关, 并随时间进行, 转变速率先增大后减小。

1.2. 温度: 是影响反应速率的主要因素: 过冷度越大发生与温度转变过程。

- ① 在较高温度下转变为珠光体, 随温度降低, 转变速率增大, 在鼻温处达到最大而后减小。
- ② 在  $550^\circ\text{C} \sim \text{Ms}$  之间, 和中间温度时, 奥氏体转变瞬间完成, 与时间无关。转变为贝氏体随温度转变速率降低。
- ③ 在较低温度时, 发生马氏体转变。马氏体转变瞬间完成, 与时间无关, 随温度下降, 转变速率增大, 并且若停留在某一温度, 将不再继续转变, 温度冷却到  $\text{Ms}$  时才完成。

1.3. 化学成分: ① 含碳量:  $\text{C}\%$  越高,  $\text{Ms}$  线越低。

② 合金元素: 除  $\text{Co}$ ,  $\text{Al}$  外, 合金元素都会降低转变速率。

1.4. 奥氏体晶粒越细, 转变速率越快。

1.5. 应力和塑性变形: 拉应力和塑性变形会增大转变速率; 压应力会降低转变速率。

## 强化方式:

### 固溶强化:

1.1 概念: 和纯金属相比, 固溶体的一个最明显的变化是由于溶质原子的溶入, 使固溶体的强度和硬度提高, 这现象称为固溶强化。

1.2 微观解释: 固溶强化是由于原子间作用, 主要有溶质原子与位错的弹性交互作用、化学交互作用以及固溶体产生塑性变形时, 位错运动改变了溶质原子在

吉大材料学院专业课辅导班招生!

固溶体结构中的短程有序或有序形式存在的分布状态，从而引起的系统的能量升高，由此增加了滑移变形的阻力；另外，在固溶体中加入溶质原子，导致晶格发生畸变，增加位错运动的阻力，提高了强度。

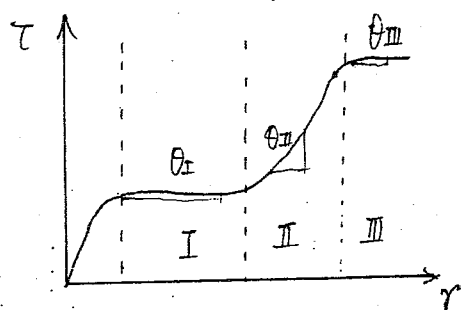
- 37 影响因素：
- ① 溶质原子的原子分数越高，强化作用也越大。
  - ② 溶质原子与基体金属的原子尺寸相差越大，则强化作用越大。
  - ③ 间隙型原子比置换原子具有较大的强化效果。
  - ④ 溶质原子与基体金属的价电子数相差越大，固溶强化效果越显著。

#### 4. 共析钢：

##### 加工硬化：

1. 概念：金属材料冷加工变形后，强度显著提高，而塑性明显下降，产生加工硬化现象。

2. 变化过程：根据单晶体应力-应变曲线，其塑性变形部分由三个阶段组成。



I阶段：易滑移阶段  $\theta_I$  低；

II阶段：线性硬化阶段  $\theta_{II}$  大；

III阶段：抛物线型硬化阶段  $\theta_{III}$  降低。

3. 微观解释：① 晶体塑性变形由于晶界的阻碍作用和晶粒之间的协调配合

要求，各晶粒不能以单一的滑移系作用，而必然要求多滑移系同时作

用，在多条滑移系情况下，会因不同滑移系的错位相互交割，而给位

错的继续运动带来困难，从而达到强化效果。

#### 4. 共析钢：

- ② 随着塑性变形的进行，位错不断的增殖，位错间及位错与其他晶体产生交互作用，阻碍位错的运动，故随着位错密度的增加，强度不断地提高。

##### 细晶强化：

##### 1. 概念：

(2) 微观解释: ① 晶界处原子排列不规则, 常温下晶界会阻碍位错的运动, 晶粒越细, 单位体积所包含的晶界越多, 其强化效果越好; 高温下相反, 高温晶界存在黏滞性, 易使相邻晶粒产生滑动。

② 细晶强化不仅提高了强度和硬度, 同时改善了材料塑性韧性。晶粒的平均直径 $D$ 较小, 位错源到晶界的距离 $L$ 越小, 累积的位错数越少, 引起应力集中越不严重。

## 第二相粒子强化作用 (沉淀硬化):

(1) 概念: 通常使用的合金, 利用合金内部沉淀出来的新相粒子来硬化合金。

(2) 微观解释: ① 第二相粒子的强化作用是通过位错运动的阻碍作用表现出来的。

② 第二相粒子可以分为“不可变形”和“可变形”两类。它们与位错作用机制不同, 强化的途径也不相同。

A: 不可变形粒子的强化作用。当运动位错与第二相粒子相遇时, 当力足够大时, 位错会绕过第二相粒子继续运动, 继而在第二相粒子的周围留下位错环, 由此会产生反向应力, 使得流变应力迅速提高, 此机制称为奥罗万机制。

B: 可变形粒子的强化作用。当第二相为可变形粒子时, 位错会切过粒子使之随本体一同变形, 此种情况下强化作用取决于粒子本身的性质。

时效: 指合金经固溶处理后在室温或较高的环境温度下, 随着停留时间的延长其强度硬度升高, 塑性和韧性下降的现象。室温下发生称自然时效, 加热下发生称为人工时效。

过时效: 沉淀硬化过程中, 超过最大的强度和硬度点的时效。

固溶处理: 合金加热到单相区保温后, 快速冷却得到过饱和固溶体的热处理操作, 称为淬火。

成分过冷：在合金凝固过程中，由于固液界面前方熔体中溶质浓度变化引起的熔点升高后过冷现象。此时过冷度称成分过冷度，即结晶温度与理论温度差值。

成分过冷问题的出现：

- ① 纯金属结晶过程中，如果固液前方的温度梯度为正值，那么固液界面应该呈现平面状生长，温度梯度为负值时，一般为树枝状晶生长。
- ② 但在固溶体合金凝固时，即使温度梯度为正值，也经常出现固液界面呈现树枝状晶生长，有时还有胞状生长，造成这一现象的原因是固液界面前方由于溶质重新分配，产生成分过冷。

成分过冷对晶体生长形状和铸锭组织的影响。

产生成分过冷，有利于铸件形成树枝晶和胞状晶，固溶体合金的铸锭组织一般也由表面细晶区，柱状晶区和中心粗大等轴晶区所组成。为了获得性能优良的铸锭，总希望获得全部的等轴晶组织。通常采用的方法是进一步加大固液前方的过冷区，当成分过冷度大于形成新晶核所需的过冷度时，就在界面前方的液相中产生新的晶核，那么大量的新晶核就可限制柱状晶的成长，从而获得全部的等轴晶组织。

张东强欢迎同学报名参加，提升显著

## 第八章：材料加工成形的传热过程

**液态成型：**将材料加热以熔化到液态，然后浇注到与零件的形状尺寸相适应的型腔中，经过冷却凝固，获得所需的毛坯或铸件。

**塑性成形的传热特点：**

- ① 金属材料在加热时热扩散性能的变化
- ② 金属材料在加热过程中的氧化和脱碳现象。
  - 1) 氧化：金属材料表层与氧化性气体反应。
  - 2) 脱碳：表层中的碳与氧化性气体反应降低含碳量。

**焊接过程的传热特点：**

- ① 加热过程的局部性
- ② 加热过程的不稳定性
- ③ 焊接热源的可移动性
- ④ 热循环过程
- ⑤ 焊接的复合传热

**焊接过程中的冶金特点：**

- ① 焊接冶金反应及温度高。
- ② 熔池尺寸小。
- ③ 焊接区域的不等温条件
- ④ 不同的保护方式。

**焊接冶金冶金反应**

- ① 药皮反应区
- ② 熔滴反应区
- ③ 熔池反应区

## 钢与液态金属的反应:

### 1. 氢与液态金属的反应

① 危害: 形成气孔, 导致时效脆化, 降低韧性元素

② 措施: A: 加强焊接保护

B: 优化焊接工艺参数

C: 添加合金元素

### 2. 氮与液态金属的反应

① 危害: 氮脆, 白点, 气孔, 冷裂纹

② 措施: A: 限制焊材中含氮量

B: 冶金处理

C: 控制焊接参数

D: 焊后脱氮处理

### 3. 氧与液态金属的反应

① 危害: 强度韧性下降, 低温冲击韧性下降, 冷脆, 热脆

② 措施: A: 净化焊材

B: 控制焊接参数

C: 脱氧

## 熔渣与液态金属的反应

1. 焊缝金属的脱氧: { ① 先期脱氧  
② 沉渣脱氧  
③ 扩散脱氧

2. 焊缝金属的脱硫脱磷。

流动性：液体材料本身的流动能力。

自然对流：由液体内部密度差和液态凝固收缩引起的流动。

强制对流：由液体受到各种外加的驱动力而产生的流动。

影响充型能力的因素：

① 流体的流动性：流动性越好，充型能力越好。

② 浇注条件：包括浇注温度、充型压力、浇注系统结构。

③ 铸型性质及结构：

物体所承受的外力：

① 面力：作用在物体表面上的力；

② 体力：作用在物体每个质点上的力。

内力：在外力作用下，物体内部质点之间就会产生相互作用力；

应力：单位面积上的内力。

全应力：全应力 $S$ 可以分解成一个垂直于 $A$ 面的正应力用 $\sigma$ 表示，一个平行于 $A$ 面的剪切应力 $\tau$ 表示。

三个微面上的应力都可以按坐标轴的方向分成三个分量：

作用在 $X$ 面上的应力： $\sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xz}$

作用在 $Y$ 面上的应力： $\tau_{yx}, \sigma_y, \tau_{yz}$

作用在 $Z$ 面上的应力： $\tau_{zx}, \tau_{zy}, \sigma_z$

一点的应力状态可以用9个应力分量的应力张量表示。

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$



主平面：必然存在唯一的三个相互垂直的方向，与此三个方向相垂直的微分面上的切应力  $\tau = 0$ ，只存在正应力。该微分面称主平面。

主应力：主平面的法向就是应力主方向或应力主轴，此正应力称主应力。

特征方程：
$$\sigma^3 - I_1 \sigma^2 - I_2 \sigma - I_3 = 0$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$I_2 = -(\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x) + (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)$$

$$I_3 = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - (\sigma_x \tau_{yz}^2 + \sigma_y \tau_{zx}^2 + \sigma_z \tau_{xy}^2)$$

①  $I_1, I_2, I_3$  分别称应力张量的第一、二、三不变量；

② 系数  $I_1, I_2, I_3$  应该为单值，不随坐标而变。

平均应力：
$$\sigma_m = I_1/3 = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3 \Rightarrow \begin{cases} \sigma_x = (\sigma_x - \sigma_m) + \sigma_m = \sigma'_x + \sigma_m \\ \sigma_y = (\sigma_y - \sigma_m) + \sigma_m = \sigma'_y + \sigma_m \\ \sigma_z = (\sigma_z - \sigma_m) + \sigma_m = \sigma'_z + \sigma_m \end{cases}$$

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma'_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma'_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma'_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{bmatrix}$$

应力偏张量

↓ 反应

形状变化

应力球张量

↓ 反应

体积变化

平衡微分方程

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right.$$

平面应力状态应力平衡微分方程

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \end{cases}$$

应变张量:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{bmatrix}$$

特征方程:  $\varepsilon^3 - I_1 \varepsilon^2 - I_2 \varepsilon - I_3 = 0$

$$I_1 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \equiv 0$$

$$I_2 = -(\varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x) + (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) = -(\varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2 \varepsilon_3 + \varepsilon_3 \varepsilon_1)$$

$$I_3 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3$$

$$\varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x - \varepsilon_m & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \cdot & \varepsilon_y - \varepsilon_m & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \cdot & \cdot & \varepsilon_z - \varepsilon_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_m & 0 & 0 \\ \cdot & \varepsilon_m & 0 \\ \cdot & \cdot & \varepsilon_m \end{bmatrix}$$

应变偏张量

反映形状变化

应变球张量

反映体积变化

塑性变形时的体积不变条件: 常压推导过程. P<sub>424-425</sub>

屈雷斯加 (Tresca) 屈服准则:

当材料中的最大切应力达到某一临界值时, 材料发生屈服。

密席斯 (Mises) 屈服准则:

材料质点屈服的条件是其单位体积的弹性形状变化能达到某一临界值。

## 1. 原子结构模型

### 玻尔模型:

1913年,年轻的丹麦物理学家玻尔在总结当时最新的物理学发现(普朗克黑体辐射和量子概念、爱因斯坦光子论、卢瑟福原子带核模型等)的基础上建立了氢原子核外电子运动模型,提出了原子结构理论上的三点假设(1)任意轨道上绕核运动,而是在一些符合一定量子化条件的轨道上运动;(2)电子轨离核越远,原子所含的能量越高,电子尽可能处在离核最近的轨道上;(3)只有电子从较高能级跃迁到较低能级时,原子才会以光子形式释放能量。玻尔理论解释了原子发光现象但无法解释精细结构和多原子、分子或固体的光谱,存在局限性。

### 量子力学模型:

量子力学是建立在微观世界的量子性和微粒运动统计性基本特征上,在量子力学处理氢原子核外电子的理论模型中,最基本的方程叫做薛定谔方程,是由奥地利科学家薛定谔(E.Schrödinger 1887-1961)在1926年提出来的。薛定谔方程是一个二阶偏微分方程,它的自变量是核外电子的坐标(直角坐标 $x, y, z$ 或者极坐标 $r, \theta, \phi$ ),它的因变量是电子波的振幅( $\psi$ )。给定电子在符合原子核外稳定存在的必要、合理的条件时,薛定谔方程得到的每一个解就是核外电子的一个定态,它具有一定的能量,具有一个电子波的振幅随坐标改变的函数关系式 $\psi=f(x,y,z)$ ,称为振幅方程或波动方程。

为了得到电子运动状态合理的解,必须引用只能取某些整数值的三个参数,称它们为量子数,这三个量子数可取的数值及它们的关系如下:

主量子数:  $n=1,2,3,4\cdots$ ; 角量子数:  $l=0,1,2\cdots,(n-1)$ ; 磁量子数:  $m=0,\pm 1,\pm 2,\pm 3\cdots,\pm l$ 。

## 2. 描述有关电子能量的量子力学法则

### 四个量子数

主量子数( $n$ ):用来描述原子中电子出现几率最大区域离原子核的远近,是决定电子能量高低的主要因素。 $n=1, 2, 3, 4\cdots$ ;在光谱上用K, L, M, N, O, P表示。

角量子数( $l$ ):角量子数是描述原子轨道形状的物理量, $l=0$ (S轨道),球形, $l=1$ (P轨道),哑铃形, $l=2$ (d轨道),花瓣形; $l=0, 1, 2, 3\cdots, (n-1)$ 。

磁量子数( $m$ ):描述电子绕核运动的角动量在空间给定方向上的分量是量子化的; $m=0, \pm 1, \pm 2, \cdots, \pm l$ 。

自旋量子数( $m_s$ ):电子在绕核高速运动同时,还有自身旋转运动,顺时针和逆时针两个方向; $m_s=\pm \frac{1}{2}$ 。

### 原子核外电子的排布和能量状态:

Pauli不相容原理:在同一个原子中没有四个量子数完全相同的电子。

能量最低原理:电子在原子中所处的状态,总是尽可能分布到能量最低的轨道上。

Hund规则:电子分布到能量相同的等价轨道上时,总是尽先以自旋相同的方向,单独占据能量相同的轨道。

## 3. 原子间的相互作用

原子(或离子)之间的相互的吸引能,排斥能和总作用能随其原子间距离变化而变化。

$$E_N = \int_{\infty}^r F_N dr = \int_{\infty}^r F_A dr + \int_{\infty}^r F_R dr = E_A + E_R$$

## 4. 化学键

离子键:原子之间发生电子转移,形成正、负离子,并通过静电作用而形成的化学键。离子键的本质是静电作用,无方向性、无饱和性。离子键程度与元素的电负性有关。

共价键:不同原子依靠共享电子,或原子轨道的最大重叠而结合形成的化学键为共价键。共价键的本质是电性的,是两原子核对共用电子对或原子轨道重叠所形成负电区域的吸引力,不是正负离子间的静电力。共价键有方向性和饱和性。

金属键:在固态或液态金属中,价电子可以自由地在不同原子间移动,使其成为多个原子所共有,这些共用电子将许多原子粘合在一起的作用,被称为是金属键。

氢键:分子中带正电的氢原子与另一分子中含有的孤对电子靠近并产生的吸引力为氢键。氢键形成的条件是必须在分子中存在电负性很强的元素使氢原子具有强极性,同时,分子中带有孤对电子,电负性大和半径小的元素所构成。氢键具有方向性和饱和性。

范德华键:由分子的取向力、诱导力和色散力导致分子间的作用力称为Van der waals键。

## 元素周期表变化规律

同一周期元素具有相同原子核外电子层数,但从左一右,核电荷依次增多,原子半径逐渐减小,电离能增加,失电子能力降低,得电子能力增加,金属性减弱,非金属性增强;同一主族元素核外电子数相同,但从上一下,电子层数增多,原子半径增大,电离能降低,失电子能力增加,得电子能力降低,金属性增加,非金属性降低。

## 1、晶体和晶胞

**晶体:** 是原子、离子或分子按照一定的空间结构排列所组成的固体, 其质点在空间的分布具有周期性和对称性。

**晶胞:** 是从晶体结构中取出的能够反映晶体周期性和对称性的重复单元。

## 2、金属的晶体结构

金属原子之间靠金属键结合形成的晶体为金属晶体。金属晶体的三种类型和特征为:

**面心立方晶体:** 晶胞中八个角上各有一个原子, 六个面中心各有一个原子, 角上的原子为临近 8 个晶胞所共有, 每个面中心原子为 2 个晶胞所共有。晶胞的原子数为 4。晶胞长度  $a$  (晶胞参数  $a=b=c$ ) 与原子半径  $R$  之间的关系为:  $a = 2R\sqrt{2}$  晶胞中原子堆积系数 (晶胞中原子体积与晶胞体积的比值)  $APF=0.74$ 。

**体心立方晶体:** 晶胞中八个角上各有一个原子, 晶胞的中心有一个原子, 角上的原子为临近 8 个晶胞所共有, 所以, 体心立方晶胞中的原子数为 2。晶胞长度  $a$  (晶胞参数  $a=b=c$ ) 与原子半径  $R$  之间的关系为:

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}} \text{ 晶胞中原子堆积系数 } APF=0.68.$$

**密排六方晶体:** 由两个简单六方晶胞穿插而成。形状为八面体, 上下两个面为六角形, 六个侧面为长方形。密排六方的晶胞参数有两个,  $a$  为正六边形的边长,  $c$  为上下底面的间距 (晶胞高度)。  $c/a \approx \sqrt{1.633}$ 。晶胞中原子堆积系数  $APF=0.74$ 。

$$\text{金属晶体密度: } \rho = \frac{nA}{V_c N_A}$$

## 3、陶瓷的晶体结构

陶瓷晶体中大量存在的是离子晶体, 由于离子键不具有方向性和饱和性, 有利于空间的紧密堆积, 堆积方式取决于阴阳离子的电荷和离子半径  $r$  的相对大小。

**配位数与配位多面体:** 在晶体中, 离子或原子周围与它直接相邻的异号离子或原子的个数称为配位数, 正离子周围负离子数不同, 形成的配位多面体形状不同, 导致离子晶体的空间构型不同。

$$\text{离子晶体的密度: } \rho = \frac{n(\sum A_c + \sum A_a)}{V_c N_A}$$

## 4、晶体学基础

**晶胞参数:** 通过晶胞上的某一点 (习惯取左下角后面的点), 沿晶胞的三个棱边作坐标轴  $x, y, z$  的长度  $a, b, c$  和三条棱边的夹角  $\alpha, \beta, \gamma$  这 6 个参数为晶胞参数, 可以表示晶胞的大小和形状。

**晶系:** 晶系是根据晶胞外形即棱边长度之间关系和晶轴夹角情况对晶体进行分类, 故只考虑  $a, b, c$  是否相等,  $\alpha, \beta, \gamma$  是否相等和是否呈直角等因素, 不涉及晶胞中原子的具体排列。晶系只有 7 种, 如表 3.6 所示。

**空间点阵:** 为了便于分析讨论晶体中原子或分子的排列情况, 把它们抽象为规则排列于空间的无数个几何点, 各个点周围的环境相同, 这种点子的空间排列称为空间点阵。

**布拉维 (Bravais) 点阵:** 按照每个阵点周围环境相同的要求, 布拉维用数学方法确定, 只能有 14 种空间点阵, 这 14 种点阵就被称为布拉维点阵, 它们又归属于 7 个晶系中。(附图, 表)。

在研究和分析有关晶体问题时, 常涉及晶体的某些方向 (称为晶向) 和平面 (称为晶面), 为了便于表示, 国际上通用的是密勒 (Miller) 指数, 标注的方法如下:

**晶向指数:** 晶向指数用  $[uvw]$  表示 (三轴定向), 其中  $u, v, w$  三个数字是晶向矢量在参考坐标系  $X, Y, Z$  轴上的矢量分量经等比例化简而得出。

**晶向族:** 晶体中原子周期排列相同的所有晶向为晶向族, 用  $\langle uvw \rangle$  表示。同一晶向族中不同晶向的指数, 数字组成相同。已知一个晶向指数后, 对  $\pm u, \pm v, \pm w$  进行排列组合, 就可以得到此晶向族的所有晶向指数。

**晶面指数:** 晶面指数用  $(hkl)$  (三轴定向) 表示一组平行晶面, 称为晶面指数, 数字  $hkl$  是晶面在三个坐标轴 (晶轴) 上截距的倒数的互质整数比。

**晶面族:** 在对称性高的晶体中 (如立方晶系), 往往有并不平行的两组以上的晶面, 原子排列状况是相同的, 这些晶面就构成了晶面族, 用  $\{hkl\}$ 。

**六方晶系指数:** 六方晶系的晶面和晶向指数可以采用同样的上述方法 (三轴定向) 标定, 但存在不能显示晶体的主要特征的缺点, 故采用四轴定向。 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  和  $c$  四个晶轴,  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  之间的夹角为  $120^\circ$ ,  $c$  轴与它们垂直。此时, 晶面指数用  $(hkil)$  (四轴定向) 来表示, 标定方法仍同三轴定向相同。

六方晶系按照两种晶轴系所得的晶面指数和晶向指数可以互相转换。对晶面指数从  $(hkil)$  转换成  $(hkl)$  只要去掉  $i$  即可; 反之加上  $i = -(h+k)$ 。对晶向指数  $[u^*v^*w^*]$  与  $[uvw]$  之间的转换为:  $u = n/3(2u^* - v^*)$ ,  $v = n/3(2v^* - u^*)$ ,  $t = -(u+v)$ ,  $w = nw^*$ 。

**晶带:** 所有相交于某一晶向直线上或平行与此直线的晶面构成晶带, 此直线称为晶带轴。

**晶面间距与晶面夹角:** 不同的  $\{hkl\}$  晶面, 其间距各不相同, 总体上是, 低指数的晶面间距较大, 高指数的晶面间距较小。

## 5、晶体中的紧密堆积

根据质点的大小不同, 晶体中球体的紧密堆积分为等径球体和不等径球体。

金属可看作为等径球体, 等径球体的最紧密堆积方式有六方最紧密堆积和面心立方最紧密堆积两种。

等径球体最紧密堆积时, 存在两种类型的间隙, 即八面体间隙 (六个原子之间的间隙) 和四面体间隙 (四个原子之间的间隙), 四面体空隙小于八面体空隙。最紧密堆积空隙的分布情况是: 每个球周围有 8 个四面体空隙和 6 个八面体空隙。 $n$  个等径球体最紧密堆积时, 整个系统的四面体空隙为  $2n$  个, 八面体空隙为  $n$  个。

陶瓷多为离子晶体, 即晶体的紧密堆积属于不等径球体的堆积。不等径球体堆积时, 大球首先按最近密堆积方式堆积, 小球填充在大球堆积形成的四面体或八面体空隙中, 具体的填充还要取决于离子的相对大小。

## 6、非晶态

非晶态固体指原子在空间排布上没有长程有序的固体。非晶态固体中包含大量无规取向的小的有序畴, 每个原子周围近邻原子的排列仍具有一定规律, 呈现一定的几何特征。因而, 非晶态结构的基本特征是短程有序而长程无序。

**合金:** 由两种及以上元素组成的金属材料。

**Stoichiometry:** 正常价化合物在离子化合物中, 正、负离子的比例严格遵守化学公式定义的化合价关系。

**Imperfection:** 缺陷, 不完整性对完美性的偏离, 在材料科学领域中通常指晶体材料中原子/分子在排列顺序/连续性上的偏离。

**Point defect:** 点缺陷一种仅波及一个或数个原子的晶体缺陷。

**Vacancy:** 空位一个缺失原子或离子的晶格节点位置。

**Vacancy diffusion:** 空位扩散一种扩散机制, 此时原子的净迁移是从晶格节点位置迁移到相近的空位中。

**Self-interstitial:** 自间隙原子处于自身晶格间隙中的原子或离子。

**Schottky defect:** 肖脱基缺陷在离子晶体中的一种缺陷结构, 它是由一个阳离子空位和一个阴离子空位组成的空位对。

**Atomic vibration:** 原子振动材料中原子在其平衡位置附近的振动。一般说来, 这种振动与温度相关, 温度越高, 振动的幅度越大, 因此也称为原子热振动。

**Substitutional solid solution:** 置换固溶体溶质原子取代或代替溶剂原子而形成的固溶体。

**Interstitial diffusion:** 间隙扩散一种扩散机制, 此时原子的运动是从晶格间隙位置迁移到另一个相近的间隙位置。

**Interstitial solid solution:** 间隙固溶体相对尺寸较小的溶质原子占据溶剂或晶格原子之间间隙位置所形成的

固溶体。

**Solid solution:** 固溶体包含两种或两种以上元素的均匀单相。固溶体可以以置换固溶体或间隙固溶体的形式存在。

**Solid-solution strengthening:** 固溶体强化 由于形成固溶体的合金化过程引起的金属硬化和强化,其机制是异类原子的存在限制了位错的运动性。

**Solute:** 溶质溶液(固溶体)中,含量较少的组元或元素。溶质溶解在溶剂中。

**Solution heat treatment:** 固溶处理, 均匀化退火让沉淀物溶解而形成固溶体的热处理过程。通常情况下,从固溶处理温度下快速冷却,形成室温下亚稳态过饱和固溶体。

**Soivent:** 溶剂溶液(固溶体)中,含量最大的组元,此组元溶解了溶质。

**Burgers vector ( $\vec{b}$ ):** 柏氏矢量 晶格畸变程度和方向的矢量。

**Composition ( $C_i$ ):** 成分,组成合金中某一元素或组分的相对含量,通常用质量百分数或原子百分数来表示。

**Defect structure:** 缺陷结构,缺陷组态在陶瓷化合物中,与空位、间隙原子的类型和偏聚有关的缺陷组态。

**Dislocation:** 位错晶体材料中的线状缺陷,在其附近,原子发生错排。在外加切应力作用下位错的运动可以导致晶体材料的塑性变形。可能存在的位错类型有刃型位错、螺型位错和混合型位错。

**Screw dislocation:** 螺型位错 一种一维线型晶体缺陷,形态上可描述为当相互平行的相邻晶面之间依次错粘合在一起形成的螺旋型斜面的中心线区域所形成的原子错排组态。螺型位错的柏氏矢量平行与其位错线。

**Mixed dislocation:** 混合位错同时含有刃型分量和螺型分量的位错。

**Dislocation density:** 位错密度在单位体积材料中包含位错的长度,或者说在材料内部任意单位截面上位错线的根数。

**Dislocation line:** 位错线刃型位错中多余半原子面边缘的连线,或者螺型位错中错排螺旋的中心轴线。

**Edge dislocation:** 刃型位错 一种一维线型晶体缺陷,形态上可描述为晶体中存在的多余半原子面的末端附近区域所形成的原子错排组态。刃型位错的柏氏矢量垂直与其位错线。

**Electroneutrality:** 电中性材料中一种正负电荷(离子和电子)数目精确相等的状态。在此状态下,材料是不带电的。

**Frenkel defect:** 弗伦克尔缺陷在离子固体中的阳离子-空位对和阳离子-间隙原子对。

**Grain:** 晶粒 金属或陶瓷多晶体中的一个单独的小晶体。

**Grain boundary:** 晶界 把两个相邻具有不同晶体学取向的晶粒分离开的界面。

**Grain growth:** 晶粒长大在多晶体材料中晶粒平均尺寸的增加,对大多数材料来说,这需要在一定温度下进行热处理。

**Grain size:** 晶粒尺寸从材料任一横截面上测量的晶粒直径的平均值。

**Microscopy:** 显微术,显微镜学用某种类型的显微镜对材料微观组织情况进行的研究。

**Microstructure:** 显微组织在显微镜下观察到的某合金的结构特征(例如:晶粒和相的组织结构特征)。

**Photomicrograph:** 显微组织照片在显微镜下拍摄,记录显微组织结构形态的照片。

**Scanning electron microscope:** 扫描电子显微镜, SEM 使用一束电子流扫描样品表面,用样品产生的反射电子束产生图象的一种显微镜。扫描电子显微镜的应用使对样品的表面特征和显微组织特征进行高倍观察成为可能。

**Scanning probe microscope:** 扫描探针显微镜, SPM 一种不用光学射线产生图象,而是用非常尖锐的探针依次横扫描过样品表面,利用探针对被测样品进行扫描,同时检测扫描过程中探针与样品的相互作用(如样品-探针间的隧道电流或相互作用力等),得到样品相关性质(如电子态密度、形貌、摩擦力、磁畴结构等),因而统称为扫描探针显微镜(SPM)。

**Transmission electron microscope:** 透射电子显微镜, TEM 透射电子显微镜是用穿过样品的透射电子束产生样品组织形貌像的显微镜。在透射电子显微镜上,可以在高倍下研究样品的内部结构特征。

**Diffusion:** 扩散固体中原子，或分子等，通过热运动而发生长程迁移，或宏观物质传输现象。

这里所谈的原子迁移，在是指固体中原子脱离它原来的平衡位置跃迁到另一平衡位置的位移。从产生扩散的原因来看，原子的迁移主要分为两大类，一类称为化学扩散，它是由于扩散物质在固体中分布不均匀、在化学浓度梯度的推动下产生的扩散；另一类称为自扩散，它是在没有化学浓度梯度情况下，仅仅由于热振动而产生的扩散。自扩散现象只有采用放射性同位素技术才能察觉。此外，还有应力场、热场和电场等所引起的扩散。

**Diffusion flux (J):** 扩散通量单位时间内通过一个垂直与扩散方向上单位横截面积内的通过物质量。

**Diffusion coefficient (D):** 扩散系数 Fick 第一定律中，扩散通量和浓度梯度之间的比例系数。其量级表示了原子扩散的速度。

**Fick's first law:** 菲克第一定律，扩散第一定律扩散通量与浓度梯度成正比比例。这种关系被用于描述稳定态扩散。

**Fick's second law:** 菲克第二定律，扩散第二定律浓度对时间的变化率成正比与浓度对距离的二阶导数。这种关系被用于描述非稳定态扩散。

**Steady-state diffusion:** 稳定态扩散扩散组元既没有净堆积也没有净亏空的扩散过程是稳定态扩散。也可以描述为：扩散通量与时间无关的扩散过程是稳定态扩散。

**Nonsteady-state diffusion:** 非稳定态扩散扩散过程中，扩散组元存在净堆积或净亏空的扩散过程是非稳定态扩散。也可以描述为：扩散通量与时间有关的扩散过程是非稳定态扩散。

**Self-diffusion:** 自扩散纯金属中的原子迁移过程。

**Interstitial diffusion:** 间隙扩散晶体扩散机制的一种。间隙原子由一个间隙位置迁移至邻近的间隙位置所构成的扩散。

**Vacancy diffusion:** 空位扩散一种扩散机制，这时候原子的净迁移过程是从晶格结点位置移动到邻近的空位中。

**Activation energy (Q):** 激活能，Q 开动某一反应或过程，例如扩散过程，所需要的能量。

**Carburizing:** 渗碳从周围环境中向铁基合金表面扩散碳，从而使其表面碳浓度提高的工艺过程。

**Component:** 组分合金的任一组成（可以是元素或化合物），可以被用于区分其构成成分。

**Composition (C<sub>i</sub>), Concentration:** 成分，C<sub>i</sub> 合金中某一元素或组分的相对含量，通常用质量百分数或原子百分数来表示。也称为浓度。

**Concentration gradient (dC/dx):** 浓度梯度， $\frac{dC}{dx}$  浓度曲线某一点处的斜率。

**Concentration profile:** 浓度曲线在材料中，某种化学物质的浓度随其位置关系变化的曲线。

**Interdiffusion, impurity diffusion:** 互扩散一种金属中的原子向另一种金属中的扩散叫互扩散，又称为杂质扩散。

**Anelasticity:** 滞弹性应力施加后，大多数工程材料弹性形变都会持续，并且撤去加载，样品的完全回复也需要一定的时间。这种与时间相关的弹性行为称为滞弹性。

**Design stress:** 设计应力对于静态条件以及延展性材料的情况下，设计应力  $\sigma_d$  是计算的应力  $\sigma_c$ （即估算的最大载荷）乘以一个设计因子  $N'$ ，即  $\sigma_d = N' \sigma_c$ ，其中  $N'$  大于 1。

**Ductility:** 延伸度延伸度是指材料在断裂时发生的塑性形变程度的量度。

**Elastic deformation:** 弹性形变应力与应变成正比关系的形变称为弹性形变。弹性形变是非永久性的，即撤去加载后，样品可恢复初始的形状。

**Elastic recovery:** 弹性回复弹性回复是指当样品所受应力撤销后，其完全回复到初始形状的现象。**Elastomer:** 弹性体弹性体是聚合物的一个种类，它的应力-应变曲线表明其变形是完全弹性的，即很低的应力变化就会产生很大的可回复应变。

**Engineering strain: 工程应变**工程应变  $\varepsilon$  由方程  $\varepsilon = (l_t - l_0)/l_0 = \Delta l/l_0$  定义, 这里  $l_0$  是样品加载前的初始长度,  $l_t$  是加载瞬间的长度, 有时  $l_t - l_0$  也用  $\Delta l$  来表示, 即代表与初始长度相比较, 某一时刻样品形变的延长率或长度的变化。工程应变是没有单位的。

**Engineering stress: 工程应力**工程应力  $\sigma$  的定义为  $\sigma = F/A_0$ , 这里  $F$  是加载在垂直样品横截面的瞬间载荷, 单位为牛顿,  $A_0$  是加载前样品的初始横截面积 (单位  $m^2$ ), 工程应力单位为 MPa。

**Flexural strength: 抗弯强度**对脆性陶瓷材料来说, 抗弯强度即为横向弯曲试验中样品断裂时的应力。

**Hardness: 硬度**硬度是材料抵抗局部塑性形变的量度。

**Modulus of elasticity: 弹性模量**大多数金属在较低的拉力作用下, 应力和应变成正比关系, 可表达为  $\sigma = E\varepsilon$ , 这就是胡克定理, 比例常数  $E$  (GPa) 就是弹性模量, 或杨氏模量。

**Plastic deformation: 塑性形变**当材料的形变超出弹性形变发生的范围, 其应力将不再与应变成正比, 永久的、不可回复的形变发生, 即为塑性形变。

**Poisson's ratio: 泊松比**泊松比的定义为样品横向应变与轴向应变的相反数。

**Proportional limit: 比例极限**对于金属逐步的弹塑性形变转变, 其屈服点确定为应力—应变曲线非线性关系的开始, 这个点也被称为比例极限。

**Resilience: 弹性弹性**是指材料在弹性形变中吸收能量的能力。

**Safe stress: 安全应力**安全应力是基于材料的屈服强度, 它定义为屈服强度除以一个安全因子  $N$ , 或  $\sigma_w = \sigma_y/N$ 。

**Tensile strength: 抗拉强度**抗拉强度是指样品可能承受的最大拉伸应力。

**Toughness: 韧性**韧性是指材料在断裂前所能吸收能量的量度。

**True strain: 真应变**真应变  $\varepsilon_t$  的定义为  $\varepsilon_t = \ln(l_t/l_0)$ , 其中  $l_0$  是样品加载前的初始长度,  $l_t$  是瞬间长度。

**True stress: 真应力**真应力  $\sigma_t$  定义为形变发生时, 载荷  $F$  与瞬间横截面积  $A_t$  的比值, 或者  $\sigma_t = F/A_t$ 。

**Yielding: 屈服**金属的屈服是指塑性或者永久形变开始发生的现象。

**Yield strength: 屈服强度**屈服强度是指塑性形变开始发生时的应力。

**Cold working: 冷加工、冷变形**金属在再结晶温度以下进行的塑性变形。

**Critical resolved shear stress ( $\tau_{crss}$ ): 临界剪切应力**使得晶体开始滑移所需要的纯剪切应力, 在某一特定滑移面和滑移方向上的分量。

**Dislocation density: 位错密度**材料单位体积内的位错线的总长度, 或者在一个随机切面上的单位面积内切断的位错根数。

**Grain growth: 晶粒长大**晶体材料中晶粒尺寸的增大, 对大多数材料来说, 晶粒长大只在升高温度加热的时候发生。

**Lattice strains: 晶格应变**原子相对于它们正常点阵位置的轻微位移, 通常是由晶体的缺陷, 如位错、间隙原子、杂质原子存在引起的。

**Recovery: 回复**冷塑性变形金属释放其部分应变能的过程叫回复, 通常采用热处理的方法。

**Recrystallization: 再结晶**在冷塑性变形材料的内部生成等轴状新晶粒的过程叫再结晶, 通常发生于再结晶退火热处理过程中。

**Recrystallization temperature: 再结晶温度**对于某种合金, 在大约一小时的时间里, 完成再结晶所需的最低温度。

**Resolved shear stress: 分切应力**一个实际拉或压应力沿某一特定平面和在该平面特定方向上分解得到的切应力分量。

**Slip: 滑移**位错移动导致的塑性变形或两个相邻原子面的剪切位移。

**Slip system: 滑移系**滑移面和该面上一个滑移方向的组合称为一个滑移系, 晶体滑移 (如位错的移动) 可以沿该系统发生。

**Solid-solution strengthening: 固溶强化**由于合金化形成固溶体而导致材料硬化和强化, 实质在于溶质原子对位错运动的阻碍作用。



**Strain hardening:** 加工硬化塑性材料于再结晶温度以下进行塑性变形引起的硬度和强度升高现象。

**Viscosity ( $\eta$ ):** 粘性剪切应力数值与其产生应变速率的比值叫粘性, 用来衡量非晶材料抵抗永久变形的能力。

**Vulcanization:** 硫化硫化是采用硫或者其它适当添加剂处理橡胶原料过程中发生的不可逆化学反应。此种反应在橡胶的分子链间形成横向连接, 橡胶的弹性模量和强度会得到提高。

**Austenite:** 奥氏体具有面心立方晶体结构的铁 $\gamma$ -Fe, 也是碳溶解于 $\gamma$ -Fe 所形成的间隙固溶体。

**Cementite:** 渗碳体铁与碳形成的化合物  $\text{Fe}_3\text{C}$  叫做渗碳体, 它的含碳量为 6.67%

**Component:** 组元组成合金的化学组分(元素或化合物), 可用于确定其组成。

**Congruent transformation:** 无成分变化转变相同成分的不同相之间的转变。

**Equilibrium (Phase):** 平衡(相)是指体系的一种状态, 在此状态下, 在无限长的时间内, 相的性质保持不变。平衡状态下自由能达到最小值。

**Eutectic structure:** 共晶结构具有共晶成分的液体凝固得到的两相显微结构(组织)。

**Eutectic phase:** 共晶相共晶结构中存在的两相中的某一相。

**Eutectic reaction:** 共晶反应随着冷却过程, 一个液相等温可逆地转变为两个紧密混合的新固相的反应。

**Eutectoid reaction:** 共析反应随着冷却过程, 一个固相等温可逆地转变为两个紧密混合的新固相的反应。

**Ferrite:** 铁素体具有体心立方晶体结构的铁 $\alpha$ -Fe, 同样碳溶于 $\alpha$ -Fe 中的间隙固溶体称为铁素体。

**Free energy:** 自由能—热力学量, 它是体系的内能和熵(或无序度)的函数。在平衡态, 自由能达到其最小值。

**Gibbs phase rule:** 吉布斯相律多相平衡系统中, 系统的自由度、独立组分数、相数和对系统的平衡状态能够发生影响的外界因素之间的关系:  $F=C-P+n$

**Hypereutectoid alloy:** 过共析合金可得到共析反应的合金体系, 此合金中溶质的浓度大于共析成分。

**Hypoeutectoid alloy:** 亚共析合金可得到共析反应的合金体系, 此合金中溶质的浓度小于共析成分。

**Intermediate solid solution:** 中间固溶体非纯组分的一定成分范围的固溶体或相。

**Intermetallic compound:** 金属间化合物具有明确的化学式的两种金属间的化合物。在相图中, 它以中间相出现, 其存在的成分范围非常窄。

**Invariant point:** 三相点二元相图中三相平衡共存点。

**Isomorphous:** 同晶形具有相同结构的物质。从相图的理解来讲, 同构意味着具有相同的结构或者在所有成分范围内固态完全互溶。

**Lever rule:** 杠杆规则一种数学表达式, 用来计算在两相平衡合金体系中的每一相的相对质量。

**Liquidus line:** 液相线在二元相图中, 液相和液+固相之间的分界线。合金而言, 此线上的液态温度是在平衡冷却条件下开始产生固相的温度。

**Metastable:** 亚稳在非常长的时间内可持续存在的非平衡态。

**Microconstituent:** 微组元显微组织的组成, 它具有确定的特征结构。由一个以上的相组成, 如珠光体。

**Pearlite:** 珠光体由共析成分的奥氏体转变而得到的在一些钢和铸铁中出现的两相显微结构, 是由 $\alpha$ -铁素体和渗碳体交互形成的层状或片状组成。

**Peritectic reaction:** 包晶反应随着冷却过程, 一固相和一液相等温可逆转变为具有不同组成的固相的反应。

**Phase:** 相体系具有相同的物理和化学性质的均匀部分

**Phase diagram:** 相图用图形来描述相平衡系统的成分、外界条件(例: 温度和压力)与相的状态, 这种综合图形称为相图。

**Primary phase:** 初晶相除了共晶结构之外存在的相。

**Proeutectoid cementite:** 先共析渗碳体过共析钢中与珠光体共存的最初析出的渗碳体。

**Proeutectoid ferrite:** 先共析铁素体亚共析钢中与珠光体共存的最初析出的铁素体。

**Solidus line:** 固相线在相图中, 连接平衡冷却条件下完成凝固或者平衡加热条件下开始熔化之点的轨迹线。

**Solubility limit:** 溶解度不形成新相的条件下, 溶质可溶解在溶剂中的最大浓度。

**Solvus line:** 固溶相线在相图中描述固溶度与温度关系的点的轨迹线

吉林大学材料学院内部专业课辅导 主讲人: 张宏强 QQ:849055570 TN:15948092895

**System:** 体系有两种可能的含意: (1)所研究的对象既指定材料 (2) 由相同组元组成的一系列可存在的合金。

**Terminal solid solution:** 端部固溶体成分范围处于二元相图中两端的固溶体。

**Tie line:** 结线二元相图中穿过两相平衡区的水平线: 结线与相分界线之间的两个交点各描述在所讨论温度下相的平衡组成。

**Alloy steel:** 合金钢含有显著的合金元素(除了 C 和残余的 Mn, Si, S 和 P)浓度的铁合金(或者铁基)。这些合金元素的加入增加力学和耐蚀性能。

**Artificial aging:** 人工时效通过室温以上的时效, 产生的沉淀硬化。

**Athermal transformation:** 非热转变无需热激活的反应, 通常无扩散, 如马氏体转变。一般来说, 转变速度非常快(即与时间无关), 反应程度依赖于温度。

**Bainite:** 贝氏体钢和铸铁中发生的奥氏体的转变产物。珠光体和马氏体转变发生的温度区间产生贝氏体。贝氏体的显微结构由 $\alpha$ -铁素体和精细分散的渗碳体组成。

**Coarse pearlite:** 粗状珠光体铁素体和渗碳体交替重叠的层距相对厚的珠光体。

**Fine pearlite:** 精细珠光体铁素体和渗碳体交替重叠的层距相对薄的珠光体。

**Continuous cooling transformation diagram(CCT):** 连续冷却转变图确定成分的钢合金, 其温度对时间对数图。用于确定奥氏体材料以确定的速率连续冷却时, 开始转变所需要时间。可预测最终的显微结构和力学性能。

**Glass transition temperature:** 玻璃转变温度非晶陶瓷或聚合物的过冷液体冷却转变为刚性玻璃时的温度。

**Isothermal transformation diagram(T-T-T):** 等温转变图确定成分的钢合金, 其温度对时间对数图。用于确定先前为奥氏体的合金在等温(恒温)热处理条件下开始转变和结束转变需要的时间。

**Kinetics:** 动力学有关反应速率及其影响因素的研究。

**Martensite:** 马氏体过饱和碳的亚稳铁相, 是奥氏体的无扩散转变产物。

**Natural aging:** 自然时效通过室温下的时效, 发生的沉淀硬化。

**Nucleation:** 形核相变的第一个步骤。此步骤中形成新相的小晶核, 它可以长大。

**Overaging:** 过时效沉淀硬化过程中, 超过最大的强度和硬度点的时效。

**Phase transformation:** 相变组成合金显微组织的相的数量和/或性质发生变化。

**Plain carbon steel:** 普通碳钢碳为主要合金元素的铁合金。

**Precipitation hardening:** 沉淀硬化金属合金的硬化和强化手段, 通过从过饱和固溶体中析出非常小且均匀分散的粒子来实现。有时也称为时效硬化。

**Precipitation heat treatment:** 沉淀硬化处理, 人工时效从过饱和固溶体中沉积新相的一种热处理手段。对沉淀硬化而言, 称其为人工时效。

**Solution heat treatment:** 固溶热处理通过溶解沉淀粒子而形成固溶体的过程。加热状态下快速冷却, 导致固溶体在外界环境条件下通常处于过饱和且亚稳状态。

**Spheroidite:** 球状体钢合金中存在的显微结构, 是由 $\alpha$ -铁素体基底中的球状的渗碳体粒子组成。对珠光体、贝氏体或马氏体进行适当的加热处理得到球状体, 此结构相对软一些。

**Supercooling:** 过冷不发生相变的前提下, 冷却至相变温度以下。

**Superheating:** 过热不发生相变的前提下, 加热至相变温度以上。

**Tempered martensite:** 回火马氏体从马氏体钢的回火热处理得到的显微结构(组织)产物。其显微结构由非常小且均匀分散的渗碳体粒子镶嵌在连续的 $\alpha$ -铁素体基底而构成。回火使得韧性和延展性有显著增加。

**Thermally activated transformation:** 热激活转变依赖于原子的热起伏的反应: 能量大于激活能的原子将自发地反应或转变。此类转变的速率依赖于温度, 其定量关系见公式 11.3。

**Transformation rate:** 转变速率反应进行至一半时所需的时间的倒数。

**Acceptor state:** 受主态当具有 3 个价电子的杂质原子取代掺杂到硅晶体中后, 这些原子中的一个共价键会缺失一个电子, 这种缺陷可以认为是一个空穴微弱的束缚在杂质原子上, 每个这种类型的缺陷都会在带隙内部引入一个能级, 它十分接近价带的顶端, 也被称为受主态。

**Conduction band:** 导带在能带结构中, 未填充电子的带称为导带。

**Conductivity, electrical:** 电导率电导率  $\sigma$  是电阻率的倒数, 或者  $\sigma=1/\rho$ , 它意味着材料传导电流的难易。

**Donor state:** 施主态当具有 5 个价电子的杂质原子取代掺杂到硅晶体中, 这个杂质原子只有 4 个价电子参与成键, 而额外那个价电子只是松散的束缚在杂质原子的周围。对于每一个这样松散成键的电子来说, 其在禁带的内部相邻导带的位置将形成一个能级或者能态, 也被称为施主态。

**Doping:** 掺杂控制特定施主和受主原子的浓度, 进而运用各种方法能动地添加, 这种在半导体材料中加入合金成分的过程称为掺杂。

**Electron energy band:** 电子能带固体中每个分立的原子态会劈裂成一系列的紧密排列的电子态, 进而形成了所谓的电子能带

**Energy band gap:** 能隙存在于价带和导带之间的部分称之为能隙。

**Extrinsic semiconductor:** 杂质半导体如果半导体的电学性质归因于其中的杂质原子, 那么它将被称为杂质半导体。

**Fermi energy:** 费米能在绝对零度时, 对应最高电子填充态的能量被称为费米能级  $E_F$ 。

**Free electron:** 自由电子参与导电过程的电子, 我们称之为自由电子, 其能量高于费米能级。

**Hole:** 空穴空穴是半导体和绝缘体中的一种带电体, 其能量小于费米能, 并且参与导电。

**Insulator:** 绝缘体绝缘体是指具有极低电导率的材料, 其数值的一般范围在  $10^{-10}$  和  $10^{-20}(\Omega \cdot m)^{-1}$  之间。

**Intrinsic semiconductor:** 本征半导体本征半导体是电学性质基于纯材料的电子结构的半导体。

**Ionic conduction:** 离子导电对于离子型材料来说, 带电荷离子的净运动可以产生电流, 这被称为离子导电。

**Matthiessen's rule:** Matthiessen 规则金属的总电阻率可以表示为热振动、杂质以及塑性形变所导致的电阻率的总和, 这一规则也被称为 Matthiessen 规则。

**Metal:** 金属金属是指良导体, 通常具有  $10^7(\Omega \cdot m)^{-1}$  量级的电导率。

**Mobility:** 迁移率自由电子在电场的作用下, 会由于晶体中的杂质而发生散射, 迁移率就是指这种散射发生的频率。

**Ohm's law:** 欧姆定律欧姆定律陈述了电流  $I$  (或者单位时间流经的电量) 与所加电压的关系:  $V=IR$ , 这里  $R$  是电流通过的材料电阻。

**Resistivity, electrical:** 电阻率电阻率与样品的几何形状无关, 与  $R$  的关系是  $\rho=RA/L$ 。这里  $L$  是指测量电压所加的两点间的距离,  $A$  指垂直与电流方向的截面积。

**Semiconductor:** 半导体半导体是指具有中等程度导电性的材料, 其电导率一般在  $10^{-6}$  至  $10^4(\Omega \cdot m)^{-1}$  之间。

**Valence band:** 价带在能带结构中, 完全填满电子的带被称为价带。

**铸铁:** 通常为一种铁基合金, 其含碳量高于共晶温度下在奥氏体中的最大溶解度。大多数工业铸铁含有 3.0-4.5% C 和 1-3% Si。按照碳元素在铸铁中存在的形式和石墨形态, 可将铸铁分为白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁及蠕墨铸铁等五大类。

**白口铁:** 一种低硅很脆的铸铁, 碳以渗碳体的化合形式存在, 断面呈白色。

**可锻铸铁:** 把白口铁进行热处理使渗碳体转变为团絮状石墨, 成为韧性较好的铸铁。

**球墨铸铁:** 一种用硅和少量镁和/或钕合金化的铸铁。其自由石墨呈球状存在。

**灰铸铁:** 一种用硅合金化的铸铁, 其石墨以片状存在。断面呈灰色。

金属热处理工艺大体可分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。根据加热介质、加热温度和冷却方法的不同, 每一大类又可区分为若干不同的热处理工艺。同一种金属采用不同的热处理工艺, 可获得不同的组织, 从而具有不同的性能。钢铁是工业上应用最广的金属, 而且钢铁显微组织也最为复杂, 因

此钢铁热处理工艺种类繁多。整体热处理是对工件整体加热，然后以适当的速度冷却，以改变其整体力学性能的热处理工艺。钢铁整体热处理大致有退火、正火、淬火和回火四种基本工艺。

**退火**是将工件加热到适当温度，根据材料和工件尺寸采用不同的保温时间，然后进行缓慢冷却，目的是使金属内部组织达到或接近平衡状态，获得良好的工艺性能和使用性能，或者为进一步淬火作组织准备。

**正火**是将工件加热到适当的温度后在空气中冷却，正火的效果同退火相似，只是得到的组织更细，常用于改善材料的切削性能，也有时用于对一些要求不高的零件作为最终热处理。

**淬火**是将工件加热保温后，在水、油或其他无机盐、有机水溶液等淬冷介质中快速冷却。淬火后钢件变硬，但同时变脆。为了降低钢件的脆性，将淬火后的钢件在高于室温而低于  $650^{\circ}\text{C}$  的某一适当温度进行长时间的保温，再进行冷却，这种工艺称为**回火**。退火、正火、淬火、回火是整体热处理中的“四把火”，其中的淬火与回火关系密切，常常配合使用，缺一不可。

“四把火”随着加热温度和冷却方式的不同，又演变出不同的热处理工艺。为了获得一定的强度和韧性，把淬火和高温回火结合起来的工艺，称为调质。某些合金淬火形成过饱和固溶体后，将其置于室温或稍高的适当温度下保持较长时间，以提高合金的硬度、强度或电磁性等。这样的热处理工艺称为**时效处理**。

**玻子模型**：玻子在总结前人发现的基础上建立原子核外电子运动模型，提出了原子结构理论上的三点假设： $(1) <2> <3>$  见 P45 页。

**波动力学模型**：是建立于对世界的量子性……见 P45 页

2.1: **沉淀硬化**：金属在过饱和固溶体中溶质原子富集区域由之脱落析出微粒，这些微粒分布其基体中，导致硬化的一种处理工艺。

例如奥氏体沉淀不锈钢在固溶处理后或者经过冷加工后在  $400-500^{\circ}\text{C}$  或  $700-800^{\circ}\text{C}$  进行沉淀硬化处理，析出沉淀相阻碍位错运动，使得塑性变形抗力提高，强度升高。

工艺参数：加热温度： $A_{1\text{以上}} 100^{\circ}\text{C}$  左右；  
保温时间：1-4h。

2.2: **单晶**：在组织上由一种晶粒构成，常温下强度较低，易发生沿晶断裂，高温下强度较大，力学性能较好。

**多晶**：在组织上由多种晶粒构成，常温下力学性能较好，高温下由于晶界容易沿晶扩展，力学性能较差。

**纳米晶**：这类晶粒比少一个数量级，几个纳米构成，力学性能远高于普通的晶状态，不仅具有高强度，而且其塑性、韧性也有明显改善。

直接  
方法：写出两者概念。  
区别：写出两者二〇一一年  
的相同不同点。

1、对比解释下列概念 (50 分)

- 1.1 疲劳强度和疲劳寿命
- 1.2 离子键、共价键和氢键
- 1.3 扩散、自扩散和异扩散
- 1.4 热塑性和热固性高分子材料

① 断裂韧性和 KIC 断裂韧性 (KIC)：发生裂纹扩展时应力强度因子的临界值。  
KIC：平面应变断裂韧性及平面应变条件下应力强度因子的临界值。

- 1.6 均匀形核和非均匀形核

- 1.7 螺形位错长大和二维晶核长大

- 1.8 熔点和玻璃转变温度：非晶合金或聚合物的过冷液体冷却转变为刚性玻璃时的温度。

- ② 玻尔原子模型和波动力学原子模型

- 1.10 点缺陷、线缺陷、面缺陷

$$K_{IC} = \sigma_s \sqrt{a_0}$$

- 1.10 点缺陷、线缺陷、面缺陷

① 概念  
② 简答题 (40 分) 从显微组织和力学性能上说明珠光体和回火马氏体的主要区别。

③ 论述题  
2.2 对比说明单晶材料和多晶材料的组织、性能特点，并讨论纳米材料的性能特点。

2.3 举例说明沉淀硬化原理，并给出所涉及材料的硬化工艺参数。

2.4 作图表示体心立方和面心立方的晶体结构，并画出体心立方的 (110) 和面心立方中 (111) 晶面上原子排列情况。

Fe-Fe<sub>3</sub>C 随着片间距的增大而强度降低。

3、论述题 (30 分)

1. 在同一坐标图中画出低碳钢的 (a) 工程应力-应变曲线和 (b) 真应力-应变曲线，并回答下列问题：

3.1.1 说明两条曲线的异同点：

3.1.2 结合所画应力-应变曲线，论述在塑性变形的那些阶段发生了 (1) 晶格畸变、(2) 大量位错滑移、(3) 颈缩。

3.2 列出至少两种细化金属材料组织的热加工方法。说明其适用材料、大致工艺参数和优缺点。

4. 画图讨论题 (30 分)

画出完整的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，并回答下列问题：

1) 分别写出含碳量 (质量百分数) 为 0.45% 和 3.0% 两种合金从液相平衡结晶到室温过程中的相变过程：

2) 比较上述两种合金中碳化物的种类、数量和形态：

3) 举例说明上述两种合金的组织、性能特点，典型应用。

① 低碳钢和铁素体相图相似，合金成分为铁素体和珠光体，性能强度硬度较低，塑性韧性高，应用轴类零件。  
② 高碳钢和铁素体相图相似，合金成分为铁素体和珠光体，性能强度硬度较高，典型应用机床底座，结构复杂件和耐磨件等。

二〇一〇年

1、对比解释下列概念（50 分）

- 1.1 离子导电和电子导电
- 1.2 点缺陷，线缺陷，面缺陷
- 1.3 晶界扩散、表面扩散和反应扩散
- 1.4 热塑性和热固性高分子材料
- 1.5 脆性断裂和断裂韧性
- 1.6 均匀形核和非均匀形核
- 1.7 螺形位错长大和二维晶核长大
- 1.8 共晶和共析反应
- 1.9 非晶、准晶和纳米晶
- 1.10 冷加工和热加工

2、简答下列问题（40 分）

- 2.1 从显微组织和力学性能上说明珠光体和回火马氏体的主要区别。
- 2.2 叙述 Frank-Read 位错源增殖位错的过程。
- 2.3 论述成分过冷对固溶体合金结晶后组织的影响
- 2.4 论述金属-金属型共晶和金属-非金属型共晶结晶时，固液界面差异。

3、论述题（30 分）

- 3.1 画出共析成分过冷奥氏体的等温转变曲线，并对比分析珠光体转变和贝氏体转变的异同点。
- 3.2 列出至少两种细化金属材料组织的热加工方法。说明其适用材料、大致工艺参数和优缺点。

4、画图讨论题（30 分）

画出完整的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，并回答下列问题：

- (1) 写出水平线上的反应式：
- (2) 计算冷却到室温后，含碳 0.4% 钢中  $\alpha$  相和渗碳体的相对含量；
- (3) 估算含碳 0.4% 钢样品的金相组织中珠光体的体积百分数。

二〇〇九

1、对比解释下列概念（50 分）

- 1.1 结晶、再结晶和二次再结晶
- 1.2 均匀形核和非均匀形核
- 1.3 固溶体，置换固溶体和间隙固溶体
- 1.4 离子键、金属键和共价键
- 1.5 施主态、受主态和受主能级
- 1.6 晶界扩散、表面扩散和反应扩散
- 1.7 晶粒、晶界和晶胞
- 1.8 屈服强度、断裂强度和疲劳强度
- 1.9 弹性形变、滞弹性和弹性能
- 1.10 非晶、准晶和纳米晶

2、简答下列问题（40 分）

- 2.1 简述位错、位错线和柏氏矢量（b）的概念，并论述柏氏矢量和位错线的相对关系。
- 2.2 在结晶陶瓷晶体中，组元离子的哪些特征影响其最终的晶体结构？如何影响？
- 2.3 简述聚合物晶体形态和金属晶体形态的异同。
- 2.4 简述稳定态扩散和非稳定态扩散的规律，举例说明其应用范围。
- 2.5 列出面心立方晶体和密排六方晶体的滑移系数量，所涉及的晶面和晶向。分析比较这两中晶体的塑性变形能力。

3、论述题（30 分）

- 3.1 画出共析钢的 TTT（C 曲线），并对比分析珠光体转变和马氏体转变的异同点。
- 3.2 给出三种聚合物材料（脆性、塑性和高弹性分子材料）的应力-应变曲线图，分析这些材料的变形行为与金属材料的异同。

4、画图讨论题（30 分）

画出完整的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图。标出各点的温度和成分、各相区的组织组成物，写出各水平线的相变反应式。并计算室温下含碳 1.2%-wt 钢中铸钢提和先共析渗碳（二次渗碳体）的含量。画出该合金从 1200℃冷却到室温的冷却曲线，写出各温度区间的相变反应，并画出组织示意图。

二〇〇八

1、对比解释下列概念（50 分）

- 1.1 半导体和聚合物
- 1.2 金属晶体结构、陶瓷晶体结构
- 1.3 螺型位错、混合型位错
- 1.4 共价键、范德华键
- 1.5 晶粒、晶胞
- 1.6 间隙扩散、空位扩散
- 1.7 弹性变形、滞弹性
- 1.8 滑移、滑移系
- 1.9 中间固溶体、金属间化合物
- 1.10 固溶处理、人工时效

2、简答下列问题（40 分）

- 2.1 解释原子间结合力和结合能的概念及二者之间的关系
- 2.2 已知铜的原子半径为  $0.128\text{nm}$ ，具有 FCC 晶体结构，原子质量为  $63.5\text{g/mol}$ ，试计算其密度。
- 2.3 叙述固溶体合金中，间隙和置换溶质原子与刃型位错的相互作用。
- 2.4 给出固溶体原子扩散所遵守的 Fick 第一定律表达式，并解释各物理量物理意义。
- 2.5 描述多晶体材料的塑性变形过程，并解释晶粒细化强化机制。

3、论述题（30 分）

- 3.1 简要说明相变动力学所解决的问题是什么？那些关键因素影响相变过程？如何影响？
- 3.2 画出三种常见晶体结构（面心立方、体心立方、密排六方）的晶胞示意图。列表说明各种晶体结构的原子半径与晶格常数的关系、晶胞原子个数、配位数和致密度。

4、画图讨论题（30 分）

4.1 画出完整的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图。标出各点的温度和成分、各相区的相组成物和组织组成物。

4.2 某 Fe-Fe<sub>3</sub>C 合金的平衡组织为：珠光体 85%和铁素体 15%。计算该合金中  $\alpha$ -Fe 相和渗碳体（Fe<sub>3</sub>C）的含量。

4.3 在相图中标出 4.2 所述合金的位置，并绘出冷却曲线，写出该合金从液相冷却到室温过程中的相变过程。



二〇〇七年

1、对比解释下列概念（50 分）

- 1.1 凝固、结晶和再结晶
- 1.2 点缺陷，线缺陷，面缺陷
- 1.3 晶界扩散、表面扩散和反应扩散
- 1.4 晶界、亚晶界和孪晶界
- 1.5 组元、相和相律
- 1.6 均匀形核和非均匀形核
- 1.7 螺形位错长大和二维晶核长大
- 1.8 共晶、伪共晶和离异共晶
- 1.9 非晶、准晶和纳米晶
- 1.10 过饱和固溶体的连续脱溶和不连续脱溶

2、简答下列问题（40 分）

- 2.1 简要叙述固溶强化的概念、强化机制和影响固溶强化的因素。
- 2.2 叙述 Frank-Read 位错源增殖位错的过程。
- 2.3 论述成分过冷对固溶体合金结晶后组织的影响
- 2.4 论述金属-金属型共晶和金属-非金属型共晶结晶时，固液界面差异。

3、画图、说明并计算（30 分）

画出完整的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，并说明其中三条水平线的意义，写出反应式。并计算 T12 钢中的二次渗碳体的含量。

4、选做题（30 分）

④ 对比分析贝氏体转变和马氏体转变动力学上的异同点。

④ 在陶瓷系统中，当有气相或者液相存在是，两个晶粒间的晶界自由能与晶粒与气相或者液相间形成的槽角的关系如何描述？表面张力为  $0.6\text{J/m}^2$  的一种液态硅酸盐与一多晶氧化物表面接触，接触角  $\theta$  为  $45^\circ$ ；若与此氧化物混合，则在三晶粒交界处，形成液态小球，二面角  $\psi$  平均为  $85^\circ$ ，假设没有液态硅酸盐时，氧化物-氧化物界面的界面张力为  $1\text{J/m}^2$ ，试计算氧化物的表面张力。

④ 描述高分子球晶的内部结构和其生长过程。

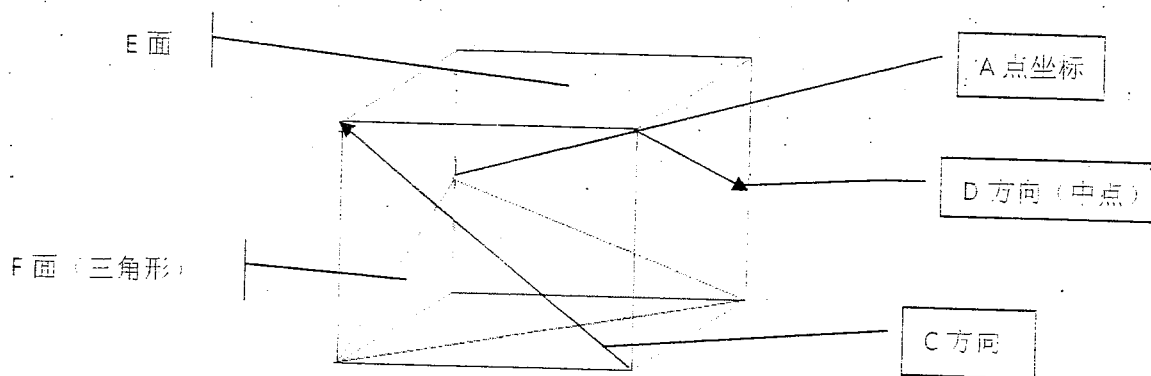
二〇〇六年

1、对比解释下列概念（50分）

- 1.1 晶体、离子晶体
- 1.2 晶带、晶带轴和晶带面
- 1.3 空位和间隙原子
- 1.4 柏氏矢量和柏氏回路
- 1.5 刃型位错的滑移和螺型位错的滑移
- 1.6 扩散驱动力和扩散激活能
- 1.7 组元、相和相律
- 1.8 晶坯和临界晶核
- 1.9 共晶、亚共晶和过共晶合金
- 1.10 热过冷和成分过冷

2、简答下列问题（40分）

- 2.1 简要叙述金属键的特点和金属键晶体的性能。
- 2.2 纯铁在  $912^{\circ}$  以上和以下各是什么类型晶体结构？碳在哪个晶体结构中的固溶度大？为什么？
- 2.3 论述你所知道的纳米晶体材料的形成途径。
- 2.4 给出下图中立方晶胞中指定点的坐标、线的晶向指数和面的晶面指数。



3、画出完整的 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，标出亚共析钢，过共析钢，亚共晶白口铸铁，过共晶白口铸铁所处的相区范围，画出 45 钢从液态冷却到室温的冷却曲线示意图，写出各温度段的转变式，计算室温时先共析铁素体的相对含量。

4、简述马氏体的转变特点。

二〇〇五年

1、概念解释（50 分）

- 1.1 金属键、离子键和共价键
- 1.2 固溶体、间隙固溶体和置换固溶体
- 1.3 刃型位错和螺型位错
- 1.4 包晶、共晶和共析反应
- 1.5 晶体、非晶体和准晶体
- 1.6 铁碳合金中的一次渗碳体和二次渗碳体
- 1.7 枝晶偏析和晶界偏析
- 1.8 相、相律和相图
- 1.9 小角度晶界和大角度晶界
- 1.10 自扩散和互（异）扩散

2、简答下列问题（40 分）

- 2.1 已知铁原子半径  $0.124\text{nm}$ ，原子量  $55.85\text{g/mol}$ ，计算体心立方结构纯铁晶体材料的密度。
- 2.2 计算面心立方晶胞中包含原子个数，致密度和配位数。
- 2.3 说明晶核形成前后晶坯尺寸变化引起的体系能量改变，并由此定义临界晶核。
- 2.4 说明置换扩散的可能机制，并说明各机制所需激活能的相对大小。

3、画出完整的  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  相图，标出共析点、共晶点，碳在  $\alpha$  相和  $\gamma$  相中最大固溶体点的温度和成分。画出含碳量  $1.2\%$  钢的结晶过程和冷却曲线示意，计算缓慢冷却到室温后，该合金组织中的二次渗碳体的相对含量。（30）

4、论述碳钢中过冷奥氏体中珠光体转变，贝氏体转变和马氏体转变的特点，说明三种转变所形成材料的性能特点。（30）

二〇〇四年

1、概念解释

- 1.1 相起伏和能量起伏
- 1.2 铁素体和铁素体魏氏组织
- 1.3 无序固溶体和有序固溶体
- 1.4 包晶、共晶和共析反应
- 1.5 共晶转变和伪共晶转变
- 1.6 塑性变形金属的临界变形度和二次再结晶

2、简答下列问题

- 2.1 说明晶体生长形态与温度梯度的关系。
- 2.2 固态金属要发生扩散必须满足哪些条件。
- 2.3 在 ABC 成分三角形中，画出  $W_a=20\%$ ， $W_b=15\%$ ，其余为 A 组元的位置。
- 2.4 试用多晶体的塑性变形过程说明金属晶粒越细金属的室温强度越高，塑性越好的原因。如果讨论金属材料的高温强度问题，还应该考虑哪些问题？上述结论会有哪些变化？
- 2.5 与液态金属结晶相比，金属固态相变有哪些主要特征？

3、已知面心立方晶格的晶格常数为  $a$ ，试求出  $(110)$ ， $(111)$ ， $(100)$  晶面的晶面间距，指出晶面间距最大的晶面，并讨论这个晶面在金属塑性变形中的作用。

4、论述金属结晶过程晶坯尺寸和体系能量变化的关系，并讨论临界晶核和临界形核功的物理意义。(15)

5、根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 平衡相图分析 WC=3% 时铁碳合金从液态冷却至室温的平衡转变过程：说明各阶段的组织：并分析计算室温下相组成物和组织组成物的相对含量。(20)

6、现有一批 45 钢普通车床传动齿轮，其加工工艺路线为锻造——热处理——机械加工——高频淬火——回火。试问，锻后的热处理是什么热处理：并请说明理由和注意事项。(20)

二〇〇三年

1、概念解释

- 1.1 共晶转变和匀晶转变
- 1.2 空间点阵和晶体结构
- 1.3 滑移带和动态再结晶
- 1.4 扩散和上坡扩散
- 1.5 马氏体转变和珠光体转变

2、绘出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 平衡相图，标出 P,S,E,C 点的成分，共晶转变和共析转变的温度，各相区的平衡相。并

- (1) 分析 WC=1.2%时碳钢从液态冷却至室温的平衡结晶过程，画出结晶示意图。
- (2) 回答室温下该合金的平衡组织中有哪几种组织。
- (3) 计算室温下该合金各组织组成物的相对含量。(25)

3、比较说明均匀形核和非均匀形核的异同点，说明非均匀形核比均匀形核容易的原因，探讨优良的形核剂应该具备的共同特征。(15)

4、比较纯金属结晶过程和固溶体结晶过程中哪一个更容易结晶出树枝状晶，为什么？对铸造组织有何影响？(15)

5、画示意图说明三元合金匀晶合金相图的变温截面和二元匀晶合金相图之间的差别。(15)

6、说明金属塑性变形过程中产生加工硬化的原因，及其对机械零件生产和服役过程的意义。(15)

7、比较淬火后的回火产物（回火珠光体，回火索氏体，回火屈氏体）和奥氏体直接分解产物（珠光体、索氏体和屈氏体）之间的力学性能的差别。在材料使用过程中如果用后者代替前者，可能存在的技术风险有哪些？生产成本有哪些差别？(15)

8、画出立方晶系{111}晶面族示意图，写出该晶面族中各晶面的晶面指数。(10)

9、比较说明珠光体转变和马氏体转变的异同。(10)

二〇〇二年

- 1、名词解释（50）
  - 1.1 置换固溶体和间隙固溶体
  - 1.2 晶界和亚晶界
  - 1.3 凝固和结晶
  - 1.4 共析转变和共晶转变
  - 1.5 滑移带和滑移线
  - 1.6 脆性和韧性断裂
  - 1.7 一次再结晶和二次再结晶
  - 1.8 第一次和第二次回火脆性
  - 1.9 上贝氏体和下贝氏体
  - 1.10 晶体生长的光滑界面和粗糙界面
- 2、 $\alpha$ -Fe 属于那种晶体结构，配位数是多少？画出晶胞示意图并计算其致密度和四面体间隙半径与原子半径的比值。（10）
- 3、比较均匀形核和非均匀形核的异同点，说明为什么均匀形核比非均匀形核更困难。（10）
- 4、影响扩散的主要因素有哪些？（10）
- 5、绘出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 平衡相图（标出关键点的成分和水平线的温度）分析含碳量为 3.4% 的白口铸铁的结晶过程：画出结晶过程示意图。计算
  - （1）在共晶反应结束时，初晶奥氏体和莱氏体的相对含量。
  - （2）在共析反应前夕，初晶奥氏体中二次渗碳体和剩余奥氏体的相对含量。（15）
- 6、画出共析碳钢的过冷奥氏体等温转变曲线图，为获得下列 5 种组织应该选用哪种冷却方式？并在图中画出其冷却曲线。（1）全部珠光体（2）全部贝氏体（3）马氏体+残余奥氏体（4）托氏体+马氏体+残余奥氏体（5）托氏体+贝氏体+马氏体+残余奥氏体。（15）

二〇〇一年

- 1、解释下列名词 (50)
  - 1.1 合金中的相
  - 1.2 成分过冷
  - 1.3 伪共晶
  - 1.4 滑移
  - 1.5 再结晶
- 2、对比解释下列概念的异同点。
  - 2.1 刃型位错和螺型位错
  - 2.2 TTT 曲线和 CCT 曲线
  - 2.3 自扩散和异 (互) 扩散
- 3、计算题
  - 3.1 体心立方晶胞中晶格常数为  $a$ ，计算出体心立方晶胞中的原子半径  $r$  与致密度  $k$ 。
  - 3.2 根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图计算共析转变产物中铁素体和渗碳体的含量。
- 4、综述晶体长大的要点。
- 5、根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 平衡相图分析含碳量对铁碳合金平衡组织的工艺性能的影响。
- 6、钢的淬透性和淬硬性的本质区别是什么？
- 7、试述金属经塑性变形后对组织结构和金属性能的影响。
- 8、简述金属固态相变的特点和类型。

二〇〇〇年

- 1、解释下列名词（10）
  - 1.1 金属键
  - 1.2 加工硬化
  - 1.3 比重偏析
  - 1.4 回火
  - 1.5 晶胞
- 2、对比说明下列物理现象的异同点。（15）
  - 2.1 间隙原子在晶内，晶界和晶体表面处的扩散速度
  - 2.2 晶体中的点、线、面缺陷
  - 2.3 金属材料中的杂质和数量合金化元素
- 3、论述影响再结晶后晶粒大小的因素。
- 4、论述晶体材料分别经过平衡结晶和非平衡结晶之后的组织、性能差别。
- 5、论述金属结晶时均匀形核和非均匀形核时热力学条件的差异。
- 6、绘出 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，并说明其中三条水平线的意义，写出反应式。
- 7、试述奥氏体转变为马氏体过程的特点。
- 8、论述晶粒大小对塑性变形的影响。
- 9、按照 Pb-Sn 合金相图，计算含锡 30%合金在室温下先共晶  $\alpha$  和共晶体 ( $\alpha + \beta$ ) 的质量百分数。



一九九九年

- 1、解释下列名词（10）
  - 1.1 滑移系
  - 1.2 伪共晶
  - 1.3 晶体的各项异性
  - 1.4 再吸附
  - 1.5 珠光体
- 2、对比说明下列概念的本质区别。（15）
  - 2.1 结晶和再结晶
  - 2.2 金属热加工和冷加工
  - 2.3 间隙相和间隙固溶体
- 3、论述晶体长大的条件。
- 4、根据晶体塑性变形的过程，分析多晶体的变形特点。
- 5、写出扩散第一定律和扩散第二定律的表达式。
- 6、根据铁碳相图分析 60 号钢的结晶过程，并用杠杆定律计算出它在室温下得组织组成物的含碳量。
- 7、分别叙述锰硅硫磷氢对质量性能的影响。
- 8、简述金属固态相变的类型。

一九九八年

- 1、对比解释下列名词
  - 1.1 滑金属与非金属的本质差别是什么？
  - 1.2 间隙固溶体和间隙相的本质差别是什么？
  - 1.3 过冷奥氏体与残余奥氏体的本质差别是什么？
  - 1.4 加工硬化和二次加工硬化的本质区别是什么？
- 2、计算题。
  - 2.1 计算出体心立方晶胞和面心立方晶胞的原子半径 ( $r$ )，晶格常数 ( $a$ )。
  - 2.2 计算出在体心立方晶胞和面心立方晶胞中的滑移系数目。
  - 2.3 计算出在  $WC=5.9\%$  过共晶白口铸铁中的室温组织组成物和相组成物的含量。
- 3、解释下列定义。
  - 3.1 过冷度
  - 3.2 位错密度
  - 3.3 伪共晶
  - 3.4 晶格
- 4、回答下列问题。
  - 4.1 在二元合金状态图中，由相律判断自由度  $f$  等于零的线叫什么线？（举出 4 个例子）
  - 4.2 不能用热处理强化的  $Al-Si$  合金或变形铝合金的强化突进是什么？
- 5、简述与回答下列问题。
  - 5.1 钢的退火及其种类
  - 5.2 常用的淬火方法有几种，在  $C$  曲线图中表示出来。
- 6、以共析钢为例，试分析连续冷却转变曲线（ $CCT$  曲线）对热处理生产有何直接指导作用。
- 7、金属的结晶形核有哪些要点。
- 8、绘出  $A-m$  直线上合金垂直截面和线上的各区的相。
- 9、在铸铁一般都进行哪些处理。

1. 离子导电: 对于离子型材料来说, 带电荷离子的净运动可以产生电流, 这被称为离子导电。

电子导电: 带负电的电子的净运动产生电流, 称为电子导电。

点缺陷: 其特征是三维空间的各个方向尺寸都很小, 尺寸范围约为一个或几个原子尺寸, 故称为点缺陷, 包括空位、间隙原子、溶质原子。

线缺陷: 其特征是两个方向的尺寸都很小, 另外一个方向上延伸较长, 也称为一维缺陷, 如各类位错。

面缺陷: 其特征是一个方向的尺寸很小, 另外两个方向上延展很大, 也称为二维缺陷, 包括表面、晶面、晶界、亚晶界等。

3. 反应扩散: 通过扩散形成新相的现象称为反应扩散。

晶界扩散和表面扩散: 由于晶界、表面及位错等都可视为晶体中的缺陷, 缺陷产生的畸变使原子迁移比在完整晶体内容易, 导致这些缺陷中的扩散速率大于完整晶体内的扩散速率, 因此, 常把这些缺陷中的扩散称为“短路”扩散。

4. 热塑性高分子材料: 该聚合物加热时变软、冷却时变硬, 该物质处于颗粒态或软态时, 可以塑造成挤压成型和模具成型;

热固性高分子材料: 该聚合物一旦由化学作用固化或硬化, 再进行加热时不变软或融化。

1.5. 脆性断裂: 通过裂纹快速扩展而发生断裂, 没有任何的预先的塑性变形。

韧性断裂: 一种伴随大量塑性变形的断裂方式。

1.6. 均匀形核: 晶体在结晶过程中, 在液相内部由于过冷度的存在, 完全依靠液相内部的晶胚的形核过程。

非均匀形核: 晶体在结晶过程中, 依靠外来杂质或容器内壁形核的过程。

(1.7) 螺型位错长大: 若光滑界面上存在螺型位错时, 垂直于位错线的表面呈现螺旋形的

分析,且不会消失,在最接近位错处,只需要加入少量原子完成一周,而离位错较远的原子加入,这样就使晶体表面呈现由螺旋形台阶形成的螺旋线。

1.7 二维晶核生长: 二维晶核是指一定大小的原子或原子的平面薄层。若界面为光滑界面,

二维晶核在相界面上形成后,液相原子沿着二维晶核侧面所形成的台阶不断地附着上去,使晶核很快扩展而铺满整个表面,这时生长中断,而在此界面上形成二维晶核,又很快地长满一层,如此反复进行。

1.8 共晶反应: 随着冷却过程,由一个液相等温地转变为两个紧密结合的新固相的反应。

共析反应: 随着冷却过程,由一个固相等温地转变为两个紧密结合的新固相的反应。

1.9 非晶: 非晶材料的原子无规则排列,无周期性的,主要是在冷却过程中,利用先进技术手段使材料进入玻璃态,这样形成的材料为非晶材料,它处于亚稳态。

准晶: 材料的制备过程中出现了不符合晶体对称性,但呈一定的周期性的有序排列的类似于晶态的固体。

纳米晶: 通常所说的纳米材料,原子是指至少在一个方向上尺寸为几个纳米的结构单元所构成的晶体材料。

1.10 冷加工: 在再结晶温度以下进行的塑性加工称为冷加工;

热加工: 在再结晶温度以上进行的塑性加工称为热加工;

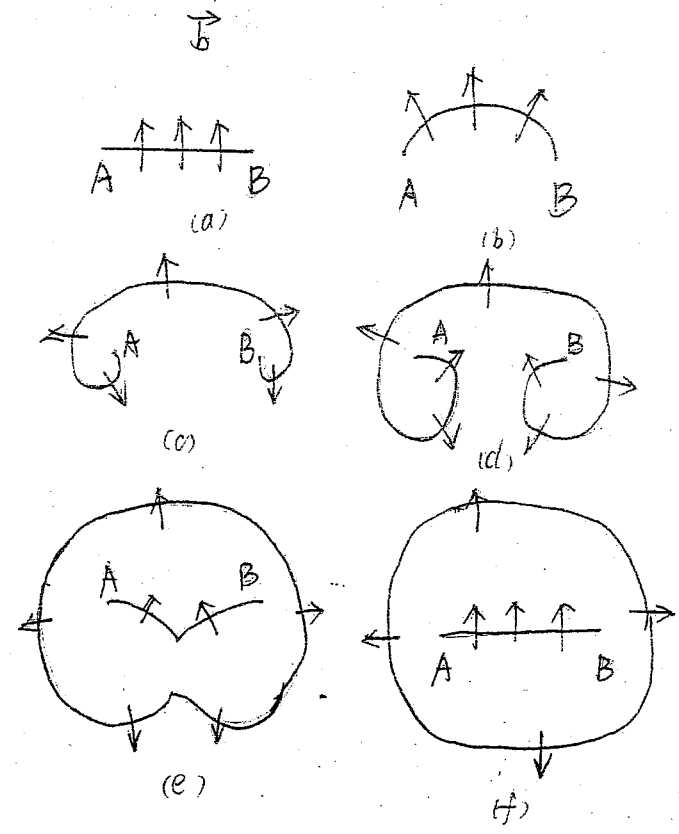
### 再结晶

2.1 珠光体: 由新成分的奥氏体转变而得到的在一般钢和铸铁中出现的显微结构,是由 $\alpha$ -铁素体和渗碳体交互形成的层状或片状组成,它的力学性能主要取决于 $\alpha$ -铁素体和渗碳体的形状,片状珠光体则性能表现为硬而脆,强度高,但塑性差。

加热温度为 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ ,回火后得到在 $\alpha$ -Fe中过饱和程度较小的固溶体。  
回火马氏体: 是马氏体对奥氏体进行淬火形成的亚相马氏体进行加热至共析温度以下并保温一定时间,回火后组织为: 由极小尺寸的渗碳粒子均匀分散在铁素体中。

投 模的较高基础上。因此铸锭中的缺陷尺寸非常细小，因此铸锭之间的相界面和次，其强度和硬度可视为球状光体。

面 若某滑移面上有一般刃型位错AB，它的  
付 两端被网络点钉住，不能动。现有位错 $\vec{b}$ 方向  
又 加外力，使位错沿滑移面向前滑移运动。  
反应 由于AB固定，只能使位错线发生弯曲(b)；单位  
反应 长度位错线受滑移力  $F_d = \tau b$ ，它总是与位错  
反应 线本身垂直，所以弯曲后的一小段继续受  $F_d$  的  
反应 作用，沿着它的法线方向扩展，则A、B端点  
反应 分别回缩。当两端弯曲的线彼此相互靠近时，  
反应 该两线彼此平行于 $\vec{b}$ ，但方向相反，分别为左旋与右  
反应 旋位错，相互抵消，形成一个闭合的位错环，位  
反应 错环内一小段弯曲位错线。只要外力继续施加，位错环便不断向外扩展，环内的位错线  
反应 将被拉直，离它前面运动。结果不继续产生新的位错环，从而造成位错增殖。

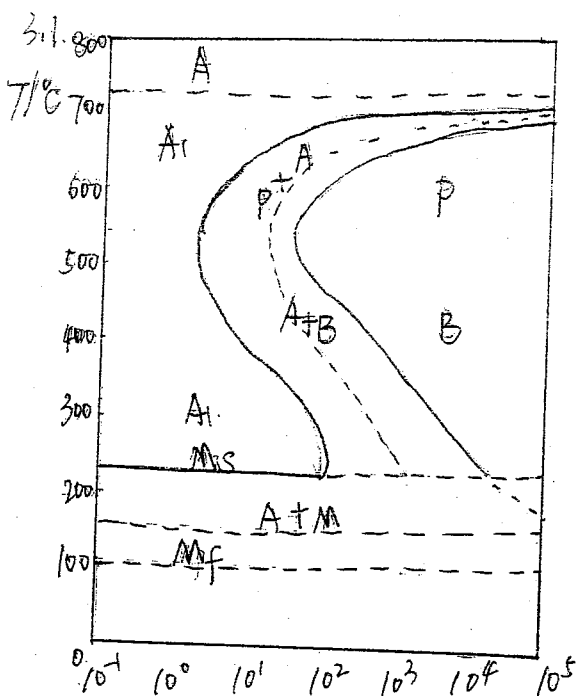


常 模 304页  
正常的凝固和在区域熔炼均要求液-固界面为平直界面，①当液-固界面前沿有较平的成分过冷区时，平面生长就被破坏。界面某些地方的凸起，在过冷度稍大时，由于过冷度稍有增加，促进了它们进一步凸向液体，但因成分过冷度较小，凸起部分不可能有较大伸展，使界面形成锯齿状组织；②如果界面前沿的成分过冷度甚大，则凸起部分就能继续伸向过冷液相中生长，同时在侧面产生分枝，形成二次轴，在二次轴上再长出三次轴，这样就形成了树枝状组织。

306页  
枝状组织  
4 (1) 金属-金属型(粗糙-粗糙界面)。共晶时，其两相组成相之间的液-固界面都是粗糙界面，各相的前沿液体温度均在共晶温度以下的0.02℃范围内，它们的液-固界面上的温度基本上相等，因而界面为平直状。

枝 306页  
4 (1) 金属-金属型(粗糙-粗糙界面)。共晶时，其两相组成相之间的液-固界面都是粗糙界面，各相的前沿液体温度均在共晶温度以下的0.02℃范围内，它们的液-固界面上的温度基本上相等，因而界面为平直状。

(2) 金属-非金属共晶(粗糙-光滑界面): 两相成相为金属-非金属或金属-亚金属, 其中非金属或金属性较差的一相在凝固时, 其液-固界面为光滑界面。这类共晶组织, 通常形态复杂, 如新片状骨骼状等, 它们互相连成整体。



	马氏体	珠光体
过程	形核、长大	形核、长大
温度	低温转变	高温转变
扩散性	无扩散, 转变快 合金元素不扩散	扩散型转变
组织	单相组织	两相组织
共析性	切变共析表面光滑	无共析
领先相		渗碳体
可逆性	可逆转变	不可逆

3.2.

(1). 完全退火:

① 适用材料: 主要用于共析钢、合金钢的锻、铸件和热轧件。

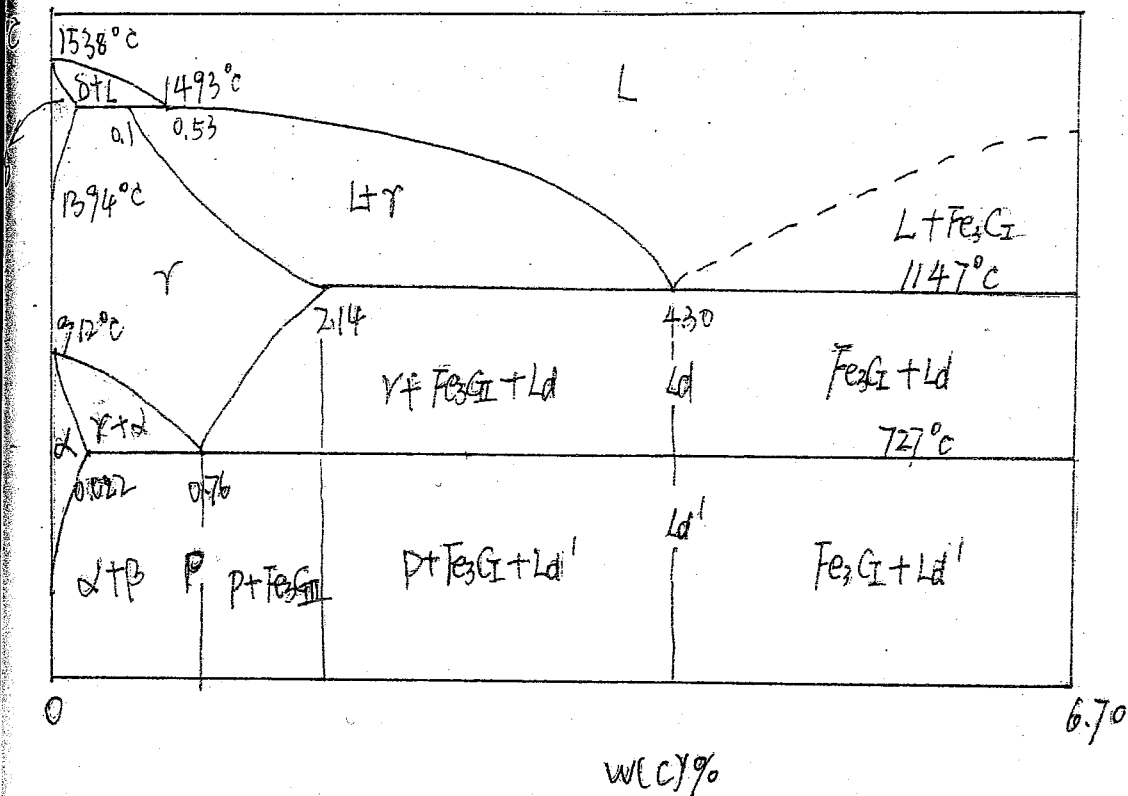
② 工艺参数: 加热温度  $A_{c3} + 20-30^{\circ}\text{C}$ , 随炉冷却到  $500^{\circ}\text{C}$  后空冷。

③ 优点: A: 改善组织, 和使成分均匀化, 以提与钢的性能。

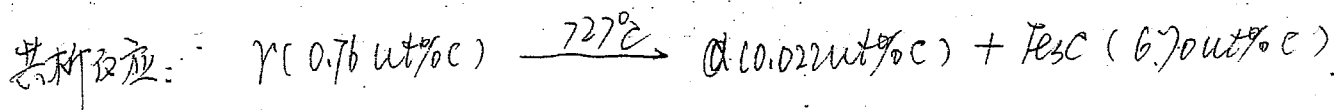
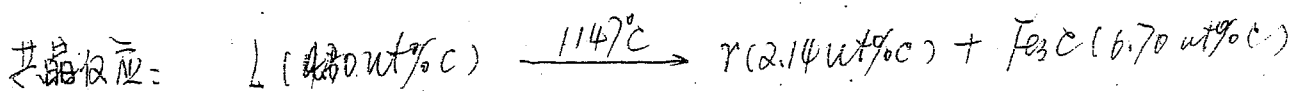
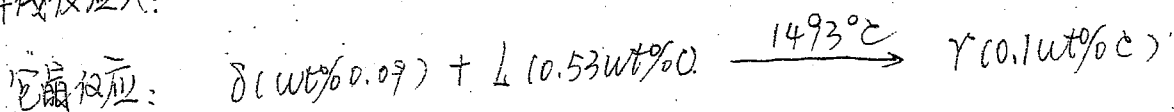
B: 消除不平衡的强化状态, 如内应力或加工硬化等, 更可以改善切削加工性能, 冷塑性变形性能。

C: 细化晶粒。

④ 缺点: 所需时间较长, 生产率(硬度低):



水平线反应式:



3) 冷却至室温后, 该组织中有珠光体和先共析铁素体  $\alpha$  相。

$$12) \quad W_{\text{珠光体}} = \frac{0.4 - 0.022}{0.76 - 0.022} = 51.2\%$$

$$W_{\text{先共析铁素体}} = \frac{0.76 - 0.4}{0.76 - 0.022} = 48.8\%$$

而珠光体中又有铁素体和渗碳体组成: 有

$$W_{\text{铁素体}} = \frac{6.70 - 0.4}{6.70 - 0.022} = \frac{6.3}{6.678} \approx 94.3\% \times 51.2\% = ?$$

$$W_{\text{渗碳体}} = \frac{0.4 - 0.022}{6.70 - 0.022} = \frac{0.378}{6.678} \approx 5.7\% \times 51.2\% = ?$$

$$\text{则室温下 } W_{\alpha} = W_{\text{先共析铁素体}} + W_{\text{铁素体}} = \frac{48.8 + 47.3}{100} = 96.1\%$$

(2). 正火:

① 适用材料: 碳素钢及低合金钢;

② 工艺参数: 加热温度  $A_3$  或  $A_{cm} + 30 - 50^\circ\text{C}$ ; 注适当保温后空冷.

③ 优点: A. 改善低碳钢的切削加工性能;

B. 消除中碳钢热加工缺陷;

C. 消除过共析钢中的网状碳化物;

D. 细化晶粒, 改善组织, 使组织均匀, 消除内应力;

E. 与退火相比, 冷却速度快, 转变温度低, 生产率较高, 成本低;

④ 缺点: 不适用于合金钢.



二〇〇九年:

结晶: 材料由液态状态降温冷却至固态, 发生晶核及长大的相变过程。

再结晶: 在冷塑性变形材料的内部生成新的晶粒的过程叫再结晶, 通常发生在再结晶退火热处理中。

二次再结晶: 又称为异常晶粒长大, 当晶粒细小的一次再结晶组织, 被继续加热时, 阻碍正常晶粒长大的因素一旦开始消除时, 少数特殊晶粒将迅速迁移, 这些晶粒一旦长到超过它周围的晶粒时, 这个大晶粒总是向外界侧, 因而晶界总是向外迁移而扩大, 晶界也就愈长愈大, 直到互相接触为止, 形成二次再结晶。

均匀形核: 晶核在结晶过程中, 在液相内部由于热过冷的存在, 完全依靠液相内部的晶胚的形核过程。

非均匀形核: 依靠外来杂质或铸型内壁的形核过程。

3. 固溶体: 以某一组元为溶剂, 在其晶体点阵中溶入其他组元原子(溶质原子)所形成的均匀混合的固态溶液。

置换固溶体: 溶质原子取代或替代溶剂原子而形成的固溶体。

间隙固溶体: 溶质原子分布于溶剂晶格间隙而形成的固溶体。

4. 离子键: 原子之间发生电子转移, 形成正负离子, 并通过静电作用而形成的化学键。

共价键: 由两个或多个电负性相差不大的原子间, 通过共用电子对而形成的化学键。

金属键: 在液态或固态金属中, 价电子可以自由地在不同原子间移动, 使其为多个原子共有, 这些共用电子与金属离子相互作用构成化学键。

1.5 施主态: 当具有5个价电子的杂质原子取代掺入到硅晶体中, 这个杂质原子只有4个价电子参与成键, 而额外那个价电子只是松散的束缚在杂质原子周围。对于每一个这样松散成键的电子来说, 其在禁带内部相邻导带的位置形成一个能级或能态, 被称为施主态。

受主态: 当具有价电子的杂质原子取代掺杂到硅晶体中后, 这些原子中的一个共价键会缺一个电子, 这种缺陷可以认为是个价带微弱的束缚在杂质原子上, 每个这种类型的缺陷都会在带隙内部引入一个能级, 它十分接近价带的顶端, 被称为受主态。

受主能级: 价带顶部

1.6. 晶界扩散: 晶界表面及位错均可视为晶体中的缺陷, 使得原子迁移比在完整晶体内容易, 导致这些缺陷中的扩散速率大于完整晶体内的扩散速率。因此, 晶界、表面、及位错处有利于原子的扩散。

表面扩散: 见晶界扩散。

反应扩散: (相变扩散): 通过扩散形成新相的过程称为反应扩散。

1.7. 晶粒: 金属或陶瓷中多晶体中的一个单独小晶体;

晶界: 把两个相邻具有不同晶体学取向的晶粒分离开来的界面。

晶粒: 是从晶体结构中取出的能够反应晶体周期性和对称性的最小单元。

1.8. 屈服强度: 是指材料开始发生塑性变形的应力;

疲劳强度: 对某一特定循环次数, 材料能承受而不失效的最大应力水平。

断裂强度: 材料发生断裂时所受到的应力水平。

1.9. 弹性变形: 应力和应变成正比关系的变化称为弹性变形。

滞弹性: 应力施加后, 大多数工程材料变形都会延迟, 并且撤去加载, 样品不会完全回复。也需要一定的时间, 这种与时间相关的弹性行为称为滞弹性。

弹性能: 在弹性形变过程中所吸收的能量。

0. 非晶: 非晶材料中的原子是无规则排列的 无周期性, 主要是在冷却过程中, 利用先进技术手段使材料进入玻璃态, 这种形成的材料叫非晶材料. 它处于亚稳态.

准晶: 材料的制备过程中出现了不符合晶体对称条件, 但呈一定周期性的有序排列的类似晶体的固体.

纳米晶: 所谓纳米材料, 是指在一个方向上尺寸为几个纳米的结构单元所构成的晶体材料.

2.1. 位错: 晶材料中的线状缺陷, 在其附近, 原子发生错排.

位错线: 刃型位错中多余半原子面边缘的连续, 或者螺型位错中错排原子层的中心轴线.

柏氏矢量: 表示位错引起晶格畸变程度和方向的矢量.

刃型位错的柏氏矢量垂直于位错线:

螺型位错的柏氏矢量平行于位错线:

混合位错的柏氏矢量与位错线既不平行也不垂直.

2.2. 阳离子的原子半径和阴离子的原子半径.

①  $0 < \frac{r_{阳}}{r_{阴}} < 0.155$ , 配位数为 2, 阴离子位于两个阳离子的直线中间

②  $0.155 < \frac{r_{阳}}{r_{阴}} < 0.225$ , 配位数为 3, 阴离子位于平面正三角形的中心;

③  $0.225 < \frac{r_{阳}}{r_{阴}} < 0.414$ , 配位数为 4, 阴离子位于四面体的中心.

④  $0.414 < \frac{r_{阳}}{r_{阴}} < 0.732$ , 配位数为 6, 阴离子位于八面体中心.

⑤  $0.732 < \frac{r_{阳}}{r_{阴}} < 1$ , 配位数为 8, 阴离子位于立方体中心.

2.3. 金属晶体的结合键是金属键. 由于金属键具有无饱和性和无方向性的特点, 从而使金属

内部的原子趋向紧密排列, 构成高度对称的简单晶体结构.

原子间晶体的主要结合键是共价键, 由于共价键具有方向性和饱和性, 从而使其具有

2.4. 稳态扩散：即扩散通量不随时间而变化的扩散。用菲克第一定律描述为：扩散中的原子通量与质量浓度梯度成正比，即  $J = -D \frac{dP}{dx}$ ； $J$  为扩散通量， $D$  为扩散系数 ( $m^2/s$ )， $P$  是扩散物质的质量浓度 ( $kg/m^3$ )，式中“-”表示物质从高浓度向低浓度扩散。

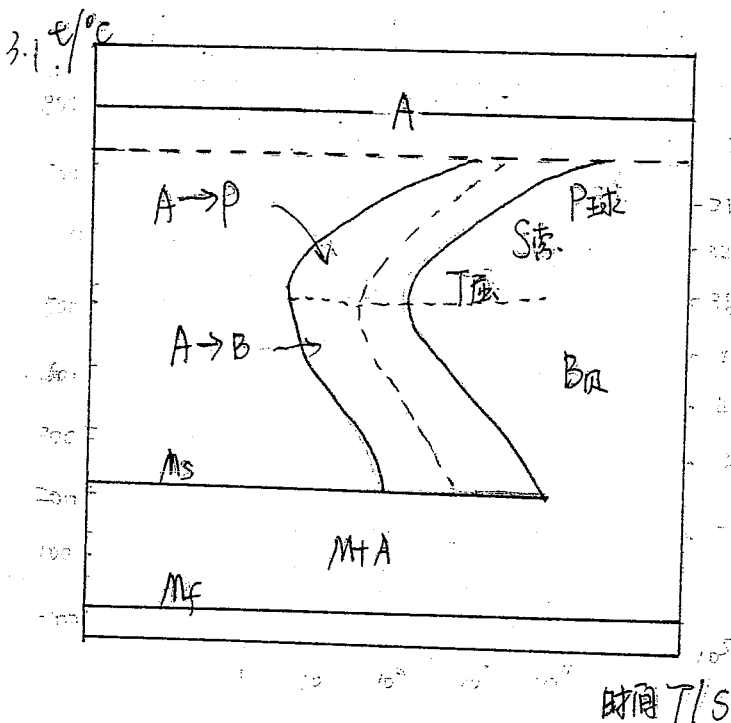
非稳态扩散：即扩散通量随时间的变化而变化的扩散，用菲克第二定律描述为：

$$\frac{\partial P}{\partial t} = D \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (\text{假设 } D \text{ 与浓度无关})$$

2.5. 面心立方晶体的滑移系有  $4 \times 3 = 12$  个，滑移晶面  $\{111\}$ ；滑移晶向  $\langle 110 \rangle$ ；

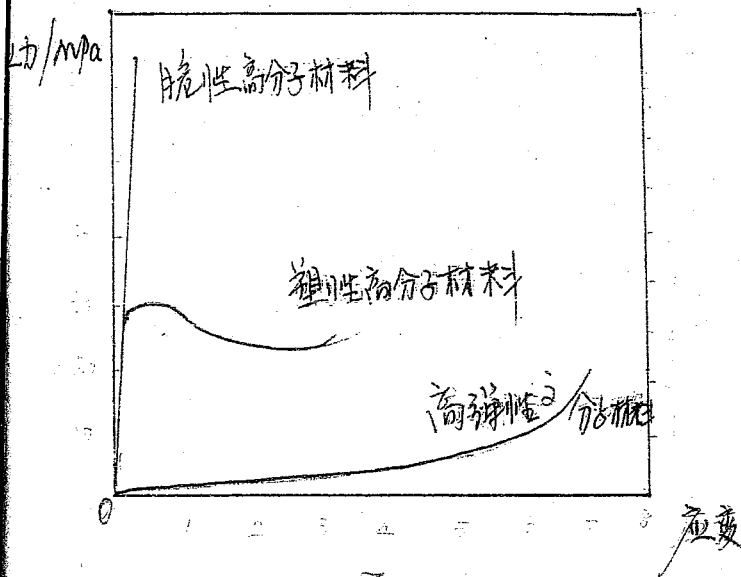
密排六方晶体的滑移系数目  $1 \times 3 = 3$  个，滑移晶面  $\{0001\}$ ；滑移晶向  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$

由于面心立方晶体相对密排六方晶而言而有较多的滑移系数目，这样在相同  $m$  外力作用下易发生滑移，在宏观上表现为塑性变形，从而面心立方晶体的塑性变形能力 大于 密排六方晶体。



	马氏体	珠光体
过程	形核长大	形核长大
温度	低温转变 ( $M_s$ 以下)	中温转变
扩散性	无扩散，转变快 合金元素不扩散	扩散性相变 合金元素扩散
组织	单相组织 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$	两相组织 $\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$
共析性	切变共格表面能	无共格性
领先相	无	渗碳体

# 三种聚合物材料的应力-应变曲线图

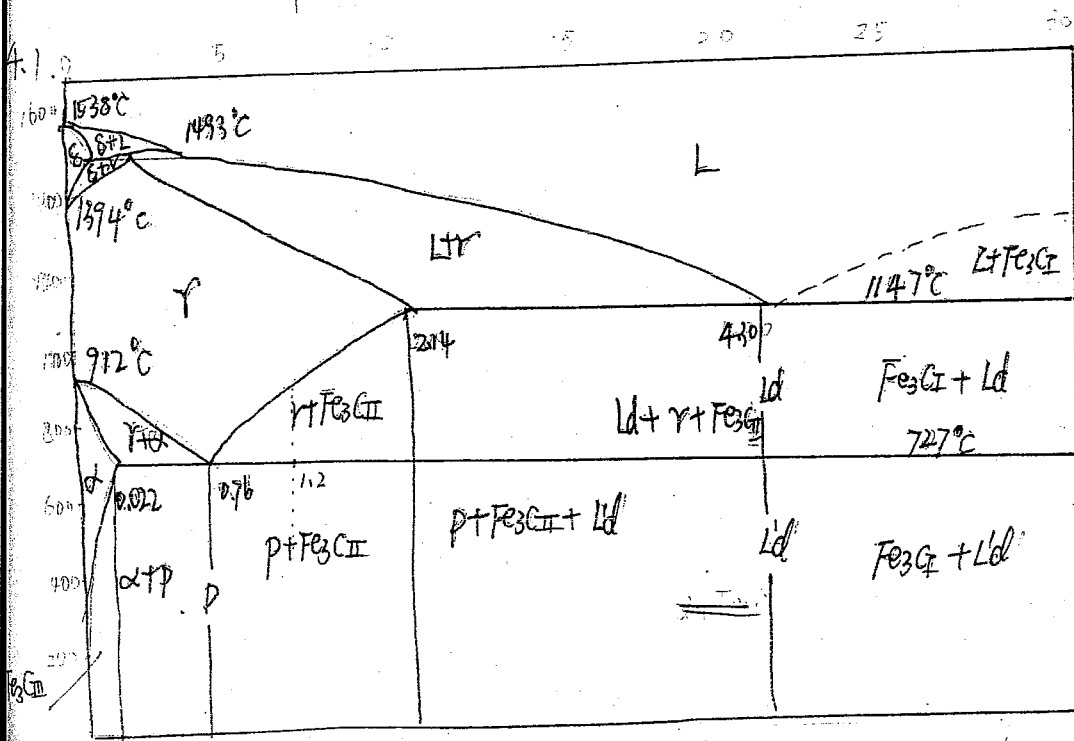


## 1. 金属的变形特点：细看

- ① 当金属晶体发生塑性变形时，一般是通过滑移过程来进行的，而对滑移影响最大的就是位错。  
因此当金属中存在阻碍位错运动的因素都会引起晶体发生塑性变形。
- ② 某些金属合金会出现明显的屈服点和应变时效现象。

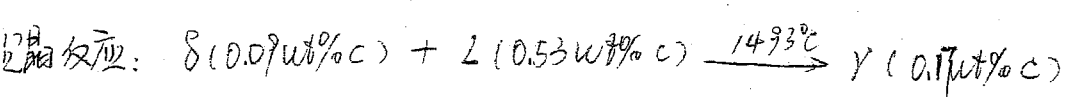
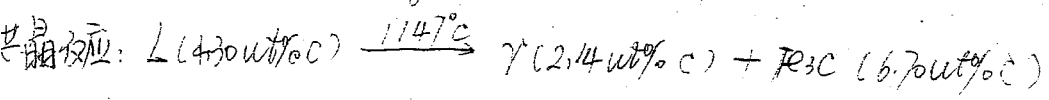
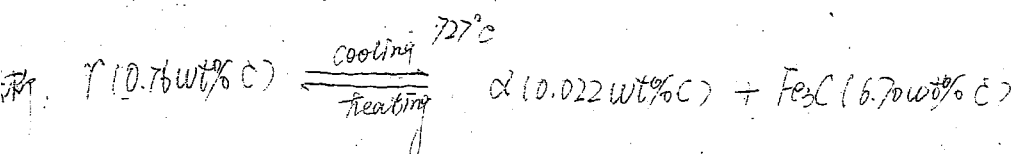
## 2. 分子聚合物的变形特点：

- ① 聚合物的塑性变形是靠粘性流动而不是靠滑移产生，因此聚合物产生塑性变形的难易程度与该材料的粘度有关，这取力学性能对温度和时间依赖性要强得多。
- ② 很多高分子材料在塑性变形时往往会出现均匀变形而不均匀性，常见的就是细颈的形成。



半  
透  
金  
属  
地  
理  
子  
第  
3  
·  
期  
清  
4  
·  
井  
范  
集

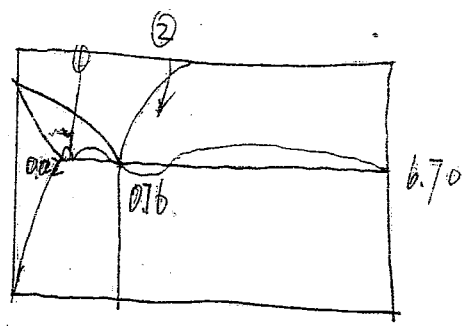
13. 水平线上相变反应式:



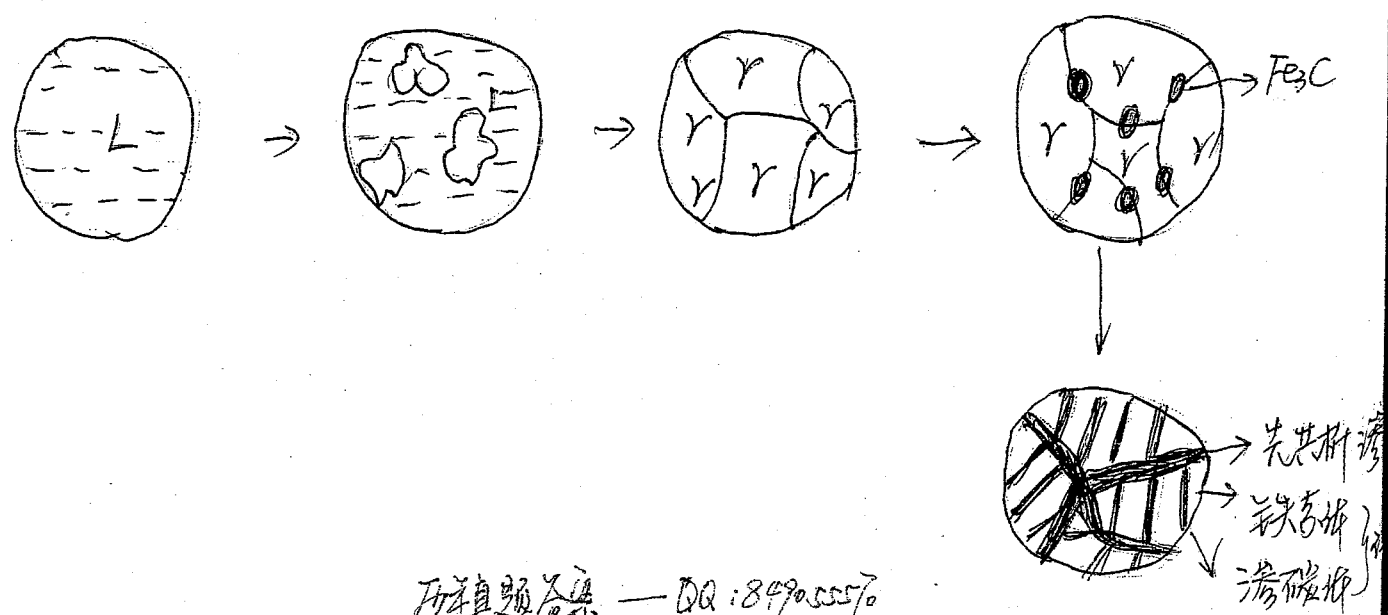
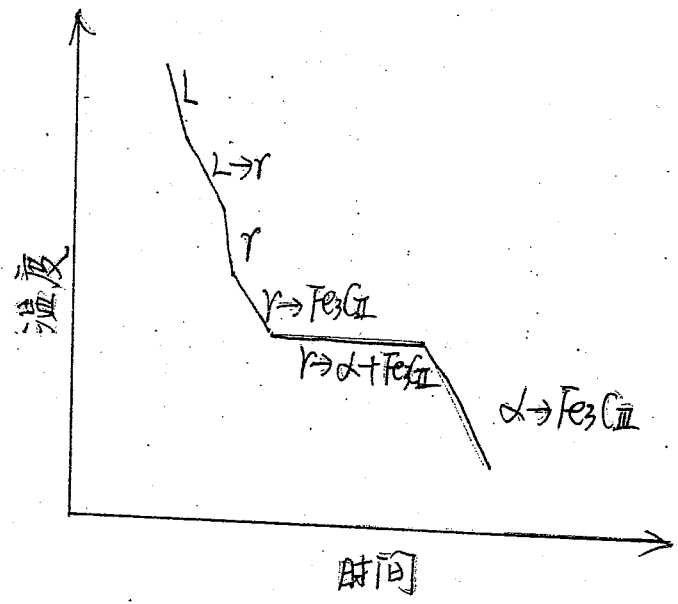
(3) 1.2%-wt 碳中珠光体

$$w_p = \frac{6.70 - 1.2}{6.70 - 0.76} = 92.6\%$$

$$w_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - w_p = 7.4\%$$



(4)



二〇〇八年吉林大学研究生入学考试

导电能力介于导体与绝缘体之间的物质

半导体：是指其中程度导电性材料，其导电率一般在  $10^{-6} \sim 10^4 \text{ (}\Omega \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$  之间；

聚合物：由小重复结构单元连接而成的具有高分子量的固态非金属材料。

金属晶体结构：金属晶体的结合键是金属键，它具有无饱和性和无方向性的特点，使金属内部的原子趋于紧密排列，构成高度对称的简单晶体结构。BCC、FCC、HCP 为三种典型的晶体结构。

陶瓷晶体结构：陶瓷材料属于无机非金属材料，是由金属与非金属元素通过离子键兼有共价键方式结合起来的，陶瓷晶体结构大多数属于离子晶体。

3. 螺型位错：一种螺旋型晶体缺陷，形态上可描述为相互平行的相邻晶面间依次错粘在一起形成的螺旋斜面，中心线附近区域所形成的层错排列状态。

混合位错：当柏氏矢量和位错线既不平行又不垂直，而变成任意角度时，则位错是刃型位错和螺型位错的混合类型。

4. 共价键：由两个或多个电负性相差不大的原子间，通过共用电子对形成的化学键。

范德瓦耳键：借助微弱的、瞬时的电偶极矩，感应作用，将原来具有稳定的原子结构的原子或分子结合成键合。

1.5. 晶胞：从晶体结构中取出的能够反应晶体周期性和对称性的最小单元。

晶粒：金属或陶瓷多晶体中的小单晶体部分。

1.6. 间隙扩散：晶体扩散机制中的一种，间隙原子由一个间隙位置跃移至邻近的间隙位置所构成的扩散；

换位扩散：晶体扩散机制的一种，原子的净迁移是晶格节点的位置移动到邻近的点位中。

张宏瑞答案

1.7. 弹性变形: 外力除去后能够完全恢复的那部分变形。

滞弹性: 应力施加后, 大多数工程材料弹性变形都会持续, 并且撤去力。载; 样品的完全回复需要一定的时间。这称为与时间相关的弹性行为和滞弹性。

1.8. 滑移: 晶体中相邻的两部分在切应力的作用下沿着一定的晶面和晶向相对滑动。

滑移系: 一个滑移面和其面上  $m$  个滑移方向合起来叫做滑移系。

1.9. 中间固溶体: 非纯组分的一定成分范围的固溶体或相。

金属间化合物: 具有明确的化学式的两种金属间的化合物, 在相图中, 它以中间相出现, 其存在的成分范围特别窄。

1.10: 固溶处理: 通过溶解沉淀粒子而形成固溶体的过程。加热状态下快速冷却, 导致

固溶体在外界环境下通常处于过饱和和亚稳定状态。

人工时效: 通过室温以上的时效, 产生的沉淀不硬化。

沉淀硬化: 利用合金内部沉淀出来的新相粒子来硬化合金。

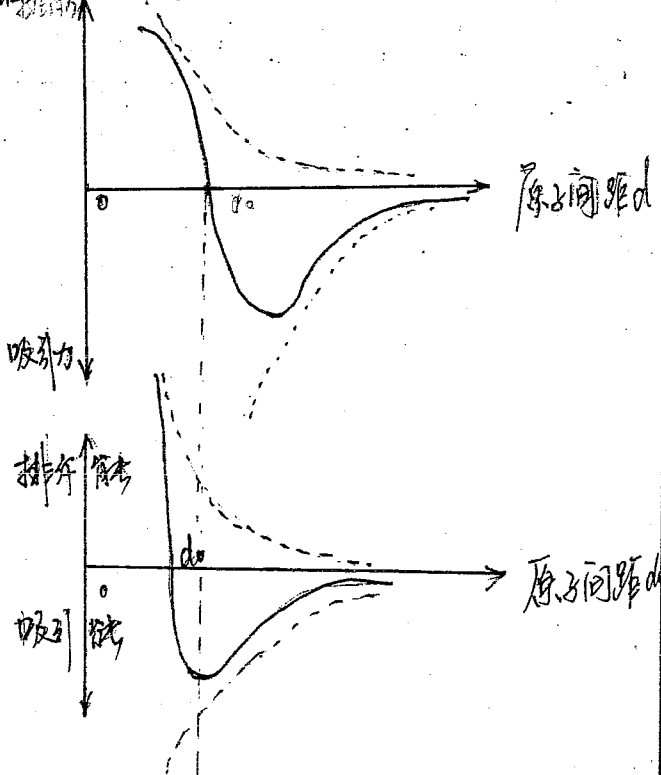
2.1.

如右图所示:

当原子间距离  $d > d_0$  时, 原子间结合力表现为吸引力, 结合能表现为吸引能;

当原子间距离  $d < d_0$  时, 原子间结合力表现为排斥力, 结合能表现为排斥能;

当原子间距离  $d = d_0$  时, 原子间结合力为零, 结合能达到最低, 此时原子最稳定。





相变动力学 是对相变反应速率及影响因素的研究。

(1) 时间: 保持温度不变, 反应速率与时间的关系  $v = \frac{1}{t_0 S}$ ; 因为 固态相变 需要原子扩散, 而原子扩散与时间有关, 转变速率先增大后减小。

(2) 温度: 是影响反应速率的重要因素: 过冷奥氏体 发生等温转变过程。

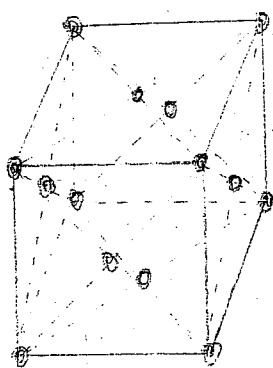
- ① 在较低温度下转变为珠光体, 随温度降低, 转变速率增大直至达到最大, 而后成缓;
- ② 在  $550^{\circ}\text{C} - \text{Ms}$  间转变为贝氏体, 随温度降低转变速率降低;
- ③ 在  $\text{Ms} - \text{Mp}$  间转变为马氏体, 马氏体转变瞬间完成, 与时间无关, 随温度下降, 转变速率增大。

(3) 化学成分: ① 含碳量, 越富  $\text{Mn}$  或越贫  $\text{C}$ , 转变速率越快;  
② 合金元素, 除  $\text{Co}$   $\text{Al}$  外, 都会 降低 转变速率。

(4) 奥氏体晶粒越细, 转变速率越快;

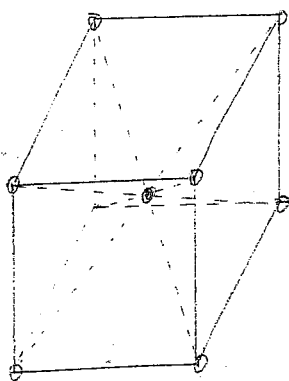
(5) 应力与塑性变形的影响: 拉应力 和 塑性变形 增大反应速率; 压应力 降低反应速率。

3.2.

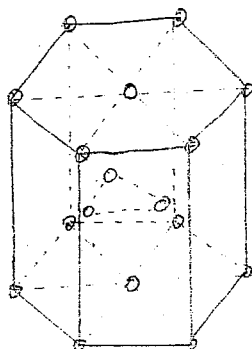


面心立方晶体

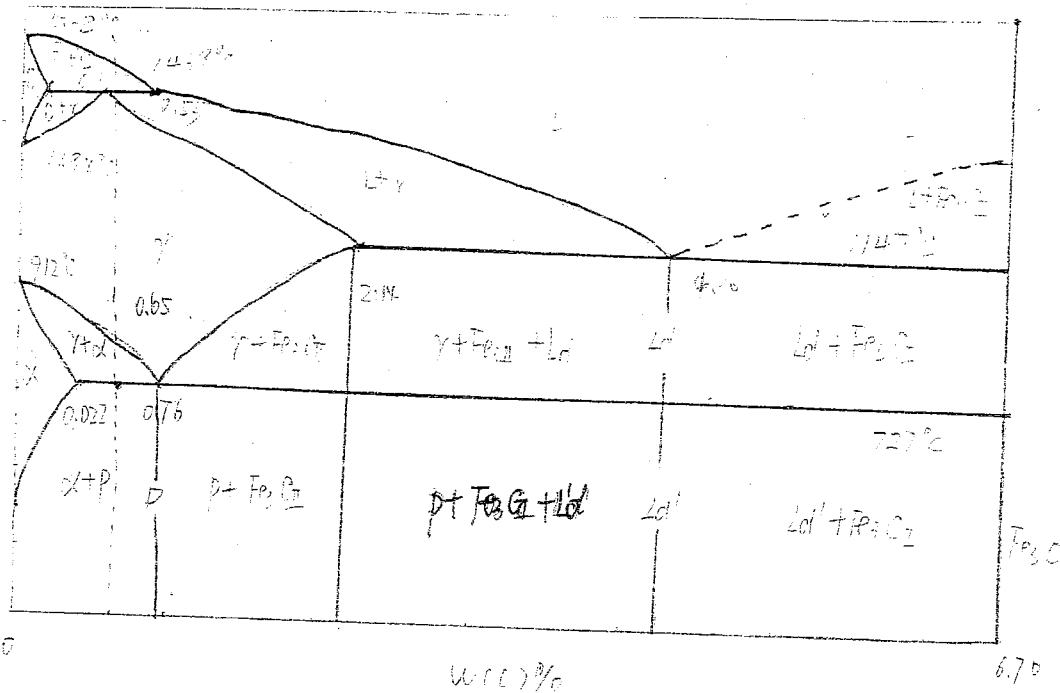
	面心立方	体心立方	密排六方
$a$ 与 $R$ 关系	$a = 2\sqrt{2}R$	$a = \frac{4}{\sqrt{3}}R$	$a = 2R$
原子数	4	2	6
配位数	12	8	12
致密度	0.74	0.68	0.74



体心立方晶体



密排六方晶体

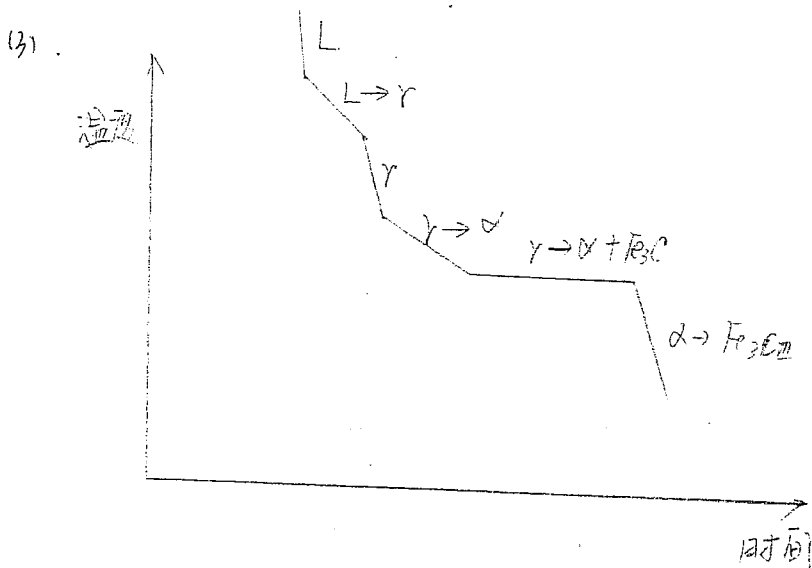


12) 设该合金含碳量为  $x$  则根据杠杆定律有

$$W_{\alpha-Fe} = \frac{0.76 - x}{0.76 - 0.022} = 15\% \quad \text{求得 } x = 0.65$$

则  $Fe_3C$  含量为  $W_{Fe_3C} = \frac{0.65 - 0.022}{6.70 - 0.022} = 9.4\%$

$\alpha-Fe$  含量为  $W_{\alpha-Fe} = \frac{6.70 - 0.65}{6.70 - 0.022} = 90.6\%$



## 二〇〇七年吉林大学研究生入学考试:

1.1. 凝固: 由液相至固相的转变;

结晶: 材料由熔化状态降温冷却至固态, 发生形核及长大的相变过程。

再结晶: 冷塑性材料内部生成等轴状新晶粒的过程。

1.2. 点缺陷: 在空间三维体中各个方向的尺寸都很小, 大约为一个或几个原子, 也称零维缺陷, 包括空位、间隙原子。

线缺陷: 在空间中两个方向上尺寸都很小, 另一个方向延伸较大, 又称一维缺陷, 如各类位错。

面缺陷: 在空间中一个方向上尺寸很小, 另两个方向上伸长较大, 又称二维缺陷, 包括界面、晶界、孪晶界。

1.3. 反应扩散: 通过扩散反应生成新相的扩散。

晶界扩散、表面扩散: 晶界、表面、亚晶界等可以看作晶体的缺陷, 此处原子能量高, 使得原子迁移比完整晶体内容易, 因而原子的扩散速率大于完整晶体内的扩散速率; 晶界、表面有利于扩散进行。

1.4. 晶界: 多数晶体由多晶构成, 这种晶体结构相同而晶粒位向不同的晶粒之间的界面。

亚晶界: 晶粒通常由若干个位向稍有差别的亚晶粒构成, 相邻亚晶粒之间的界面。

孪晶界: 两晶粒或一晶粒的两部分沿着一个公共面构成镜面对称的位向关系, 这两个晶粒就是孪晶, 孪晶相邻之间的界面。

1.5 组元: 组成合金的最简单、最基本, 能够单独存在的物质称为组元。

相: 体系中具有相同物理化学性质的均匀部分。

相律: 在平衡状态下, 体系中所存在的相数与组元数及温度、压力之间的关系和规律。

$$F = C - P + 2; \quad (F \text{ 表示自由度; } P \text{ 表示相数, } C \text{ 表示组元数})$$

1.6. 均匀形核: 依靠液态金属内部自身结构自发的形核。

非均匀形核: 依靠外来杂质或型壁所提供的异质界面进行形核。

1.7. 螺型位错生长: 若光滑界面上存在螺型位错时, 垂直于位错线的表面呈现螺旋形

的台阶, 且不会消失, 在最接近位错处, 只需加入少量原子就完成一周, 而离位错

较远处需较多的原子加入, 这样使晶体表面呈现由螺旋形台阶形成的螺旋线。

二维晶核生长: 二维晶核是指一定大小的中分子或单原子的平面薄层。若界面为光

滑表面, 二维晶核在相界面上形成后, 液相原子沿着二维晶核侧边所形成

的台阶不断地附着上去, 使此薄层很快扩展而铺满整个表面, 这时生

长中断, 需在此界面上形成二维晶核, 又很快地长满一层, 如此反复进行。

1.8. 共晶: 共晶转变生成物为两个相的机械混合物。

伪共晶: 在非平衡结晶情况下, 尽管合金成分偏离相图中共晶成分点, 依然能够形成完全的共晶组织形态。

离异共晶: 形成共晶组织的两相分离开来的共晶组织形态。

1.9. 非晶: 非晶材料的原子排列不规则, 无周期性, 主要是在冷却过程中, 利用先进的技术手段使材料进入玻璃态, 这样形成非晶材料, 它处于亚稳态。

准晶: 材料制备过程中出现了不符合晶体对称条件, 但呈一定周期性的有序排列的类似于晶态的固体。

纳米晶: 通常所说的纳米材料, 至少在一个方向上为几个纳米尺寸的结构单元所构成的晶体材料。

1.10. 连续脱溶: 新相晶核在母相中各处同时发生, 随机形成, 母相的浓度随之连续变化, 但母相晶粒外形及位向均不改变。

不连续脱溶：发生不连续脱溶时，从过饱和固溶体中以板状形式同时析出含有 $\alpha$ 与 $\beta$ 两相的产物，其中 $\alpha$ 相是成分有所改变的基体相， $\beta$ 则是脱溶新相，两者以层片状相同地分布，通常形核于晶界并向某侧晶粒生长，转变区形成的板状区域与未转变基体有明确的分界面，基体成分在界面处突变且晶格取向也往往改变。

2.1. 固溶强化：由于合金化形成的固溶体而使材料硬度和强度提高的现象，其实质

在于固溶体对位错的阻碍作用。

强化机制：固溶强化是多面的作用，主要有溶质原子与位错的弹性交互作用、化学交互作用，以及当固溶体塑性变形时，位错运动改变了溶质原子在固溶体结构中的短程有序和长程有序的分布状态，从而引起系统能量的升高，由此增加了滑移变形的阻力，另外，在固溶体中加入溶质原子，导致晶格畸变，增加了位错运动的阻力。

影响因素：①溶质原子的原子半径越大，强化作用越大，

②溶质原子与基体金属的原子尺寸相差越大，强化作用越大。

③间隙型溶质原子比置换型原子具有更大的强化效果。

④溶质原子与基体金属的价电子数相差越大，强化作用越显著。

2.2. 2.3. 2.4 见 2010 年：

## 二〇〇六年吉林大学研究生入学考试:

1.1. 晶体: 物质的原子在空间呈有规则的重复性和周期性排列而成的物质。

离子晶体: 以离子键为主要结合键的晶体。

1.2. 晶带: 所有平行或相交于某一晶面直线的晶面构成一个晶带。

晶带轴: 所有平行或相交于某一晶面直线的晶面构成一个晶带, 此直线称为晶带轴。

晶带面: 属于同一晶带的晶面。

1.3. 空位: 点阵中的某一原子具有足够大的热运动而使原子运动到一定极限时, 就能克服周围原子对它的束缚作用, 脱离其原来的位置, 从而点阵中形成空结点, 称为空位。

间隙原子: 在一定条件下, 晶体表面上的原子也可能跑到晶体内部间隙位置形成间隙原子。

1.4. 柏氏回路: 首先选定位错的正方向, 在实际晶体中它从任一原子出发, 围绕位错以一定的步数绕一圈回到原位, 称柏氏回路。

柏氏矢量: 反映点阵畸变程度和方向的矢量。

1.5. 刃型位错的滑移: 滑移时, 刃型位错的位错线与柏氏矢量相垂直;

螺型位错的滑移: 滑移时, 螺型位错的位错线与柏氏矢量平行。

1.6. 打散驱动力: 指物质打散能顺利进行的驱动力; 以挥发散以及打散区应力是随着温度, 打散的驱动力是自然能, 进行的是热打散。

打散激活能: 把原子打散所克服的能量称为打散激活能。

1.7. 组元: 把组成合金的最简单、最基本、能够单独存在的物质称为组元。

相: 凡是具有相同的物理化学性质的均匀部分。

相律: 在平衡状态下, 体系中的相数与组元数及温度、压力之间的关系 ~~为~~  $F = C - P + 2$  ( $F$  为自由度数目)。

1.8. 晶胚 (胚芽): 在液相合金中, 对原子打散的过程有序原因是形成晶核的胚芽。

信号放大。在凝固时，靠近生长界面的溶质原子富集，引起偏析现象。

共晶合金：将合金成分调整到共晶成分，此合金中液相在凝固时同时析出两相。

亚共晶合金：将合金成分调整到亚共晶成分，此合金中，先析出初晶，然后共晶。

过共晶合金：将合金成分调整到过共晶成分，此合金中液相在凝固时先析出初晶，然后共晶。

热应力：当液态金属中的实际温度低于理论凝固温度时，引起的收缩和热应力。

成分过冷：界面前沿液体中的实际温度低于由溶质分布所决定的凝固温度时产生过冷，称为成分过冷。

金属键的特点：在液态或固态金属中，价电子可以在不同原子间移动，使其为所有原子所共有。这种共用电子与金属离子相互作用形成的键合称为金属键。金属键具有无方向性、无饱和性，具有良好的导电导热性，和良好的延展性。

金属晶体的特点：有良好的导电导热能力，具有较好的塑性和韧性和高密度特点。

α-Fe 在 912°C 以上是 α-Fe 晶体，晶体具有面心立方晶格结构。

在 912°C 以下是 γ-Fe 晶体，晶体具有体心立方晶格结构。

C 在 γ-Fe 中的固溶度大，为 2.11%；因为 C 在 α-Fe 和 γ-Fe 中都位于八面体间隙中，而 γ-Fe 八面体间隙比 α-Fe 的八面体大得多。

纳米晶材料的形成途径：

① 以非晶态（金属玻璃或聚合物）为起始相，使之在晶化过程中形成大量的晶核，生长成为纳米晶材料。

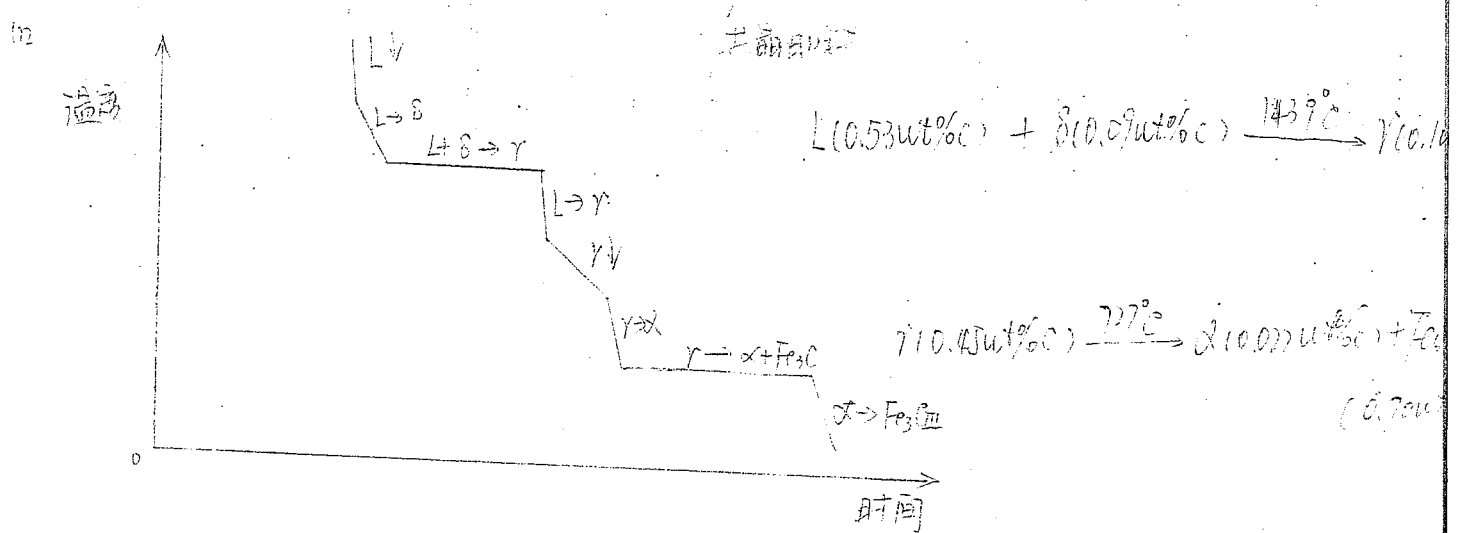
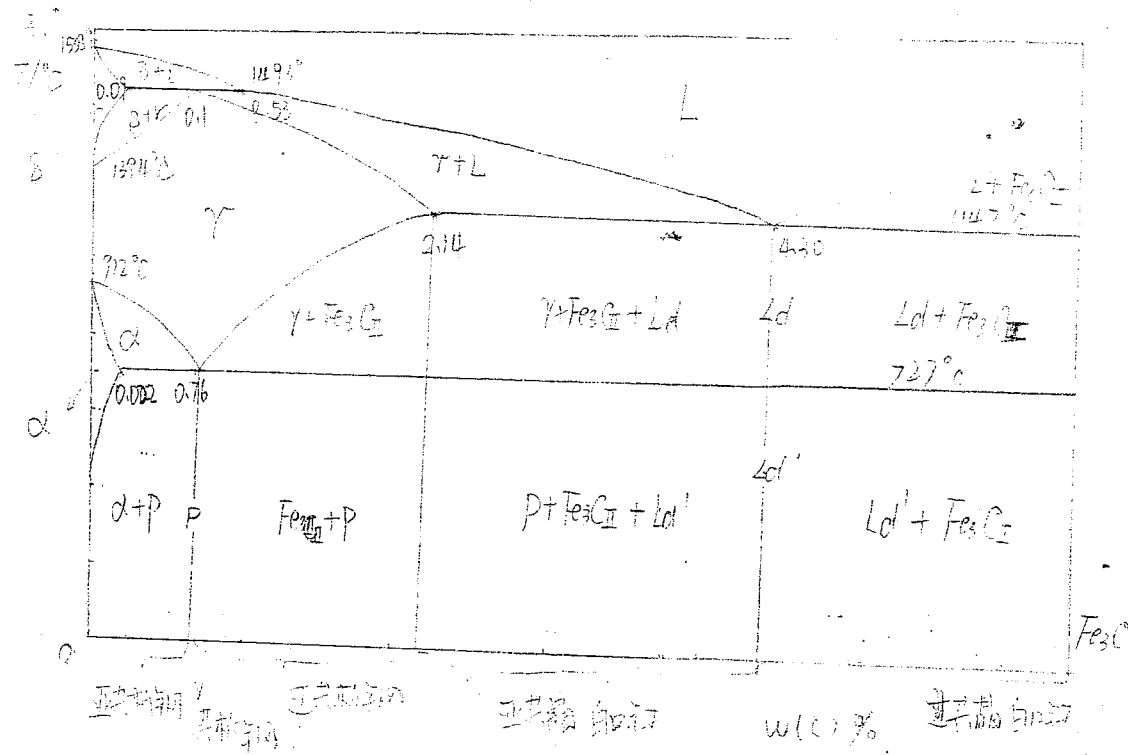
② 对起始为通常的粗晶的材料，通过强烈的塑性形变或造成局域原子迁移使之产生大量缺陷，以致自由能升高，转变形成亚稳态纳米晶。

③ 通过蒸发、溅射沉积和途径，如物理气相沉积、化学气相沉积、电化学方法等，生成纳米微粒然后固化，或在基底材料上形成纳米晶薄膜材料。

1. 亚共析钢在冷却过程中，随着温度的降低，组织发生如下变化：

1.1 当温度降至 \$A\_1\$ 以上时，组织为单相奥氏体 (\$\gamma\$)。

1.2 当温度降至 \$A\_1\$ 以下时，奥氏体 (\$\gamma\$) 开始析出铁素体 (\$\alpha\$)。



1.3 亚共析钢在冷却过程中，其组织变化如下：

$$W_{\alpha'} = \frac{0.45 - 0.022}{0.76 - 0.022} = \frac{0.428}{0.738} = 0.58\%$$

1.4 亚共析钢在冷却过程中，其组织变化特点：

- ① 形成和长大的过程。
- ② 无领先相，无扩散相。
- ③ 发生共析转变，有扩散性。
- ④ 具有亚共析钢的组织特征和一定的性能。
- ⑤ 具有亚共析钢的组织特征和一定的性能。
- ⑥ 具有亚共析钢的组织特征和一定的性能。
- ⑦ 具有亚共析钢的组织特征和一定的性能。
- ⑧ 具有亚共析钢的组织特征和一定的性能。
- ⑨ 具有亚共析钢的组织特征和一定的性能。
- ⑩ 具有亚共析钢的组织特征和一定的性能。



## 二〇〇五年吉林大学研究生入学考试:

**金属键:** 在固态或液态金属中, 价电子可以自由地在不同原子之间移动, 成为各个原子所共有, 这种通过共用电子和金属离子之间相互作用而形成的结合。

**离子键:** 原子之间通过电子转移, 形成正负离子, 并通过静电作用形成的化学键。

**共价键:** 两个或多个电负性相差不大的原子, 通过共用电子而形成的化学键。

2. **固溶体:** 以一种组元为溶剂, 另一种组元原子(溶质原子)进入溶剂晶格点阵而形成的均匀混合的固态溶体。在其晶格点阵中溶入其它组元原子(溶质原子)所形成的均匀混合的固态溶体。

**间隙固溶体:** 溶质原子进入溶剂间隙位置而形成的固溶体。

**置换固溶体:** 溶质原子取代或代替溶剂原子而形成的固溶体。

1.3. **刃型位错:** 一种一维线型<sup>缺陷</sup>~~缺陷~~, 形态上可以描述为晶体中多余半原子面末端附近区域所产生的原子错排组态。

**螺型位错:** 一种一维线型晶体缺陷, 形态上可以描述为晶体相互平行~~的~~晶面依次错开各在一起形成的螺旋斜面中心线附近区域所产生的原子错排组态。

1.4. **包晶反应:** 随着冷却过程, 一种固态和一种液态等温可逆地转变为具有不同组成的固相反应。

**共晶反应:** 随着冷却过程, 一种液相等温可逆地转变为两种紧密结合的新固相的反应。

**共析反应:** 随着冷却过程, 一种固相等温可逆地转变为两种紧密结合的新固相的反应。

1.5. **晶体:** 物质中的原子在空间呈有规则和周期性和有序性排列形成的物质。

**非晶体:** 非晶体材料中原子排列无规则, 没有周期性, 随着冷却过程和

1. 用先进的技术手段使其进入亚稳态。这样就形成了非晶体。非晶体属亚稳态。

准晶：在材料的制备过程中出现不符合晶体完全对称性，但原子排列呈现有规则的周期性排列的类似于晶体的固态物质。

1.6 合金中的一次渗碳体：随着冷却进行，由亚稳态合金直接冷却形成的渗碳体作为一次渗碳体。

二次渗碳体：随着冷却，由奥氏体冷却转变形成的渗碳体称二次渗碳体。

1.7 枝晶偏析：由非平衡凝固造成，使得先凝固的枝干和后凝固的枝干间的成分不均匀现象。

晶界偏析：由于溶质原子富集（ $k < 1$ ）在最后凝固的晶界部分而造成的。

1.8 相：体系具有相同的物理化学性质的均匀部分。

相律：在平衡状态下，体系中所存在相数、组元数以及温度压力之间的关系规律。

$$F = C - P + 2$$

相图：用图形来描述相平衡系统的成分、外界条件与相的状态，这种综合图形。

1.9 小角度晶界：相邻晶粒的取向差小于 $10^\circ$ 的晶界；

大角度晶界：相邻晶粒的取向差大于 $10^\circ$ 的晶界；

1.10 自散射：不依赖于浓度梯度，而仅由热振动产生的散射。

互散射，一种物质向另一种物质进行散射，另一种物质也向该物质散射。

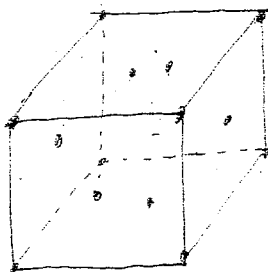
2.1 求纯铁晶体密度：纯铁晶体为体心立方，则  $a = \frac{4}{\sqrt{3}} R$ ；原子数目为2。

$$\rho = \frac{nA}{N_A V_C} = \frac{2 \times 55.85}{6.02 \times 10^{23} \times \left( \frac{4}{\sqrt{3}} \times 0.128 \times 10^{-8} \right)^3} = 7.92 \text{ g/cm}^3$$

2.

$$\text{原子数} = 8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$$

$$\text{致密度} = \frac{4 \times V_{\text{球}}}{V_{\text{晶}}} = \frac{4 \times \frac{4}{3} \pi (\frac{\sqrt{2}}{4} a)^3}{a^3} = 0.74$$



$$\text{配位数} = 12;$$

3. 查书:

2.4: (1) 交换机制: 相邻原子直接交换机制。需要太大的畸变和激活能; (2) 环状交换机制: 所涉及的能量还可直接交换, 但受原子运动制约。

(12) 间隙机制: 原子从一个晶格间隙位置迁移到另一个间隙位置。像碳、氮、氢等这类小间隙型溶质原子易于这种方式在晶体中扩散; 如果一个比较大的原子进入晶格间隙位置, 这种迁移将难以发生, 导致很大畸变。

(13) 空位机制: 晶体中存在空位, 在一定温度下有一定的平衡空位浓度, 温度越高, 则平衡空位浓度越大。这些空位的存在使原子迁移更容易, 故大多数情况下, 原子扩散借助空位机制。

(13) 晶界扩散及表面扩散: 对于固体材料扩散物质可沿三种不同路径进行, 晶体内扩散  $D_L$ , 晶界扩散  $D_B$ , 样品自由表面扩散  $D_S$ ;  $D_L < D_B < D_S$ ;

4.

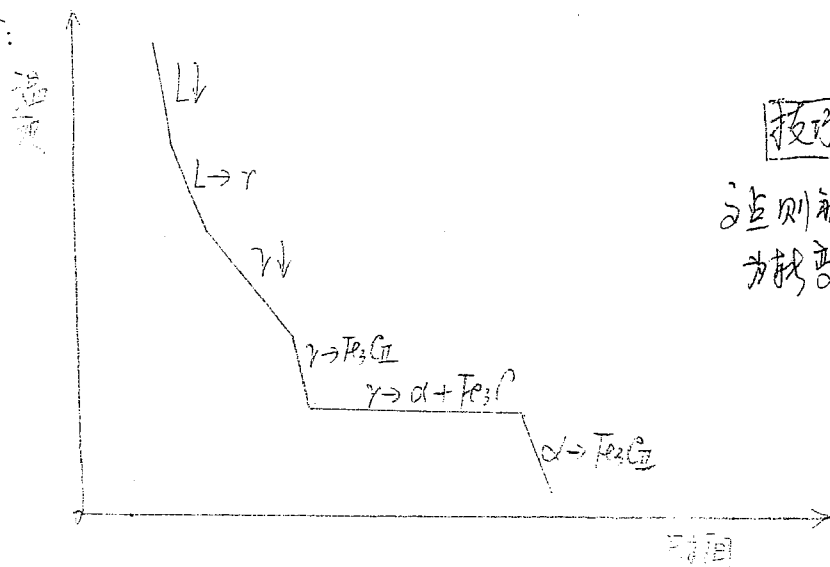
	马氏体	贝氏体	珠光体
过程	形核、长大	形核、长大	形核、长大
温度	低温转变 ( $M_s-M_f$ )	中温转变 ( $B_s-B_f$ )	高温转变
扩散性	无扩散性相变, 转变快 合金元素不扩散	Fe 不扩散, C 扩散 合金元素不扩散	扩散性相变 合金元素扩散
组织	$\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe}$	$\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$	$\gamma\text{-Fe} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$
共格性	切变共格, 表面浮凸	部分共格, 表面浮凸	无共格
领先相	无	一般为铁素体	渗碳体

珠光体形成材料性能: 塑性韧性较好, 强度硬度较低, 主要取决于渗碳体在  $\alpha\text{-Fe}$  中的形状和分布;

贝氏体形成材料性能: 塑性韧性减弱, 强度硬度提高; 其中下贝氏体的综合力学性能良好。

马氏体形成材料的性能: 又脆又硬, 塑性韧性差, 强度硬度高。

3. 相图略:



技巧: 画 1.2 的一条直线与相图有 2 点, 则就有 2 个转折点, 画见水平线则为转变公式。

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}} = \frac{1.2 - 0.76}{6.70 - 0.76} = 7.4\%$$

相起伏:

能量起伏: 指体系中每个微小体积所具有的能量会偏离体系平均能量水平而瞬时涨落的现象。

1.2. 铁素体: 具有体心立方晶体结构的 $\alpha$ -Fe, 碳溶于 $\alpha$ -Fe中的间隙固溶体。

铁素体组织:

1.3. 无序固溶体 组成原子在点阵中无序排列而形成的固溶体。

有序固溶体: 对于某些合金当其成分接近一定原子比时, 较高温度时短程有序,  
缓慢冷却某一温度以下, 会转变为完全有序状态, 称为有序固溶体。

1.4. 共晶转变:

伪共晶转变:

1.5. 塑性变形金属的临界变形度:

二次再结晶: 当晶粒细小的一次再结晶组织被继续加热时, 阻碍正常晶粒长大的因素一旦开始消除时, 少数特殊晶粒将迅速移向边缘, 这些晶粒一旦长到超过周围晶粒时, 由于大晶界总是向外凹, 因而晶界总向外迁移而扩大, 结果它越长越大直到相互接触为止, 形成二次结晶。

2.

## 2.2. 固态金属发生扩散的条件:

原子所受到的驱动力  $F_i$  可以用化学势对距离求导而得到:

$$F_i = - \frac{\partial \mu_i}{\partial x}$$

也就是扩散总是向化学势减小的方向进行, 即在恒温恒压条件下, 只要两个

区域中  $i$  组元存在化学势差  $\Delta \mu_i$ , 就能产生扩散, 直至  $\Delta \mu_i = 0$ ;

## 2.3.

晶粒细化强化:

2.4: 强度高的原因: 晶粒越细化, 单位体积材料中晶体的数目越多, 晶界的总

面积越大, 对材料塑性变形的阻碍越大, 因而细化晶粒强度高。

塑性高的原因: 晶粒越细化, 在一定体积内的晶体数目越多, 在同样变形量下,

变形可以分散在更多的晶体内进行, 变形较均匀, 引起的应力集中减小。

在这温下与相反, 低温晶界存在晶界粘性, 易使相邻晶粒产生滑移, 使得强度降低, 塑性提高。

2.5. 与液态金属结晶相比, 金属固态相变的特征:

① 固态相变阻力大, 固态相变包括相变能和应变能, 而液态相变仅为相变能。

② 固态相变时扩散更困难。

③ 固态相变中每相晶体缺陷处晶格畸变大, 自由能高, 对相变有明显的促进作用。

④ 固态相变相变阻力大, 原子扩散困难, 易于出现一些亚稳态过渡相。

晶面间距越大, 则该晶面上原子排列越密集; 晶面间距越小, 该晶面上原子排列越稀疏。

晶面间距  $d_{hkl}$ , 晶面指数  $(h, k, l)$ .

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}}$$

对于立方晶系,  $a=b=c$ , 有  $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$

题设晶格常数为  $a$ , 面心立方晶格。

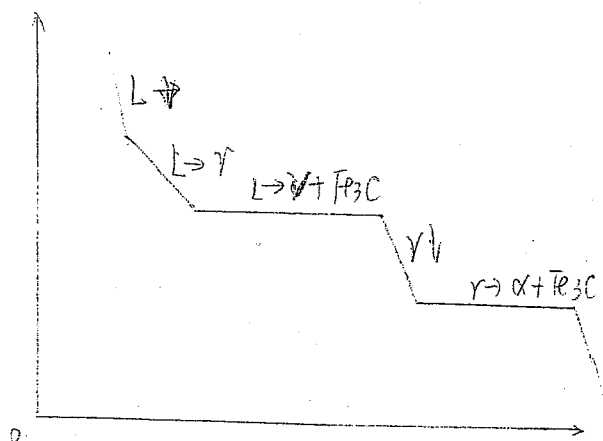
对于  $(110)$  晶面:  $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{2}}$ ;  $(111)$ :  $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ ;  $(100)$ ,  $d_{hkl} = a$ ;

在塑性变形中, 滑移面和滑移方向往往是金属晶体中原子排列最密的晶面和晶向。

晶面的面间距越大, 点阵阻力越小, 越容易沿该面发生滑移。

4: 晶粒尺寸与体系能量的关系。

5.



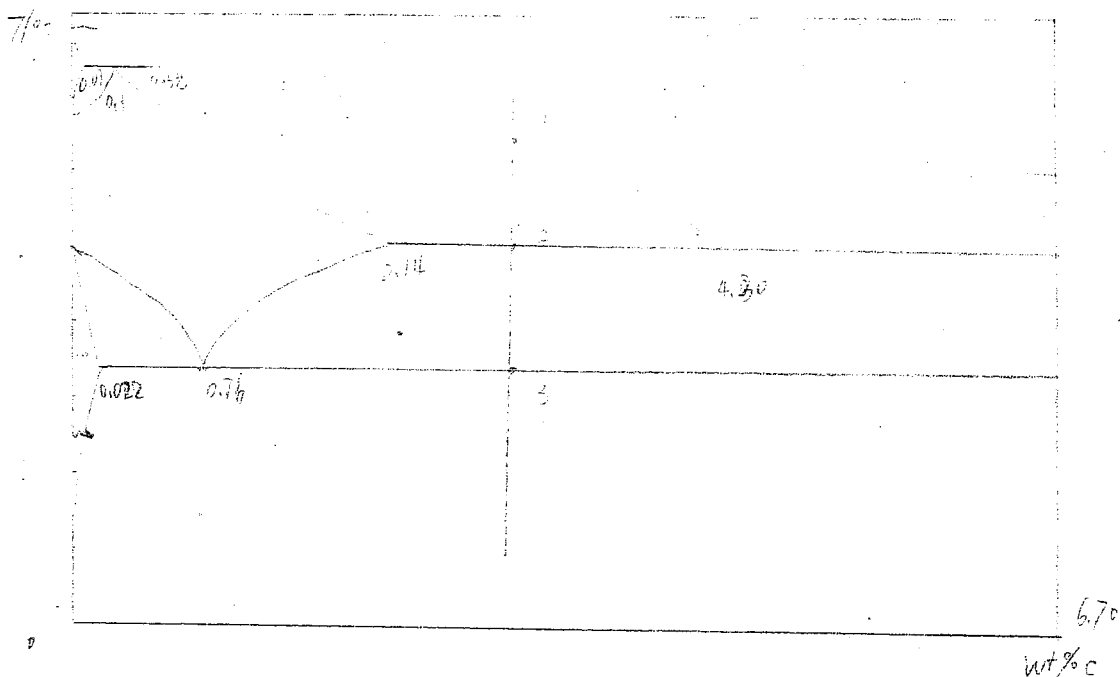
$WC = 3\%$

亚共晶组织转变:

组织组成物为: 莱氏体和亚共晶铁素体。

6. 锻后热处理方式:

5. 补充.



(1) 合金从液态冷却到1点时发生匀晶转变:  $L \rightarrow \gamma$ ; 此时组织为  $L + \gamma$ ;

在1~2之间不断析出  $\gamma$ , 至2点发生共晶转变:  $L \rightarrow \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ ;

在2~3之间先共析  $\gamma$  与共晶体  $\gamma$  都要析出  $\text{Fe}_3\text{C}$ , 其组织为  $\gamma + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Ld}$ ;

冷却到3点时发生共析转变:  $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ; 3点以下  $\alpha$  中析出  $\text{Fe}_3\text{C}$ , 组织为

$\text{P} + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Ld}'$ , ( $\text{Fe}_3\text{C}$  忽略掉);

(2) 粗组成物:  $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$ .

$$\alpha\text{-Fe}\% = \frac{6.70 - 3}{6.70 - 0.022} = 55.2\%;$$

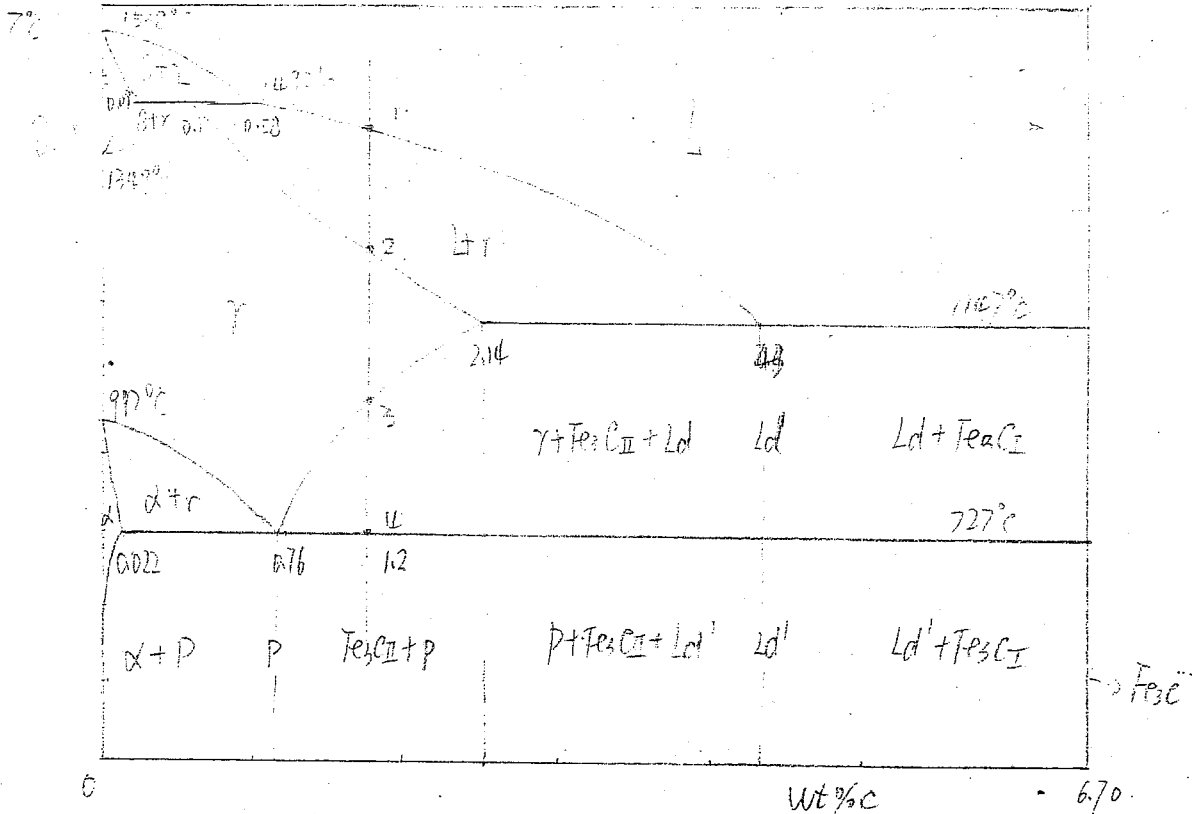
$$\text{Fe}_3\text{C}\% = 1 - 55.2\% = 44.8\%;$$

$$\text{组织组成: } \text{Fe}_3\text{C}\% = \frac{4.30 - 3}{4.30 - 2.14} \times \frac{2.14 - 0.77}{6.69 - 0.77} = 13.4\%;$$

$$\text{P}\% = \frac{4.30 - 3}{4.30 - 2.14} \times \frac{6.69 - 2.77}{6.69 - 0.77} = 45.9\%;$$

$$\text{Ld}\% = 1 - \text{Fe}_3\text{C}\% - \text{P}\% = 40.7\%;$$





(2). L 冷却到 1 时发生匀晶转变:  $L \rightarrow \gamma$ ; 在 1~2 区间不断析出  $\gamma$ ; 在 2 点 L 全部转化为  $\gamma$ ; 2~3 区间变化; 3 点开始析出  $Fe_3C_{II}$ ; 在 4 点发生共析反应:  $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C_I$  最后得到  $P + Fe_3C_{II}$  的组织。

(3). 室温下该合金的平衡组织为珠光体和二次渗碳体。

(4). 
$$P\% = \frac{6.70 - 1.2}{6.70 - 0.76} \times 100\% = 92.7\%;$$

$$Fe_3C_{II} = \frac{1.2 - 0.76}{6.70 - 0.76} \times 100\% = 7.3\%;$$

3. (1). 非均匀形核与均匀形核的区别: ① 非均匀形核的形核功要小于均匀形核的形核功。

② 所需的过冷度小; ③ 临界晶核尺寸小。

(2). 非均匀形核中, 杂质或壁型促进了形核, 在杂质或型壁上形核可减小单位体积的表面能, 从而获得较小形核功, 易于形核。

(3). 形核剂: 降低形核功, 减小过冷度。

金温  
4. 结晶与固溶体结晶 哪所更容易形成树枝晶?

3. 三元相图 (略)

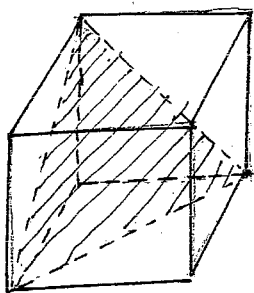
6. 产生加工硬化的原因:

① 晶体 | 实际金属大多为多晶体, 塑性变形由于晶界的阻碍和晶粒之间的协调配合要求, 各晶粒不可能以单一的滑移系作用, 必然要求多组滑移系同时作用, 在多滑移系情况下, 会因不同滑移系的位错相互交截而给位错的继续运动带来困难, 从而强度提高。

② 随着塑性变形的进行, 位错不断增殖, 位错间及位错与其他晶体缺陷产生交互作用, 阻碍位错的运动, 故随位错密度的增加强度不断提高。

7. 淬火后的回火产物性能 (略)

8.



{111} 晶面族中各晶面指数:  $(111)$ ;  $(\bar{1}11)$ ,  $(1\bar{1}1)$ ,  $(11\bar{1})$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(1\bar{1}\bar{1})$ ,  $(\bar{1}1\bar{1})$ ,  $(11\bar{1})$ ;  $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ ;

9. 比较珠光体与马氏体转变异同。

	马氏体	珠光体
过程	形核 长大	形核 长大
温度	低温转变 ( $M_s - M_f$ )	高温转变
扩散性	无扩散性, 转变速度极快 合金元素不扩散	扩散性转变 合金元素扩散
共格性	切变共格, 表面浮凸	无共格性
组织	单相组织: $\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe(C)}$	$\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe(C)} + \text{Fe}_3\text{C}$ (两相组织)
领先相		渗碳体

## 二〇〇二年吉林大学研究生入学考试

1.1. 置换固溶体: 溶质原子取代或代替溶剂原子而形成的固溶体;

间隙固溶体: 溶质原子分布于溶剂晶格间隙而形成的固溶体。  
把两个相邻晶粒从同一晶粒中取出晶粒分开的界面

1.2. 晶界: 多数晶体是由许多晶粒所组成, 晶粒结构相同而位向不同的晶粒之间的界面;

亚晶界: 每个晶粒有若干位向稍有差异的亚晶粒组成, 相邻亚晶粒之间的界面。

1.3. 液固相变: 由液相至固相的转变;

结晶: 材料由液态状态降温冷却至固态, 发生形核及长大的相变过程。

1.4. 共析转变: 随着冷却过程, 一个固相等温可逆地转变为两个紧密结合的新固相的反应;

共晶转变: 随着冷却过程, 一个液相等温可逆地转变为两个紧密结合的新固相的反应;

1.5. 滑移带: 将良好抛光的单晶体金属棒试样进行适当拉伸, 使之发生一定的塑性

变, 可在金属表面上看到一条条的细线, 称为滑移带。

滑移线: 在宏观及金相中看到的滑移并不是单一线条而是一系列相互平行的更细的线组成, 称为滑移线。

1.6. 脆性断裂: 通过裂纹快速扩展而发生断裂, 没有任何的预生的塑性变形。

韧性断裂: 一种伴随大量塑性变形的断裂方式。

1.7. 一次再结晶: 在冷塑性变形材料内部生成等轴状新晶粒的过程。

二次再结晶: 当晶粒细小的一次再结晶组织, 被继续加热, 阻碍正常晶粒长大的因素一旦被消除, 少数特殊晶界迅速正移。当这些晶粒长大到超过周围晶粒时, 由于晶界总是凹向外侧, 向外扩展, 这样它越长越大直到互相接触, 形成二次再结晶。

1.8. 第一次回火脆性: 在某些温度范围内回火时, 可出现韧性显著降低的现象。

这种脆化现象称为可逆的回火脆性。

半=次回火脆性:

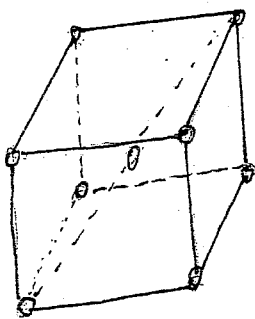
1.9. 上贝氏体: 中、高碳钢大约在 $350^{\circ}\text{C}-550^{\circ}\text{C}$ 之间形成, 主要是羽毛状和颗粒状的铁素体和渗碳物, 具有明显不可逆性, 易产生脆断, 脆性大。

下贝氏体: 中、低碳钢大约在 $M_s-350^{\circ}\text{C}$ 之间形成; 铁素体细小, 分布均匀, 又有弥散碳化物, 强度高, 韧性好, 良好的综合机械性能。

1.10. 晶体生长的粗糙界面: 在固、液两相之间的界面从微观看是起伏不平的, 存在几个原子层厚的过渡层, 在过渡层中有半数的位置为固相原子占据。由于过渡层很薄, 宏观上看, 界面显得平直, 不出现曲折的小平面, 故又称为非小平面界面。

晶体生长的光滑界面: 界面处固液两相截然分开, 固相的表面为基本完整的原子密排面, 在微观看是光滑的, 宏观上它往往由不同位向的小平面所组成, 故呈折线状; 故也称为小平面界面。

二.  $\alpha\text{-Fe}$  为体心立方晶作结构, 配位数为 8:



体心立方晶作间隙半径  $a$  与原子半径  $R$  的比值  $a = \frac{4}{\sqrt{3}} R$

$$\text{APF} = \frac{2 \times \pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4} a\right)^3 \cdot \frac{4}{3}}{a^3} = \frac{2 \times \pi \cdot \frac{\sqrt{3}^3}{4^3} a^3 \cdot \frac{4}{3}}{a^3} = \frac{2 \times \pi \cdot \frac{\sqrt{3}^3}{4^2} \cdot \frac{4}{3}}{1} = 0.68$$

三. 非均匀形核与均匀形核的区别:

①前者比后者形核功小; ②前者比后者所需的过冷度小; ③前者比后者临界晶核尺寸小。

由于非均匀形核中的杂质、型壁促进了形核, 在其上面形核则减少单位体积的表面能, 所以形核功小, 过冷度要求低于, 易于形核, 而均匀形核则没有, 就很困难。

四. 扩散因素:

张宏强 答录

① 温度: 影响扩散的最主要因素, 温度越高, 扩散激活能越小, 扩散系数越大。

② 固溶体类型: 不同类型的固溶体, 扩散机制不同, 扩散激活能不同。

③ 晶体结构: 结构不同, 致密度不同, 扩散速率不同。

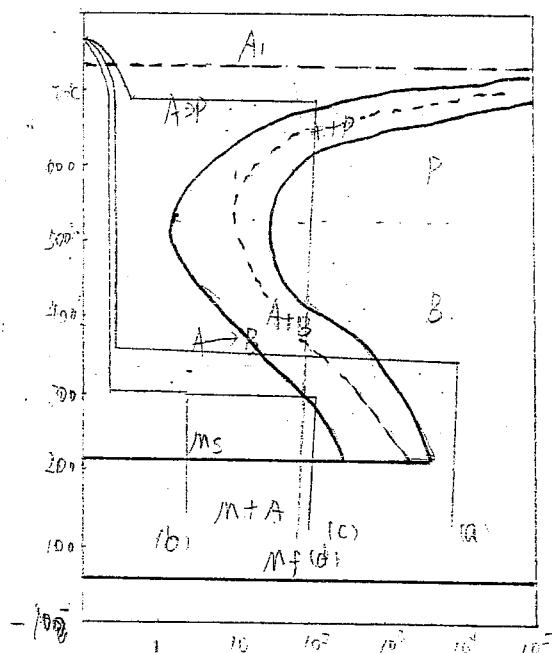
④ 晶体缺陷: 缺陷处点阵畸变大, 原子处于高能态, 加速原子扩散。

⑤ 化学成分: 杂质元素可以促进扩散, 也可减缓扩散。

⑥ 应力的作用: 应力可以提供原子扩散的动力, 促进扩散。

五: Fe-Fe<sub>3</sub>C相图: (略);

六: 等温转变曲线:



(a) 100% 珠光体

(b) 100% 马氏体

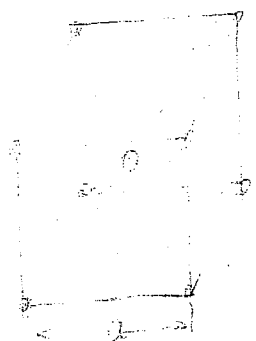
(c) 50% 马氏体 + 50% 残余奥氏体

(d) 100% 珠光体

## 二〇〇-年吉林大学研究生入学考试:

- 1.1. 合金中的相: 合金中具有同一聚集状态, 同一晶体结构和性质并以界面相互隔开的均匀组成部分。
- 1.2. 成分过冷: 在合金凝固过程中, 由于固液界面前沿液体中溶质浓度变化引起的熔点降低之后的过冷现象, 称为成分过冷。
- 1.3. 伪共晶: 在非平衡结晶情况下, 尽管合金成分偏离相图中共晶成分点, 依然能够形成完全的共晶组织状态。
- 1.4. 滑移: 晶体中相邻两部分在切应力的作用下, 沿着一定的晶面和晶向相对滑动。
- 1.5. 再结晶: 冷塑性变形晶体内部生成于轴状新晶粒的过程。
- 2.1. 刃型位错: 一种一维线型晶体缺陷, 在形态上可以描述为晶体中多余半原子面的末端附近区域形成的原子错排组态。
- 螺型位错: 一种一维线型晶体缺陷, 在形态上可以描述为晶体中相邻晶面间依次错粘合在一起形成的螺旋斜面的中心线附近的原子错排组态。
- 2.2. TTT曲线: 等温转变图, 确定成分的相合金, 其温度对时间的对数图, 用于确定先前为奥氏体的合金在等温处理条件下开始转变和结束转变所需要的时间。
- CCT曲线: 连续冷却转变图: 确定成分的相合金, 其温度对时间的对数图, 用于确定奥氏体材料以确定的速率连续冷却时, 开始转变所需要的时间, 可预测最终的显微结构和力学性能。
- 2.3. 自扩散: 不依赖于浓度梯度, 而仅由热振动而产生的扩散。
- 互扩散: 一种物质向另一种物质进行扩散, 另一种物质也向该物质扩散称为互扩散。

3.1.



$$a = \frac{4}{\sqrt{3}} R$$

$$K = \frac{2 \times \pi \left( \frac{a\sqrt{3}}{4} \right)^3 \cdot \frac{4}{3}}{a^3} = 0.68$$

3.2. Fe<sub>3</sub>C-Fe中共析转变平衡物含量.

珠光体

{	铁素体	$W_{\alpha-Fe} = \frac{6.70 - 0.76}{6.70 - 0.022} = 88.9\%$
	渗碳体	$W_{Fe_3C} = \frac{0.76 - 0.022}{6.70 - 0.022} = 11.1\%$

4. 晶体长大的要点:

(1) 晶体长大方式: 根据液相前沿的界面结构来确定: 粗糙界面和光滑界面.

粗糙界面一般为连续长大, 光滑界面一般以二维晶核的方式长大.

(2) 晶体长大的形态: 主要受温度梯度影响.

A: 正温度梯度, 固液界面保持平面生长.

B: 负温度梯度, 晶体生长为树枝晶的方式生长.

⑤

5. 碳含量对铁碳合金平衡组织和工艺的影响:



6. 钢的淬硬性：指钢在淬火时获得马氏体的能力。

钢的淬硬性：指钢在淬火后形成的淬火态组织所能达到的硬度。取决于马氏体的含量和残余奥氏体的数量。

7. 塑性变形后组织结构、金属性能的变化。

(1) 显微组织的变化：

经塑性变形后晶粒内部出现大量的滑移带或孪晶带。此外，随着变形程度的增加，原来细小的晶粒将逐渐沿其变形方向伸长。当变形量很大时，晶粒变得模糊不清，晶粒已难以分辨而呈现出一种纤维状的条纹，称为纤维组织。

(2) 亚结构的变化：

经一定塑性变形后，晶体中位错线开始呈现不均匀分布，进一步增加变形，大量位错发生聚集，并由缠结的位错组成胞状亚结构。随着变形度的增加，变形胞的数量增多，尺寸减小。如果经强烈冷轧或冷拉变形后其亚结构也将由大量细长状变形胞组成。

(3) 性能的变化：

a. 加工硬化：经冷加工后，强度、硬度显著提高，而塑性很快下降，产生了加工硬化。

b. 其他性能的变化：①使电阻率增大，增大的程度与形变量成正比；②电阻温度系数下降，磁导率下降，热导率下降；③金属中的扩散过程加速，化学性增大，腐蚀速度加快。

(4) 形变组织：

在塑性变形中，随着形变程度的增加，各个晶粒的滑移面和滑移方向都要向主变形方向转动，逐渐使多晶体中原来取向互不相同的各个晶粒在空间取向上呈现程度的规律性，这一取向称为择优取向。这种组织称为形变组织。

(5) 残余应力：

残余应力是一种内应力，它在工件中处于自相平衡状态，其产生是由于工件内部区域变形不均匀性，以及相互间的牵制作用所致。

2.2. 根据金属密度的计算公式有

$$\rho = \frac{nA}{V_c N_A}$$

$n$  表示原子数目;  $V_c$  表示晶胞体积;  
 $A$  表示原子量;  $N_A = 6.023 \times 10^{23}$

因为铜为面心立方晶格 则  $n=4$ ;  $a = 2\sqrt{2}r = 3.62 \times 10^{-8} \text{ cm}$

$$\text{则 } \rho = \frac{nA}{V_c N_A} = \frac{4 \times 63.5 \text{ g/mol}}{(3.62 \times 10^{-8} \text{ cm})^3 \times 6.023 \times 10^{23} \text{ atoms/mol}}$$

$$= 8.89 \text{ g/cm}^3 \quad (\rho_{37} \text{ 英文})$$

2.3.

2.4. 菲克第一定律的表达式:  $J = -D \frac{dp}{dx}$ ; 原子的通量与质量浓度梯度成正比。

$J$  扩散通量, 表示单位时间内通过垂直于扩散方向  $x$  的单位面积的扩散物质质量。

$D$  扩散系数, 单位为  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$p$  扩散物质的质量浓度  $\text{kg/m}^3$ ;

负号表示物质从高的质量浓度向低的质量浓度方向迁移。

2.5. 多晶体的塑性变形是指外力作用下变形克服了晶界的阻碍作用, 同时与各晶粒相互

协调配合, 这样当超过弹性变形极限时, 发生层错之间的滑移, 大量的滑移累积构成了宏观的变形。

晶粒越细小, 单位体积材料中晶粒的数目也就越多, 晶界的总面积越大, 对塑性变形的阻碍越大, 这样使得强度提高。

## 8. 金属固态相变的特点:

- ① 相变的驱动力是新旧两相之间的自由能差。
- ② 相变过程: 形核与晶粒长大。

### 金属固态相变的类型:

- ① 珠光体转变
  - ② 贝氏体转变
  - ③ 马氏体转变。
- 同素异构转变, 共析转变, 包析转变, 固溶体的脱溶分解, 合金有序化。

## 二〇〇三年吉林大学研究生入学考试

1.1. 共晶转变: 随着冷却过程, 一个液相等温下同时转变为两个紧密结合的新固相的反应。

匀晶转变: 由液相结晶出单相固溶体的过程。

1.2. 空间点阵: 阵点在空间呈周期性规则排列, 并具有完全相同的周围环境, 这种由它们在三维空间规则排列的阵列称为空间点阵。(14种)

晶体结构: 晶体中实际原子、离子、分子的具体排列情况, 它们能组成各种类型的排列。(无限的)

1.3. 滑移带: 将经良好抛光的单晶体金属棒试样进行适当拉伸, 使之发生一定的塑性变形, 即可在金属表面见到一条条细线, 称为滑移带。

位错的滑移: 在外加切应力的作用下, 通过位错中心附近的原子沿柏氏矢量方向在滑移面上不断地作少量的位移而逐步实现的。

1.4. 再结晶: 在冷塑性变形材料的内部生成并长大新晶粒的过程。

动态再结晶: 在热变形时, 由外力和温度共同作用下发生的再结晶。

1.5. 扩散: 固体中的原子或分子, 通过热运动而发生长程迁移, 或宏观物质传输现象。

上坡扩散: 物质从低浓度向高浓度扩散, 扩散的结果是提高了浓度梯度。

1.6. 马氏体转变: 是一类非扩散型的固态相变, 其转变产物马氏体为亚稳态相。

珠光体转变:

2. (1) 画出Fe-C相图

# 《材料科学与工程基础》模拟一

## 1. 对比解释下列概念 (50分)

- 1.1. 金属键、离子键和共价键
- 1.2. 点缺陷、面缺陷、线缺陷
- 1.3. 屈服强度、抗拉强度和疲劳强度
- 1.4. 热塑性性和热固性高分子材料
- 1.5. 稳态扩散和非稳态扩散
- 1.6. 虫型位错长大和二维晶核长大
- 1.7. KC 和 KIC
- 1.8. 熔点 and 玻璃转变温度
- 1.9. 非晶、准晶和纳米晶
- 1.10. 共析、共晶和包晶反应

## 2. 简答下列问题:

- 2.1. 叙述 Frank-Read 位错源增殖位错的过程.
- 2.2. 给出固体中原子扩散遵守的 Fick 第一定律表达式, 并解释各物理量意义.
- 2.3. 描述多晶体材料的塑性变形过程, 并微观解释细晶强化机制.
- 2.4. 从显微组织和力学性能上说明珠光体和回火马氏体的主要区别.

## 3. 论述题:

- 3.1. 画出共析钢的 TTT 曲线, 并对比分析珠光体转变和贝氏体转变异同点.

3.2 画出 FCC、BCC、HCP 晶胞示意图，列表说明各种晶体结构的原子半径与晶格常数的关系、晶胞原子数、配位数和致密度。

4. 画图讨论题：

4.1. 画出完整 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图，写出水平线反应式：

4.2. 论证 1.2%-wt 钢从液相冷却至室温后的相变过程，

4.3. 估算含碳量 1.2% 钢样品的合金组织中珠光体和先共析渗碳体的质量分数。