



山东交通学院

合金相图

主讲教师：吕文香

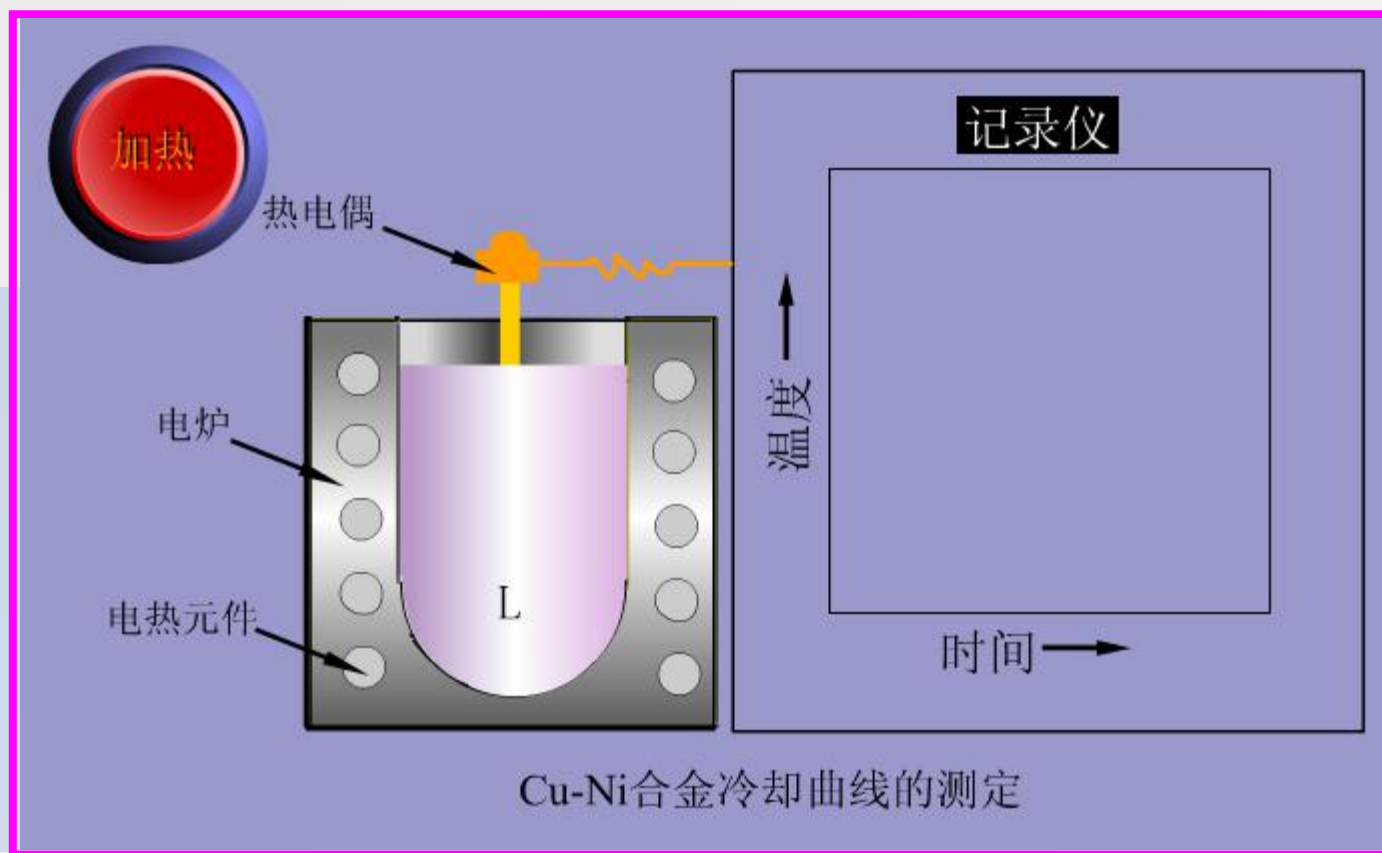
轮机
工程材料

☑ 合金相图

- 相图是用来表示合金系中合金的组织与温度、成分之间关系的图解，也是表示合金系在不同的温度、成分时，合金中各相的状态，所以相图又称**状态图**。
- 由于合金的相变化过程是在及其缓慢的冷却条件下完成的，故相图还称**平衡图**。

☑ 二元相图的建立

□ 几乎所有的相图都是通过实验得到的，最常用的是**热分析法**。



☑ 二元合金相图的建立

- 二元合金相图是利用合金在相变过程中发生的物理、化学性能变化，通过实验测定出各相存在温度和成分界线而绘制出的。普遍采用热分析法，配以金相分析和硬度测定等。
- 有匀晶相图、共晶相图、共析相图和包晶相图。

☑ 二元合金相图的建立

- 二元合金相图的纵坐标表示温度，横坐标表示成分。横坐标两端点分别表示两个纯组元，其它任何一点表示一种合金的成分，即合金中二组元的质量百分比。

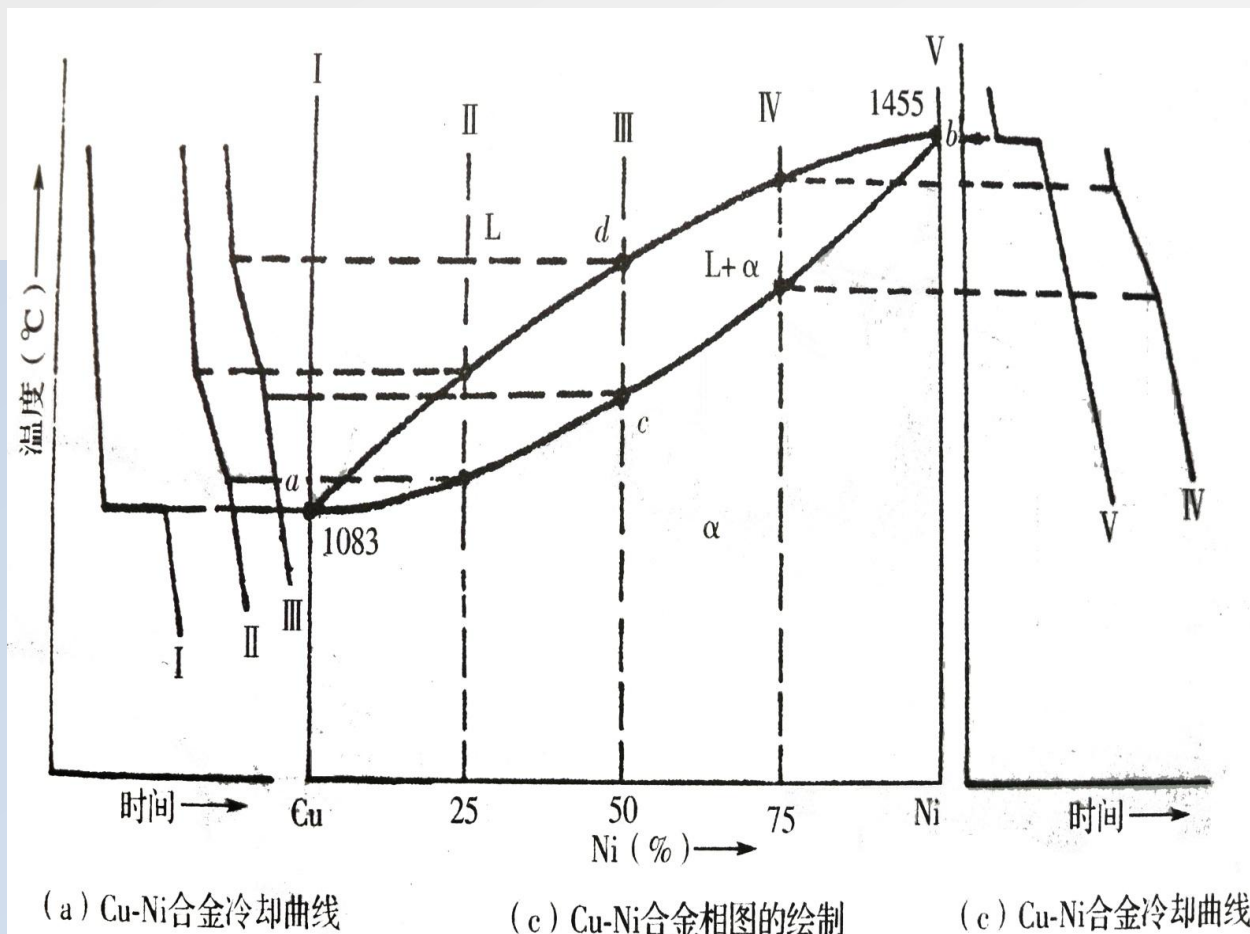


图6-2 Cu-Ni合金相图的建立示意图

☑ 铜镍二元合金相图

配制不同成分的Cu-Ni二元合金：

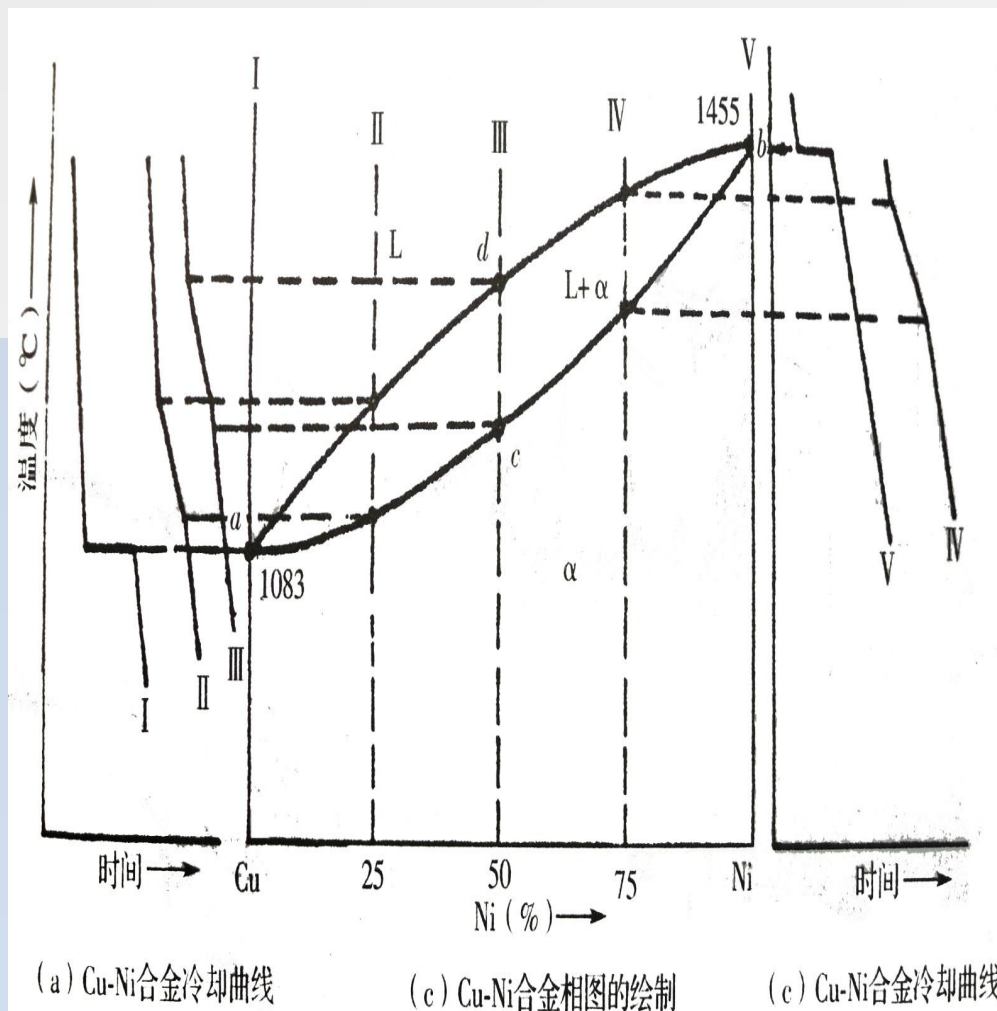
合金 I：纯铜，100%Cu

合金 II：75%Cu+25%Ni

合金 III：50%Cu+50%Ni

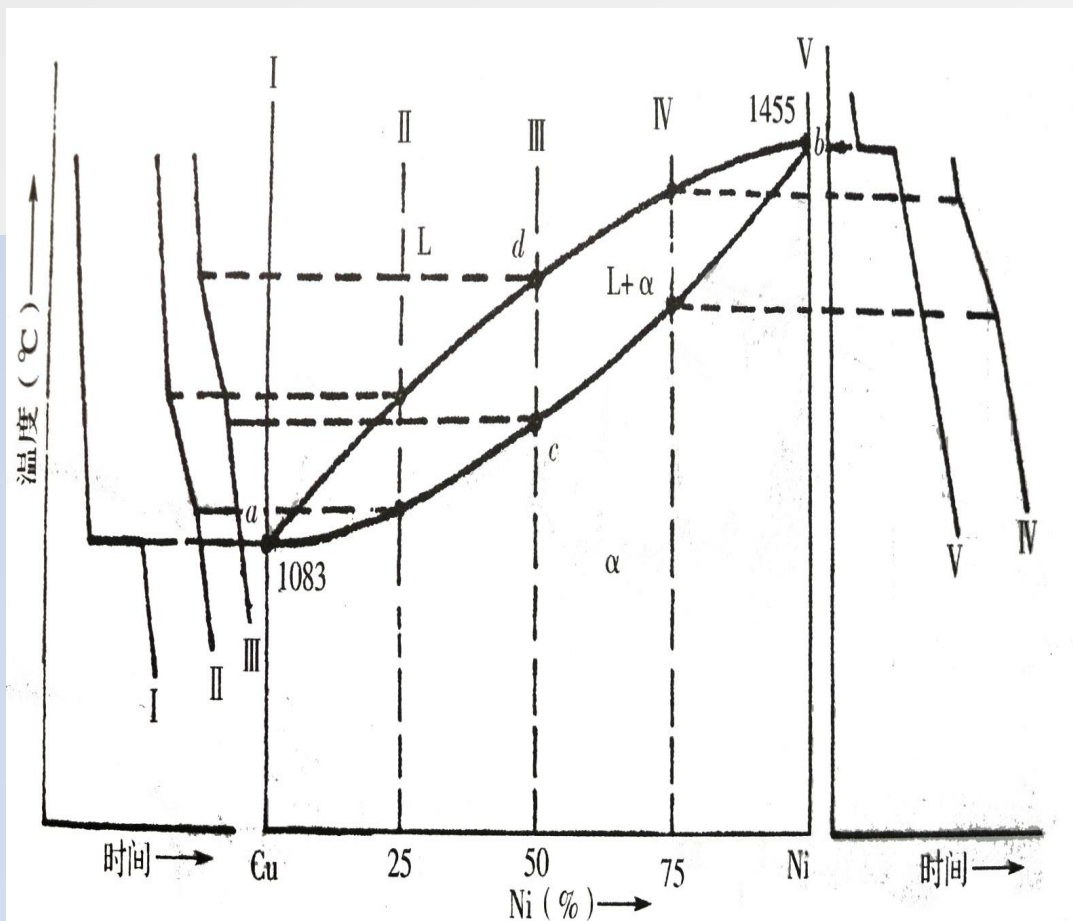
合金 IV：25%Cu+75%Ni

合金 V：纯镍，100%Ni



☑ 铜镍二元合金相图

- ❑ 溶化各种合金并作出冷却曲线，确定各冷却曲线上的临界点（即相变点的温度）。
- ❑ 在温度—成分坐标系中标出各种合金的临界点，如a、d、c、b点。
- ❑ 连接坐标系中相同意义的点a、b、d和a、c、b，即获Cu—Ni合金相图。



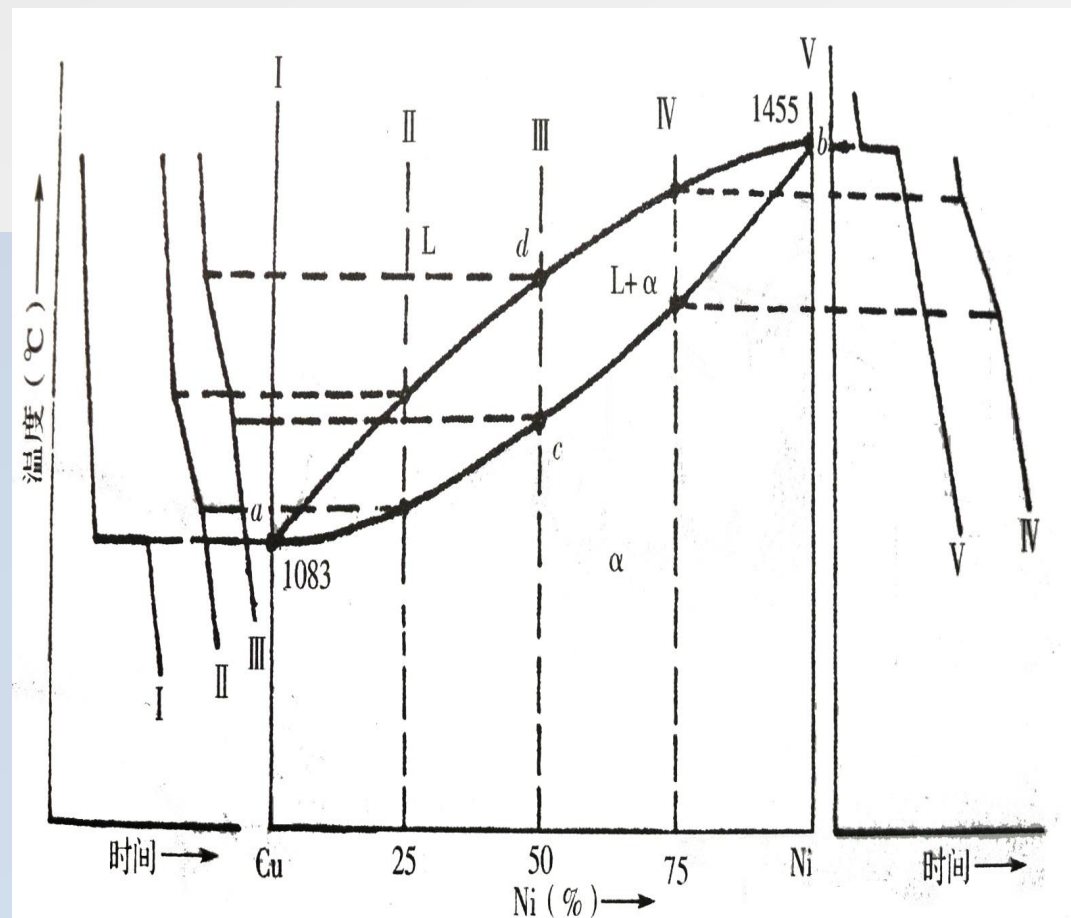
(a) Cu-Ni合金冷却曲线

(c) Cu-Ni合金相图的绘制

(c) Cu-Ni合金冷却曲线

☑ 铜镍二元合金相图

- 从Cu—Ni合金相图上也可看出：
- 纯铜和纯镍只有一个临界点，表明纯金属是在恒温下结晶。其它合金均具有两个临界点，表明合金是在一个温度范围内进行结晶。
- 二元合金相图随组元的变化种类很多，但都是由基本的相图组成。常见的基本二元合金相图。



(a) Cu-Ni合金冷却曲线

(c) Cu-Ni合金相图的绘制

(c) Cu-Ni合金冷却曲线



山东交通学院

匀晶相图

主讲教师：吕文香

轮机
工程材料

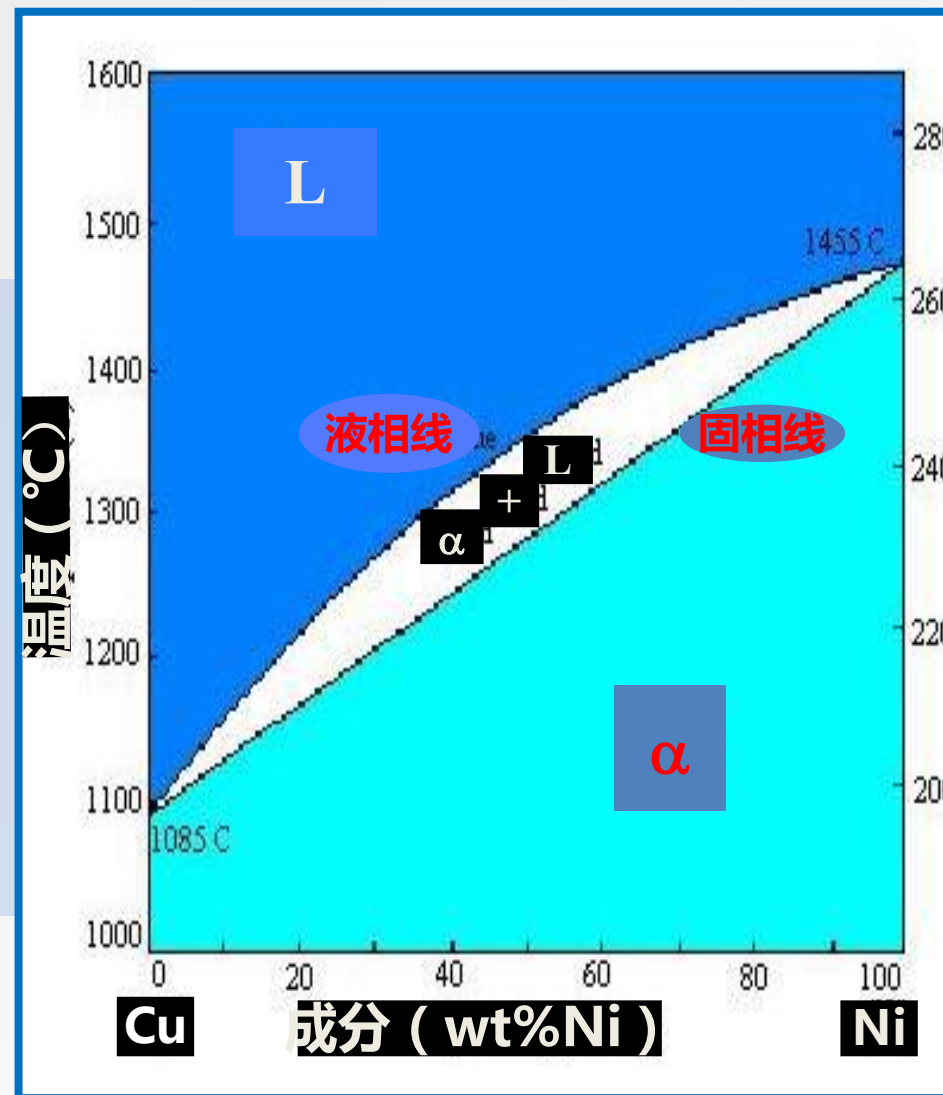
匀晶相图



山东交通学院

☑ 匀晶相图

□ 匀晶相图：二元合金系中的二组元在液态和固态时均能无限互溶、结晶时发生匀晶转变所形成的相图，称为匀晶相图。如Cu-Ni，Au-Ag，Fe-Cr等均具有这种相图。

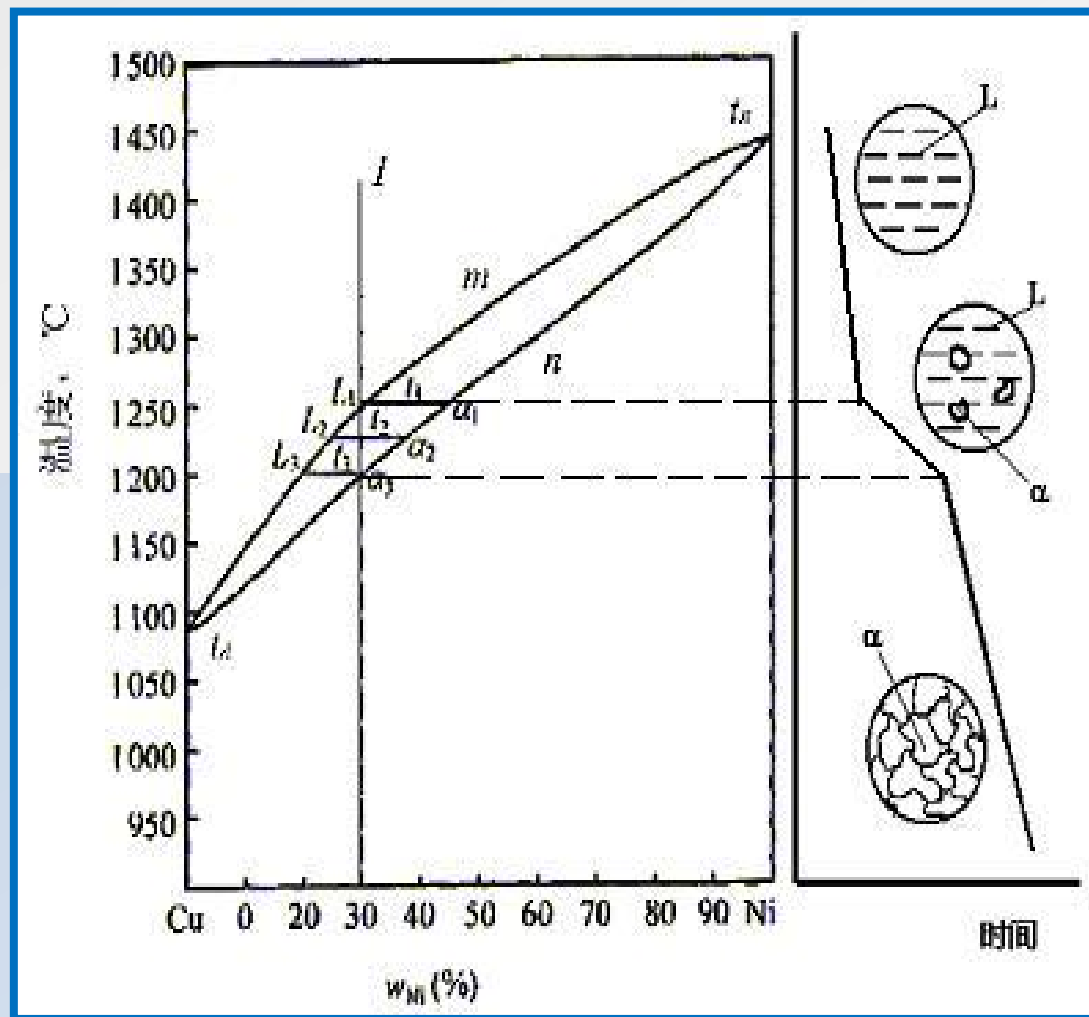


☑ 匀晶反应

- **匀晶反应：**合金二组元在液、固态下无限互溶，冷却时在一定温度范围内不断自液相中结晶出单一固溶体的过程，称为匀晶转变或匀晶反应。
- 在元素周期表中位置相近、晶格类型相同、晶格常数接近的二组元才能完成匀晶转变，构成匀晶相图。

☑ 匀晶相图

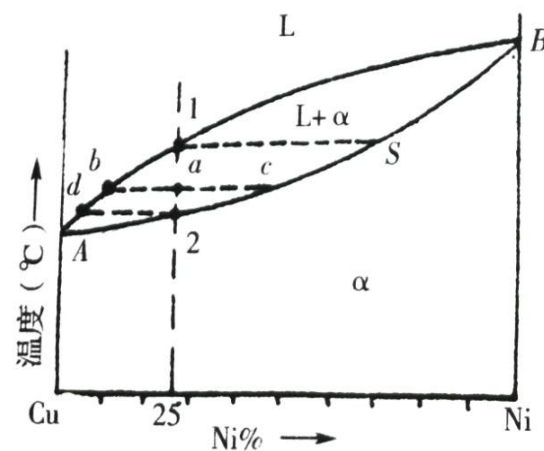
□ 从液相中结晶出单一固相的转变称为匀晶转变或匀晶反应。



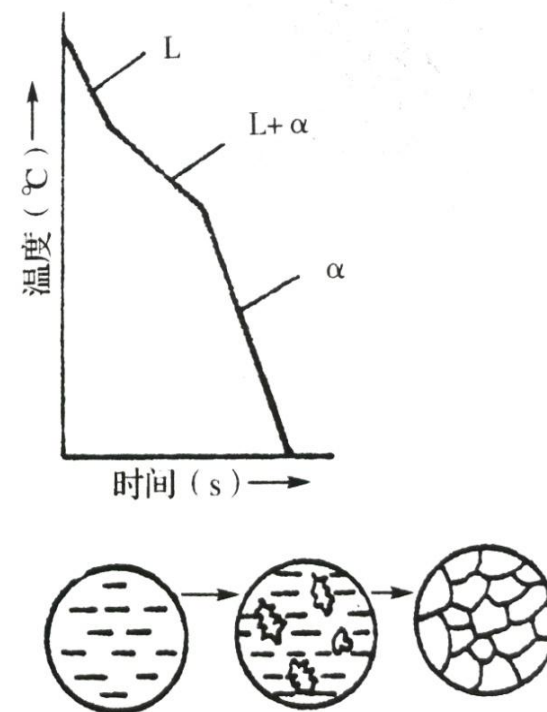
Cu-Ni 合金相图及结晶过程示意图

☑ 相图分析

□ 以Cu—Ni合金相图为例



(a) Cu-Ni合金相图;

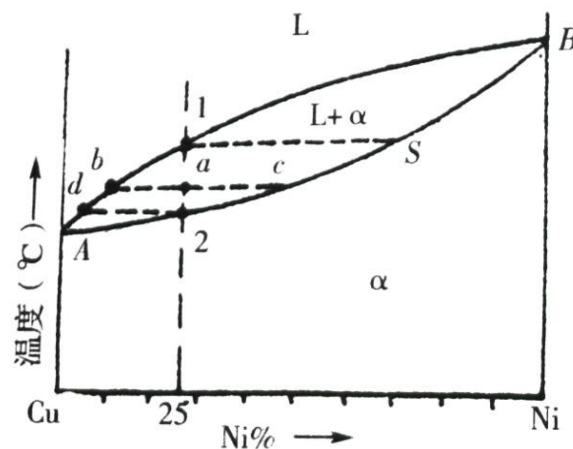


(b) 冷却曲线及组织转变

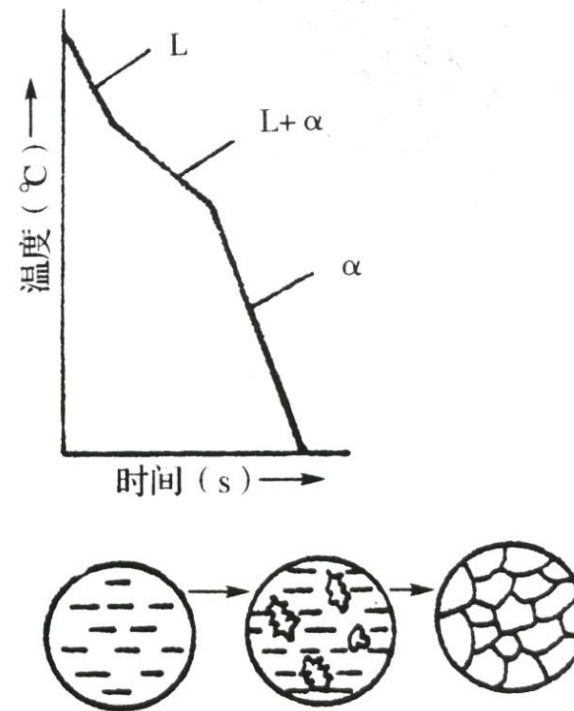
图6-3 Cu-Ni合金相图及结晶过程示意图

合金的结晶过程

以Cu—Ni合金相图为例



(a) Cu-Ni合金相图;

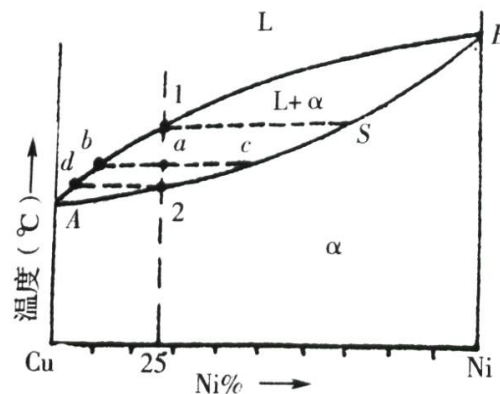


(b) 冷却曲线及组织转变

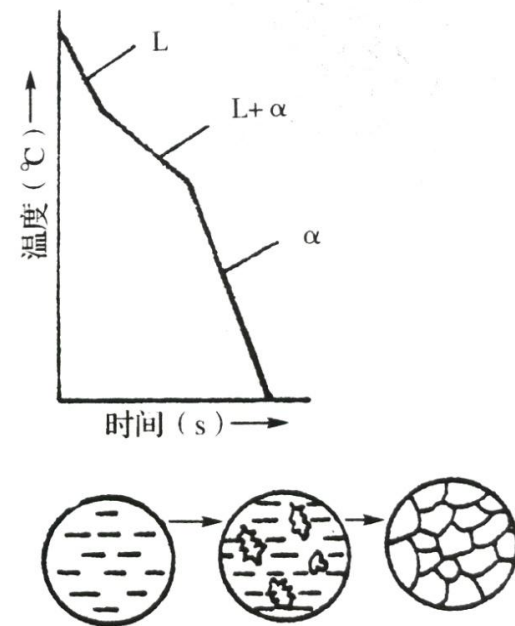
图6-3 Cu-Ni合金相图及结晶过程示意图

合金的结晶过程

- 以25%Ni-75%Cu合金为例分析结晶过程。
- 合金自液态冷至1点开始结晶出 α 固溶体，随着温度不断降低， α 固溶体不断增多，液相L不断减少。到2点时，液态合金全部结晶为 α 固溶体。
- 结晶过程： $L \rightarrow L + \alpha \rightarrow \alpha$ 。



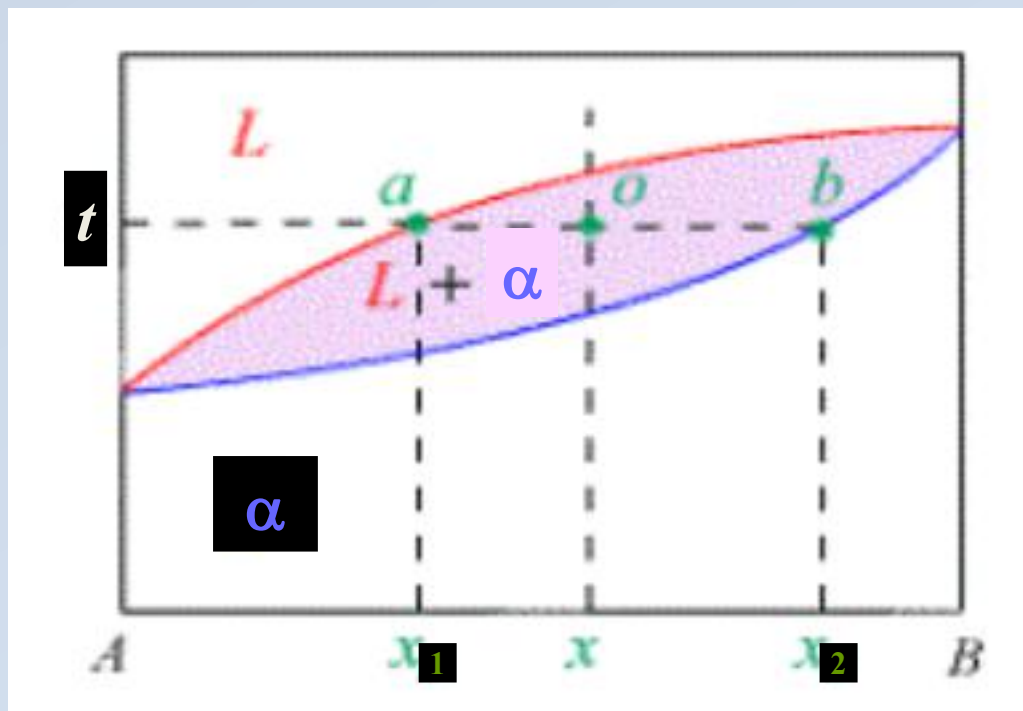
(a) Cu-Ni合金相图；



(b) 冷却曲线及组织转变

☑ 杠杆定理

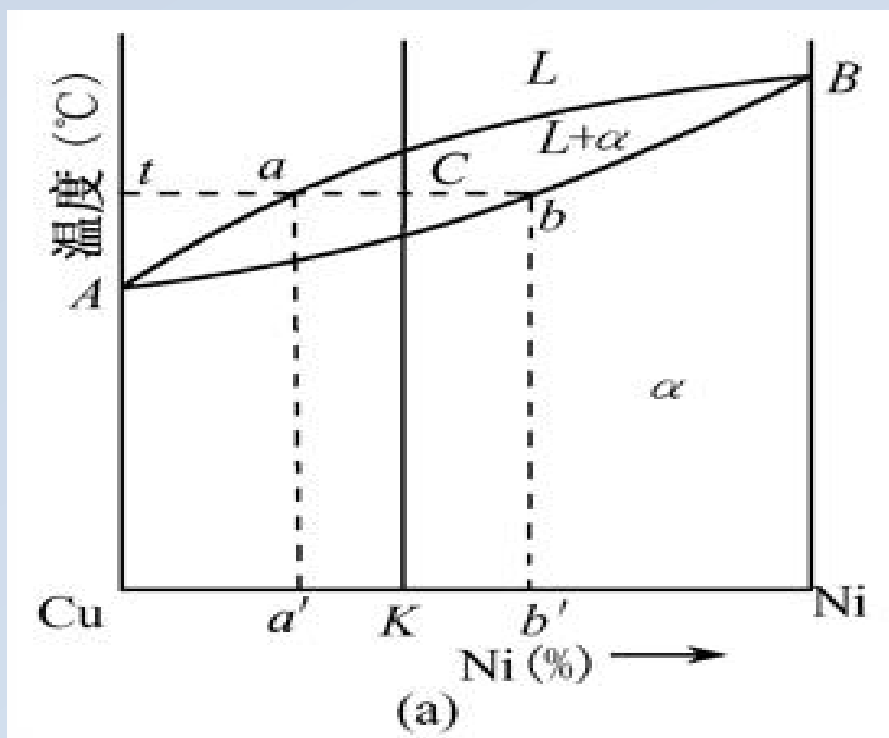
- **杠杆定理：**是用来确定二元合金相图的两相区中相的成分及其相对量的。
- 因为在两相区中，相的成分和相对量是随温度变化，而单相区（液、固相）的成分在任何温度都与合金的成分相同。



☑ 杠杆定理

□ 确定相的成分：

- 在两相区，温度一定则相的成分（含Ni量）确定。如图示，合金K在温度 t 时的两相为 $L + \alpha$ 。通过K作一垂线，通过 t 作一水平线，分别与液、固相线交与 a 、 b 点。 a 、 b 横坐标上的投影 a' 、 b' 分别为液相 L 和固相 α 的成分。



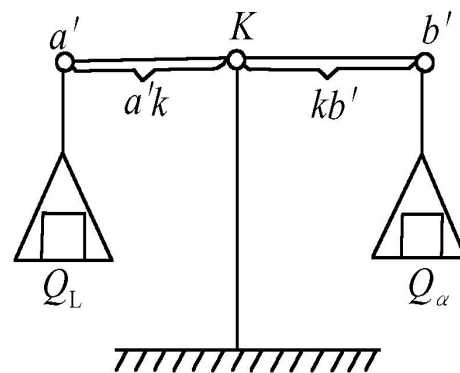
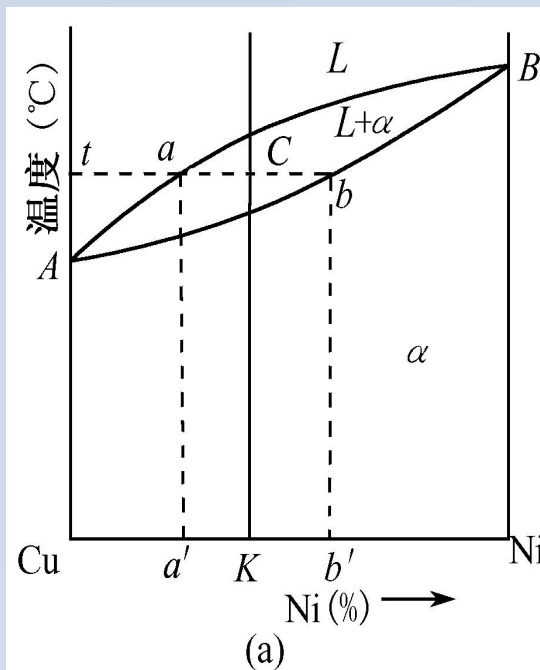
☑ 杠杆定理

□ 确定相对量:

- 假定合金总量为1, 其中液相重量为 Q_L , 固相重量为 Q_α 。由(1)知, 液相L含Ni量为 a' , 固相含Ni量为 b' , 合金的含Ni量为 K , 所以可得以下两式:

- $Q_L + Q_\alpha = 1$

- $Q_L \cdot a' + Q_\alpha \cdot b' = 1 \cdot K$



☑ 杠杆定理

解此二式得：

$$Q_{\alpha} = \frac{K - a'}{b' - a'} \quad Q_L = \frac{b' - K}{b' - a'}$$

因 $K - a' = a' K = ac$ 、 $b' - a' = a' b' = ab$ 、 $b' - K = Kb' = cb$ ，分别代入上式得：

$$Q_{\alpha} = \frac{a' K}{a' b'} = \frac{ac}{ab} \quad Q_L = \frac{K b'}{a' b'} = \frac{cb}{ab} \quad \frac{Q_L}{Q_{\alpha}} = \frac{a' K}{K b'} = \frac{ac}{cb}$$

依此式可计算出两相区液相和固相的**相对重量**：

$$Q_L = \frac{cb}{ab} \times 100\% \quad Q_{\alpha} = \frac{ac}{ab} \times 100\%$$

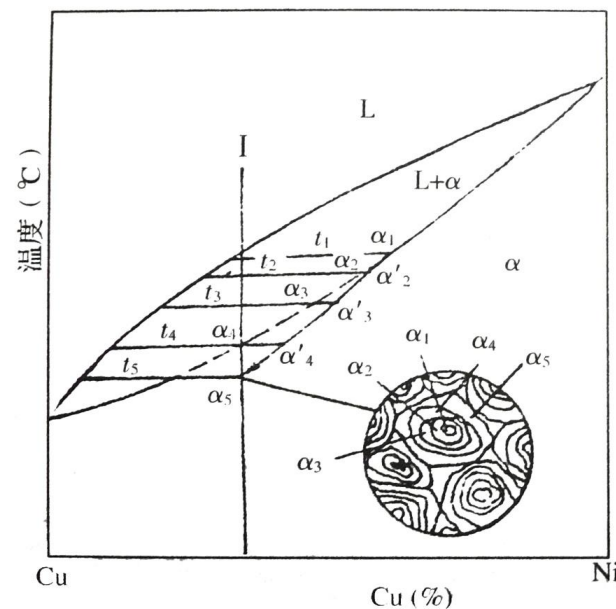
以上两相区的相对量关系与力学中的**杠杆定理相似**，故称**杠杆定理**。

☑ 固溶体合金中的缺陷

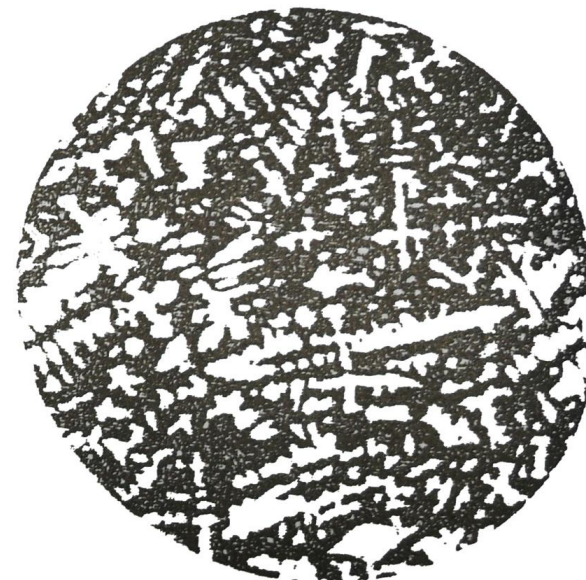
- ❑ 枝晶偏析：固溶体在结晶过程中，只有在非常缓慢的冷却速度下原子才得以充分地扩散，才能获得成分均匀的固溶体。
- ❑ 实际生产中，冷却速度较快，原子不能充分扩散，所获得固溶体的化学成分不均匀，即先结晶的枝晶主干含有较多高熔点组元，而后结晶的枝晶枝干含有较多低熔点组元。这种在一个晶粒内产生的化学成分不均匀的现象，称为枝晶偏析或晶内偏析。

☑ 固溶体合金中的缺陷

枝晶偏析使合金的机械性能下降，抗蚀性降低。生产上采用扩散退火，即使铸件加热至固相线以下 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，长时间保温，使原子充分扩散，成分均匀，从而消除偏析。



(a) 固溶体合金不平衡结晶示意图



(b) Cu-Ni合金铸态组织中的枝晶偏析

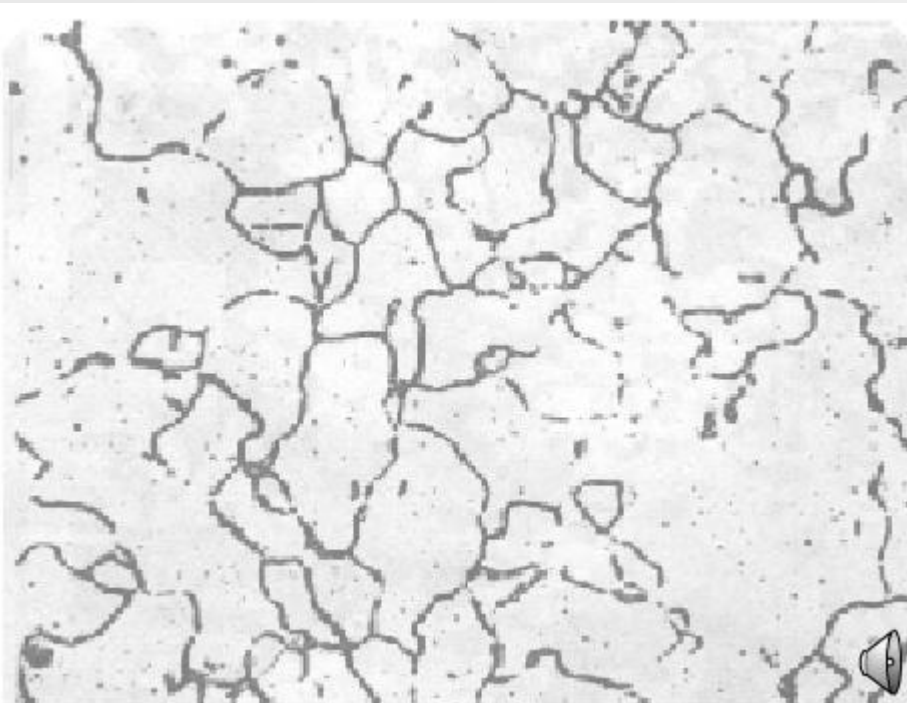
图 6-5 Cu-Ni 合金的枝晶偏析

匀晶相图—枝晶偏析

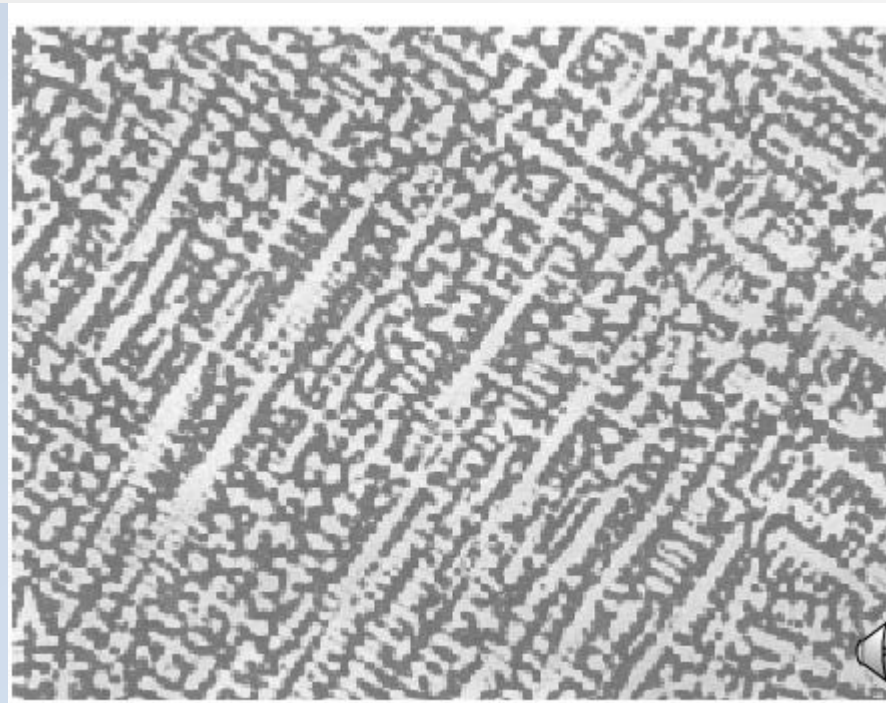


山东交通学院

☑ Cu-Ni合金的平衡组织与枝晶偏析组织



平衡组织



枝晶偏析组织



| 山东交通学院

谢 谢 观 看

Thanks for watching!

轮机
工程材料