

西南交通大学 2005 年硕士研究生招生入学考试试题

一、解释下列名词（每题 3 分，共 24 分）

1、共析转变

由一个固相同时析出成分和晶体结构均不相同的两个新固相的过程称为共析转变

2、二级相变

从相变热力学上讲，相变前后两相的自由能（焓）相等，自由能（焓）的一阶偏导数相等，但二阶偏导数不等的相变称为二级相变，如磁性转变，有序 - 无序转变，常导 - 超导转变等。

3、上坡扩散

原子从低浓度向高浓度处的扩散，扩散的驱动力是化学位梯度。

4、螺型位错

位错线附近的原子按螺旋形排列的位错称为螺型位错。

5、热弹性马氏体相变

当马氏体相变的形状变化是通过弹性变形来协调时，称为热弹性马氏体相变。

6、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的过冷。

7、伪共晶

非平衡凝固条件下，某些亚共晶或过共晶成分的合金也能得到全部的共晶组织，这种由非共晶成分的合金得到的共晶组织称为伪共晶。

8、共格相界

如果两相界面上的所有原子均成一一对应的完全匹配关系，即界面上的原子同时处于两相晶格的结点上，为相邻两晶体所共有，这种相界就称为共格相界。

二、画出下列材料的组织示意图并在途中标出各种组织的名称。（每小题 2 分，共 12 分）

1、共析钢的平衡组织

2、灰口铸铁（未腐蚀）

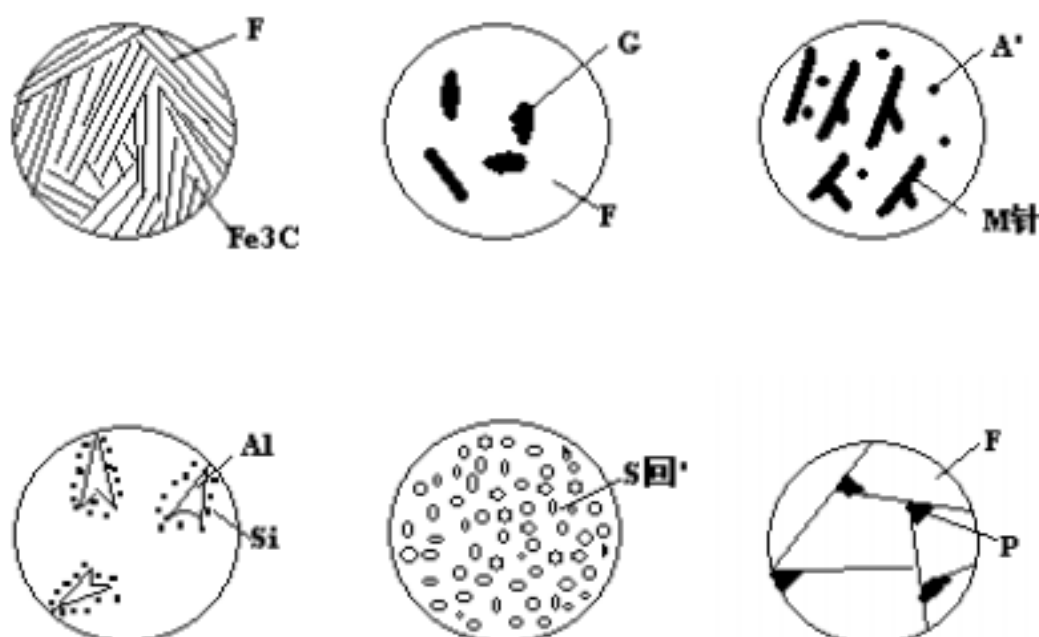
3、T12 钢的淬火 + 低温回火组织

4、铝硅共晶组织

5、45#钢淬火 + 高温回火组织

6、45#钢的平衡组织

答：如图所示。



三、公式题（每小题 6 分，共 18 分）

1、写出螺型位错的应力场，并说明每个物理量的物理含义。

答：

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} &= \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = 0 \\ \sigma_{xy} &= \sigma_{yz} = 0 \\ \sigma_{xz} &= \sigma_{zx} = -\frac{Gb}{2} \frac{y}{x^2 + y^2} \quad \sigma_{yz} = \sigma_{zy} = \frac{Gb}{2} \frac{x}{x^2 + y^2} \end{aligned}$$

式中， σ 为正应力， τ 为切（剪）应力， b 为柏氏矢量。

2、写出扩散第二定律，说明每个物理量的含义和量纲单位。

答：菲克第二定律（一维）

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

式中， C 为浓度（ g/cm^3 ）； D 为扩散系数（ cm^2/s ）； t 为时间（ s ）； x 为距离（ cm ）。

3、写出杂质原子晶界偏聚公式，说明每个物理量的物理含义。

答：晶界偏聚公式

$$C_{gb} = C_0 \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) = C_0 \exp \left(-\frac{Q}{RT} \right)$$

式中， C_{gb} 、 C_0 分别为晶界浓度和晶粒中心浓度，两者同单位即可，可以使用质量百分比浓度或体积浓度； E 为交互作用能（ eV ）； Q 为 mole 交互作用能（ J ），由于偏聚引起晶界能的变化； R 为气体常数（ J/K ）； k 为玻尔兹曼常数（ eV/K ）； T 为绝对温度（ K ）。

四、简答题（96 分）

1、请详细分析 45#钢从高温液态缓慢冷却到室温的相变和组织转变过程，并回答下列问题：（共 22 分）

- （1）画出 Fe-Fe₃C 相图。
- （2）画出整个转变过程的温度与时间关系曲线（即冷却曲线）。
- （3）写出整个转变过程中的相转变过程。
- （4）画出转变过程中的组织转变示意图并在图中标明组织名称。
- （5）运用杠杆定律，计算在共析转变之前钢种铁素体和奥氏体的相对含量。
- （6）不考虑三次渗碳体的析出，计算室温下各种相的相对量和组织的相对量。

解：（1）如图 a 所示。

（2）如图 b 所示。

（3）L → L+A → A → A+F → A+F+P → F+P

45 钢在液态到室温的冷却过程中将发生以下转变：匀晶转变 L → L+A，并全部转变为 A，然后发生同素异晶转变 A → F+A，在 727℃ 发生共析转变 A → P（F+Fe₃C）。

（4）如图 c 所示。

（5）共析反应前

$$= \frac{6.69 - 0.77}{6.69} \times 100\% = 88.49\%$$

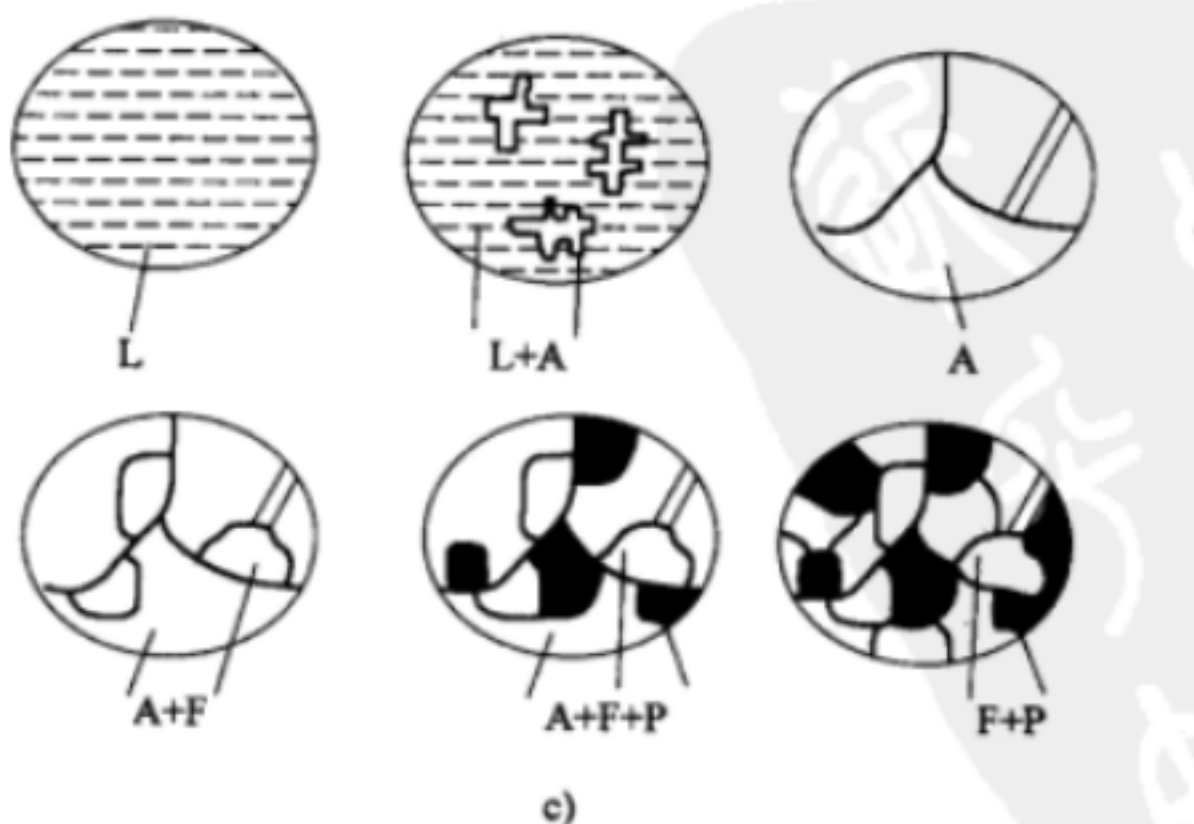
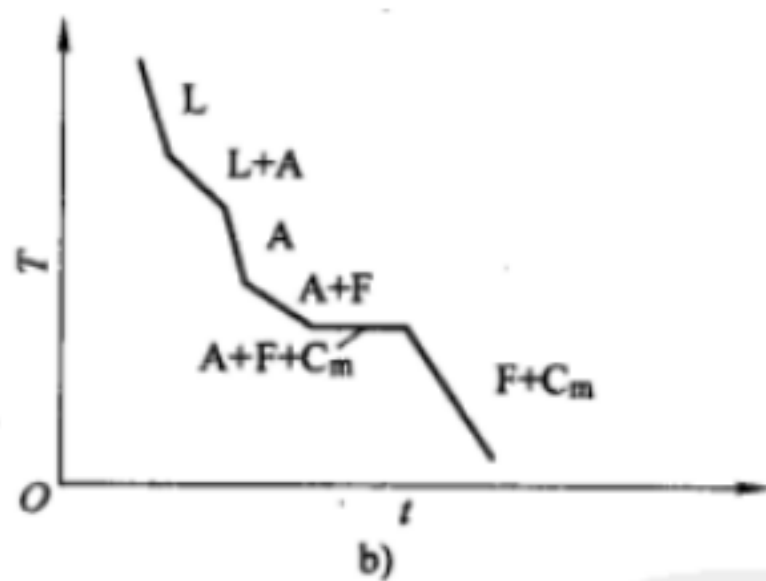
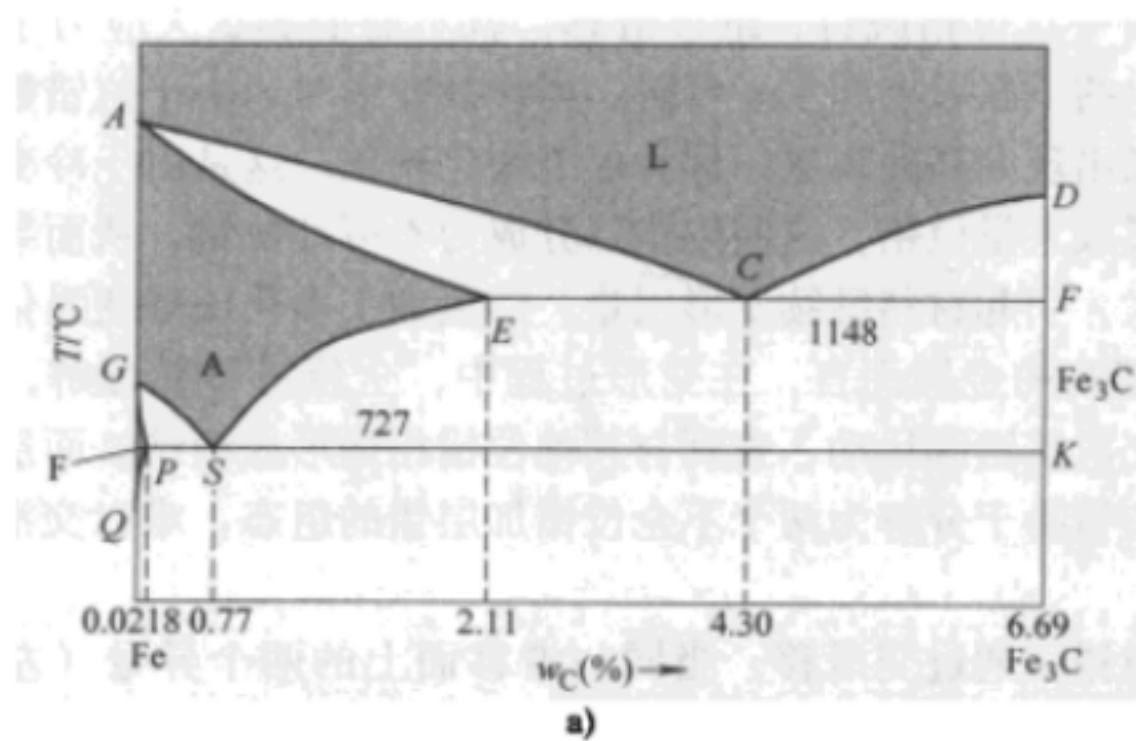
$$= 1 - 88.49\% = 11.51\%$$

（6）室温下 45 钢的组织为：铁素体 F（ $w_c = 0.0218\%$ ）+珠光体 P（F+Fe₃C）（ $w_c = 0.77\%$ ）。

根据杠杆定律计算可得

$$Q = \frac{0.77 - 0.45}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 42.77\%$$

$$Q_P = \frac{0.45 - 0.0218}{0.77 - 0.0218} \times 100\% = 57.23\%$$



a) Fe-Fe₃C 相图 b) 35 钢的平衡冷却曲线 c) 35 钢平衡冷却时的组织转变过程

2、推导从液体中均匀形核析出单相球形固体的临界形核功和临界形核半径的表达式。(球体的表面积为 $4\pi r^2$)

球体的体积为 $\frac{4}{3}\pi r^3$)(8 分)

解：晶胚为球形，半径为 r ，则

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad A = 4 \pi r^2$$

当过冷液体中出现一个晶胚时，总的自由能变化 ΔG 应为

$$\Delta G = V \Delta G_V + A \Delta G_A$$

$$\Delta G = \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta G_V + 4 \pi r^2 \Delta G_A \quad (1)$$

$$\text{令 } \frac{d\Delta G}{dr} = 0, \text{ 可求得 } r^* = - \frac{2 \Delta G_A}{\Delta G_V}$$

将 r^* 代入式 (1) 可求得

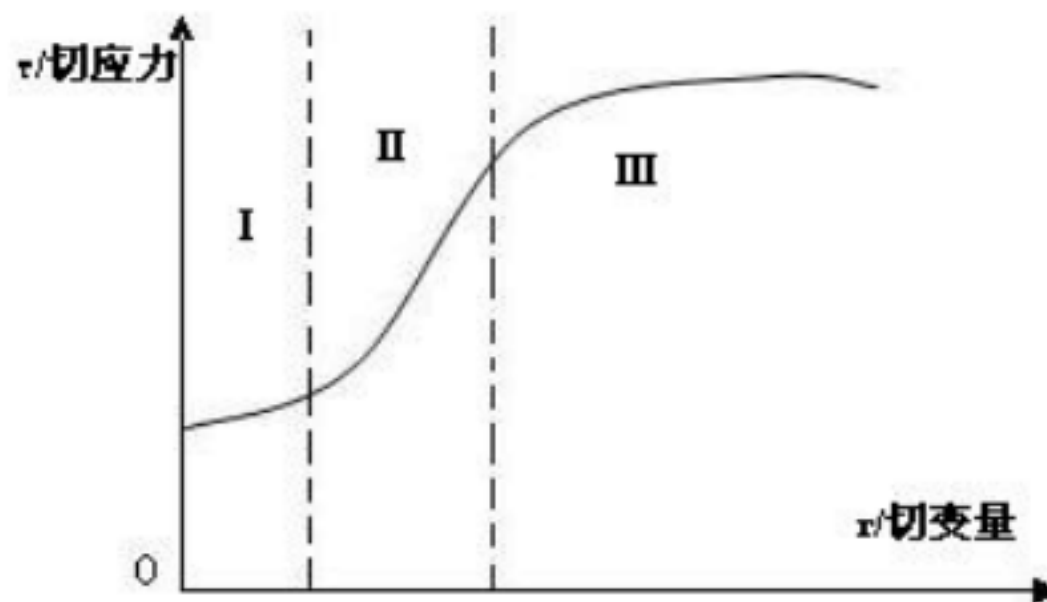
$$\Delta G^* = \frac{16 \pi \Delta G_A^3}{3 (\Delta G_V)^2}$$

3、请用位错理论解释：（1）多晶体的加工硬化过程。（2）第二相的弥散强化机理。（8分）

答：（1）加工硬化过程：因为晶体在塑性变形过程中位错密度不断增加，使弹性应力场不断增大，位错间的交互作用不断增强，因而位错的运动越来越困难。主要有：位错的塞积，位错的交割，位错的反应，易开动的位错源不断消耗等。

（2）第二相的弥散强化机理：当第二相以细小弥散的微粒均匀分布于基体相中时，将会产生显著的强化作用。这种强化作用称为第二相强化。第二相强化的主要原因是它们与位错间的交互作用，阻碍了位错运动，提高了合金的变形抗力。

4、画出面心立方晶体的应力-应变曲线，并对曲线的各个阶段用位错理论作出合理的解释。（8分）



答：第一阶段是易滑移阶段，多系滑移在这个阶段，当某一滑移系中的分切应力先达到临界值时，就先进行滑移，随着晶面的转动，该晶面就变成硬取向滑移难以进行。而其他晶面通过转动达到其临界分切应力时，又开始滑移，所以在较低的切应力下就可以得到较大的切变量。

第二阶段：由于位错密度急剧增大，变形由于位错的相互作用，如交割，塞积等而难以进行，导致硬化，这个阶段且变量随切应力增加成非线性变化。

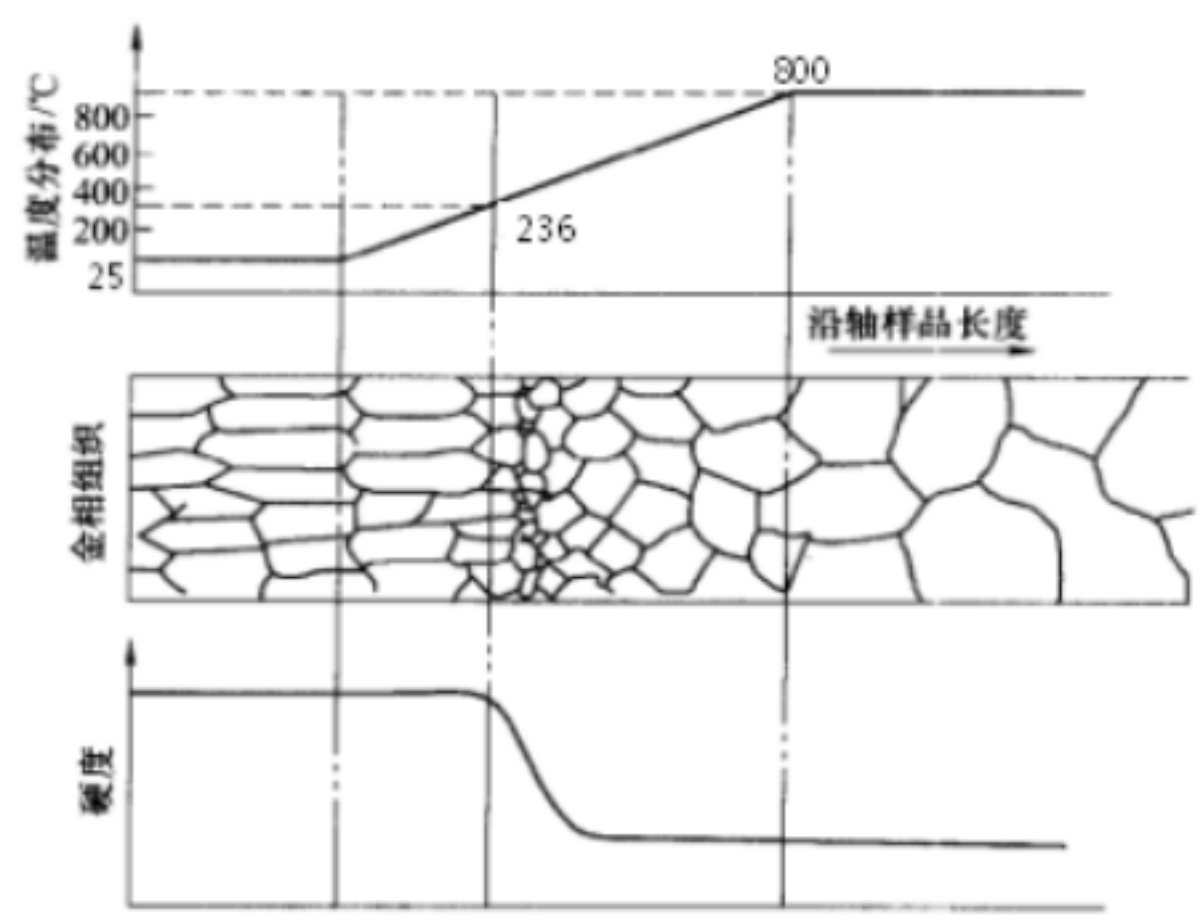
第三阶段：由于位错（刃型的攀移）（螺型位错交滑移）相互抵消，应力松弛，变形容易进行，使位错密度减小，得切应力随切变量成类似抛物线变化。

5、根据刃型位错滑移和晶体塑性变形之间的关系，说明位错线运动方向、晶体滑移方向、柏氏矢量方向、位错线方向之间的相互关系。（8分）

答：纯刃型位错：柏氏矢量与位错线方向垂直，与位错线运动方向平行，与晶体滑移方向平行。

6、将一纯金属棒进行强烈塑性变形（变性量为 70%），然后一端放在水中（室温 25 ），另一端放在一热处理炉中，炉温为 800 ，假定该金属的熔点为 1000 ，当金属棒的温度分布达到平衡后， 请画出从低温端到高温端的硬度分布曲线示意图，并画出各段的光学显微组织。（ 10 分）

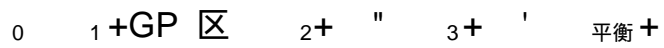
解：考虑金属为纯金属，对于大变形的工业纯金属可以用 $0.4T_m$ （或 $0.35T_m$ ）估算再结晶温度。题目已知 $T_m=1000\text{ }=1273\text{K}$ ，所以 $T_r=0.4T_m=509\text{K}\text{ }236\text{ }。$



7、在一个立方晶胞内，画出立方晶系的 [100] 、 [112] 、 [1-23] 、 [110] 晶向和 (011) (10-1)、 (11-1)、 (123) 晶面。（ 8 分）

8、简单说明铝 -4.5% 铜合金的时效过程。（ 8 分）

答：铝合金淬火后得到过饱和固溶体，之后加热保温，固溶体内会依次析出 GP 区， "， ' 相。 GP 区的形成会使材料的硬度增加（第一个时效峰），长时间时效， GP 区溶解，硬度下降。 " 的形成使得硬度继续增加（第二个时效峰）。当 " 全部溶解转化为 ' 和 ' 转化为 后，硬度开始下降。



其中， 平衡、 为平衡相； GP 区、 "、 ' 为亚稳相。

9、简单说明马氏体相变的基本特征。（ 8 分）

答：马氏体相变的基本特征表现为（主要为前两点）：

（ 1 ）无扩散性。马氏体相变时无需原子的扩散，没有原子的混合与再混合过程。新相 M 与母相 A 的化学成分完全相同。

（ 2 ）切变性。具体体现为：

相变的协调一致性： A M（ FCC BCC）。通过原子的整体协调运动（切变），晶体结构从 FCC 变成 BCC。原子的移动距离小于原子间距。

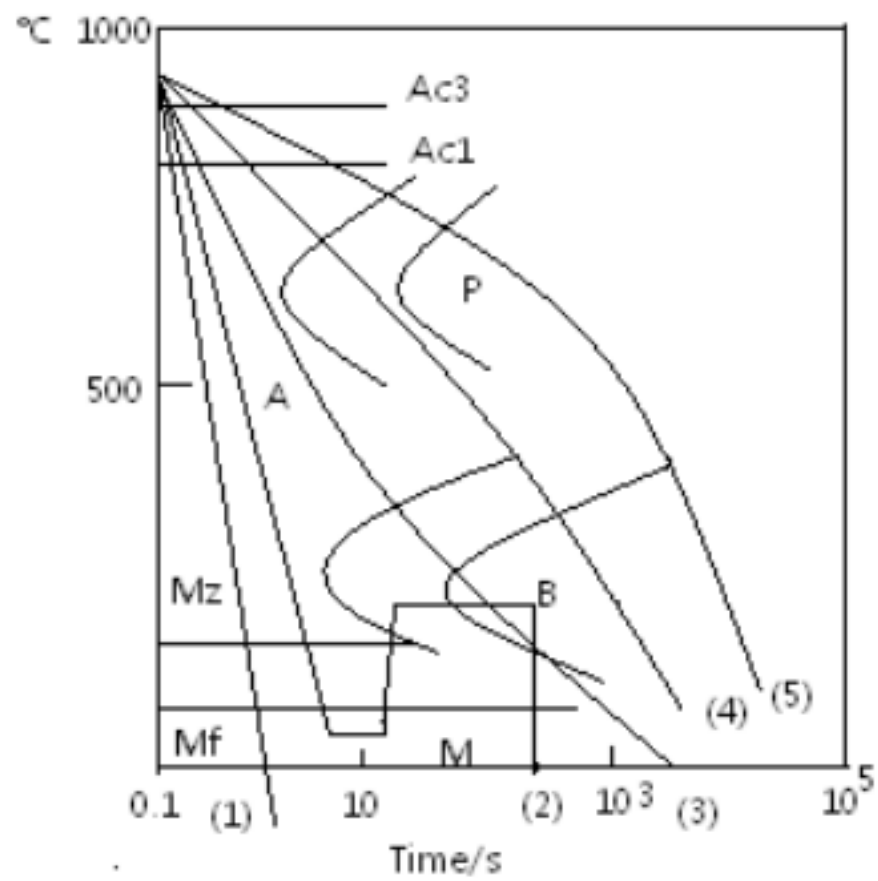
表面浮凸效应。在经过抛光的表面，若发生马氏体转变，在切变时，将产生表面浮凸效应。这是由于点阵形变在转变区域中产生形状改变。

惯习面。M 总是在母相的特定晶面上析出，伴随着 M 相变的切变，一般与此晶面平行，此晶面为基体与 M 相所共有，称为惯习面。

新相与母相之间存在确定晶体学位向关系。两种著名的取向关系（钢的 M 转变），即 K-S 关系和西山关系。实际材料的马氏体转变，一般与上述关系存在几度的偏差。

- (3) 马氏体相变时伴随有点阵畸变。
- (4) 马氏体转变存在开始温度 M_s 和终了温度 M_f (或 M_z)。

10、根据图示所给出的某合金钢的 TTT 曲线，写出图中所示五种不同冷却工艺所得到的最终组织名称， 并比较这五种样品的硬度大小。（ 10 分）



- 答：(1) 马氏体 +残留奥氏体， $M+A'$ 。
- (2) 回火屈氏体， $T_{回}$ 。
- (3) 上贝氏体 +下贝氏体， $B_{上}+B_{下}$ 。
- (4) 索氏体 +上贝氏体， $S+B_{上}$ 。
- (5) 铁素体 +珠光体， $F+P$ 。
- 硬度升高顺序： (5) < (4) < (3) < (2) < (1)