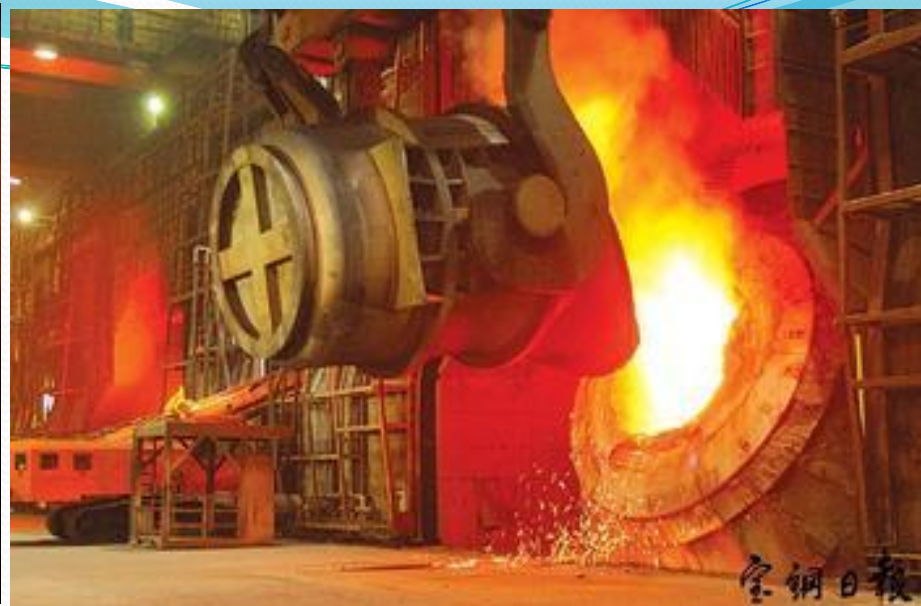


第三章 金属与合金的结晶

◆第一节 纯金属的结晶

◆第二节 合金的结晶

第一节 纯金属的结晶



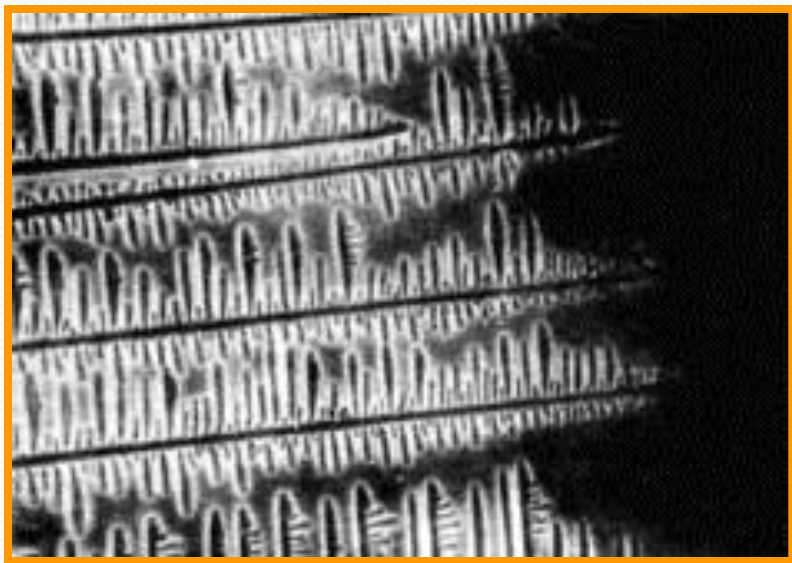
熔炼和铸造



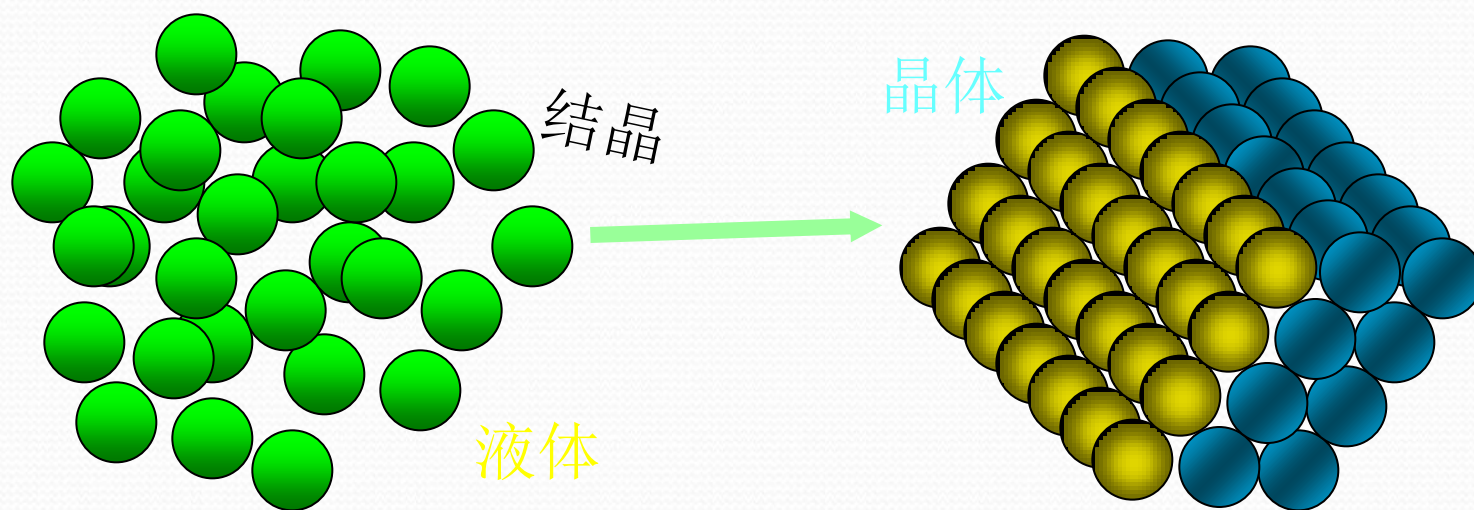
材料的凝固分为两种类型：

一种形成晶体，称为**结晶**。结晶过程是相变过程。有一个固定的结晶温度。

另一种是形成非晶体，非晶材料在凝固过程中是**逐渐变硬的**。



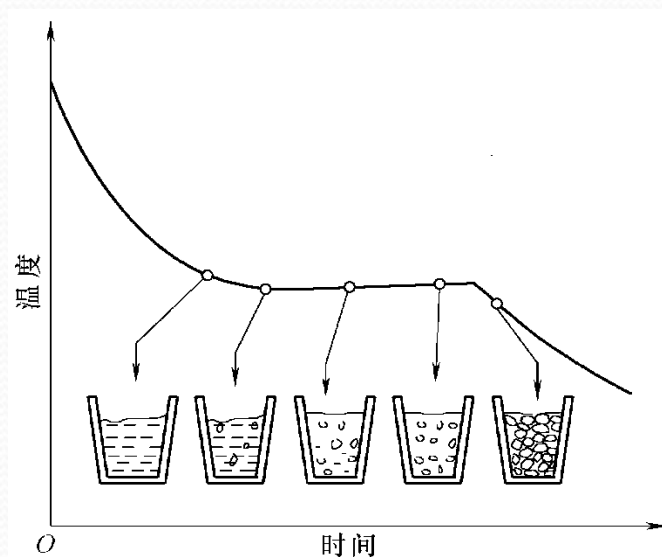
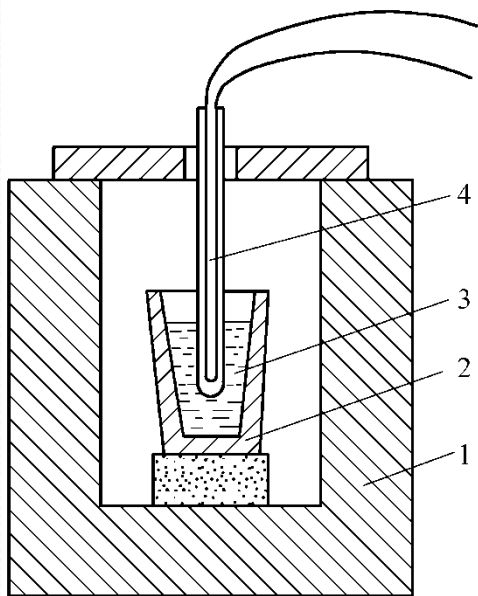
◆ 金属与合金自液态冷却转变为固态的过程，是原子由不规则排列的液体状态逐步过渡到原子作规则排列的晶体状态的过程，这一过程称为**结晶**过程。



1.1 纯金属的冷却曲线和过冷现象

纯金属的结晶温度可用**热分析**等实验方法来测定——结晶过程的实验验证。

将纯金属加热熔化成液体，然后让液态金属缓慢冷却下来，在冷却过程中，每隔一定时间测量一次温度，然后将记录下来的数据绘制在温度—时间坐标中。



◆ 结晶是一个等温相变过程

◆ 纯金属液体在无限缓慢的冷却条件下（即平衡条件下）结晶的温度，称为理论结晶温度 T_0 。

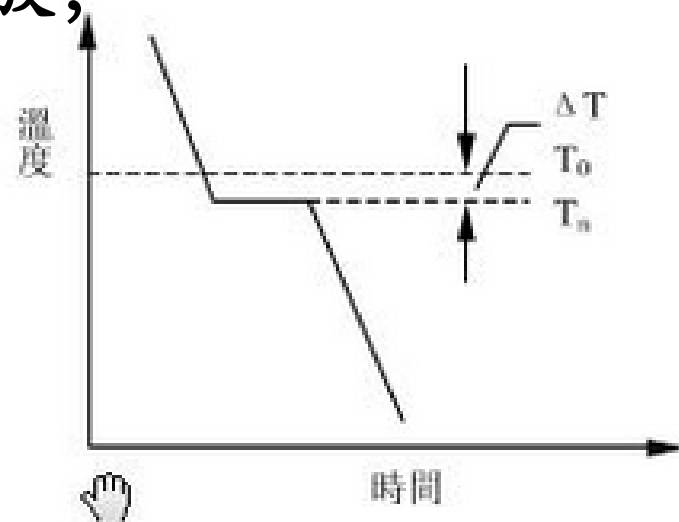
◆ 金属的实际结晶温度（ T_n ）总低于理论结晶温度（ T_0 ）的这种现象，称**过冷现象**。两者的差值为**过冷度** $\Delta T = T_0 - T_n$ 过冷是结晶的必要条件。

◆ 出现平台的原因是结晶潜热的释放，是能够发生等温转变的根本原因。
（热力学能量降低自动进行）

水往低处流

什么是动力学？

状态和过程

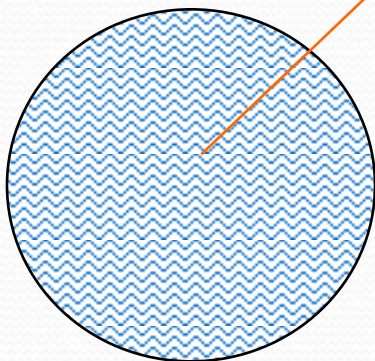


1.2 纯金属的结晶过程

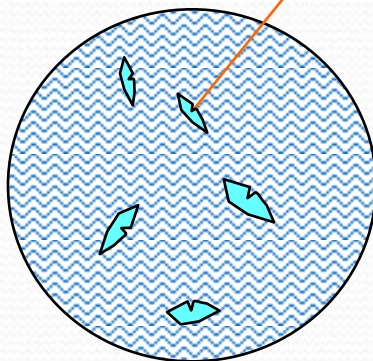
液态金属的结晶过程实际上是**形成晶核与晶核长大**的过程

◆ 基本过程描述： 两个过程重叠交织

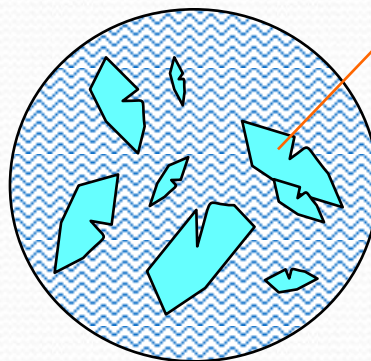
液态金属



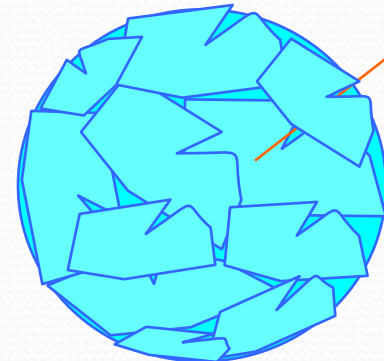
形核



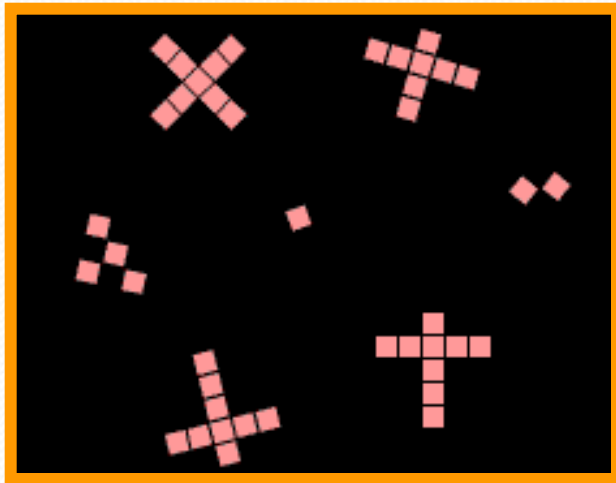
晶核长大



完全结晶



- ◆ 液态金属中存在着原子排列规则的小原子团，它们时聚时散，称为晶坯。在 T_0 以下，经一段时间后(即孕育期)，一些大尺寸的晶坯将会长大，称为晶核。
- ◆ 晶核形成后便向各方向生长，同时又有新的晶核产生。晶核不断形成，不断长大，直到液体完全消失。
- ◆ 每个晶核最终长成一个晶粒，两晶粒接触后形成晶界。

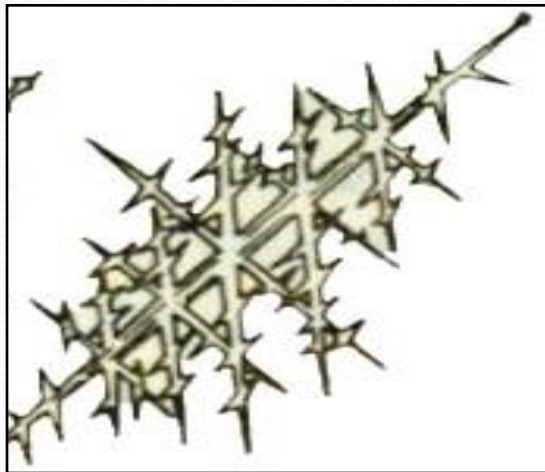


晶核的长大——液-固界面向液体中推移的过程。

纯金属凝固时的生长形态，取决于界面前沿的温度梯度。生长形态主要有两种：

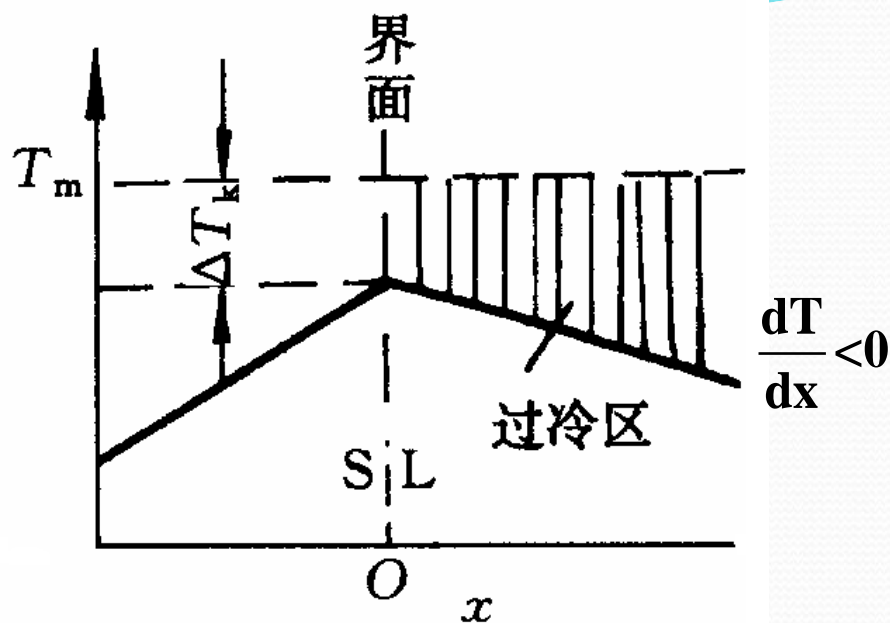
负的温度梯度——枝晶生长

晶体向树枝那样向前生长，不断分支发展。

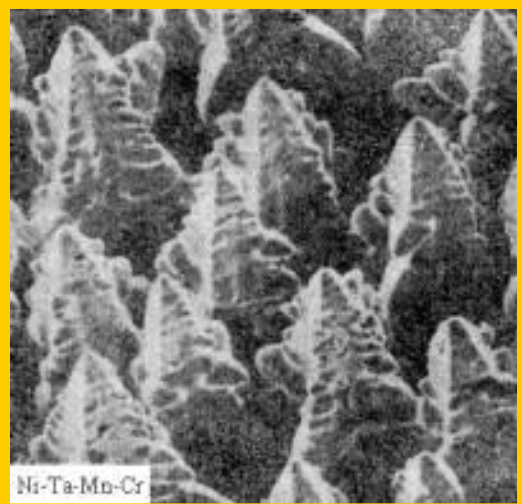


为什么？

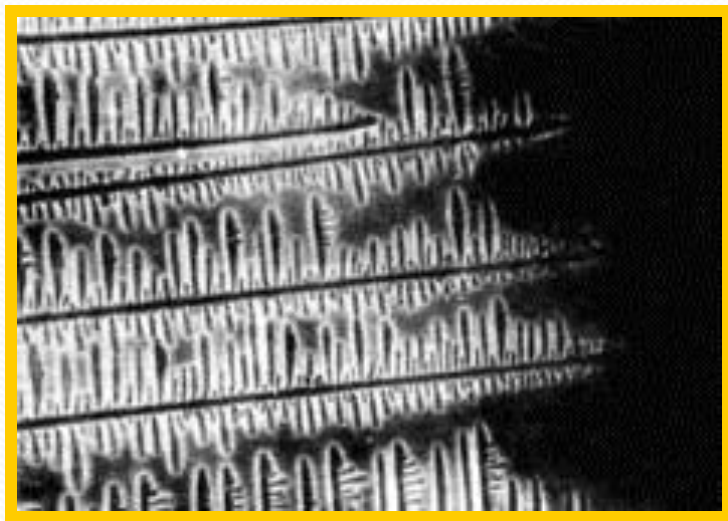
何为温度梯度，以及
负的温度梯度？



负的温度梯度使得一旦在长大中有凸起部分进入液相，就会使得该部分 ΔT 加大，促使其生长速度加快，在液相中形成一个晶轴。而晶轴的产生向两侧液相中放出潜热，使得液相在垂直于晶轴的方向又产生了负温度梯度，这样该晶轴上又会产生二次晶轴，以此类推，树枝状晶形成。



金属的树枝晶



金属的树枝晶



金属的树枝晶

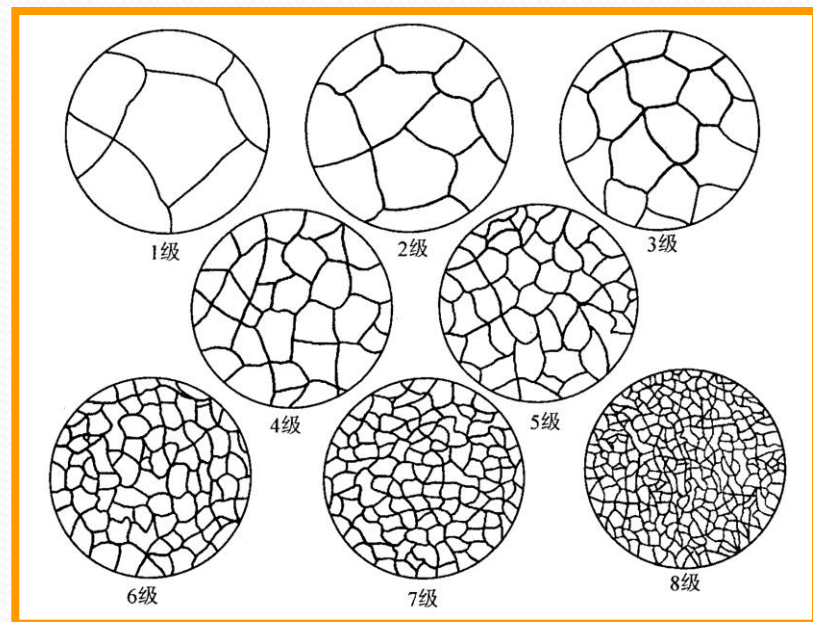
冰的树枝晶



1.3 晶粒大小的控制

(1) 晶粒度

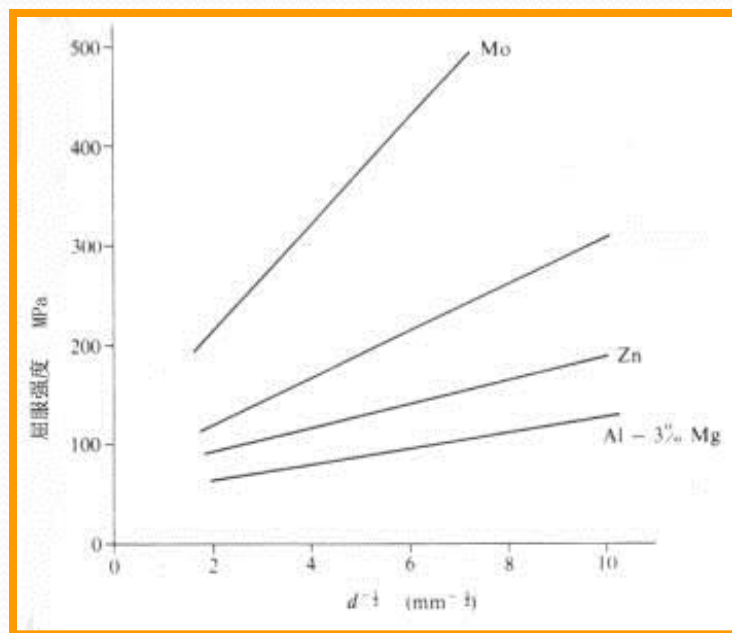
- 表示晶粒大小的尺度叫晶粒度。可用晶粒的平均面积或平均直径表示。
- 工业生产上采用晶粒度等级来表示晶粒大小。



- 标准晶粒度共分八级，一级最粗，八级最细。通过100倍显微镜下的晶粒大小与标准图对照来评级。

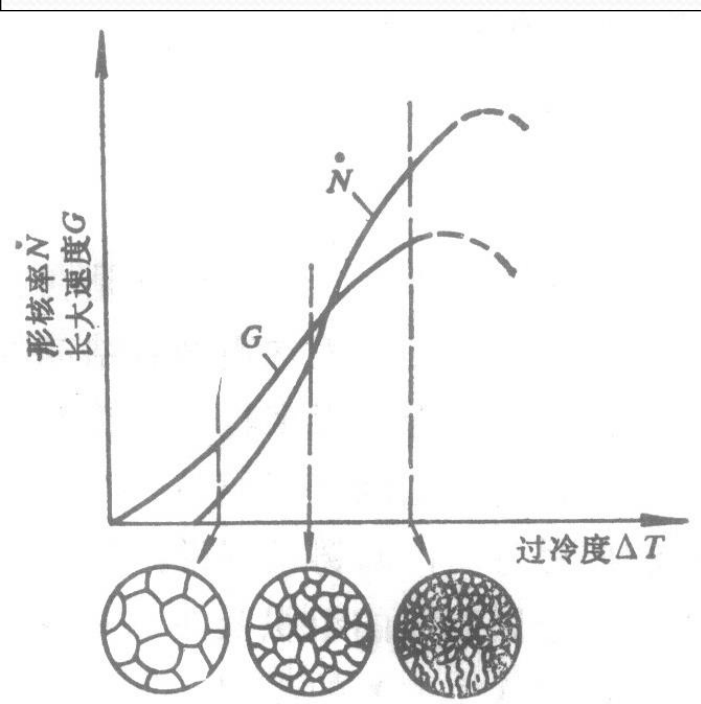
(2) 晶粒大小对金属性能的影响

- 常温下，晶粒越细，晶界面积越大，因而金属的强度、硬度越高，同时塑性、韧性也越好。即细晶强化。
- 高温下，晶界呈粘滞状态，在外力作用下易产生滑动，因而细晶粒无益。



细化金属铸件晶粒的方法

晶粒的大小取决于形核率 N 和长大速度 G 的相对大小，单位体积中的晶粒数目（晶粒度），用表示 Z_v 为：



$$Z_v = 0.9 \left(\frac{N}{G} \right)^{\frac{3}{4}}$$

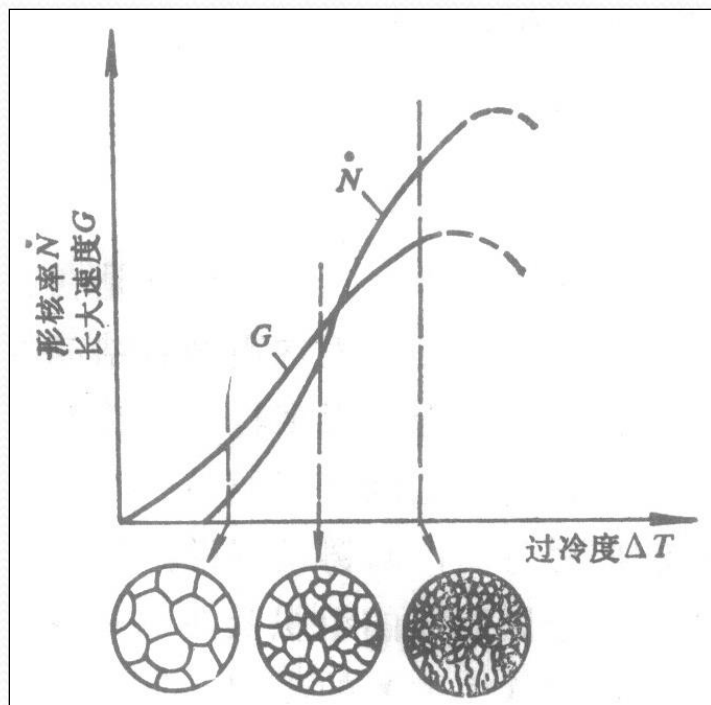
N —形核率，
 G —长大速度

可见，比值 N/G 值越大， Z_v 值也增大，标明晶粒越细小。
即：凡能促进形核，抑制长大的因素，都能细化晶粒。

根据结晶时的形核和长大规律，为了细化铸锭和焊缝区的晶粒，在工业生产中可以采用以下三种方法：

(1) 增大过冷度

$\Delta T \uparrow$ ， $N \uparrow > G \uparrow$ ， $N/G \uparrow$ ，晶粒细化。



提高 ΔT 的方法：

- 导热性好的金属模代替砂模；
- 在模外加强制冷却；
- 在砂模里加冷铁；
- 采用低温慢速浇注。

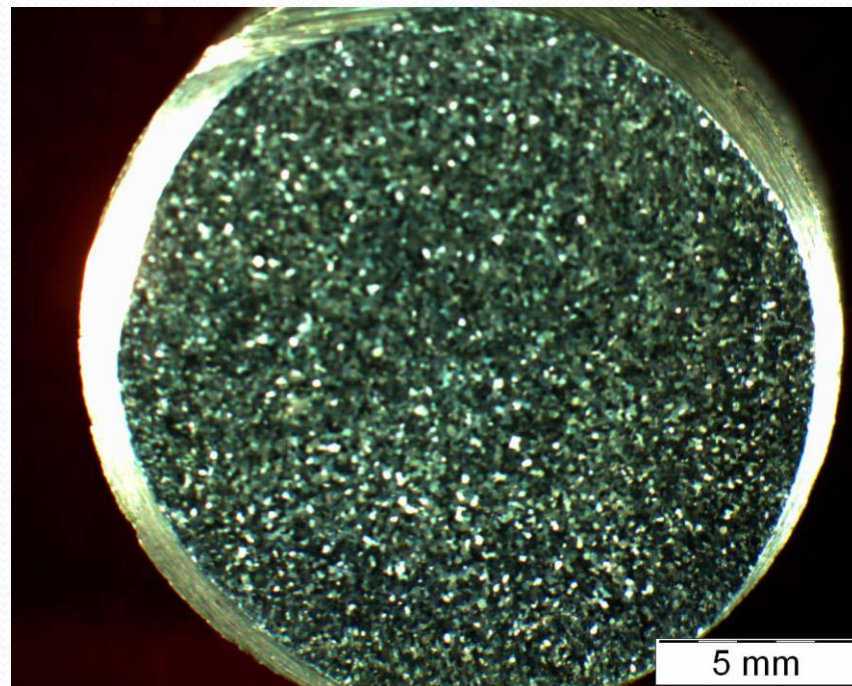
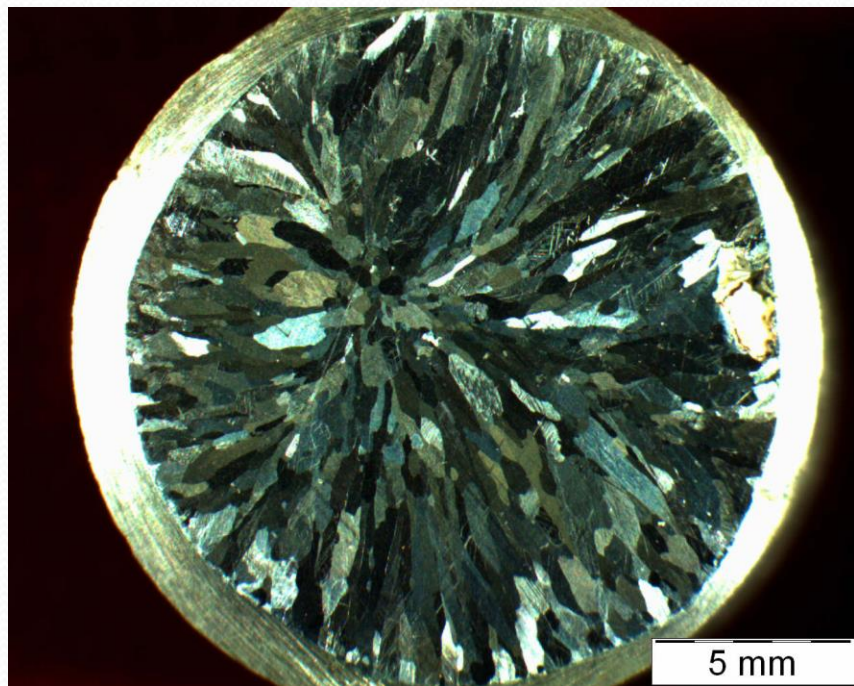
不适用于大铸锭或大铸件

(2) 变质处理

在浇注前往液态金属中加入形核剂，促进形成大量的非均匀形核来细化晶粒。此法用于大型铸件。如：Zr、Ti→Al及Al合金；Ti、Zr、V→钢；Si-Ca→铸铁；钠盐→铝硅合金，都能达到细化晶粒的目的。

(3) 附加振动

机械振动，电磁振动，加压浇注等，破碎晶粒，增加晶核。用于薄壁形状较复杂的铸件。



AZ31镁合金铸态组织

1.4 金属的同素异晶转变

金属在固态下随温度的改变，由一种晶格变为另一种晶格的现象，称为金属的**同素异晶转变**。

由同素异晶转变所得到的不同晶格的晶体，称为**同素异晶体**。

同素异构转变是一个重结晶的过程，也是一种**相变**

生产中可对钢和铸铁进行各种热处理，以改变其组织与性能。

