

Chapter two 原子结构及原子间作用力

1.了解所学的两种原子模型，并能区别其不同。

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。玻而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，它的因变量是电子波的振幅（ ψ ）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 $\psi = \psi(x,y,z)$ ，称为振幅方程或波动方程。

2.能够描述有关电子能量的量子力学法则。

能量最低原理，Pauli 不相容原理，Hund 规则。

4.(a)能够简单描述离子键，共价键，金属键，氢键和范德华键。

(b)能够列出以这些化学键结合的典型物质。

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。

Chapter three 金属和陶瓷的结构（三种典型晶体结构、晶面、晶向）重点！

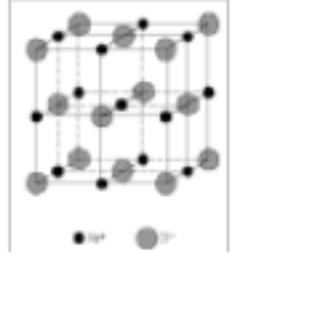
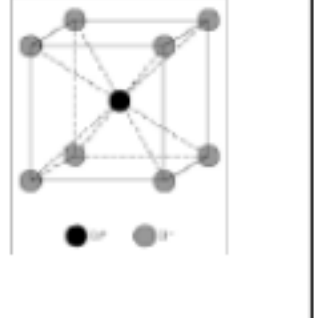
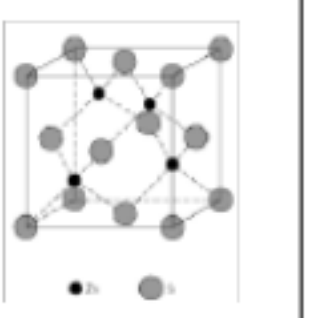
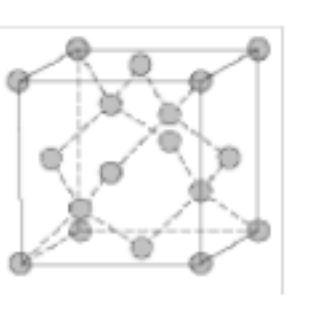
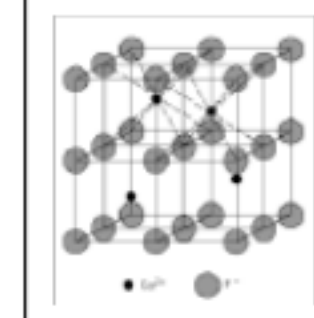
重点为第三章。特别是三种常见的晶体结构以及晶面和晶向及其指数。

Learning Objectives

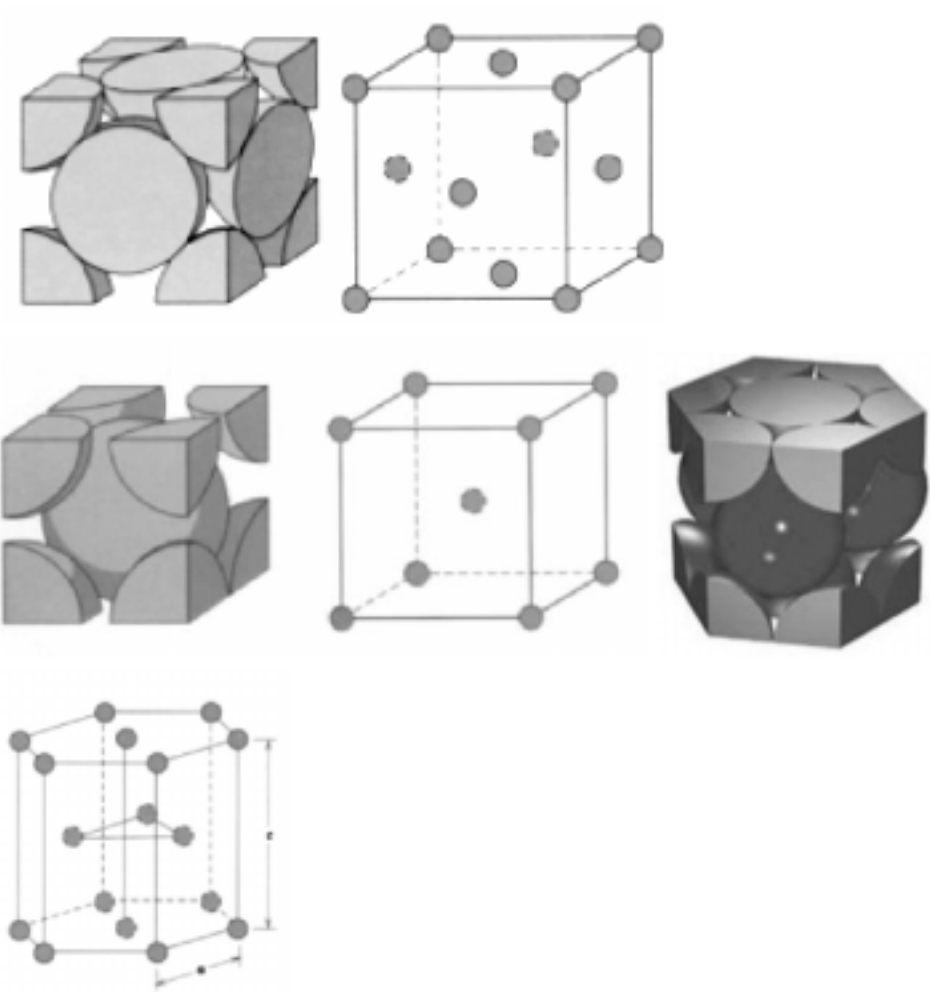
1. 描述晶体与非晶体在原子核分子结构上的不同

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。

非晶体：是指原子在空间的排布没有长程有序的固体

				
sodium chloride NaCl	cesium chloride CsCl	blende ZnS	diamond cubic金刚石立	fluorite CaF,

2. 画出面心立方（FCC face-centered cubic），体心立方（BCC body-centered cubic），密排六方（HCP hexagonal close-packed）晶体结构的晶胞



3. 推算面心立方 FCC和体心立方 BCC晶胞的边长 a与原子半径 R之间的关系

FCC : $a = 2R\sqrt{2}$ BCC : $a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$

4. 已知晶胞尺寸，计算面心立方 FCC和体心立方 BCC 结构金属的密度

$$\rho = \frac{nA}{V_C N_A} = \frac{nA}{a^3 N_A}$$

$$\rho_{FCC} = \frac{nA}{V_C N_A} = \frac{4A}{(2\sqrt{2}R)^3 N_A}$$

$$\rho_{BCC} = \frac{nA}{V_C N_A} = \frac{nA}{(\frac{4}{\sqrt{3}}R)^3 N_A}$$

5. 草绘并描述各种晶体结构的晶胞，如 sodium chloride NaCl, cesium chloride CsCl, zinc blende ZnS, diamond cubic 金刚石立方，fluorite CaF, and perovskite 钙钛矿 CaTiO₃。类似的还有 C 和硅酸玻璃原子结构

			方	
			perovskite 钙钛矿	
硅酸玻璃原子结构				C (graphite 石墨)

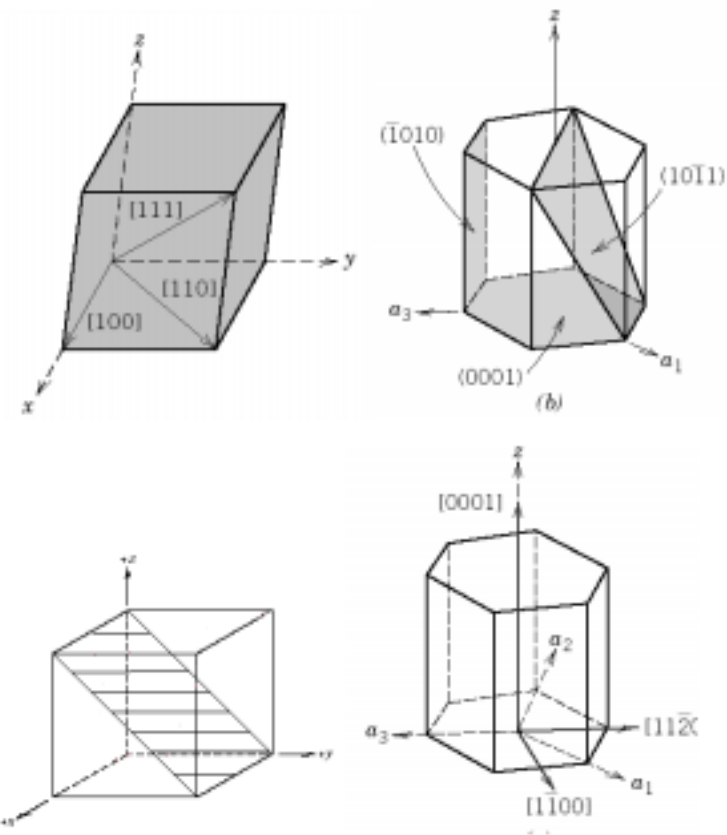
6.已知陶瓷复合材料的化学式，组成离子及离子半径，确定其晶体结构

Coordination Number	Cation-Anion Radius Ratio	Coordination Geometry
2	<0.155	
3	0.155-0.225	
4	0.225-0.414	
6	0.414-0.732	
8	0.732-1.0	

由阳离子和阴离子的半径比 R_C/R_A 对比上表确定其配位数 CN,再确定其晶体结构

7. 已知晶向指数，在晶胞中标出其晶向

8. 具体说明密勒指数（晶面指数）并在晶胞中标出



9.描述面心立方（ FCC ）密排六方（ HCP ）密排面的堆聚方式，类似通过阴离子的密排面描述 NaCl的晶体结构

面心立方（ FCC ）：ABCABCABC 密排六方（ HCP ）：ABABAB

PE 聚乙烯	PVC 聚氯乙烯	PTFE 聚四氟乙烯
PP 聚丙烯	PS 聚苯乙烯	

10. 区别单晶和多晶材料

单晶：整体内原子排布呈在周期性和对称性，没有错排的晶体

多晶：如果材料内部有许多晶粒，则为多晶，每个晶粒的大小和形状不同,而且取向也是凌乱的，没有明显的外形，也不表现各向异性

11. 考虑材料的特性，定义各向同性和各向异性

各向同性：指物体的物理、化学等方面的性质不会因方向的不同而有所变化的特性，即某一物体在不同的方向所测得的性能数值完全相同

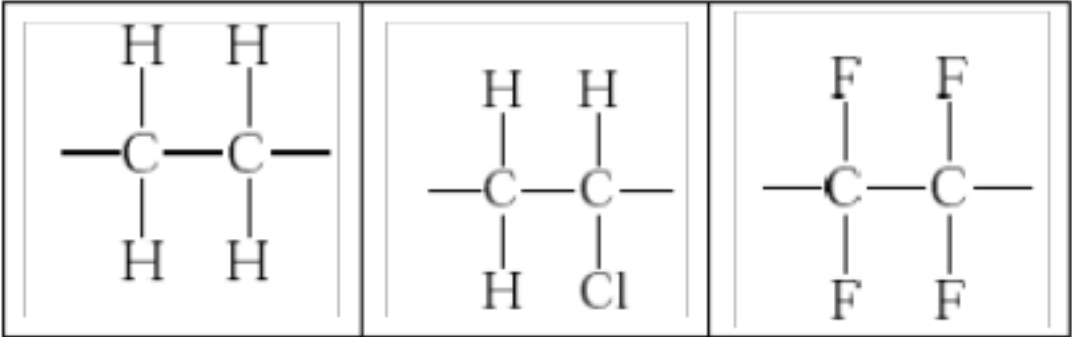
各向异性：沿晶格的不同方向，原子排列的周期性和疏密程度不尽相同，由此导致晶体在不同方向的物理化学特性也不同，这就是晶体的各向异性。晶体的各向异性具体表现在晶体不同方向上的弹性模量、硬度、热膨胀系数、导热性、电阻率、电位移矢量、电极化强度、磁化率和折射率等都是不同的。各向异性作为晶体的一个重要特性具有相当重要的研究价值。常用密勒指数来标志晶体的不同取向。

Chapter four 高分子结构（基本概念）

1、根据聚合物的链的结构能够描述典型的聚合物分子，以及由重复的链节产生怎样的分子。

2、画出 polyethylene PE 聚乙烯， polyvinyl chloride PVC 聚氯乙烯， polytetrafluoroethylene PTFE 聚四氟乙烯， polypropylene PP 聚丙烯， and polystyrene PS 聚苯乙烯和它们的链节结构。

个聚合物的链节的结构如下：



4、命名和简要说明 (a) 聚合物四种通常的分子结构

Linear Polymers: 线型聚合物

Branched Polymers: 支链型聚合物

Crosslinked Polymers: 交联型聚合物

Network Polymers: 网络型

5、叙述热固性和热塑性聚合物的分子和表现行为上的区别。

Thermoplastic Polymers 热塑性聚合物：这种聚合物当加热时变软冷却时变硬。所以当这种颗粒壮的物质处于软态时能够由模具成型或挤压成型。

Thermosetting Polymers 热固型聚合物：这种聚合物一旦由化学作用固化或硬化，再进行加热时将不能变软或熔化。

6、简要描述聚合物材料的晶体结构

聚合物链呈排列有序就会结晶，但还是存在很多的非晶态，晶态中包含一定的非晶态

Chapter five 固体缺陷

Learning objectives

1. 描述空位和自空隙原子晶体缺陷。

Vacancy: 空位 一个缺失原子或离子的晶格节点位置。

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

2. 已知相关的常数，计算具体温度下材料中的平衡空位数。

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right) \quad N = \frac{N_A \rho}{A}$$

6. 对于刃型位错、螺型位错和混合位错： (a)描述并且画出每一种位错；(b)标出位错线的位置； (c)标明位错线的延伸方向。

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。

Edge dislocation:刃型位错一种一维线型晶体缺陷，形态上可是描述为晶

解: FCC : $a = 2R\sqrt{2}$

$$r = \frac{a - 2R}{2} = \frac{2R\sqrt{2} - 2R}{2} = (\sqrt{2} - 1)R = 0.41R$$

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

$$r = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{4}\right)^2} - R = \frac{\sqrt{5}a}{2} - R = \left(\frac{\sqrt{5}}{\sqrt{3}} - 1\right)R = 0.29R$$

5.29 Cite the relative Burgers vector -dislocation line orientations for edge, screw, and mixed dislocations.

刃型位错的矢量垂直与其位错线。

螺型位错的柏氏矢量平行与其位错线。

混合位错柏氏矢量既不垂直也不平行其位错线。

5.D1* Aluminum-lithium alloys have been developed by the aircraft

Self-diffusion: 自扩散 纯金属中的原子迁移过程。

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

位错的矢量垂直与其位错线。位错延伸方向与柏氏矢量平行

dislocation: 螺型位错 一种一维线型晶体缺陷，形态上可是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。位错延伸方向与柏氏矢量垂直

Mixed dislocation: 混合位错 同时含有刃型分量和螺型分量的位错。位错延伸方向与柏氏矢量既不垂直也不平行

7. 描述 (a)晶界 (b)孪晶界附近区域内的原子结构。

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。

Twin Grain :孪晶 是指两个晶体或一个晶体的两部分都沿一个公共晶面构成镜面对称的位向关系的晶体

Questions and Problems

5.9 For both FCC and BCC crystal structures, there are two different types

of interstitial sites. In each case, one site is larger than the other, which

site is normally occupied by impurity atoms. For FCC, this larger one

is located at the center of each edge of the unit cell; it is termed an

octahedral interstitial site. On the other hand, with BCC the larger site

type is found at 0, 1/2, 1/4 positions—that is, lying on {100} faces, and

situated midway between two unit cell edges on this face and

one-quarter of the distance between the other two unit cell edges; it is

termed a tetrahedral interstitial site. For both FCC and BCC crystal

structures, compute the radius of an impurity atom that will just fit

into one of these sites in terms of the atomic radius R of the host atom.

FCC/八面体间隙 $r=0.41R$ BCC四面体间隙 $r = 0.29 R$

industry in order to reduce the weight and improve the performance of

its aircraft. A commercial aircraft skin material having a density of

2.55 g/cm^3 is desired. Compute the concentration of Li (in wt%) that is required.

$$\rho_{\text{Al}} = 2.702 \text{ g/cm}^3, \quad \rho_{\text{Li}} = 0.534 \text{ g/cm}^3$$

Chapter six 扩散

1. 说出并描述两种原子扩散机制。

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。

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。

2. 区别恒稳态扩散和非恒稳态扩散。

Steady-state diffusion: 恒稳态扩散 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。

3. (a)用方程的形式写出菲克第一定律和第二定律，并解释所有的参数。

(b) 指出每个方程通常用在什么类型的扩散中。

菲克第一定律 $J = -D \frac{dC}{dx}$ 恒稳态扩散

菲克第二定律 $\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$ 如果扩散系数不受成分影响，则

$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ 非稳态扩散

4 . 向半无限长固体中扩散，并且固体表面扩散原子的浓度保持不变，写出这种情况下，菲克第二定律的解法。

$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right), \frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = \text{Constant},$

$\frac{x}{2\sqrt{Dt}} = \text{Constant}$

5 . 已知扩散常数的近似值，计算一些材料在给定温度下的扩散系数。

$D = D_0 \exp \left(-\frac{Q_d}{RT} \right)$

Important terms and concepts

Diffusion 扩散	Steady-state diffusion 稳态扩散
Diffusion flux (J) 扩散通量	Nonsteady-state diffusion 非稳态扩散
Diffusion coefficient (D) 扩散系数	Self-diffusion 自扩散
Fick ' s first la菲克第一定律	Interstitial diffusion 间隙扩散
Fick ' s second la菲克第二定律	Vacancy diffusion 空位扩散
Activation energy (Q) 激活能， Q	Carburizing 渗碳

Questions and Problems

6.5 (a) explain the concept of a driving force.

解：C₀=0.002 wt% N

C_s=0.50 wt% N

C_x=0.10 wt% N

$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = \frac{0.10 - 0.002}{0.50 - 0.002} = 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right)$

$0.8032 = \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right)$

z	erf(z)
0.90	0.7970
z	0.8032
0.95	0.8209

$\frac{z - 0.90}{0.95 - 0.90} = \frac{0.8032 - 0.7970}{0.8209 - 0.7970}$

$z = 0.9130 = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$

(b) What is the driving force for steadystate diffusion?

驱动力：

6.18 At what temperature will the diffusion coefficient for the diffusion of copper in nickel have a value of 6.5 × 10⁻¹⁷ m²/s? Use the diffusion data in Table 6.2 T=1152K(879)

解：由表 6.2 知：D₀=2.7 × 10⁻⁵ m²/s Q_d =256kJ/mol

由公式 $D = D_0 \exp \left(-\frac{Q_d}{RT} \right)$ 得：

$T = \frac{Q_d}{R \ln \left(\frac{D_0}{D} \right)} = \frac{256 \text{ kJ/mol}}{8.31 \text{ J/molK} \times \ln \left(\frac{2.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}{6.5 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}} \right)} = 1152 \text{ K}$
(879)

6.D3 The wear resistance of a steel shaft is to be improved by hardening its surface. This is to be accomplished by increasing the nitrogen content within an outer surface layer as a result of nitrogen diffusion into the steel. The nitrogen is to be supplied from an external nitrogen-rich gas at an elevated and constant temperature. The initial nitrogen content of the steel is 0.002 wt%, whereas the surface concentration is to be maintained at 0.50 wt%. In order for this treatment to be effective, a nitrogen content of 0.10 wt% must be established at a position 0.40 mm below the surface. Specify appropriate heat treatments in terms of temperature and time for temperatures between 475 and 625 . The preexponential and activation energy for the diffusion of nitrogen in iron are 3 × 10⁻⁷ m²/s and 76,150 J/mol, respectively, over this temperature range.

x=0.40mm=4.0 × 10⁻⁴ m

$\frac{4.0 \times 10^{-4} \text{ m}}{2\sqrt{Dt}} = 0.9130$

Dt=4.7986 × 10⁻⁸ m²

又 D₀= 3 × 10⁻⁷ m²/s

Q_d= 76,150 J/mol

$Dt = D_0 \exp \left(-\frac{Q_d}{RT} \right) (t) = 4.7986 \times 10^{-8} \text{ m}^2$

$3 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s} = \exp \left(-\frac{76150 \text{ J} / \text{mol}}{(8.31 \text{ J} / \text{mol} \cdot \text{K}) \times T} \right) (t)$

=4.7986 × 10⁻⁸ m²

$t = \frac{0.1600}{\exp \left(-\frac{9163.7}{T} \right)}$

T ()	t
	s h

475	33386	9.27
525	15500	4.31

Chapter seven 机械性能

1．定义工程应力与工程应变。

Engineering strain: 工程应变 工程应变 由方程 $\epsilon = (l_i - l_0)/l_0 = \Delta l/l_0$ 定义，这里 l_0 是样品加载前的初始长度， l_i 是加载瞬间的长度，有时 $l_i - l_0$ 也用 Δl 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 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。

4．已知工程应力 - 应变曲线图，确定（ a）弹性模量；(b)屈服强度（残余应变 0.002 时）;(c)拉伸强度；（d）估算延伸百分比。

（a）弹性模量 $E = \sigma / \epsilon$ (b)屈服强度 T_S

（c）拉伸强度 T_S （d）估算延伸百分比 $\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l_0}{l_0}$

5．对于一个延性柱体样品的拉伸形变，描述样品直至断裂的剖面的变化过程。
（弹性阶段 — 屈服阶段 — 强化阶段 — 局部变形阶段）先弹性变形 后塑性变形，最后拉断

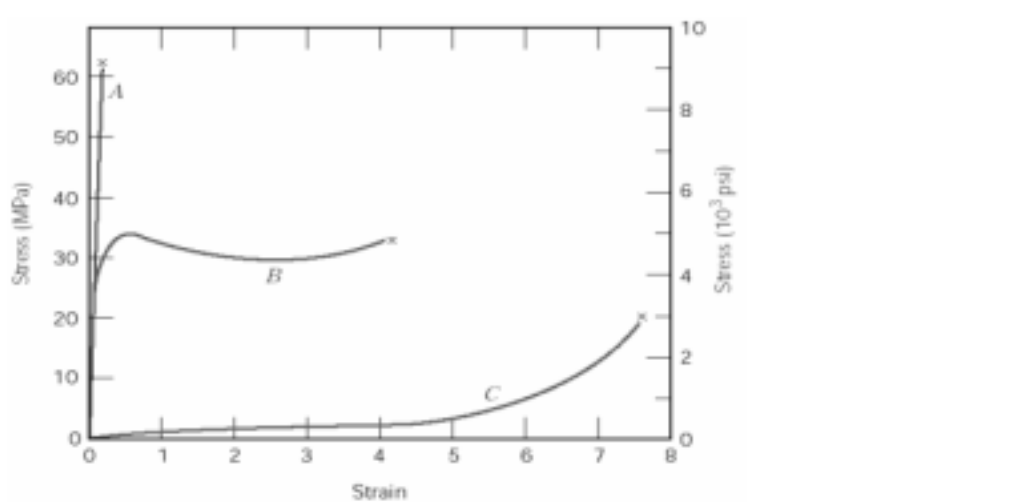
6．对于一个承受张力并直至断裂的材料，根据其延展百分比与面积还原率来计算材料的延展度。

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0}\right) \times 100 \quad \%RA = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0}\right) \times 100$$

7．根据三点负荷法，计算陶瓷棒弯曲至断裂的弯曲强度。

	$\frac{M}{c}$	$\frac{c}{I}$	$\frac{I}{\sigma}$	
Rectangular	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Circular	$\frac{FL}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

8．描绘出聚合物材料中所观察到的三种典型应力 - 应变特性的示意图。



9．给出两种最常见的硬度测量技术，并指出二者的不同。

洛氏硬度 洛氏硬度试验采用三种试验力，三种压头，它们共有 9 种组

575	7877	2.19
625	4317	1.20

合，对应于洛氏硬度的 9 个标尺。这 9 个标尺的应用涵盖了几乎所有常用的金属材料。最常用标尺是 HRC、HRB 和 HRF，其中 HRC 标尺用于测试淬火钢、回火钢、调质钢和部分不锈钢。这是金属加工行业应用最多的硬度试验方法。 HRB 标尺用于测试各种退火钢、正火钢、软钢、部分不锈钢及较硬的铜合金。 HRF 标尺用于测试纯铜、较软的铜合金和硬铝合金。 HRA 标尺尽管也可用于大多数黑色金属，但是实际应用上一般只限于测试硬质合金和薄硬钢带材料。

布氏硬度 用一定直径的淬硬钢球，在一定的载荷（ P ）作用下，压入试件表面，停留一段时间，然后除去载荷，测量压痕的面积，压痕越小表示抵抗塑性变形能力（即硬度）越大，越大硬度越小，用 HB 来表示。

Questions and Problems

7.24 A cylindrical rod 380 mm long, having a diameter of 10.0 mm, is to be subjected to a tensile load. If the rod is to experience neither plastic deformation nor an elongation of more than 0.9 mm when the applied load is 24,500 N, which of the four metals or alloys listed below are possible candidates? Steel

Material	Modulus of Elasticity (GPa)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)
Aluminum alloy	70	255	420
Brass alloy	100	345	420
Copper	110	250	290
Steel alloy	207	450	550

解：

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{24500N}{\frac{\pi (10.0 \times 10^{-3} m)^2}{4}} = 311.94 MPa$$

$$\sigma_{fs} = \frac{3F_f L}{2bd^2}$$

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l_0}{l_0} = \frac{0.9 mm}{380 mm} = 2.368 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{fs} = \frac{3F_f L}{2\pi R^3}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{311.94 MPa}{2.368 \times 10^{-3}} = 131.73 GPa$$

A	Brittle 脆性高分子材料
B	Plastic 塑性高分子材料
C	Highly elastic 完全弹性高分子材料 完全弹性体，人造橡胶

$\sigma < \sigma_{\text{steel}}$, $E < E_{\text{steel}}$ 故选 steel

7.35 (a) Make a schematic plot showing the tensile true stress-strain behavior for a typical metal alloy.

(b) Superimpose on this plot a schematic curve for the compressive true stress-strain behavior for the same alloy. Explain any difference between this curve and the one in part a.

(c) Now superimpose a schematic curve for the compressive engineering stress-strain behavior for this same alloy, and explain any difference between this curve and the one in part b.

7.D1 A large tower is to be supposed by a series of steel wires. It is estimated that the load on each wire will be 11,100 N. Determine the minimum required wire diameter assuming a factor of safety of 2 and a yield strength of 1030 MPa.

解: $\sigma_w = \frac{\sigma_y}{N} = \frac{1030 \text{ MPa}}{2} = 515 \text{ MPa}$

$$A_0 = (d/2)^2 \pi = \frac{F}{\sigma_w}$$

$$d = 2 \times \sqrt{\frac{F}{\pi \sigma_w}} = 2 \times \sqrt{\frac{11100 \text{ N}}{\pi (515 \text{ MPa})}} = 5.2 \times 10^{-3} \text{ m} = 5.2 \text{ mm}$$

Chapter eight 变形与强化机理

1. 从原子的角度描述刃型位错和螺型位错的运动。

刃型位错运动是在施加切应力作用下, 半原子面的沿切应力方向重组和断裂发生移动

螺型位错运动是在施加切应力作用下, 沿切应力垂直方向发生移动

2. 施加切应力会使刃型位错和螺型位错运动, 描述塑性变形是怎样由位错运动产生的。

刃型位错运动 半原子面的沿切应力方向重组和断裂发生移动

螺型位错运动 沿切应力垂直方向发生移动

3. 定义滑移系, 并举例说明。

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。 FCC: {111} <110> BCC: {110} <111> HCP: {0001} <1120> 所以不同晶体结构的金属, 其滑移系的数目不同, 如体心立方 12 个, 面心立方 12 个, 密排六方 3, 且滑移系的数目越多则金属的塑性愈好, 反之滑移系数愈少, 塑性不好, 且相同滑移系数目相同时, 滑移方向数越多, 越易滑移, 塑性越好。

4. 描述多晶金属材料发生塑性变形时, 它的晶粒结构是如何变化的。

多晶体金属的变形过程

多晶体金属在外力的作用下, 处于软取向的晶粒优先产生滑移变形, 处于硬取向的相邻晶粒尚不能滑移变形, 只能以弹性变形相平衡。由于晶界附近点阵畸变和相邻晶粒位向的差异, 使变形晶粒中位错移动难以穿过晶界传到相邻晶粒, 致使位错在晶界处塞积。只有进一步增大外力变

形才能继续进行。随着变形加大, 晶界处塞积的位错数目不断增多, 应

力集中也逐渐提高。当应力集中达到一定程度后, 相邻晶粒中的位错源

开始滑移, 变形就从一批晶粒扩展到另一批晶粒。同时, 一批晶粒在变

形过程中逐步由软取向转动到硬取向, 其变形愈来愈困难, 另一批晶粒

又从硬取向转动到软取向, 参加滑移变形。多晶体的塑性变形, 是在各

晶粒互相影响, 互相制约的条件

下, 从少量晶粒开始, 分批进行,

逐步扩大到其它晶粒, 从不均匀的

变形逐步发展到均匀的变形。

冷塑性变形对金属组织和性能的影响

经过塑性变形, 可使金属的组织

和性能发生一系列重大的变化,

这些变化大致可以分为如下四

个方面。 1. 晶粒沿变形方向拉长, 性能趋于各向异性 2. 晶粒破碎, 位错

密度增加, 产生加工硬化 3. 织构现象的产生 4. 残余内应力

5. 说明晶界是如何阻碍位错运动的, 并解释一个有着小晶粒的金属为

什么比有着大晶粒的金属强度大。

晶界的存在会增大滑移抗力, 而且因多晶体中各晶粒晶格位向的不同,

也会增大其滑移抗力, 因此多晶体金属的变形抗力总是高于单晶体。

金属的晶粒愈细, 金属的强度便愈高, 而且塑性与韧性也较高

6. 从晶格拉伸与位错相互作用的方面解释置换不同原子的固溶体强化

原理。

在置换固溶体中, 溶质原子部分占据了溶剂原子格点的位置, 如图 (b)

所示。当溶质元素与溶剂元素在原子半径、电负性以及晶格类型等因素

都相近时, 形成置换固溶体。例如钒、铬、锰、镍和钴等元素与铁都能

形成置换固溶体。在间隙固溶体中, 溶质原子占据了溶剂原子格点的间

隙之中, 如图 (c) 所示。氢、硼、碳和氮等一些原子半径特别小的元素

与许多副族金属元素能形成间隙固溶体。

应当指出, 当溶剂原子格点溶入溶质原子后, 多少能使原来的格点发生

畸变, 它们能阻碍外力对材料引起的形变, 因而使固溶体的强度提高,

同时其延展性和导电性将会下降。固溶体的这种普遍存在的现象称为固

溶强化。固溶体的强化原理对钢的性能和热处理具有重大意义。

固溶强化 纯金属经

适当的合金化后强

度、硬度提高的现象

根据强化机理可分

为无序固溶体和有

序固溶体 固溶强化的特点: (1) 溶质原子的原子数分数越大, 强化

作用越大; (2) 溶质原子与基体金属原子尺寸相差越大, 强化作用越大;

(3) 间隙型溶质原子比置换原子有更大的固溶强化作用;

(3) 溶质原子与基体金属的价电子数相差越大, 固溶强化越明显。

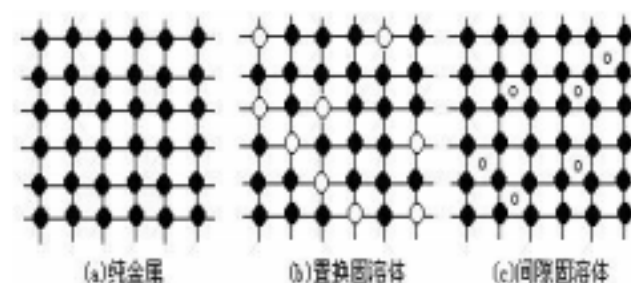
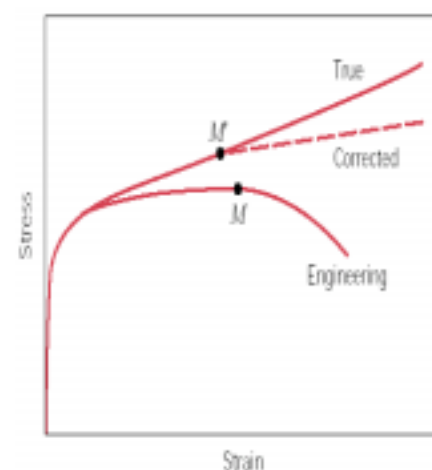
7. 从位错和应变场相互作用的方面描述解释应变强化 (冷加工) 现象。

应变硬化即是位错在运动过程中由于遇到晶界、第二相质点以及位错间

相互作用, 如位错交割、扭折、增殖等各种障碍, 使运动受阻, 需要不

断增加外应力才能使位错继续运动。其表现为应力不断增加, 塑性变形

才能继续进行。金属晶粒拉长, 其位错密度随冷加工变形量的增加, 冷加



工中位错密度增加也能强化材料

8. 从材料的微观结构和机械特性改变的方面描绘再结晶。

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。

通过回复，虽然金属中的点缺陷大为减少，晶格畸变有所降低，但整个变形金属的晶粒破碎拉长的状态仍未改变，组织仍处于不稳定的状态。

当它被加热到较高的温度时，原子也具有较大的活动能力，使晶粒的外形开始变化。从破碎拉长的晶粒变成新的等轴晶粒。和变形前的晶粒形状相似，晶格类型相同，把这一阶段称为再结晶。

再结晶过程同样是通过形核和长大两个过程进行的。

再结晶结束后，金属中内应力全部消除，显微组织恢复到变形前的状态，其所有性能也恢复到变形前的数值，消除了加工硬化。

所以再结晶退火主要用于金属在变形之后或在变形的过程中，使其硬度降低，塑性长高，便于进一步加工。

11. 描绘半结晶聚合物塑性变形的各个阶段。

弹性形变 - 屈服 - 应变软化 - 冷拉 - 应变硬化 - 断裂

12. 讨论下列因素对聚合物抗张模量和抗张强度的影响：(a)分子量 (b)结晶度 (c)预变形 (d)不变形材料的热处理。

(1) 化学结构 链刚性增加的因素（比如主链芳环、侧基极性或氢键等）

都有助于增加抗张强度 σ_t 。极性基团过密或取代基过大，反而会使材

料较脆，抗冲击强度 σ_i 下降。

(2) 相对分子质量 在临界相对分子质量 \overline{M}_c （缠结相对分子质量）

之前，相对分子质量增加 σ_t 增加，越过 \overline{M}_c 后 σ_t 不变。 σ_i 随相对分子质量增加而增加，不存在临界值。

(3) 支化和交联 交联使 σ_t 和 σ_i 都提高。但支化使 σ_i 提高，而 σ_t 下降。

(4) 结晶和取向 结晶度增加， σ_t 提高，但 σ_i 降低。结晶尺寸减小，

σ_t 和 σ_i 均提高。取向使 σ_t 提高。

总之以上各因素在讨论 σ_t 时主要考虑分子间作用力的大小，而讨论

σ_i 时主要考虑自由体积的大小。

(5) 应力集中物 裂缝、银纹、杂质等缺陷在受力时成为应力集中处，断裂首先在此处发生。

纤维的直径越小，强度越高，这是由于纤维越细，纤维皮芯差别就越小，缺陷出现的几率越小。根据这个原理，用玻璃纤维增强塑料可以得到高强度的玻璃钢。

(6) 添加剂 增塑剂、增量剂（又称填料）、增强剂和增韧剂都可能改变材料的强度。增塑使分子间作用力减小，从而降低了强度。惰性填料

（如 CaCO_3 ）只降低成本，强度也随着降低；活性填料有增强作用，

如炭黑对天然橡胶的补强效果。纤维状填料有明显的增强作用。塑料增韧的方法是共混或共聚，用少量橡胶作为增韧剂去改进塑料的脆性。

(7) 外力作用速度和温度 在拉伸试验中提高拉伸速度和降低温度都会

使强度降低。在冲击试验中提高温度会增加冲击强度。由于外力作用速度和温度的改变，甚至会使材料从脆性变为韧性，或反过来。

Questions and Problems

8.7. One slip system for the BCC

crystal structure is

$\{110\}\langle 111 \rangle$. In a manner

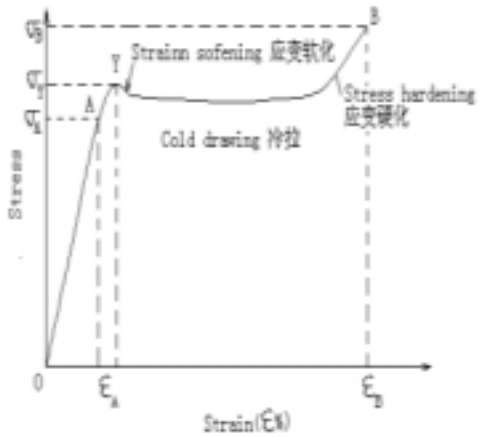
similar to Figure 8.6 b sketch a

$\{110\}$ -type plane for the BCC

structure, representing atom

positions with circles. Now,

using arrows, indicate two different $\langle 111 \rangle$ slip directions within this plane.



8.8 One slip system for the HCP crystal structure is $\{0001\}\langle 1120 \rangle$. In a

manner similar to Figure 8.6 b sketch a $\{0001\}$ -type plane for the HCP

structure, representing atom positions with circles. Now, using arrows,

indicate two different $\langle 1120 \rangle$ slip directions within this plane.

8.18 Describe in your own words the three strengthening mechanisms

discussed in this chapter (i.e., grain size reduction, solid solution

strengthening, and strain hardening). Be sure to explain how

dislocations are involved in each of the strengthening techniques.

晶粒细化强化 grain size reduction :细化后晶粒有较多的晶界来阻碍位错

的移动，而使材料硬化和强化

固溶强化 solid solution strengthening : 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 Strain hardening : 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。

8.30 Briefly cite the differences between recovery and recrystallization processes.

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。

8.36 The average grain diameter for a brass material was measured as a

function of time at 650 , which is tabulated below at two different times.

(a) What was the original grain diameter?

(b) What grain diameter would you predict after 150 min at 650 .

d=0.085mm

解：由公式： $d_1^n - d_0^n = Kt$ （取 $n=2$ ）

$$d_1^2 - d_0^2 = Kt_1$$

$$d_2^2 - d_0^2 = Kt_2$$

$$K = \frac{d_2^2 - d_1^2}{t_2 - t_1} = \frac{(6.6 \times 10^{-2})^2 - (3.9 \times 10^{-2})^2}{90 - 30} = 4.725 \times 10^{-5} \text{ mm}^2 / \text{min}$$

$$d_0 = \sqrt{d_1^2 - Kt_1} = 1.02 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$d_3 = \sqrt{d_0^2 + Kt_3} = 8.48 \times 10^{-2} \text{ mm} = 0.085 \text{ mm}$$

8.D6 A cylindrical rod of copper originally 16.0mm in diameter is to be cold worked by drawing; the circular cross section will be maintained during deformation. A cold-worked yield strength in excess of 250MPa and a ductility of at least 12%EL are desired. Furthermore, the final diameter must be 11.3mm. Explain how this may be accomplished.

解：

$$\begin{aligned} \%CW &= \frac{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{d_i}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \pi} \times 100 \\ &= \frac{\left(\frac{16.0\text{mm}}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{11.3\text{mm}}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{16.0\text{mm}}{2}\right)^2 \pi} \times 100 \\ &= 50.12\%CW \end{aligned}$$

由右图 8.19a，8.19c，当 $\%CW=50.12\%$ 时，

$$\sigma_s = 335 \text{ MPa} \text{ , } \%EL=4.5\% \text{ , } \sigma_s \text{ 满足 , } \%EL \text{ 过小。}$$

部分直径减小可通过再结晶来消除冷加工的影响，在通过二次拉伸获得所要求的强度，韧性和直径

由右图 8.19a，屈服强度为 250MPa 对应 21%CW 的冷变形率，另外，由右图 8.19c 可得只有在冷变形率小于或等于 23%CW 时，延伸率大于 12%EL，所以最后的变形是由 21%CW-- 23%CW，取平均值 22.5%CW，得最后直径 d_0 ，

$$22.5\%CW = \frac{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{5.1\text{mm}}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \pi} \times 100$$

$$\text{解得： } d_0 \approx 12.8 \text{ mm}$$

Chapter nine Failure 失效

1. 描述韧性与脆性断裂的裂纹扩展机理。

裂纹扩展过程包括裂纹萌生和裂纹的扩展

韧性断裂形成稳定裂纹，一种伴随大量塑性变形的断裂方式

Time (min)	Grain Diameter (mm)
30	3.9×10^{-2}
90	6.6×10^{-2}

脆性断裂形成不稳定裂纹，通过快速裂纹扩展发生断裂，没有明显的宏观变形

裂纹扩散的途径可分为穿晶断裂和晶间断裂。其穿晶断裂：裂纹穿过晶粒内部，韧断也可脆断。晶间断裂：裂纹穿越晶粒本身，脆断。

3. 以术语来定义断裂韧性（a）简单陈述（b）给出公式，说明公式中所有参数。

Fracture toughness (K_{IC}) 断裂韧性 (K_{IC})：发生裂纹扩展时应力强度因子的临界值。

$$\text{断裂韧性 } K_{IC} = Y \sigma_c \sqrt{\pi a} \quad \text{临界应力 } \sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a} \right)^{1/2}$$

6. 简单描述陶器出现细微裂纹的现象。

由于表面划伤、化学侵蚀、冷热胀缩不均等，很易产生细微裂纹；受载时，裂纹尖端产生很高的应力集中，由于不能由塑性变形使高的应力松弛，所以裂纹很快扩展，表现出很高的脆性

8. 定义疲劳并特殊说明产生条件。
Fatigue 疲劳：在相对低的应力水平下，承受交变和循环应力结构的失效。

9. 从某种材料的疲劳图上确定：（a）疲劳寿命（在特定应力值下）；（b）疲劳强度（在给定循环次数条件下）。

Fatigue life (N_f) 疲劳寿命 (N_f)：在某一指定应力幅值下，引起疲劳失效的应力循环总数。

如果材料没有疲劳极限，在 S—N 曲线上取 N=N₁ 处的应力副为疲劳强度

IMPORTANT TERMS AND CONCEPTS 重要术语和概念（全部）

Ductile fracture 延性/韧性断裂：一种伴随大量塑性变形的断裂方式。

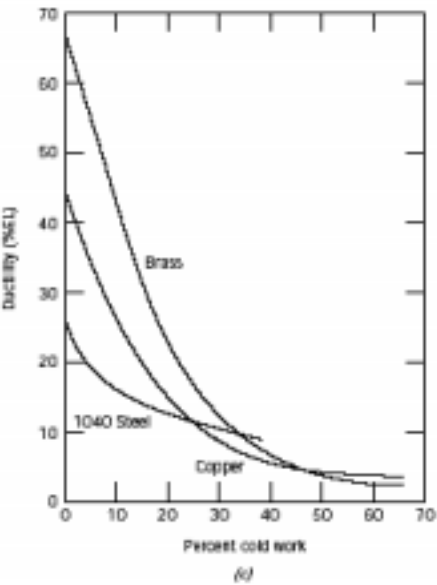
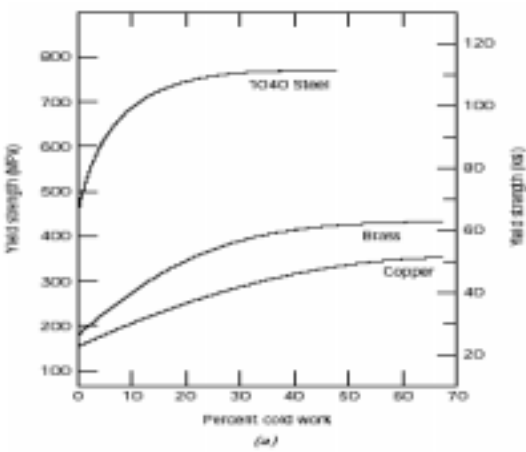
Brittle fracture 脆性断裂：通过快速裂纹扩展发生断裂，没有明显的宏观变形。

Transgranular fracture 穿晶断裂：多晶材料裂纹穿过晶粒扩展而断裂。

Intergranular fracture 沿晶断裂：多晶材料裂纹沿着晶界扩展而断裂。

Fracture mechanics 断裂力学：一门断裂分析技术，用于确定已知尺寸的预先存在裂纹扩展并导致断裂的应力水平。

Stress raise 应力集中：一个小裂缝（内部或表面的）或者是结构不连续，



在该处施加的拉伸应力将被放大，裂纹会扩展。

Fracture toughness (K_{IC}) 断裂韧度 (K_{IC})：发生裂纹扩展时应力强度因子的临界值。

Plane strain平面应变：在断裂力学中重要的条件，对于拉伸载荷，在垂直于应力轴和裂纹扩展的方向上均为零应变。该条件存在于厚板，零应变方向垂直于板面。厚度方向无应变，可以有应力。

Plane strain fracture toughness (K_{IC})平面应变断裂韧性 (K_{IC})：平面应变条件下应力强度因子的临界值（即达到该值时裂纹发生扩展）。

Charpy test 冲击实验：两种用于测量标准缺口试件冲击功或缺口韧性实验的一种（另一种见 Izod test）。通过重摆锤给试件施加冲击。

Izod test 悬臂梁式冲击实验：两种用于测量标准缺口试件冲击功实验的一种（另一种见 Charpy test）。通过重摆锤给试件施加冲击。

Impact energy (notch toughness) 冲击功（缺口韧性）：标准尺寸及形状的试件受到快速冲击载荷时，断裂过程中所吸收能量的度量。采用摆锤式或悬臂梁式冲击实验来测量该参数。在评定材料的塑性-脆性转变行为方面很重要。

Ductile-to-brittle transition 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行为的转变。该转变发生的温度范围可以通过摆锤式或悬臂梁式冲击实验来确定。

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

Fatigue strength 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。

Case hardening 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，用于改善耐磨性和抗疲劳性。

Creep 蠕变：承受应力时依赖于时间发生的永久性变形，对大多数材料而言只在高温下重要。

Corrosion fatigue 腐蚀疲劳：由循环应力和化学腐蚀同时作用导致的一类解答：

(a) 对第一条设计准则，希望圆周应力小于材料的屈服强度。以 σ_y 代公式 9.11 中的 σ ，把安全因子 N 合并得：

$$K_{Ic} = Y \left(\frac{\sigma_y}{N} \right) \sqrt{\pi a_c} \quad (9.16)$$

这里， a_c 为临界裂纹长度，解出 a_c 得到下式：

$$a_c = \frac{N^2}{Y^2 \pi} \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_y} \right)^2 \quad (9.17)$$

因此，临界裂纹长度与 K_{Ic}/σ_y 比值的平方呈正比。基于表 B.5 金属的分类，给出了表 9.2，可见，中碳钢（1040）具有最大的比值和最长的临界裂纹长度，因此，根据这一准则，为最合适的材料。

(b) 如前所述，破坏前泄露准则只是当内部裂纹长度的一半等于压力容器壁厚时才会碰到，即 $a = t$ 。将 $a = t$ 带入公式 9.11 得：

$$K_{Ic} = Y \sigma \sqrt{\pi t} \quad (9.18)$$

9.3 What is the magnitude of the maximum stress that exists at the tip of an internal crack having a radius of curvature of 2.5×10^{-4} mm and a crack length of 2.5

失效。

Fatigue 疲劳：在相对低的应力水平下，承受交变和循环应力结构的失效。

Fatigue life (N_f) 疲劳寿命 (N_f)：在某一指定应力幅值下，引起疲劳失效的应力循环总数。

Stress intensity factor (K) 应力强度因子 (K)：断裂力学中使用的一个因子，说明裂纹尖端处的应力强度。

Thermal fatigue 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。

QUESTIONS AND PROBLEMS

Design Problem 9.1 设计举例 9.1

考虑半径为 r 厚度为 t 可以用作压力容器的薄壁球罐（图 9.5）。

(a) 设计球罐要求在由于形成临界尺寸裂纹并随后快速扩展之前球壁材料屈服，这样，球壁的塑性变形可以观察到，球罐内的压力可以在灾难性失效发生前释放掉。显然，希望材料具有大的临界裂纹长度，以这一准则为基础，把金属合金按类别列表见附录 B 表 B.5，临界裂纹尺寸从最长到最短。

(b) 也常应用于压力容器的选择性设计术语为“破坏前泄露”。利用断裂机制原理，在裂纹快速扩展发生之前，允许裂纹生长穿过整个容器壁厚度。这样，裂纹将完全穿透容器壁，不会出现灾难性失效，允许通过带压液体泄露进行检测。用这个准则，临界裂纹长度 a_c （即内部裂纹长度的一半）可以取值为压力容器的壁厚 t 。允许 $a_c = t$ 而非 $a_c = t/2$ ，保证在危险的高压力积累之前发生液体泄露。使用这一准则，将金属合金按类别列表见附录 B 表 B.5，以及最大许用压力。

对于这种球形压力容器，根据下式圆周应力是容器内压力 p 、半径 r 和壁厚 t 的函数

$$\sigma = \frac{pr}{2t} \quad (9.15)$$

对 (a) 和 (b) 均假定为平面应变条件。

由公式 9.15 得

$$t = \frac{pr}{2\sigma} \quad (9.19)$$

用屈服强度代替应力，由于容器要设计成容许压力而不屈服，因此，将公式 9.19 带入 9.18，整理后得到下式：

$$p = \frac{2}{Y^2 \pi} \left(\frac{K_{Ic}^2}{\sigma_y} \right) \quad (9.20)$$

因此，对给定半径为 r 的球罐，与破坏前泄露准则一致的最大许用压力与 K_{Ic}^2/σ_y 成正比。根据这一比值将相同的一些材料列于表 9.3，如表所注，中碳钢允许压力最大。在表 B.5 列出的 11 种金属合金中，根据屈服和破坏前泄露两个准则，中碳钢均排在第一位。因此，当不必考虑高温和腐蚀时很多压力容器都是用中碳钢制造的。

10^{-2} mm when a tensile stress of 170 MPa is applied? 2404MPa

9.3 求曲率半径为 2.5×10^{-4} mm 和裂纹长度 2.5×10^{-2} mm 的内部裂纹尖端最大

应力幅值，施加拉伸应力为 170 MPa。

解：2a=2.5 ×10⁻² mm

$$\sigma_m = 2\sigma_0 \left(\frac{a}{\rho}\right)^{1/2} = 2 \times 170 \text{ MPa} \left(\frac{25 \times 10^{-2} \text{ mm}}{2.5 \times 10^{-4} \text{ mm} \times 2}\right)^{1/2} = 240 \text{ MPa}$$

9.16 A specimen of a 4340 steel alloy having a plane strain fracture toughness of

45 MPa√m is exposed to a stress of 1000 MPa. Will this specimen experience fracture if it is known that the largest surface crack is 0.75 mm long? Why or why not? Assume that the parameter Y has a value of 1.0.

9.16 4340 钢合金试件平面应变断裂韧性为 45 MPa√m，受应力 1000 MPa，如果已知最大的表面裂纹长 0.75 mm，试件会断裂吗？为什么会断裂或不断裂？假设参数 Y 的值为 1.0。

解：由平面应变断裂韧性公式 $K_{Ic} = Y\sigma\sqrt{\pi a}$ 得：

$$K_{Ic} = Y\sigma\sqrt{\pi a} = 1.0 \times 1000 \text{ MPa} \sqrt{\pi \times 0.75 \times 10^{-3} \text{ m}} = 48.53 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

>45 MPa√m

$$\sigma = \frac{K_{Ic}}{Y\sqrt{\pi a}}$$

9.26 Tabulated below are data that were gathered from a series of Charpy impact tests on a ductile cast iron:

Temperature () 温度	Impact Energy (J) 冲击功
-25	124
-50	123
-75	115
-85	100
-100	73
-110	52
-125	26
-150	9
-175	6

- (a) Plot the data as impact energy versus temperature.
- (b) Determine a ductile-to-brittle transition temperature as that temperature corresponding to the average of the maximum and minimum impact energies. -105
- (c) Determine a ductile-to-brittle transition temperature as that temperature at which the impact energy is 80 J. -95

9.26 下表中收集的数据是从一系列球铁却贝冲击试验得到的：

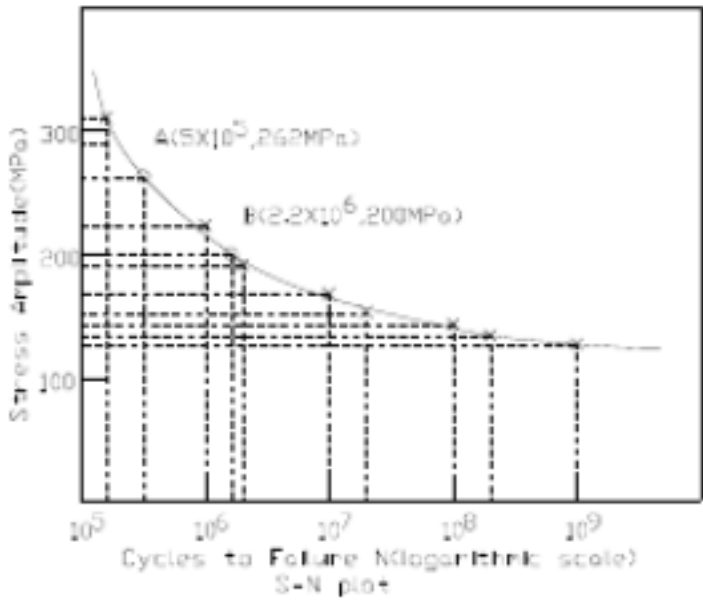
- (a)把数据作图，冲击功对温度
- (b)确定最大和最小冲击功的平均值对应的韧性 —脆性转变温度。
- (c)确定对应于冲击功为 80 J 的温度作为塑性 —脆性转变温度。

9.33 The fatigue data for a brass alloy are given as follows:

- (a) Make an S-N plot (stress amplitude versus logarithm cycles to failure) using these data.
- (b) Determine the fatigue strength at 5 × 10⁵ cycles. S=250MPa
- (c) Determine the fatigue life for 200 MPa. N_f 2.2 × 10⁶ cycles

9.33给出黄铜疲劳数据如下：

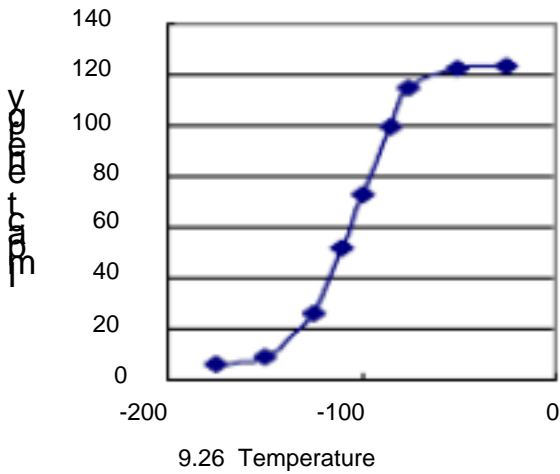
- (a)用这些数据作出 S-N曲线图（应力幅值对失效循环的对数作图）。
- (b)确定循环数为 5 × 10⁵时的疲劳强度。
- (c)确定 200 MPa时的疲劳寿命。



9.44 List four measures that may be taken to increase the resistance to fatigue of a metal alloy.

9.44列出四个可采取的增加金属合金疲劳抗力的措施。

- A．减少平均应力水平
- B．适当表面处理改善疲劳寿命
- C．避免设计沟槽等几何不连续造成应力集中，可采取过渡圆角
- D．通过喷丸处理消除表面残余压应力
- E．通过渗碳、渗氮处理使表面硬化



Design Problems 设计题

9.D6 (a) For the thin-walled spherical tank discussed in Design Example 9.1, on the basis of critical crack size criterion [as addressed in part (a)], rank the following polymers from longest to shortest critical crack length: nylon 6,6 (50% relative humidity), polycarbonate, polyethylene terephthalate, and polymethyl methacrylate. Comment on the magnitude range of the computed values used in the ranking relative to those tabulated for metal alloys as provided in Table 9.2. For these computations, use data contained in Tables B.4

Stress Amplitude(MPa) 应力幅值	Cycles to Failure 失效循环数
310	2 × 10 ⁵
223	1 × 10 ⁶
191	3 × 10 ⁶
168	1 × 10 ⁷
153	3 × 10 ⁷
143	1 × 10 ⁸
134	3 × 10 ⁸
127	1 × 10 ⁹

and B.5 in Appendix B.

(b) Now rank these same four polymers relative to maximum allowable pressure according to the leak-before-break criterion, as described in the (b) portion of Design Example 9.1. As above, comment on these values in relation to those for the metal alloys that are tabulated in Table 9.3.

9.D6 (a) 在设计举例 9.1中讨论的薄壁球罐，根据临界裂纹尺寸判据 [如(a)部分所讨论的]将下列高分子按照临界裂纹从最长到最短排列： 尼龙 6,6 (50% 相对湿度)，聚碳酸酯、聚乙烯、对苯二酸盐（或酯）、聚甲基丙烯酸甲酯。相对于表 9.2所列的金属合金评价计算值的数量级范围。使用附录 B中表 B.4 and B.5的数据进行计算。

(b) 现在根据破坏前泄露的准则，按最大允许压力排列这四种高分子，如同设计举例 9.1 的(b)部分，同上，与表 9.3 列出的金属合金的值相比，评价这些值。

Chapter thirteen Types and Applications of Materials

第 13 章 材料的类型及应用

Learning Objectives

1、认出四种不同类型的钢， 给出每种的成分差别， 独特的性质和典型应用。低碳钢含碳量小于 0.25% 铁素钢。易於接受各种加工如锻造， 焊接和切削， 常用於制造链条， 铆钉， 螺栓， 轴等。

中碳钢碳量 0.25 % ~ 0.60 % 的碳素钢。有镇静钢、半镇静钢、沸腾钢等多种产品。除碳外还可含有少量锰 (0.70 % ~ 1.20 %)。按产品质量分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。热加工及切削性能良好，焊接性能较差。强度、硬度比低碳钢高，而塑性和韧性低于低碳钢。可不经热处理，直接使用热轧材、冷拉材，亦可经热处理后使用。淬火、回火后的中碳钢具有良好的综合力学性能。能够达到的最高硬度约为 HRC55(HB538)，b 为 600 ~ 1100MPa。所以在中等强度水平的各种用途中，中碳钢得到最广泛的应用，除作为建筑材料外，还大量用于制造各种机械零件。

高碳钢常称工具钢，含碳量从 0.60% 至 1.40%，可以淬硬和回火。锤，撬棍等由含碳量 0.75% 的钢制造；切削工具如钻头，丝攻，铰刀等由含碳量 0.90% 至 1.00% 的钢制造。

高合金钢 合金元素的总含量一般在 10%以上的合金钢。可用于制造使用温度高于 600 的化工设备。包括不锈钢耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质和酸、碱、盐等化学浸蚀性介质腐蚀的钢。又称不锈钢耐酸钢。实际应用中，常将耐弱腐蚀介质腐蚀的钢称为不锈钢，而将耐化学介质腐蚀的钢称为耐酸钢。由于两者在化学成分上的差异，前者不一定耐化学介质腐蚀，而后者则一般均具有不锈性。不锈钢的耐蚀性取决于钢中所含的合金元素。铬是使不锈钢获得耐蚀性的基本元素，当钢中含铬量达到 12 %左右时，铬与腐蚀介质中的氧作用，在钢表面形成一层很薄的氧化膜（自钝化膜），可阻止钢的基体进一步腐蚀。除铬外，常用的合金元素还有镍、钼、钛、铌、铜、氮等，以满足各种用途对不锈钢组织和性能的要求。不锈钢通常按基体组织分为： 铁素体不锈钢。含铬 12% ~ 30 %。其耐蚀性、韧性和可焊性随含铬量的增加而提高，耐氯化物应力腐蚀性能优于其他种类不锈钢。

奥氏体不锈钢。含铬大于 18%，还含有 8%左右的镍及少量钼、钛、氮等元素。综合性能好，能耐多种介质腐蚀。 奥氏体 - 铁素体双相不锈钢。兼有奥氏体和铁素体不锈钢的优点，并具有超塑性。 马氏体不锈钢。强度高，但塑性和可焊性较差。

钢的热处理及机械性能指标：

热处理 (Heat Treatment) - 是利用加热和冷却以改变金属物理性质的方法。热处理能改善钢的显微结构，使达到所需的物理要求。韧性，硬度和耐磨

性 是通过热处理而获得的特性中的几种。 要获得这些特性，需使用热处理中的淬硬 <又称淬火>，回火，退火 <又称脱火>和表面淬硬等操作。

淬硬 (Hardening, 又称淬火) - 是将金属均匀地加热至适当温度，然后迅速浸入水或油中急冷，或在空气中或冷冻区中冷却，使金属获得所需要的硬度。

回火 - 钢件淬硬后会变脆，同时由淬火急冷而引致的应力，可使钢件受到轻击而断裂。要消除脆性，可用回火处理法。回火就是将钢件重新加热至适当的温度或颜色，然后予以急冷。回火虽然使钢的硬度略有减少，但可增加钢的韧性而降低其脆性。

退火 - 退火是消除钢件的内在应力和勒化钢件的方法。退火法是将钢件加热至高于临界温度，然后放入干灰，石灰，石棉或封闭在炉内，令它慢慢冷却。

硬度 (Hardness) - 是材料抵抗外物刺入的一种能力。试验钢铁硬度的最普遍方法是用锉刀在工件边缘上锉擦，由其表面所呈现的擦痕深浅以判定其硬度的高低。这种方法称为锉试法 这种方法不太科学。用硬度试验器来试验极为准确，是现代试验硬度常用的方法。最常用的试验法有洛氏硬度试验 洛氏硬度试验机利用钻石冲入金属的深度来测定金属的硬度，冲入深度愈大，硬度愈小。钻石冲入金属的深度，可从指针指出正确的数字，该数字称为洛氏硬度数。

锻造 - 是用锤击使金属成为一定形状 <成型> 的方法，当钢件加热达到锻造温度时，可以从事锻造，弯屈，抽拉，成型等操作。大多数钢材加热至鲜明樱红色时都很容易锻造。

脆性 - 表示金属容易破裂的性质，铸铁的脆性大，甚至跌落地上亦会破裂。脆性与硬度有密切关系，硬度高的材料通常脆性亦大。

延性 - (又称柔软性) 是金属受外力永久变形而不碎裂的性质，延性的金属可抽拉成细线。

弹性 - 是金属受外力变形，当外力消除之后又恢复其原有形状的一种性质。弹簧钢是极富弹性的一种材料。

硬度 - 是金属抵抗外物刺入或切削的一种能增加钢材硬度常用的方法是淬火。

展性 - 又称可锻性，是金属延性或柔软性的另一种表示法。展性是金属接受锤锻或滚轧而变形时不致破裂的一种性质。

韧性 <Toughness> 是金属抵受震动或冲击的能力。韧性与脆性刚好相反。

2、认出四种铸铁类型，描述每种的显微结构，说明其一般力学性质。

铸铁：含碳量在 2% 以上的铁碳合金。工业用铸铁一般含碳量为 2% ~ 4 %。碳在铸铁中多以石墨形态存在，有时也以渗碳体形态存在。除碳外，铸铁中还含有 1% ~ 3% 的硅，以及锰、磷、硫等元素。合金铸铁还含有镍、铬、钼、铝、铜、硼、钒等元素。碳、硅是影响铸铁显微组织和性能的主要元素。铸铁可分为：

灰口铸铁。含碳量较高 (2.7 % ~ 4.0 %)，碳主要以片状石墨形态存在，断面呈灰色，简称灰铁。熔点低 (1145 ~ 1250)，凝固时收缩量小，抗压强度和硬度接近碳素钢，减震性好。用于制造机床床身、汽缸、箱体等结构件。


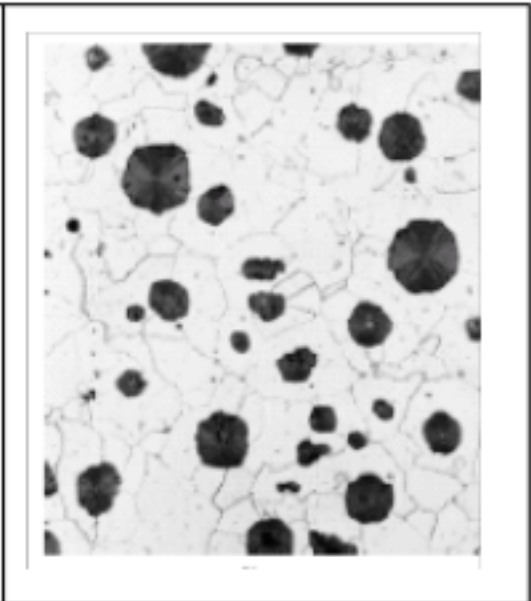

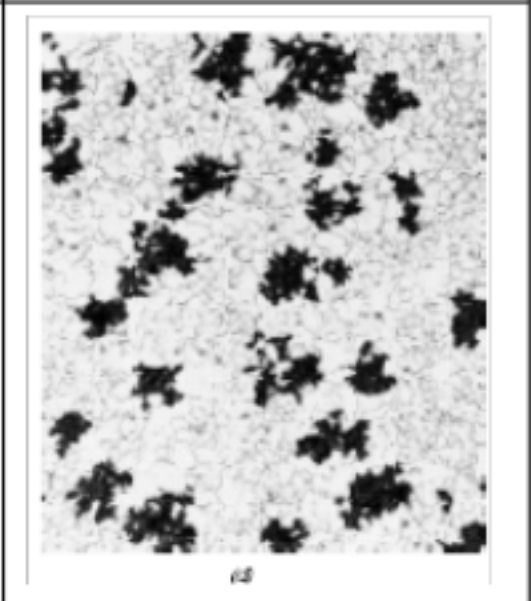
白口铸铁。碳、硅含量较低，碳主要以渗碳体形态存在，断面呈银白色。凝固时收缩大，易产生缩孔、裂纹。硬度高，脆性大，不能承受冲击载荷。多用作可锻铸铁的坯件和制作耐磨损的零部件。

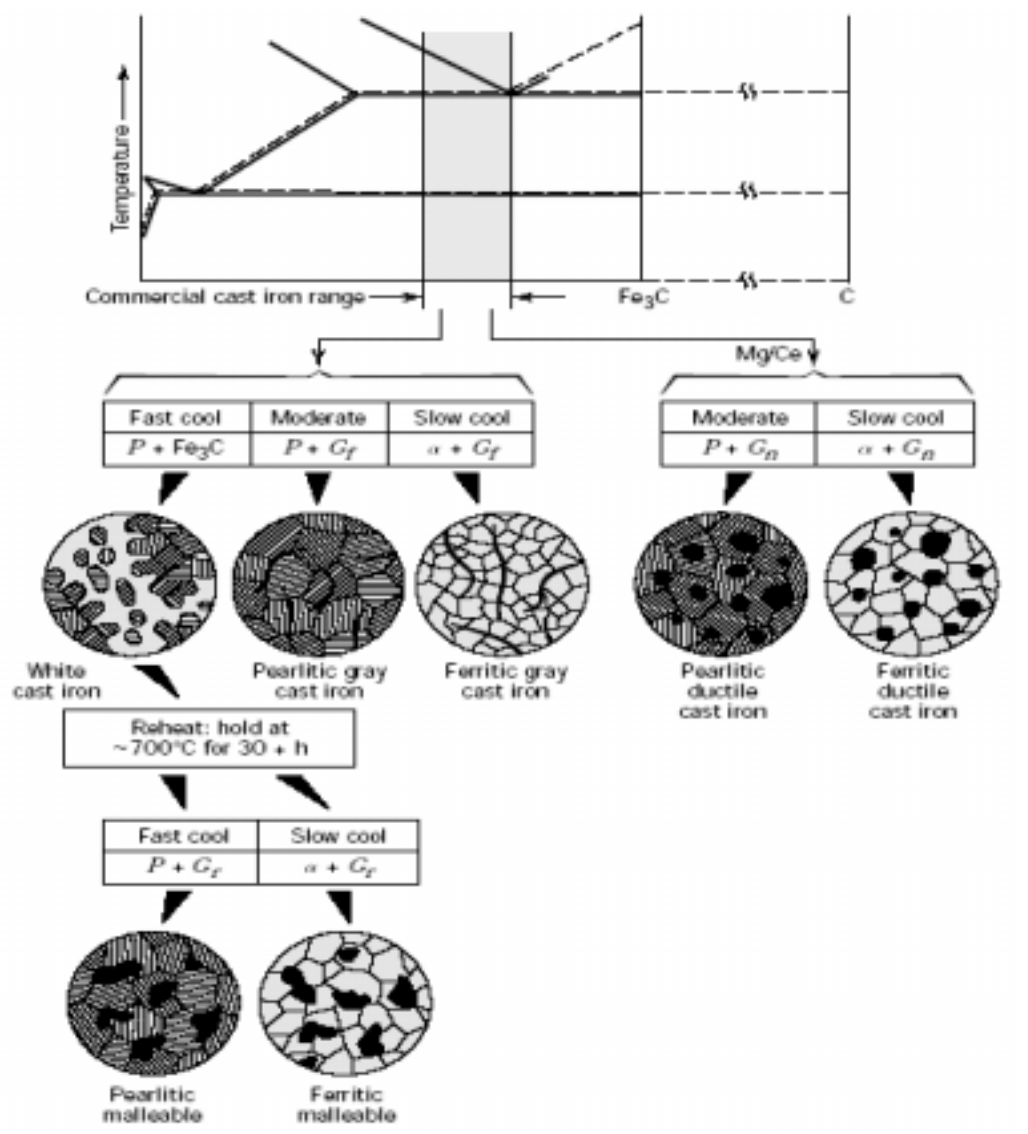
可锻铸铁。由白口铸铁退火处理后获得，石墨呈团絮状分布，简称韧铁。其组织性能均匀，耐磨损，有良好的塑性和韧性。用于制造形状复杂、能承受强动载荷的零件。

球墨铸铁。将灰口铸铁铁水经球化处理获得，析出的石墨呈球状，简称球铁。比普通灰口铸铁有较高强度、较好韧性和塑性。用于制造内燃机、汽车零部件及农机具等。

蠕墨铸铁。将灰口铸铁铁水经蠕化处理获得，析出的石墨呈蠕虫状。力学性能与球墨铸铁相近，铸造性能介于灰口铸铁与球墨铸铁之间。用于制造汽车的零部件。

合金铸铁。普通铸铁加入适量合金元素（如硅、锰、磷、镍、铬、钼、铜、铝、硼、钒、锡等）获得。合金元素使铸铁的基体组织发生变化，从而具有相应的耐热、耐磨、耐蚀、耐低温或无磁等特性。用于制造矿山、化工机械和仪器、仪表等的零部件。

	
灰口铸铁	可锻铸铁
	
白口铸铁	球墨铸铁



3、认出七种不同类型的有色合金，描述每种的独特物理和力学性质，此外，

列出至少三个典型应用。

铜及铜合金 以纯铜为基体加入一种或几种其他元素所构成的合金。纯铜呈紫红色，又称紫铜。纯铜密度为 8.96，熔点为 1083，具有优良的导电性、导热性、延展性和耐蚀性。主要用于制作发电机、母线、电缆、开关装置、变压器等电工器材和热交换器、管道、太阳能加热装置的平板集热器等导热器材。常用的铜合金分为黄铜、青铜、白铜 3 大类。

黄铜 以锌作主要添加元素的铜合金，具有美观的黄色，统称黄铜。铜锌二元合金称普通黄铜或称简单黄铜。三元以上的黄铜称特殊黄铜或称复杂黄铜。含锌低於 36% 的黄铜合金由固溶体组成，具有良好的冷加工性能，如含锌 30 % 的黄铜常用来制作弹壳，俗称弹壳黄铜或七三黄铜。含锌在 36 ~ 42 % 之间的黄铜合金由和固溶体组成，其中最常用的是含锌 40 % 的六四黄铜。为了改善普通黄铜的性能，常添加其他元素，如铝、镍、锰、锡、硅、铅等。铝能提高黄铜的强度、硬度和耐蚀性，但使塑性降低，适合作海轮冷凝管及其他耐蚀零件。锡能提高黄铜的强度和对海水的耐腐性，故称海军黄铜，用作船舶热工设备和螺旋桨等。铅能改善黄铜的切削性能；这种易切削黄铜常用作钟表零件。黄铜铸件常用来制作阀门和管道配件等。

青铜 原指铜锡合金，后除黄铜、白铜以外的铜合金均称青铜，并常在青铜名字前冠以第一主要添加元素的名。锡青铜的铸造性能、减摩性能好和机械性能好，适合於制造轴承、蜗轮、齿轮等。铅青铜是现代发动机和磨床广泛使用的轴承材料。铝青铜强度高，耐磨性和耐蚀性好，用於铸造高载荷的齿轮、轴套、船用螺旋桨等。铍青铜和磷青铜的弹性极限高，导电性好，适於制造精密弹簧和电接触元件，铍青铜还用来制造煤矿、油库等使用的无火花工具。

白铜 以镍为主要添加元素的铜合金。铜镍二元合金称普通白铜；加有锰、铁、锌、铝等元素的白铜合金称复杂白铜。工业用白铜分为结构白铜和电工白铜两大类。结构白铜的特点是机械性能和耐蚀性好，色泽美观。这种白铜广泛用於制造精密机械、化工机械和船舶构件。电工白铜一般有良好的热电性能。锰铜、康铜、考铜是含锰量不同的锰白铜，是制造精密电工仪器、变阻器、精密电阻、应变片、热电偶等用的材料。

铝及铝合金根据铝合金的成分和生产工艺特点 ,通常分为形变与铸造铝合金两大类 .工业上应用的主要有铝 - 锰 ,铝 - 镁 ,铝 - 镁 - 铜 ,铝 - 镁 - 硅 - 铜 ,铝 - 锌 - 镁 - 铜等合金 .变形铝合金也叫熟铝合金 ,据其成分和性能特点又分为防锈铝 ,硬铝 ,超硬铝 ,锻铝和特殊铝等五种 .

铝合金是纯铝加入一些合金元素制成的，如铝 — 锰合金、铝 — 铜合金、铝 — 铜 — 镁系硬铝合金、铝 — 锌 — 镁 — 铜系超硬铝合金。铝合金比纯铝具有更好的物理力学性能：易加工、耐久性高、适用范围广、装饰效果好、花色丰富。铝合金分为防锈铝、硬铝、超硬铝等种类，各种类均有各自的使用范围，并有各自的代号，以供使用者选用。

铝合金仍然保持了质轻的特点，但机械性能明显提高。铝合金材料的应用有以下三个方面：一是作为受力构件；二是作为门、窗、管、盖、壳等材料；三是作为装饰和绝热材料。利用铝合金阳极氧化处理后可以进行着色的特点，制成各种装饰品。铝合金板材、型材表面可以进行防腐、轧花、涂装、印刷等二次加工，制成各种装饰板材、型材，作为装饰材料。

成本低，而且使用一种加工工艺可以大量生产同样的零部件，这也是他的特点之一。

它的材料特性是轻、容易加工、以及在可耐强度方面不象碳纤维有一个最大受力范围，铝合金在承受了一定的力量后，会慢慢变形再损坏。

还有就是铝合金容易加工和具有高度的散热性。特别是车辆引擎部分特别适合使用铝合金材料。此外，铝合金的加工工艺多种多样。通用性较强。

镁及镁合金 镁合金的特点 :在实用金属中是最轻的金属 ,镁的比重大约是铝

的 2/3，是铁的 1/4。它是实用金属中的最轻的金属，高强度、高刚性。
应用范围：镁合金广泛用于携带式的器械和汽车行业中，达到轻量化的目的。

镁合金的比重虽然比塑料重，但是，单位重量的强度和弹性率比塑料高，所以，在同样的强度零部件的情况下，镁合金的零部件能做得比塑料的薄而且轻。另外，由于镁合金的比强度也比铝合金和铁高，因此，在不减少零部件的强度下，可减轻铝或铁的零部件的重量。

应用范围：手机电话，笔记本电脑上的液晶屏幕的尺寸年年增大，在它们的枝撑框架和背面的壳体上使用了镁合金。

传热性：虽然镁合金的导热系数不及铝合金，但是，比塑料高出数十倍，因此，镁合金用于电器产品上，可有效地将内部的热散发到外面。应用范围：在内部产生高温的电脑和投影仪等的外壳和散热部件上使用镁合金。电视机的外壳上使用镁合金可做到无散热孔。

电磁波屏蔽性：镁合金的电磁波屏蔽性能比在塑料上电镀屏蔽膜的效果好，因此，使用镁合金可省去电磁波屏蔽膜的电镀工序。

应用范围：在手机电话的壳体和屏蔽材料上使用了镁合金。机械加工性能：镁合金比其他金属的切削阻力小，在机械加工时，可以较快的速度加工。

耐凹陷性好：镁合金与其他金属相比抗变形力大，由冲撞而引起的凹陷小于其他金属。

对振动冲击的吸收性：由于镁合金对振动能量的吸收性能好，使用在驱动和传动的部件上可减少振动。另外，冲击能量吸收性能好，比铝合金具有更好的延伸率的镁合金，受到冲击后，能吸收冲击能量而不会产生断裂。

应用范围：在硬盘驱动器的读出装置等的振动源附近的零件上使用镁合金。若在风扇的风叶上使用镁合金，可减小振动达到低噪音。此外，为了在汽车受到撞击后提高吸收冲击力和轻量化，在方向盘和座椅上使用镁合金。

抗蠕变性能：镁随着时间和温度的变化在尺寸上蠕变少。

再生：镁合金与塑料不同，它可以简单地再生使用且不降低其机械性能，而塑料很难在不降低其机械性能再生使用。镁合金与其他金属相比，熔点低，比热小，在再生熔解时所消耗的能源是新材料制造所消耗的能源的 4%。

钛及钛合金 钛合金按组织可分三类。(1 钛中加入铝和锡元素 .2 钛中加入铝 铬钼钒等合金元素 .3 钛中加入铝和钒等元素。)钛合金具有强度高而密度又小,机械性能好，韧性和抗蚀性能很好。另外:钛合金的工艺性能差，切削加工困难.在热加工中，非常容易吸收氢氧氮碳等杂质。还有抗磨性差，生产工艺复杂。

以钛为基加入其他元素组成的合金。钛的工业化生产是 1948 年开始的。航空工业发展的需要，使钛工业以平均每年约 8%的增长速度发展。目前世界钛合金加工材年产量已达 4 万余吨,钛合金牌号近 30 种。使用最广泛的钛合金是 Ti-6Al-4V(TC4),Ti-5Al-2.5Sn(TA7) 和工业纯钛（TA1、TA2 和 TA3）。

钛合金主要用于制作飞机发动机压气机部件，其次为火箭、导弹和高速飞机的结构件。60 年代中期，钛及其合金已在一般工业中应用，用于制作电解工业的电极，发电站的冷凝器，石油精炼和海水淡化的加热器以及环境污染控制装置等。钛及其合金已成为一种耐蚀结构材料。此外还用于生产贮氢材料和形状记忆合金等。

中国于 1956 年开始钛和钛合金研究；60 年代中期开始钛材的工业化生产并研制成 TB2 合金。

特点 钛合金与其他金属材料相比，有下列优点：比强度（抗拉强度/密度）高（见图），抗拉强度可达 100～140kgf/mm²，而密度仅为钢的 60%。

中温强度高，使用温度比铝合金高几百度，在中等温度下仍能保持所要求的强度，可在 450～500 的温度下长期工作。耐蚀性好，在大气中钛表面

立即形成一层均匀致密的氧化膜，有抵抗多种介质侵蚀的能力。通常钛在氧化性和中性介质中具有良好的耐蚀性，在海水、湿氯气和氯化物溶液中的耐蚀性能更为优异。但在还原性介质，如盐酸等溶液中，钛的耐蚀性能较差。低温性能好，间隙元素极低的钛合金，如 TA7,在-253℃下还能保持一定的塑性。弹性模量低，热导率小，无铁磁性。

合金元素 钛有两种同质异晶体：882℃以下为密排六方结构 α 钛，882℃以上为体心立方的 β 钛。合金元素根据它们对相变温度的影响可分为三类：稳定 α 相、提高相转变温度的元素为 α 稳定元素，有铝、碳、氧和氮等。其中铝是钛合金主要合金元素，它对提高合金的常温和高温强度、降低比重、增加弹性模量有明显效果。稳定 β 相、降低相变温度的元素为 β 稳定元素，又可分同晶型和共析型二种。前者有钼、铌、钒等；后者有铬、锰、铜、铁、硅等。对相变温度影响不大的元素为中性元素，有锆、锡等。

氧、氮、碳和氢是钛合金的主要杂质。氧和氮在 α 相中有较大的溶解度,对钛合金有显著强化效果，但却使塑性下降。通常规定钛中氧和氮的含量分别在 0.15～0.2%和 0.04～0.05%以下。氢在 α 相中溶解度很小，钛合金中溶解过多的氢会产生氢化物，使合金变脆。通常钛合金中氢含量控制在 0.015%以下。氢在钛中的溶解是可逆的，可以用真空退火除去。

类别 钛合金根据相的组成可分为三类：α 合金、(α+β)合金和 β 合金,中国分别以 TA、TC、TB 表示。

α 合金含一定量的稳定 α 相的元素，平衡状态下主要由 α 相组成。α 合金比重小，热强性好、具有良好的焊接性和优异的耐蚀性，缺点是室温强度低，通常用作耐热材料和耐蚀材料。α 合金通常又可分为全 α 合金（TA7）、近 α 合金（Ti-8Al-1Mo-1V）和有少量化合物的 α 合金（Ti-2.5Cu）。(α+β)合金含一定量的稳定 α 相和 β 相的元素，平衡状态下合金的组织为 α 相和 β 相。(α+β)合金有中等强度、并可热处理强化，但焊接性能较差。(α+β)合金应用广泛，其中 Ti-6Al-4V 合金的产量在全部钛材中占一半以上。

β 合金含大量稳定 β 相的元素，可将高温 β 相全部保留到室温。合金通常又可分为可热处理 β 合金（亚稳定 β 合金和近亚稳定 β 合金）和热稳定 β 合金。可热处理 β 合金在淬火状态下有优异的塑性，并能通过时效处理使抗拉强度达到 130～140kgf/mm²。β 合金通常作高强度高韧性材料使用。缺点是比重大，成本高，焊接性能差，切削加工困难。

钛合金按用途可分为耐热合金、高强合金、耐蚀合金（钛-钼，钛-钽合金等）、低温合金以及特殊功能合金（钛-铁贮氢材料和钛-镍记忆合金）等。典型合金的成分和性能见表。

热处理 钛合金通过调整热处理工艺可以获得不同的相组成和组织。一般认为细小等轴组织具有较好的塑性、热稳定性和疲劳强度；针状组织具有较高的持久强度、蠕变强度和断裂韧性；等轴和针状混合组织具有较好的综合性能。

常用的热处理方法有退火、固溶和时效处理。退火是为了消除内应力、提高塑性和组织稳定性，以获得较好的综合性能。通常 α 合金和（α+β）合金退火温度选在（α+β）相转变点以下 120～200℃；固溶和时效处理是从高温区快冷，以得到马氏体 β 相和亚稳定的 α 相,然后在中温区保温使这些亚稳定相分解，得到 α 相或化合物等细小弥散的第二相质点，达到使合金强化的目的。通常（α+β）合金的淬火在（α+β）相转变点以下 40～100℃进行，亚稳定 β 合金淬火在（α+β）相转变点以上 40～80℃进行。时效处理温度一般为 450～550℃。此外，为了满足工件的特殊要求，工业上还采用双重退火、等温退火、热处理、形变热处理等金属热处理工艺。

难熔金属 Nb 铌 Mo 钼 Ta 钽 W 钨包括钛、锆、钨、钒、铌、钽、钼、钨。

熔点较高，与碳、氮、硅、硼等生成的化合物熔点也较高。

超合金所谓超合金其实就是在玩具本体的一些或者整个部位有金属部件，比如机器人的膝盖手腕等等，增加了玩具的金属质感，应用于飞机涡轮部件

贵金属 贵金属主要指金、银和铂族金属（钌、铑、钯、铱、铂）等 8 种金属元素。这些金属大多数拥有美丽的色泽，对化学药品的抵抗力相当大，在一般条件下不易引起化学反应。他们被用来制作珠宝和纪念品，而且还有广泛的工业用途。

金银铂钯贵金属 依据 GB11887 - 2002《首饰 贵金属纯度的规定及命名方法》，目前市场上销售的贵金属首饰可分为金首饰、银首饰、铂首饰和钯首饰 4 种。

金首饰 根据金含量的不同，通常可分为 18K 金、足金和千足金等。 1K 等于 100 % 除以 24，即 1K 约等于 4 . 1667 %。24K 的理论纯度为 100 %。

18K 金首饰的金含量不低于 750‰，可标识为 18K 或 G18K、G750、Au750、金 18K、金 750。

足金首饰的金含量不低于 990‰，可标识为足金或 G990、Au990、金 990。

千足金首饰的金含量不低于 999‰，可标识为千足金或 G999、Au999、金 999。此外市面上（特别在国外）还可见到一些 9K(金含量不低于 375‰)、14K(金含量不低于 585‰) 和 22K(金含量不低于 916‰) 之类的金首饰。

银首饰

市面上常见的银首饰有： 925 银，有人也称为纹银，要求银的含量不得低于 925‰，其他 75‰ 可以是铜或抗氧化元素，可标识为 S925 或 Ag925、银 925。

足银，要求银的含量不得低于 990‰，可标识为 S990 或 Ag990、银 990。偶尔也能见到 800 银（银含量不得低于 800‰）。近几年发现生产厂家为了防止银首饰氧化，常常在 925 银和足银的表面再镀上一层镍，检测时若不小心就很容易将其误认为是假货或仿银制品。

铂首饰 铂也称白金。近几年，随着消费层次的不断提升，铂首饰越来越受城乡男女消费者的青睐。首饰市场中，常见的铂首饰有 Pt900、Pt950 和 Pt990。

Pt900，要求铂的含量不得低于 900‰，可标识为 Pt900 或铂 900。
Pt950，要求铂的含量不得低于 950‰，可标识为 Pt950 或铂 950。
Pt990，要求铂的含量不得低于 990‰，可标识为 Pt990 或铂 990、足铂（足白金）。偶尔也能见到 Pt850（铂的含量不得低于 850‰），Pt750（铂的含量不得低于 750‰）。

钯首饰 钯这个贵金属是今年才单独被制作为首饰的，以往都是在铂首饰中作为掺合物，是贵金属首饰家族中又一个新成员。目前市面上流行的钯首饰主要有 Pd950 和 Pd990。

Pd950，要求钯的含量不得低于 950‰，可标识为 Pd950 或钯 950。
Pd990，要求钯的含量不得低于 990‰，可标识为 Pd990 或钯 990。含钯量不低于 750‰ 和 500‰ 的钯首饰主要用于镶嵌。不允许将钯首饰称为“钯白金首饰”、“钯铂金首饰”等含混名称。另外，标准规定还要求，贵金属首饰的重量要保留两位小数，单件重量在 100 克以内的饰品，其重量负偏差不得大于 0 . 01 克。

其它仿真首饰 市面上曾经或现在有售的还有少量下列饰品：

包金：就是把黄金打制成极薄的金箔，包在以铜、银、锌、镍等为基体的材料上，加工成各种饰品，这样既便宜，又给人以黄金相同的感觉。饰

品上往往打 24KF、18KF 印记。

镀金：是利用电解原理，在金属基体表面上镀上一层金膜，一般厚度为 10 微米以上，金属基体多为铜、银、锌、镍或它的合金。其特点是金层极薄，镀制方便，成本很低，有一定的装饰效果，但金层易被磨损掉，饰品只有短时期的辉煌。首饰上常有 18KGP，24KGP 印记。

亚金：以铜为基体的仿金材料，表面上往往镀金。

稀金：实际上不含金，是前几年出现的一种黄色合金，主要是由铜、镍等组成的合金，含有少量稀土元素。

钛金：市场上少有出现，也是一种仿金首饰，在基体表面上镀钛，生成一种叫 TiN 的物质。

另外市场上还出现过被称作为台湾金、泰国金、锻压金的首饰。这些均属仿金首饰，并不是那些地方产的足金饰品，而是镀金、包金之类的东西。甚至某些旅游区市场上还有称“宝石金”的首饰，这实际上也是镀金、包金制品。

7、描述加入水时水泥硬化的机理。

普通硅酸盐水泥熟料主要是由硅酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、硅酸二钙（ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ）、铝酸三钙（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）和铁铝酸四钙（ $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ）四种矿物组成的，它们的相对含量大致为：硅酸三钙 37 ~ 60 %，硅酸二钙 15 ~ 37 %，铝酸三钙 7 ~ 15 %，铁铝酸四钙 10 ~ 18 %。这四种矿物遇水后均能起水化反应，但由于它们本身矿物结构上的差异以及相应水化产物性质的不同，各矿物的水化速率和强度，也有很大的差异。按水化速率可排列成：铝酸三钙 > 铁铝酸四钙 > 硅酸三钙 > 硅酸二钙。按最终强度可排列成：硅酸二钙 > 硅酸三钙 > 铁铝酸四钙 > 铝酸三钙。而水泥的凝结时间，早期强度主要取决于铝酸三钙和硅酸三钙。现分别简述它们的水化反应。例如： $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + x\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaO} \cdot x\text{H}_2\text{O}$

按结晶理论认为水泥熟料矿物水化以后生成的晶体物质相互交错，聚结在一起从而使整个物料凝结并硬化。按胶体理论认为水化后生成大量的胶体物质，这些胶体物质由于外部干燥失水，或由于内部未水化颗粒的继续水化，于是产生“内吸作用”而失水，从而使胶体硬化。随着科学技术的发展，特别是 X—射线和电子显微技术的应用，将这两种理论统一起来，过去认为水化硅酸钙 CSH(B) 是胶体无定形的，实际上它是纤维状晶体，只不过这些晶体非常细小，处在胶体大小范围内，比面积很大罢了。所以现在比较统一的认识是：水泥水化初期生成了许多胶体大小范围的晶体如 CSH(B) 和一些大的晶体如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 包裹在水泥颗粒表面，它们这些细小的固相质点靠极弱的物理引力使彼此在接触点处粘结起来，而连成一空间网状结构，叫做凝聚结构。由于这种结构是靠较弱的引力在接触点进行无秩序的连结在一起而形成的，所以结构的强度很低而有明显的可塑性。以后随着水化的继续进行，水泥颗粒表面不大稳定的包裹层开始破坏而水化反应加速，从饱和的溶液中就析出新的、更稳定的水化物晶体，这些晶体不断长大，依靠多种引力使彼此粘结在一起形成紧密的结构，叫做结晶结构。这种结构比凝聚结构的强度大得多。水泥浆体就是这样获得强度而硬化的。随后，水化继续进行，从溶液中析出新的晶体和水化硅酸钙凝胶不断充满在结构的空间中，水泥浆体的强度也不断得到增长。影响水泥凝结速率和硬化强度的因素很多，除了熟料矿物本身结构，它们相对含量及水泥磨粉细度等这些内因外，还与外界条件如温度、加水量以及掺有不同量的不同种类的外加剂等外因密切相关

QUESTIONS AND PROBLEMS

13.1 (a) List the four classifications of steels. (b) For each, briefly describe the properties and typical applications.

13.1 (a)列出四类钢 . (b) 简单描述每种的性能和典型应用。

低碳钢含碳量小于 0.25% 铁素钢。易於接受各种加工如锻造，焊接和切削，常用於制造链条，铆钉，螺栓，轴等。

中碳钢碳量 0.25 % ~ 0.60 % 的碳素钢。有镇静钢、半镇静钢、沸腾钢等多种产品。除碳外还可含有少量锰 (0.70 % ~ 1.20 %)。按产品质量分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。热加工及切削性能良好，焊接性能较差。强度、硬度比低碳钢高，而塑性和韧性低于低碳钢。可不经热处理，直接使用热轧材、冷拉材，亦可经热处理后使用。淬火、回火后的中碳钢具有良好的综合力学性能。能够达到的最高硬度约为 HRC55(HB538)， σ_b 为 600 ~ 1100MPa。所以在中等强度水平的各种用途中，中碳钢得到最广泛的应用，除作为建筑材料外，还大量用于制造各种机械零件。

高碳钢常称工具钢，含碳量从 0.60% 至 1.40%，可以淬硬和回火。锤，撬棍等由含碳量 0.75% 的钢制造；切削工具如钻头，丝攻，铰刀等由含碳量 0.90% 至 1.00% 的钢制造。

高合金钢 合金元素的总含量一般在 10% 以上的合金钢。可用于制造使用温度高于 600 的化工设备。包括不锈钢耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质和酸、碱、盐等化学浸蚀性介质腐蚀的钢。又称耐酸钢。实际应用中，常将耐弱腐蚀介质腐蚀的钢称为不锈钢，而将耐化学介质腐蚀的钢称为耐酸钢。由于两者在化学成分上的差异，前者不一定耐化学介质腐蚀，而后者则一般均具有不锈性。不锈钢的耐蚀性取决于钢中所含的合金元素。铬是使不锈钢获得耐蚀性的基本元素，当钢中含铬量达到 12 % 左右时，铬与腐蚀介质中的氧作用，在钢表面形成一层很薄的氧化膜（自钝化膜），可阻止钢的基体进一步腐蚀。除铬外，常用的合金元素还有镍、钼、钛、铌、铜、氮等，以满足各种用途对不锈钢组织和性能的要求。不锈钢通常按基体组织分为：铁素体不锈钢。含铬 12 % ~ 30 %。其耐蚀性、韧性和可焊性随含铬量的增加而提高，耐氯化物应力腐蚀性能优于其他种类不锈钢。

奥氏体不锈钢。含铬大于 18 %，还含有 8 % 左右的镍及少量钼、钛、氮等元素。综合性能好，可耐多种介质腐蚀。奥氏体 - 铁素体双相不锈钢。兼有奥氏体和铁素体不锈钢的优点，并具有超塑性。马氏体不锈钢。强度高，但塑性和可焊性较差。

13.4 What is the function of alloying elements in tool steels?

13.4合金元素在工具钢中的作用是什么？

阻碍晶粒长大，细化奥氏体晶粒，

提高淬透性（Co 除外）；

提高回火抗力，防止回火脆性

使钢具有特殊的性能，耐热、抗腐蚀、耐磨性能等；

提高强度硬度等性能，固溶强化，第二相强化，细晶强化

高碳：0.7—0.8%，保证高硬度，并与 W,V 等形成碳化物或者是合金碳化物
高的W含量：—18%；使钢保持红硬性，提高回火抗力，提高淬透性。（在 500-600 度回火时产生细小而弥散分布 W₂C。）

Cr: --4% 提高淬透性和回火抗力，增加抗氧化、抗脱碳、抗腐蚀能力。

V：--1% 提高硬度和红硬性，细化晶粒（形成细少的高硬度的 VC，改善韧性）

Chapter eleven 相变

考试范围：章后不带星号的题目

具体要求：

1、相图中掌握在平衡态中存在哪些相、相的平衡组成如何、利用杠杆定律计算每种平衡相的质量或质量分数。

2、Fe-C 相图中判断共晶、共析转变，并写出相应的转变反应，判断各种

Design Problems 设计题

13.D1 Of the following alloys, pick the one(s) that may be strengthened by heat treatment, cold work, or both: R50500 titanium, AZ31B magnesium, 6061 aluminum, C51000 phosphor bronze, lead, 6150 steel, 304 stainless steel, and C17200 beryllium copper.

13.D1从下列合金中，挑选出可以通过热处理强化、冷加工强化或二者均可的

合金：R50500钛、AZ31B 镁、6061 铝、C51000磷青铜、铅、6150钢、304 不锈钢及 C17200铍铜。

提示：冷热加工的判断标准：再结晶温度

冷热加工的比较：容易性、表面质量

冷加工产生很大的残余应力

热加工产生残余应力较小，但如果加热不均匀，冷却方式不正确，也可能造成很大的残余应力。

热加工后材料特性：成为等轴晶：力学性能提高；组织致密：性能提高（使气孔、裂纹等被压合或焊合）；纤维组织形成和利用

13.D3 Discuss whether it would be advisable to hot work or cold work the following metals and alloys on the basis of melting temperature, oxidation resistance, yield strength, and degree of brittleness: tin, tungsten, aluminum alloys, magnesium alloys, and a 4140 steel.

13.D3根据熔点、抗氧化性、屈服强度和脆性程度讨论下列金属和合金的热加工或冷加工是否可行：锡、钨、铝合金、镁合金及 4140钢。

13.D4 Below is a list of metals and alloys:

Select from this list the one metal or alloy that is best suited for each of the following applications, and cite at least one reason for your choice: (a) The base for a milling machine.
(b) The walls of a steam boiler.
(c) High-speed aircraft.
(d) Drill bit.
(e) Cryogenic (i.e., very low temperature) container.
(f) As a pyrotechnic (i.e., in flares and fireworks).
(g) High-temperature furnace elements to be used in oxidizing atmospheres.

Plain carbon steel	Magnesium
Brass	Zinc
Gray cast iron	Tool steel
Platinum	Aluminum
Stainless steel	Tungsten
Titanium alloy	

13.D4 下面是金属和合金列表，从表中选出一种金属或合金最适合于下列

应用条件，并对你的选择引证至少一个理由：（碳钢、黄铜、灰铸铁、铂、不锈钢、钛合金、镁、锌、工具钢、铝、钨）

(a) 磨床的底座 Gray cast iron灰铸铁 具有较好的减震性能
(b) 蒸汽锅炉炉壁 Plain carbon steel碳素钢 --强度较高，塑性韧性好，易于加工
(c) 高速飞机 Aluminum 铝—密度小，降低飞行器重量
(d) 钻头 Tool steel工具钢 --硬度高，耐磨
(e) 低温容器 Stainless steel不锈钢 奥氏体不锈钢低温无相变，导热性差
(f) 烟火 Magnesium 镁 细小的镁颗粒容易在空气中加热引燃。
(g) 用于氧化气氛的高温炉件 Tungsten 钨—熔点高

Chapter ten 相图

组织的转变温度和相应平衡组成。判断合金是否是亚共析、过共析，指出先共析相的名称，并利用杠杆定律计算先共析相和珠光体的质量分数。

3、描述在钢合金中珠光体、贝氏体、马氏体的显微组织及一般的力学性质。

4、书上的基本概念。

1.相图中的点（14个）

(1) 组元的熔点：

A (0, 1538) 铁的熔点

D (6.69, 1227) Fe₃C 的熔点

(2) 同素异构转变点

N (0 , 1394) -Fe ⇌ -Fe

G (0 , 912) - Fe ⇌ -Fe

(3) 碳在铁中最大溶解度点

P (0.0218 , 727) 碳在 -Fe 中的最大溶解度

E (2.11 , 1148) 碳在 -Fe 中的最大溶解度

H (0.09 , 1495) 碳在 -Fe 中的最大溶解度

Q (0.0008 , RT) 室温下碳在 -Fe 中的溶解度

(4) 三相共存点

S (共析点) (s + P + Fe₃C)

C (共晶点) (E + LC + Fe₃C)

J (包晶点) (H + J + LB)

(5) 其它点

B (0.53 , 1495) 发生包晶反应时液相的成分

F (6.69,1148) 渗碳体

K (6.69,727) 渗碳体

2．相图中的线

液相线 (A B C D): 其上体系为液相，（结晶时液相的成分变化线）

固相线 (A H J E C F) ：其下为固相，（结晶时固相的成分变化线）

表示恒温转变的线：

HJB 线 (包晶转变)， ECF 线(共晶转变)， PSK 线(共析转变)

固溶度线： ES：碳在奥氏体中的溶解度随温度的变化线（温度，溶解度）; (0.77%~2.11%)

PQ：碳在铁素体中的溶解度随温度的变化线（温度，溶解度） (0.0008%—0.0218%)

同素异构转变线： NH 和 NJ，GS 和 GP

1．相图中的相区

单相区 (4 个 + 1 个) L、 、 、 、 (Fe₃C)

两相区 (7 个) L + , L + Fe₃C , L + , + , + + Fe₃C , + Fe₃

根据相图规则，两个单相区之间必然夹一个两相区，两相区的两个相就由这两个单相区的相组成。

4．Fe-Fe₃C 相图中的转变

(1) 匀晶转变：由液相直接结晶出单一固相的转变。

L →：由液相中直接结晶出 相。（合金的成分线和 AB 线相交，即含碳量 W_c：0 ~ 0.53%）

过合金的成分点作垂直于横坐标的直线，称为成分线

L →：由液相中直接结晶出 相。（合金的成分线和 BC 线相交，即含碳量 W_c：0.53% ~ 4.3%）

L →Fe₃C：由液相中直接结晶出 Fe₃C 相。（合金的成分线和 CD 线相交，即含碳量 W_c：4.3%~6.69%）

(2) 同素异构转变

(b.c.c) → (f.c.c) NH（开始线） NJ（结束线）

(f.c.c) → (b.c.c) GS（开始线） GP（结束线）

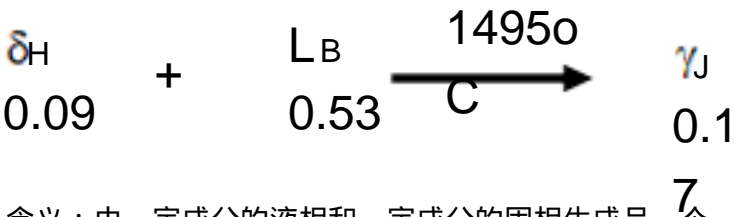
(3) 析出转变：从一个固相中析出另一个固相的转变。

析出 Fe₃CII（二次渗碳体）

析出 Fe₃CIII（三次渗碳体）

(4) 恒温转变

1) 包晶转变 HJB 线



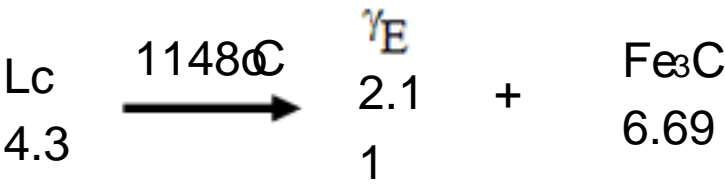
含义：由一定成分的液相和一定成分的固相生成另一个一定成分新固相地反应 ---包晶转变（反应）。

发生包晶反应的合金成分： C%：0.09%~0.53% 即合金的成分线与 HJB 线相交；

产物：单相奥氏体（ J ）

包晶点（ J 点）：(0.17 , 1495)

2) 共晶转变



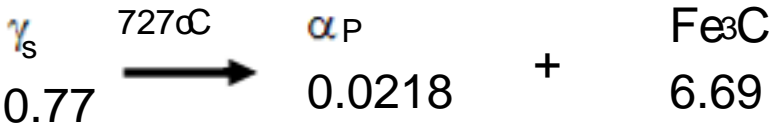
含义：由一定成分的液相在恒温下同时转变成两个一定成分的固相的转变。

发生共晶反应的成分范围： W_c：2.11 %—6.69% （合金成分线与 ECF 线相交）

产物： E 和 Fe₃C 两相混合物，称为莱氏体。用 L_d 表示。（ Fe₃C 为基体； E 呈粒状或杆状分布在基体上）

共晶点 C (4.3,1148)

3) 共析转变



含义：在恒温下由一个固定成分的固相同时生成两个固定成分的新固相的转变。

产物： 相和 Fe₃C 的两相混合物，以层片形式混合，称为珠光体，用 P 表示。

合金范围： W_c： 0.0218 %—6.69%(合金成分线与 PSK 线相交)

S 点: 共析点，(0.77 , 727) （具有 S 点成分的 Fe—C 合金冷却至 727°C 时，合金全部发生共析转变，生成珠光体。）

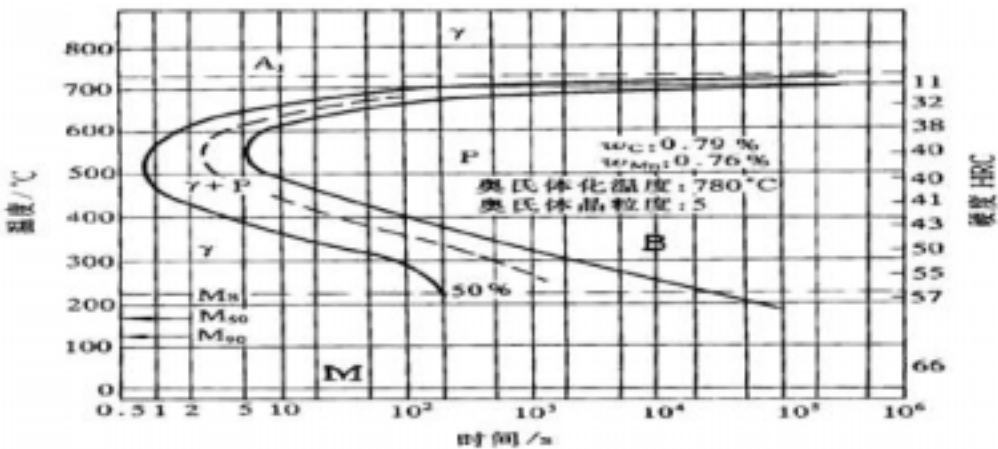
典型铁碳合金结晶过程分析的方法：

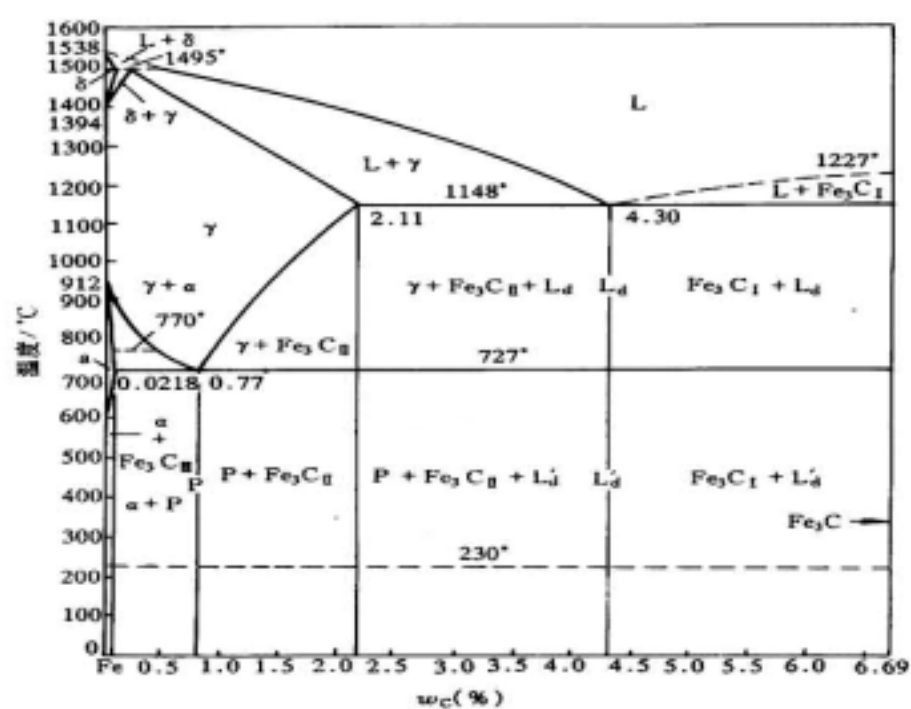
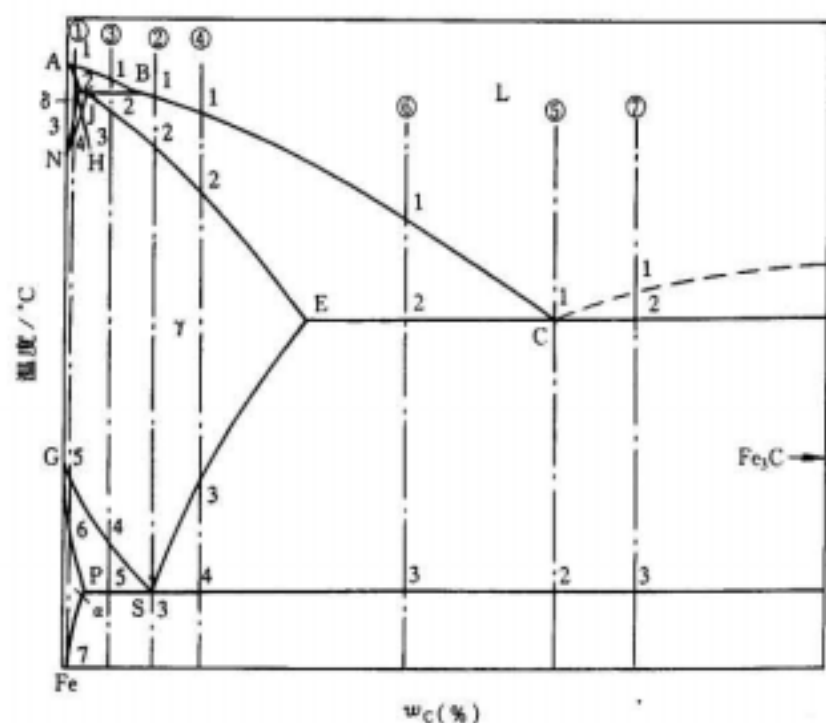
在相图的横坐标上找出给定的成分点，过该点作成分线；

在成分线与相图的各条线的交点作标记（一般用 1、2、3、4 等）

根据每条线表示的转变，写出每两个点之间或者重要点上发生的转变；由液相分析至室温。

室温下该成分线所在的相区，合金室温下就具有那个相。组织组成物则取决于冷却过程中发生的转变。





总 类	分类名称	w _C (%)	室 温 平 衡 组 织
铁	工业纯铁 ^①	<0.0218	铁素体；或者铁素体+三次渗碳体
钢	亚共析钢	0.0218~0.77	先共析铁素体+珠光体
	共析钢	0.77	珠光体
	过共析钢	0.77~2.11	先共析二次渗碳体+珠光体
铸铁	亚共晶铸铁	2.11~4.30	珠光体+二次渗碳体+莱氏体
	共晶铸铁	4.30	莱氏体
	过共晶铸铁	4.30~6.69	一次渗碳体+莱氏体

- 1、典型固-固相变中，画出其部分转变对时间对数的示意图；给出描述这一行为的方程式。
- 2、简单描述下列存在于钢合金中的微组元的显微组织：精细珠光体，粗状珠光体，球状体，贝氏体，马氏体和回火马氏体。
- 3、下列每个微组元的一般的力学特性：精细珠光体，粗状珠光体，球状体，贝氏体，马氏体和回火马氏体。根据显微组织（或晶体结构），简要解释这些行为。
- 4、根据某些 Fe-C 合金的等温转变（或连续冷却转变）图，设计一个热处理工艺，使其最终产生指定的显微组织。
- 5、利用相图描述和解释，用于沉淀硬化金属合金的两个热处理工艺。
- 6、在恒温下进行沉淀热处理时，画出室温下的强度（或硬度）对时间对数的示意图。根据沉淀硬化机理，解释曲线的形状。
- 7、画出晶体、半晶体和无定形聚合物的比容对温度的示意图，注释玻璃转变和熔化温度。

- 10.1 列举决定合金显微结构的三个变量。
温度、成分、加热时间和冷却速率
- 10.2 指出平衡态必须满足的热力学条件。
在指定的温度、压力和组成下体系的自由能最低时为其平衡态。
- 10.4 给出平衡态和亚稳态定义，两者之间有何区别？
由自由能判据得到的指定体系的热力学相平衡状态，其吉布斯自由能最低，是热力学最稳定状态，但具体需要多长时间才能达到这一平衡态，热力学无法给出结果。事实上，尤其是对固态体系，由于达到平衡态所需的速度极其缓慢，体系不可能完全达到平衡态。这种非平衡状态也称为亚稳态。亚稳态的吉布斯自由能比平衡态略高，随着时间的迁移，经历极其微弱的几乎察觉不到的变化。因此可以说亚稳态是动力学稳定状态。因此在实际应用中，有时亚稳结构比平衡态结构更为重要。

10.11 A 1.5kg specimen of a 90wt% Pb-10wt% Sn alloy is heated to 250 °C, at which temperature it is entirely an α -phase solid solution (Figure 10.7). The alloy is to be melted to the extent that 50% of the specimen is liquid, the remainder being the α -phase. This may be accomplished either by heating the alloy or changing its composition while holding the temperature constant. To what temperature must the specimen be heated?

The Specimen must be heated to 295.84C.

How much tin must be added to the 1.5kg specimen at 250 °C to achieve this state?

答：(a) 样品必须加热到 295.84°C

(b) 此时的组成应为 23.7 wt% Sn。设加入的 Sn 量为 $x\text{kg}$ ，

则应满足下列关系。

$$W_{Sn} = \frac{x + 1.5 \times 0.1}{1.5 + x} = 0.237$$

则应满足下列关系。

解此方程得： $x=0.269\text{kg}$

10.12 Consider the sugar-water phase diagram of Figure 10.1.

How much sugar will dissolve in 1500g water at 90 °C?

If the saturated liquid solution in part (a) is cooled to 20 °C, some of the sugar

will precipitate out as a solid. What will be the composition of the saturated liquid solution (in wt% sugar) at 20 °C?

How much of the solid sugar will come out of solution upon cooling to 20 °C?

答：(a) 90 °C 时，糖溶解的最大质量百分比为 75.71 wt%。设能溶解糖的质

量为 xg，则 $0.7571 = \frac{x}{1500 + x}$ ，解此方程得：x = 4675g

(b) 20 °C 时，糖水饱和溶液的组成为 64.2 wt%

(c) 体系总的质量为 1500g+4675g=6175g

设析出的糖的质量为 xg，则根据杠杆定律

$x \times (100 - 75.71) = (6175 - x) \times (75.71 - 64.2)$

解此方程得：x = 1985g

10.13 Consider a specimen of ice I which is at -10 °C and 1 atm pressure. Using Figure 10.38, the pressure-temperature phase diagram for H₂O, determine the pressure to which the specimen must be raised or lowered to cause it (a) to melt, and (b) to sublime.

答：横坐标用 lgP 来考虑。

冰 I 从 1 atm -10 °C 的状态，温度不变的情况下熔化所需要的压力为 649.38 atm。

冰 I 从 1 atm -10 °C 的状态，温度不变的情况下升华所需要的压力为 0.00237 atm。

10.14 at a pressure of 0.01 atm, determine (a) the melting temperature for ice I, and (b) the boiling temperature for water.

答：(a) 0.01 atm 下熔化冰 I 所需要的温度为 1.67 °C。

(b) 0.01 atm 下使冰 I 沸腾所需要的温度为 17.5 °C。

10.15 A magnesium-lead alloy of mass 5.5 kg consists of a solid α phase that has a composition that is just slightly below the solubility limit at 200 °C.

What mass of lead is in the alloy?

(b) If the alloy is heated to 350 °C, how much more lead may be dissolved in the α phase without exceeding the solubility limit of this phase?

答：(a) 饱和固溶体的组成为 4.76 wt% Pb。因此，5.5 kg 质量的 Mg-Pb 合金中铅的质量为 5.5kg \times 0.0476 = 0.2618kg

(b) 350 °C 时饱和固溶体的组成为 23.81 wt% Pb。

此时，5.5 kg 质量的 Mg-Pb 合金中铅的质量为

5.5kg \times 0.2381 = 1.31kg。

\therefore 多溶解的铅质量为：1.31kg - 0.2618kg = 1.0482kg

10.17 It is desired to produce a copper-nickel alloy that has a minimum noncold-worked tensile strength of 350Mpa and a ductility of at least 48 %EL.

Is such an alloy possible? If so, what must be its composition? If this is not possible, then explain why.

答：如果需要的最小冷拉强度为 350 Mpa，则 Cu-Ni 合金组成必须满足 Ni (wt%) \geq 24.2。

如果展延性至少在 48%EL，则需要 Ni (wt%) \leq 10 或

Ni (wt%) \geq 97.9。

两种组成之间没有交集，因此不可能得到这种性能的合金。

10.18 Is it possible to have a copper-silver alloy that, at equilibrium, consists of a β phase of composition 92 wt% Ag -8 wt% Cu, and also a liquid phase of composition 76 wt% Ag -24 wt% Cu? If so, what will be the approximate temperature of the alloy? If this is not possible, explain why?

答：794 °C 时，某组成的 Cu-Ag 合金达到平衡时由 β 和 L 两相组成。其平衡组成分别为题所要求的条件。

10.19 Is it possible to have a copper-zinc alloy that, at equilibrium, consists of an α phase of composition 80 wt% Zn -20 wt% Cu, and also a liquid phase of composition 95 wt% Zn -5 wt% Cu? If so, what will be the approximate temperature of the alloy? If this is not possible, explain why.

答：根据 Cu-Zn 相图，组成为 80 wt% Zn -20 wt% Cu 的 α 相和组成为 95 wt% Zn -5 wt% Cu 的液相不能平衡共存，与 80 wt% Zn -20 wt% Cu 的 α 相平衡共存的液相组成只能是 89 wt% Zn -11 wt% Cu。

10.20 A copper-nickel alloy of composition 70 wt% Ni -30 wt% Cu is slowly heated from a temperature of 1300 °C.

At what temperature does the first liquid phase form?

What is the composition of this liquid phase?

At what temperature does complete melting of the alloy occur?

(d) What is the composition of the last solid remaining prior to complete melting?

答：(a) 根据 Cu-Ni 相图，开始出现液相的温度为 1343 °C。

(b) 第一次出现的液相的组成为 60 wt% Ni -40 wt% Cu。

(c) 刚刚完全熔化时的温度为 1371 °C。

(d) 刚要完全熔化时固体的组成为 78.6 wt% Ni -21.4 wt% Cu。

10.21 A 50 wt% Pb-50 wt% Mg alloy is slowly cooled from 700 °C to 400 °C.

At what temperature does the first solid phase form?

What is the composition of this solid phase?

At what temperature does the liquid solidify?

(d) What is the composition of this last remaining liquid phase?

答：(a) 根据 Pb-Mg 相图，开始出现固相的温度为 564 °C。

(b) 第一次出现的固相的组成为 21 wt% Pb -79 wt% Mg。

(c) 刚刚完全固化时的温度为 468 °C。

(d) 刚要完全固化时最后液体的组成为 66.6 wt% Pb -33.4 wt% Mg。

10.22 A 90 wt% Ag-10 wt% Cu alloy is heated to a temperature within the β -liquid phase region. If the composition of the liquid phase is 85 wt% Ag, determine (a) the temperature of the alloy, (b) the composition of the β phase, and (c) the mass fractions of both phases.

答：(a) 根据 Cu-Ag 相图，平衡液相的组成为 85 wt% Ag -15 wt% Cu 时合金温度为 850 °C。

(b) 此时 β 相的组成为 95 wt% Ag -5 wt% Cu。

(c) 物系点正好位于两相平衡组成中间，因此两相的质量分数各为 50 wt%。

10.24 A 30 wt% Sn-70 wt% Pb alloy is heated to a temperature within the α -liquid phase region. If the mass fraction of each phase is 0.5, estimate (a) the temperature of the alloy, and (b) the compositions of the two phases.

答：(a) 根据 Sn-Pb 相图，组成为 A 30 wt% Sn-70 wt% Pb 的合金，平衡两相质量分数为 0.5 时的对应合金温度为 225 °C。

(b) 平衡两相中， α 相的组成为 16.4 wt% Sn-83.6 wt% Pb，液相的组成为 43.6 wt% Sn-56.4 wt% Pb。

10.26 由金属 A 和 B 元素构成的合金由富含 A 的 α 相和富含 B 的 β 平衡两相组成。在确定温度下，从下列的两相质量分数数据，确定 α 、 β 两相的组成。

合金成分	α 相分数	β 相分数
60wt%A -40wt%B	0.57	0.43
30wt%A -70wt%B	0.14	0.86

答：设 α 相的组成为 x wt% B， β 相的组成为 y wt% B，则

当合金组成为 60wt%A -40wt%B 时，根据杠杆定律有：

$$0.57 \times (40 - x) = 0.43 \times (y - 40)$$

当合金组成为 30wt%A -70wt%B 时，同理有：

$$0.14 \times (70 - x) = 0.86 \times (y - 70)$$

联立方程得：x = 10；y = 80

即 α 相的组成为 90wt%A -10wt%B，

β 相的组成为 20wt%A -80wt%B。

10.27 组成为 55 wt% B -45 wt% A 的 A-B 合金，在某一确定温度下，由质量分数为 0.5 的 α 、 β 两相组成。如果 β 相的组成为 90 wt% B -10 wt% A，则 α 相的组成为多少？

答：质量分数为 0.5，意味着 $W_\alpha = W_\beta$

设 α 相的组成为 x wt% B，根据杠杆定律有：

$$(55 - x) \times W_\alpha = (90 - 55) \times W_\beta$$

解得：x = 20，即 α 相的组成为 20 wt% B -80 wt% A

10.28 Is it possible to have a copper-silver alloy of composition 50 wt% Ag -50 wt% Cu, which, at equilibrium, consists of α and β phases having mass fractions $W_\alpha = 0.60$ and $W_\beta = 0.40$? If so, what will be the approximate temperature of the alloy? If such an alloy is not possible, explain why.

答：设 α 和 β 两相达到平衡时的组成分别为 x wt% Ag、y wt% Ag，

要使两相的质量分数各为 0.6 和 0.4，则根据杠杆定律，

必须满足如下关系：

$$(50 - x) \times 0.6 = (y - 50) \times 0.4，整理得：2y + 3x = 250$$

当 x = 0 时 y = 125 此结果没有意义。

x 最大值为 8，此时 y = 113 此结果也没有意义。

因此，不可能达到题中的条件。

10.29 For 11.20kg of a magnesium-lead alloy of composition 30 wt% Pb -70 wt% Mg, is it possible, at equilibrium, to have α and Mg₂Pb phases having respective masses of 7.39kg and 3.81kg? If so, what will be the approximate temperature of the alloy? If such an alloy is not possible, explain why.

答：设 α 和 Mg_2Pb 两相达到平衡时 α 相组成为 x wt% Pb、形成 Mg_2Pb 化合物所需 Pb 的质量百分数是 81 wt% Pb，根据杠杆定律，

必须满足如下关系：

$$(30-x) \times 7.39 = (81-30) \times 3.81, \text{ 整理得： } x=3.7$$

根据相图可以看出，3.7 wt% Pb 的组成位于 α - Mg_2Pb 两相平衡区，此时的平衡温度为 191 °C。

11.30 At 700 °C, what is the maximum solubility (a) of Cu in Ag? (b) of Ag in Cu?

答：(a) Ag 中 Cu 的最大溶解度是 6 wt% Cu

(b) Cu 中 Ag 的最大溶解度是 5 wt% Ag。

10.41 What is the principal difference between congruent and incongruent phase transformations?

答：两者之间本质的区别在于相变时两相之间是否有组成的变化。

Congruent phase transformation 中相变前后两相成分都没有改变，例如同素异形转变，纯物质的相变等属于这种相变。而 incongruent phase transformation 中相变前后两相的成分各发生改变，例如共晶、共析、包晶转变都属于这种相变。

10.50 Compute the mass fractions of α ferrite and cementite in pearlite.

答：题没给物系点，因此无法给出精确答案。具体解法是：

1、求出总的 α 铁素体和渗碳体的质量分数。

2、求出先共析 α 铁素体和珠光体的质量分数。

3、1 中求得的 α 铁素体质量分数减去 2 中求得的 α 铁素体质量分数，就是珠光体中存在的共析 α 铁素体的质量分数。

4、最后经过简单的计算，就可以求出珠光体中 α 铁素体和渗碳体的质量分数。

10.51 相和组织有什么区别？

答：相是物理化学性质均匀的部分

组织表示的是材料的微观结构，它可以由一个相或若干相组成。

10.52 (a), hypoeutectoid-consider a composition C0 to the left of the eutectoid, between 0.022 and 0.76wt% C; Hypereutectoid alloy-those containing between 0.76 and 2.14wt%C.

(b) The ferrite that is present in the pearlite as called eutectoid ferrite, whereas the other, that formed above T_e , is termed proeutectoid (meaning pre-or before eutectoid) ferrite, as labeled in Fig.10.31.

10.52 (a) 亚共析钢和过共析钢的区别是什么？

(b) 在亚共析钢中存在共析和先共析铁素体。解释两者之间的差别。两者中碳的浓度将为多少？

答：(a) 亚共析钢和过共析钢的区别在于两者中的 C 浓度不同，由此造成先共析成分不同。以共析成分为界，前者 C 的浓度低于共析成分，范围在 0.022 wt% < C < 0.76 wt%，先共析成分是 α 铁素体。后者 C 的浓度高于共析成分，范围在 0.76 wt% < C < 4.3 wt%，先共析成分是渗碳体。

(b) 共析铁素体和先共析铁素体之间的区别是两者的组织不同。先共析铁素体是单相组织，在基体中以基底形式分布，而共析铁素体与渗碳体构成两相组织，它们是以隔层排列。

先共析铁素体中的碳的浓度达到 0.022 wt%，共析铁素体中碳有减少的趋势，但浓度变化不大。

11.53 简要解释为什么先共析相是沿着奥氏体晶粒间界形成的？提示：参考 5.8 节

答：奥氏体晶界的能量高，不稳定，所以先共析相首先是沿着晶界线形成和长大。

10.54 总的铁素体质量分数为 0.94 的 Fe-C 合金中碳浓度为多少？

答：设铁碳合金中的碳浓度为 x wt% C，则根据杠杆定律：

$$W_{\alpha} = (6.7 - x) / (6.7 - 0.022) = 0.94; \text{ 解得 } x=0.42$$

10.55 某一浓度的 Fe-C 合金中总的铁素体和总的渗碳体的质量分数各为 0.92 和 0.08，则合金的先共析相是什么？

答：设铁碳合金中的碳浓度为 x wt% C，则根据杠杆定律：

$$W_{\alpha} = (6.7 - x) / (6.7 - 0.022) = 0.92; \text{ 解得 } x=0.55$$

说明 Fe-C 合金为亚共析钢。因此先共析相是 α 铁素体。

10.56 含有 1.15 wt%C 的 1.0kg 奥氏体冷却到 727 °C。

(a) 先共析相是什么？

(b) 总的铁素体和渗碳体的质量各为多少？

(c) 珠光体和先共析相的质量各为多少？

(d) 画出相应的显微组织的示意性草图

答：(a) 因为 1.15 wt%C > 0.76 wt%C，所以先共析相是渗碳体。

$$(b) W(Fe_3C) = (1.15 - 0.022) / (6.7 - 0.022) = 0.169$$

$$\text{析出的渗碳体的质量} = 1.0\text{kg} \times 0.169 = 0.169\text{kg}$$

$$\text{析出的铁素体的质量} = 1\text{kg} - 0.169\text{kg} = 0.831\text{kg}$$

$$(c) WP = (6.7 - 1.15) / (6.7 - 0.76) = 0.93$$

$$\text{先共析渗碳体的质量分数} = 1 - 0.93 = 0.07$$

$$\therefore \text{形成的珠光体的质量和先共析渗碳体的质量各为 } 0.93\text{kg 和 } 0.07\text{kg}$$

10.57 含有 0.65 wt% C 的 2.5kg 奥氏体，冷却至低于 727 °C。

(a) 先共析相是什么？

(b) 总的铁素体和渗碳体的质量各为多少？

(c) 珠光体和先共析相的质量各为多少？

(d) 画出相应的显微组织的示意性草图

答：(a) 0.65 wt% C < 0.76 wt% C，因此先共析相是 α 铁素体。

$$(b) W_{\alpha} = (6.7 - 0.65) / (6.7 - 0.022) = 0.91$$

$$m_{\alpha} = 2.5\text{kg} \times 0.91 = 2.275\text{kg}$$

$$m(Fe_3C) = 2.5\text{kg} - 2.275\text{kg} = 0.225\text{kg}$$

$$(c) WP = (0.65 - 0.022) / (0.76 - 0.022) = 0.85$$

$$mP = 2.5\text{kg} \times 0.85 = 2.125\text{kg}$$

$$m_{\alpha} = 2.5\text{kg} - 2.125\text{kg} = 0.375\text{kg}$$

(d)

10.58 含有 0.25 wt% C 的 Fe-C 合金中，计算先共析铁素体和珠光体的质量分数。

$$\text{答： } W_{\alpha} = (0.76 - 0.25) / (0.76 - 0.022) = 0.69$$

$$WP = 1 - 0.69 = 0.31$$

10.59 Fe-C 合金的显微组织由先共析铁素体和珠光体组成，两者的质量分数各为 0.286 and 0.714。确定这一合金中碳的浓度。

答：设 Fe-C 合金中碳的浓度为 x wt% C，则根据杠杆定律：

$$W_{\alpha} = (0.76 - x) / (0.76 - 0.022) = 0.286, \text{ 解得： } x=0.55$$

10.60 Fe-C 合金中总的铁素体和总的渗碳体的质量分数各为 0.88 和 0.12。问它是亚共析合金还是过共析合金？

答：设 Fe-C 合金中碳的浓度为 x wt% C，则根据题意，利用杠杆定律：

$$W_{\alpha} = (6.7 - x) / (6.7 - 0.022) = 0.88, \text{ 解得： } x=0.82$$

因为 0.82 wt% C > 0.76 wt% C， \therefore 此 Fe-C 合金为过共析合金。

10.61 Fe-C 合金的显微结构由先共析铁素体和珠光体组成；这些显微成分的质量分数各为 0.20 和 0.80。确定在此合金中碳的浓度。

答：设 Fe-C 合金中碳的浓度为 x wt% C，则根据题意，利用杠杆定律，有：
$$W_{\alpha} = (0.76 - x) / (0.76 - 0.022) = 0.2, \text{ 解得： } x=0.61$$

10.62 2.0kg 的 99.6 wt% Fe-0.4 wt% C 合金冷却至温度刚好低于共析温度。

(a) 形成先共析铁素体的质量是多少？

(b) 形成共析铁素体的质量是多少？

(c) 形成渗碳体的质量是多少？

$$\text{答：(a) 根据杠杆定律，有： } W_{\alpha} = (0.76 - 0.4) / (0.76 - 0.022) = 0.49$$

$$\therefore m_{\alpha} = 2.0\text{kg} \times 0.49 = 0.98\text{kg}$$

$$(b) W_{\alpha} = (6.7 - 0.4) / (6.7 - 0.022) = 0.94,$$

$$\text{则共析铁素体的质量分数 } W_{\alpha e} = W_{\alpha} - W_{\alpha'} = 0.94 - 0.49 = 0.45$$

$$\therefore m_{\alpha e} = 2.0\text{kg} \times 0.45 = 0.90\text{kg}$$

(c) 形成渗碳体的质量分数为：

$$W(Fe_3C) = (1 - W_{\alpha}) = 1 - 0.94 = 0.06$$

$$\therefore m(Fe_3C) = 2.0\text{kg} \times 0.06 = 0.12\text{kg}$$

10.63 对于过共析 Fe-C 合金，计算最大可能的先共析渗碳体的质量分数。

$$\text{答： } W(Fe_3C) = (2.14 - 0.76) / (6.7 - 0.76) = 0.23$$

10.64 总铁素体和先共析渗碳体的质量分数各为 0.846 和 0.049 的 Fe-C 合金能否存在？解释其原因。

答：设 Fe-C 合金中当总铁素体的质量分数为 0.846 时，合金中碳的浓度为 x wt% C 时，有：

$$W_{\alpha} = (6.7 - x) / (6.7 - 0.022) = 0.846, \text{ 解得： } x=1.05$$

设 Fe-C 合金中当先共析渗碳体的质量分数为 0.049 时，合金中碳的浓度为 x' wt% C 时，有：

$$W(Fe_3C) = (x' - 0.76) / (6.7 - 0.76) = 0.049 \text{ 解得： } x' = 1.05$$

$x = x'$ ， \therefore 题给出的 Fe-C 合金能够存在。

10.65 总渗碳体和珠光体的质量分数各为 0.039 和 0.417 的 Fe-C 合金能否存在？解释其原因。

答：设 Fe-C 合金中当总渗碳体的质量分数为 0.039 时，合金中碳的浓度为 x wt% C 时，有：

$W(Fe_3C) = (x - 0.022) / (6.7 - 0.022) = 0.039$ 解得： $x = 0.28$

设 Fe-C 合金中当珠光体的质量分数为 0.417 时，合金中碳的浓度为 x wt% C 时，有：

$WP = (x - 0.022) / (0.76 - 0.022) = 0.33$ ，解得： $x = 0.33$

同一个合金中 $x \neq x'$ ，表明题给出的 Fe-C 合金不能够存在。

10.66 含有 0.43 wt% C 的 Fe-C 合金中，计算共析铁素体的质量分数。

答：题所给的合金为亚共析合金，它先析出铁素体。

先共析铁素体的质量分数为： $W_{\alpha} = (0.76 - 0.43) / (0.76 - 0.022) = 0.44$

计算总的铁素体的质量分数： $W_{\alpha} = (6.7 - 0.43) / (6.7 - 0.022) = 0.94$

则共析铁素体的质量分数为： $W_{\alpha} = W_{\alpha} - W_{\alpha} = 0.94 - 0.44 = 0.50$

10.67 某一 Fe-C 合金中共析渗碳体的质量分数为 0.104。根据这一条件，可否确定合金的组成？如果可能，其组成为多少？如果不可确定组成，解释其原因。

答：I、如果合金为亚共析合金，设合金的组成为 x wt% C，根据杠杆定律有： $W(共析 Fe_3C) = (x - 0.022) / (6.7 - 0.022) = 0.104$

解得 $x = 0.72$ ；即亚共析合金的组成为 0.72 wt% C。

II、如果合金为过共析合金，则共析渗碳体的质量分数是总渗碳体和先共析渗碳体的质量分数之差。

$W(总 Fe_3C) = (x - 0.022) / (6.7 - 0.022)$

$W(先共析 Fe_3C) = (x - 0.76) / (6.7 - 0.76)$

四、主要例题、习题的分析

11.1 指出新相粒子形成中的两个步骤。简要地进行描述。

答：I、新相粒子形成的第一个步骤是形核过程 (nucleation)。非常小的晶核首先在缺陷处形成，尤其是在颗粒间界位置。

晶核通过扩散可以长大。

II、新相粒子形成的第二个步骤是长大过程 (growth)。在此步骤，晶核长大，同时母相的体积分数减小，直到达到相变的平衡分数。

11.2 某一相变的动力学过程服从 Avrami 方程 (方程 11.1)，已知参数 n 值为 1.7。如果 100 秒之后，相变反应完成 50%，则完成 99% 的转变所需的时间共多少？

答：Avrami 方程为 $y = 1 - \exp(-ktn)$ ；

$t = 100$ 时， $y = 0.5$ ；代入公式中得 $k = 2.76 \times 10^{-4}$

按题意，当 $y = 0.99$ 时， $0.99 = 1 - \exp(-2.76 \times 10^{-4} \times t^{1.7})$ ，解得：

$t = 304.6$ 秒，即完成 99% 的转变需要 304.6 秒的时间。

11.3 某反应服从 Avrami 动力学，假定常数值 n 和 k 各为 3.0 和 7×10^{-3} ，计算这一反应的速率。

答：根据 Avrami 方程 $y = 1 - \exp(-ktn)$ ， $0.5 = 1 - \exp(-7 \times 10^{-3} \times t^{0.53.0})$

解得 $t^{0.5} = 4.63$ ， $t = 4.63^2 = 21.44$ s

11.4 某一合金的重结晶的动力学服从 Avrami 方程，并且指数 n 值为 2.5。如果在某一温度，重结晶分数在 200 分钟以后达到 0.4，确定在此温度下的重结晶速率。

答：Avrami 方程 $y = 1 - \exp(-ktn)$ ；已知： $y_1 = 0.4$, $t_1 = 200$ min, $n = 2.5$

求得： $k = 9.02 \times 10^{-7}$

同理，可以求得重结晶分数为 $y_2 = 0.5$ 时，所需时间 $t_2 = 224$ min

重结晶速率 $r = 1 / (t_2 - t_1) = 4.5 \times 10^{-3}$ /min

11.5 奥氏体 - 马氏体转变动力学服从 Avrami 方程。利用下面给出的转变分数 - 时间数据，确定 95% 的奥氏体转变为珠光体所需的总的时间。

Fraction Transformed	Time(s)
0.2	12.6
0.8	28.2

答：Avrami 方程 $y = 1 - \exp(-ktn)$ ，

代入数据： $y_1 = 0.2$, $t_1 = 12.6$ ：求得： $k \times 12.6^n = 0.223$,

代入数据： $y_2 = 0.8$, $t_2 = 28.2$ ，求得： $k \times 28.2^n = 1.609$

联立上述两方程，解得： $n = 2.45$, $k = 4.49 \times 10^{-4}$

接着代入 $y_3 = 0.95$, $n = 2.45$, $k = 4.49 \times 10^{-4}$ ，求得 $t_3 = 35$ s

95% 的奥氏体转变为珠光体所需的总的时间为 35 秒。

11.6 下列数据是 600 °C 下变形钢重结晶的重结晶分数 - 时间数据表。假定这一过程的动力学服从 Avrami 关系，确定总时间消耗 22.8 分钟时重结晶的分数。

Fraction Recrystallized	Time(min)
0.20	13.1
0.7	29.1

答：Avrami 方程 $y = 1 - \exp(-ktn)$ ，

代入数据： $y_1 = 0.2$, $t_1 = 13.1$ ：求得： $k \times 13.1^n = 0.223$,

$W(总 Fe_3C) - W(先共析 Fe_3C) = W(共析 Fe_3C) = 0.104$

解得： $x = 1.11$ ；即过共析合金的组成为 1.11 wt% C。

10.68 Fe-C 合金中共析铁素体的质量分数为 0.82。根据这一条件，可否确定合金的组成？如果可能，其组成为多少？如果不可确定组成，解释其原因。

答：I、如果合金为亚共析合金，则共析铁素体的质量分数是总铁素体和先共析铁素体的质量分数之差。

设合金的组成为 x wt% C，则有： $W(总 \alpha) = (6.7 - x) / (6.7 - 0.022)$

$W(先共析 \alpha) = (0.76 - x) / (0.76 - 0.022)$

$W(总 \alpha) - W(先共析 \alpha) = W(共析 \alpha) = 0.82$

解得： $x = 0.56$ ；即亚共析合金的组成为 0.56 wt% C。

II、如果合金为过共析合金，设合金的组成为 x wt% C，根据杠杆定律有： $W(共析 \alpha) = (6.7 - x) / (6.7 - 0.022) = 0.82$

解得 $x = 1.22$ ；即过共析合金的组成为 1.22 wt% C。

10.69 组成为 5 wt% C 95 wt% Fe 的 Fe-C 合金，以非常缓慢的速度冷却至下列温度：1175 °C, 1145 °C, and 700 °C 时，给出显微结构的示意性草图。标出相，指出它们的组成（近似）

答：1175 °C 时：L + Fe₃C；1145 °C 时： γ + Fe₃C；700 °C 时： α + Fe₃C

示意草图：

代入数据： $y_2 = 0.7$ ， $t_2 = 29.1$ ，求得： $k \times 29.1^n = 1.20$

联立上述两方程，解得： $n = 2.11$, $k = 9.79 \times 10^{-4}$

接着代入 $t_3 = 22.8$, $n = 2.11$, $k = 9.79 \times 10^{-4}$ ，求得 $y_3 = 0.51$

总时间消耗 22.8 分钟时重结晶的分数为 0.51。

11.8 热处理和开发组织方面，铁 - 铁碳相图的两个主要局限性是什么？

11.9 简要描述过冷和过热现象，并解释为什么发生过冷和过热现象？

答：在平衡温度不发生相变，而在偏离平衡温度时发生相变的现象，如结晶时，

必须在一定的过冷度下才能结晶，液体必须过热才能沸腾。

过冷和过热现象的发生都是由于新相的产生引起的，

11.10 假定共析组成的钢以小于 0.5 s 的速率从 760 °C 冷却到 550 °C，并在此温度保温。

问：(a) 奥氏体转变成珠光体完成 50% 和完成 100% 所需时间？

(b) 评价全部转变为珠光体的合金的硬度

11.11 简要解释为什么如图 11-5 中所示的奥氏体 - 珠光体转变速率随温度的升高而下降，而与方程 11.3 的关系式发生矛盾

答：727-540 °C 温度区间内，奥氏体 - 珠光体共析转变速率由形核速率所控制，而形核速率是随着温度的升高而下降，

即形核活化能 Q 随温度而增加，因此共析转变速率随温度增加而下降。

11.12 简要给出珠光体、贝氏体和球状体之间的组织和力学性能之差别。

11.13 形成球状体的驱动力是什么？

答： $\alpha - Fe_3C$ 相间界面降低是形成球状体的驱动力。

11.14 利用共析组成的铁 - 碳合金的等温转变图 (图 11.14)，确定小的样品经历如下的时间 - 温度处理之后的最终的组织 (存在的显微组成和近似的百分含量)？在每种情况下假定样品都在 760 °C 足够的时间保温，以得到均匀的奥氏体结构。

(a) 快速冷却至 700 °C，保温 104 秒，然后淬火至室温。

(b) 20 小时内部分重新加热至 700 °C。

(c) 快速冷却至 600 °C，保温 4 秒，然后快速冷却至 450 °C，保温 10 秒，然后淬火至室温。

(d) 快速冷却至 400 °C，保温 2 秒，然后淬火至室温。

(e) 快速冷却至 400 °C，保温 20 秒，然后淬火至室温。

(f) 快速冷却至 400 °C，保温 200 秒，然后淬火至室温。

(g) 快速冷却至 575 °C，保温 20 秒，快速冷却至 350 °C，保温 100 秒，然后淬火至室温。

(h) 快速冷却至 250 °C，保温 100 秒，然后水淬至室温。重新加热 1 小时至 315 °C，并缓慢冷却至室温。

答：(a) 珠光体 + 马氏体 + 残余奥氏体

(b)

(c) 50% 珠光体 + 25% 贝氏体 + 25% 奥氏体

(d) 100% 马氏体

- (e) 贝氏体 + 奥氏体
(f) 100% 贝氏体
(g) 100% 珠光体
(h) 先共析铁素体 + 珠光体
- 11.15 共析组成铁-碳合金的等温转变图 (图 11.14) 中画出产生下列组织经历的时间-温度简图。
- (a) 100% 粗珠光体。
(b) 100% 固火马氏体。
(c) 50% 粗珠光体, 25% 贝氏体和 25% 马氏体。

11.16 利用 0.45 wt% C 合金钢 (图 11.38) 的等温转变图, 确定小的样品经历如下的时间-温度处理之后的最终的组织 (存在的显微组份)。
在每种情况下假定样品都在 845 °C, 并在此温度保温时间足够长, 以得到均匀的奥氏体结构。

- (a) 快速冷却至 250 °C, 保温 103 秒, 然后淬火至室温。
(b) 快速冷却至 700 °C, 保温 30 秒, 然后淬火至室温。
(c) 快速冷却至 400 °C, 保温 500 秒, 然后淬火至室温。
(d) 快速冷却至 700 °C, 在这一温度下保温 105 秒, 然后淬火至室温。
(e) 快速冷却至 650 °C, 在这一温度下保温 3 秒, 接着快速冷却至 400 °C, 保温 10 秒, 然后淬火至室温。
(f) 快速冷却至 450 °C, 保温 10 秒, 然后淬火至室温。
(g) 快速冷却至 625 °C, 保温 1 秒, 然后淬火至室温。
(h) 快速冷却至 625 °C, 在这一温度下保温 10 秒, 接着快速冷却至 400 °C, 在此温度保温 5 秒, 然后淬火至室温。

答: (a) 马氏体 + 残余奥氏体 (b) 先共析铁素体 + 马氏体 + 残余奥氏体 (c) 100% 贝氏体

(d) 先共析铁素体 + 珠光体 (e) 先共析铁素体 + 珠光体 + 马氏体 + 残余奥氏体

(f) 贝氏体 + 马氏体 + 残余奥氏体

(g) 先共析铁素体 + 珠光体 + 马氏体 + 残余奥氏体

(h) 先共析铁素体 + 珠光体

11.17 题 11.16 中的 a, c, d, f 和 h, 确定显微组份的近似的百分含量。

(a) 马氏体 + 残余奥氏体 (c) 100% 贝氏体 (d) 先共析铁素体 + 珠光体

(f) 50% 贝氏体 + 马氏体 + 残余奥氏体

11.19 全部为奥氏体的共析组成的铁-碳合金 (0.76 wt% C) 以如下的速率冷却时的产物组织: (a) 200 °C/s, (b) 100 °C/s, (c) 20 °C/s

11.19* 全部为奥氏体的共析组成的铁-碳合金 (0.76 wt% C) 以如下的速率冷却时的产物组织: (a) 200 °C/s, (b) 100 °C/s, (c) 20 °C/s

11.21 举出马氏体较变和珠光体转变之间的两个主要差别。

答: 1、珠光体转变是扩散型转变, 而马氏体转变是非扩散型转变。

2、马氏体转变速度快至达到声音。

3、珠光体转变为两相产物, 而马氏体转变为单相产物。

4、马氏体转变具有不完全性, 即总会有残余奥氏体存在。

11.21 举出碳素钢和合金钢的连续冷却转变之间的两个重要的区别。

11.27 (a) 珠光体和球状珠光体组织哪个更稳定?

(b) 为何?

答: 球状珠光体组织比珠光体稳定。因为球状珠光体组织中渗碳体呈球形, 降低了界面引起的界面能, 使之更加稳定。

11.28 简要解释为何精细珠光体比粗珠光体硬而强, 而它们又比球状珠光体硬而强。

答: 渗碳体相与铁素体相之间的界面越大, 表明硬度高的渗碳体含量增加, 界面又能阻碍

位错的运动, 也使强度提高。而界面大小顺序为精细珠光体最大, 粗珠光体次之, 球状

珠光体最小, 硬度和强度也就是这一顺序。

11.29 举出马氏体硬而脆的两个原因。

答: 马氏体的强度和硬度并非与其组织有关, 而是由于间隙碳原子阻碍了位错运动并且

BCT 结构几乎没有的滑移体系。

11.30 合金组织的抗拉强度从最高到最低顺序排列下列铁-碳合金: (a) 0.25 wt% C 球状珠光

体, (b) 0.25 wt% C 粗珠光体, (c) 0.6 wt% C 精细珠光体, (d) 0.6 wt% C 粗珠光体。证明这

一排序。

答: 0.6 wt% C 精细珠光体 > 0.6 wt% C 粗珠光体 > 0.25 wt% C 粗珠光体 > 0.25 wt% C 球状珠光体

11.31 简要解释为何回火马氏体的硬度随着回火时间 (在恒温下) 和温度 (恒定回火时间) 的提

高而下降?
答: 回火时间增加或提高温度都会促使扩散速率增加, 使得渗碳粒子的尺寸增加, 结果是铁素体-渗碳体相界面积减小, 导致其硬度下降。

11.32*

11.33 (a) 简要描述球状珠光体和回火马氏体间的组织差别?

(b) 解释为何回火马氏体的硬度和强度更高?

答: (a) 球状珠光体是具有珠光体或贝氏体组织的钢加热至共析温度之下并在此温度保温长

时间时产生的组织。因为在较高的温度下保温, 扩散速率加快, 原有的片状渗碳体变成

界面积小的球状体均匀分布在铁素体基底中。回火马氏体是对奥氏体通过淬火形成的单

相的马氏体进行加热至共析温度之下并保温一定时间, 通常温度范围为 250~650 °C 之

间, 回火后的马氏体组织是, 由极小尺寸的渗碳体粒子均匀分散在连续的铁素体基底上。

(b) 球状珠光体和回火马氏体中渗碳体形状虽然都是球状, 但回火马氏体中的渗碳体粒子

尺寸非常细小, 因此与铁素体之间的相界面积大, 使其硬度和强度高于球状珠光体

11.34 估计共析组成的铁-碳合金样品经历 11.14 题中的 b, d, f, g 和 h 的热处理之后的洛氏硬度

11.35 估计 0.45 wt % C 铁-碳合金经历 11.16 题中的 a, d 和 h 的热处理之后的样品的布氏硬度

11.37 对共析组成的钢, 要求产生具有如下洛氏硬度: (a) 93 HRB, (b) 40 HRB, 和 (c) 27 HRC

, 描述样品所需要经历的热处理过程。

11.38 纯铜和纯银的室温抗拉强度各为 209MPa 和 125MPa。(a) 在纯铜和纯银的所有组成间画室温抗拉强度对组成的简图, (b) 在此图上画出在 600 °C 上的抗拉强度对组成的示意图 (c) 解释上述两个曲线的形状和它们之间的所有区别。

11.39 比较沉淀硬化 (11.10 和 11.11) 和钢通过淬火和回火硬化的

(a) 总的热处理过程, (b) 所呈现的组织 (c) 在几个热处理步骤中力学性质如何改变?

11.40 自然老化和人工老化过程之间的本质区别是什么?

11.44 聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯, PET 聚酯, 聚碳酸酯中指出适合制作可盛热咖啡杯子的聚合物。为什么?

11.45 表 11.1 中所列出的聚合物中, 哪种聚合物最适合用来作为小方冰块盘? 为何?