



武汉理工大学
wuhan university of technology

金属工艺学

多媒体课件



《金属工艺学》

Metal Technology

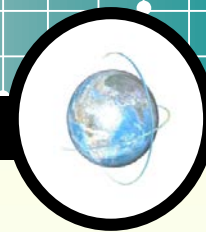
主讲教师：陈 云

联系电话：18971699553

QQ：381183168

Email: chenyunhbwh@163.com

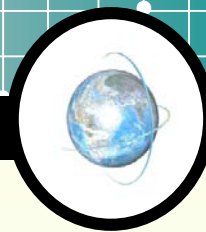
选用教材



金属工艺学教学团队

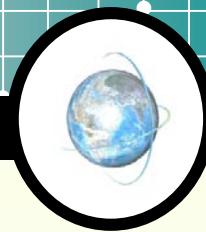
武汉理工大学《金属工艺学》教学团队

参考教材



金属工艺学教学团队

推荐网站



1、<http://jpkc.whut.edu.cn/jsgyx09/guide.asp>

金属工艺学国家精品课程网站

2、<http://www.gcxl.edu.cn/>

全国大学生工程训练综合能力竞赛

3、<http://www.cn-mmttd.com/>

全国机械原理、机械设计教学网站

本课程的重难点、特点及学习方法



1

基本原理
工艺特点
相互关系

重难点

2

理论性强
实践性强
无公式推导

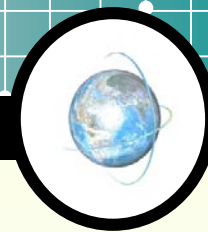
特点

3

在理解基础上记忆
在记忆基础上加深理解

学习方法

课程学习建议——零的感悟

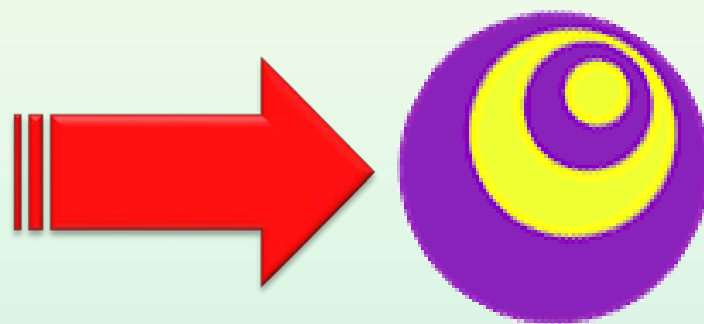


有价值 没体现

有能力 没发挥

有知识 没应用

有计划 没执行



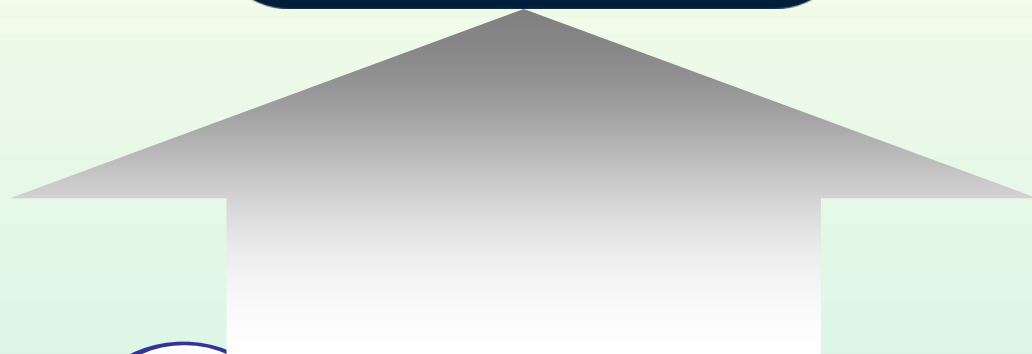
考核方式（闭卷）



平时成绩（20%）



期末考试成绩（80%）



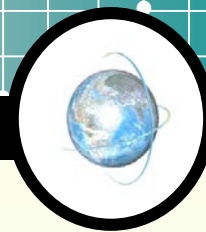
考勤

作业

测验

实验

本课程的性质及研究对象



性质：

金属工艺学(材料成形及机械制造工艺基础)是一门研究材料成形工艺和机械制造工艺的综合性基础课。

研究对象：

- 1、它主要讲授工程材料常用的成形方法及机械加工方法和工艺特点、机械制造过程中常用的一些技术。
- 2、各种工艺方法本身的规律性及在机械制造中的应用和相互联系；
- 3、金属零件的加工工艺过程；
- 4、金属材料性能及其对加工工艺的影响；
- 5、工艺方法的综合比较等。

金属工艺学

热加工工艺基础

金属材料导论

金属液态成形

金属塑性成形

金属连接成形

冷加工工艺基础

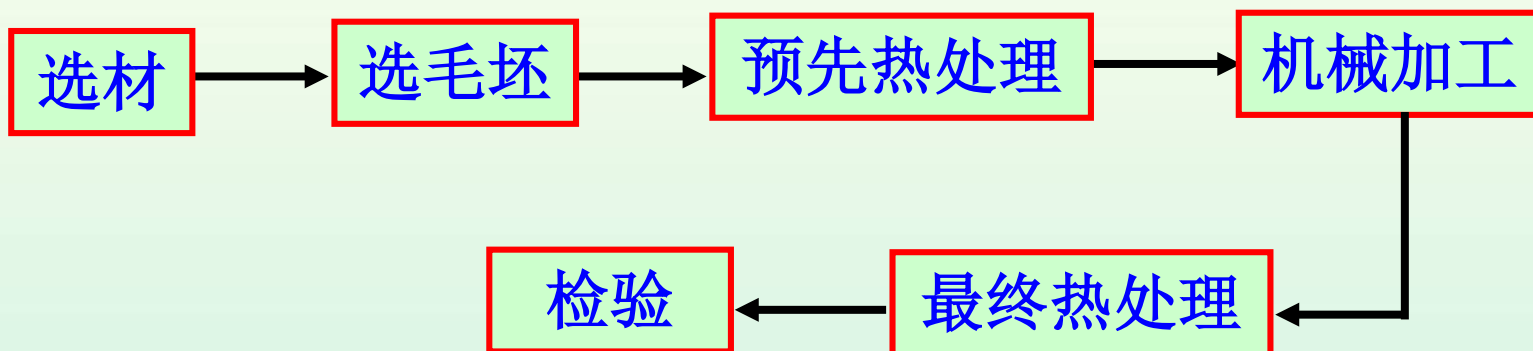
金属切削加工基础

表面切削成形的基本方法

机械加工工艺的基本知识

零件的生产工艺过程

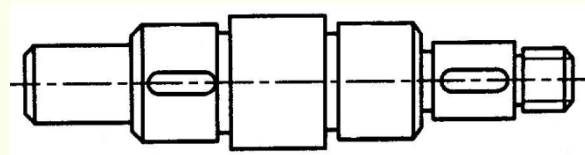
应根据零件的性能要求、受载情况、服役条件、工作环境等制定。



选材：金属材料种类繁多，性能不一，根据零件的性能要求、服役条件的不相同，再加上材料的资源、价格等多方面考虑。

毛坯选择

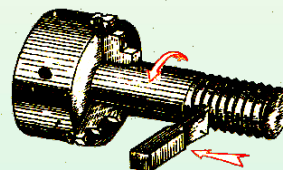
液态成形毛坯
塑性成形毛坯
连接成形毛坯
粉末冶金成形
型材等毛坯



预先热处理： 为使切削加工能顺利进行，可通过预先热处理调整硬度，为切削加工做好组织准备。

机械加工

传统方法 → 车削、刨削、铣削
拉削、镗削、磨削等
现代方法 → 数控加工、电火花加工、激光加工等特种加工方法



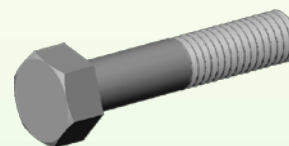
最终热处理： 使材料的性能达到要求。

第一篇 工程材料导论

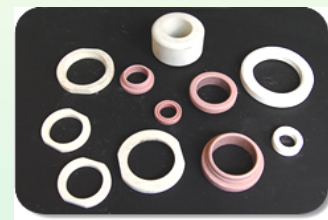
材料、信息、能源称为现代技术的三大支柱。

工程材料

金属材料



陶瓷材料



高分子材料



复合材料

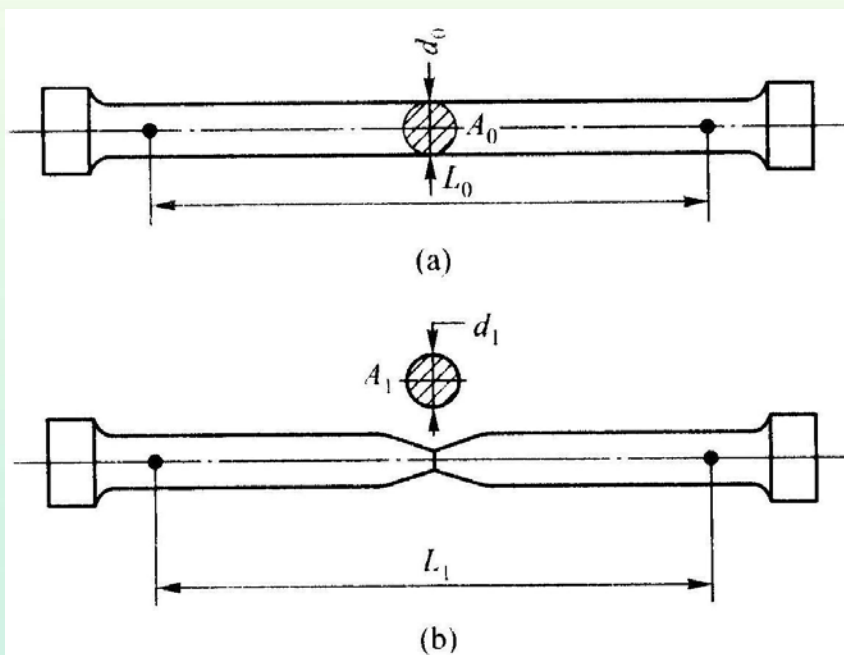


第1章 金属材料的主要性能

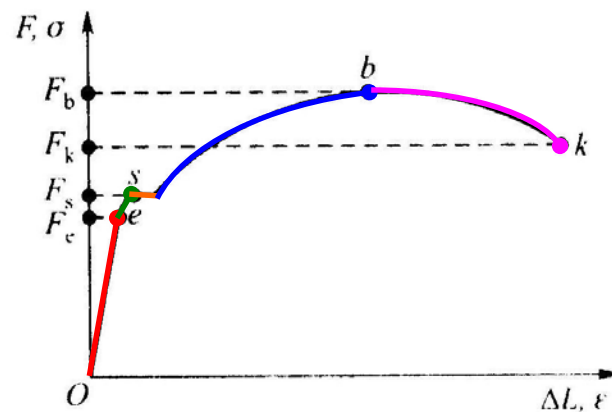
1.1 金属材料的力学性能

各个性能指标的符号

强度：是指金属材料在外力作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用的金属材料的强度指标有屈服强度(σ_s)和抗拉强度(σ_b)。



拉伸试样

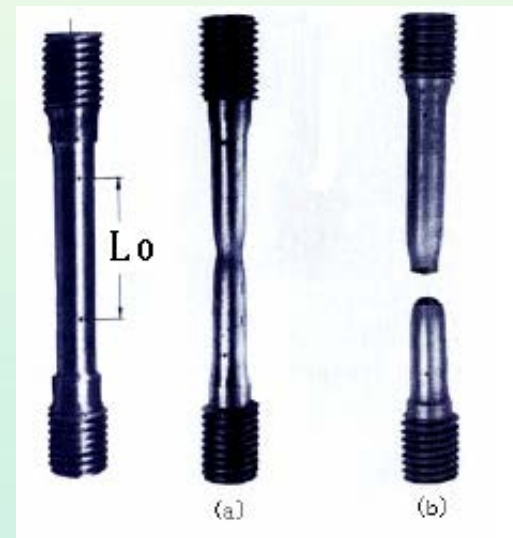
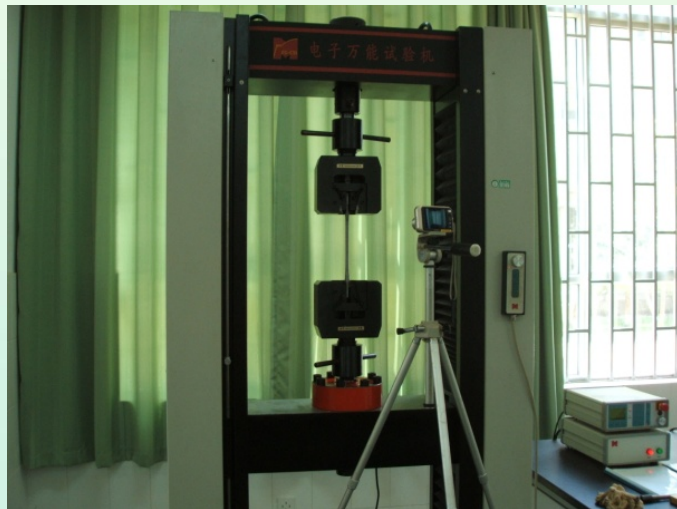


低碳钢的拉伸曲线

塑性：是指金属材料在力的作用下，产生不可逆永久变形而不被破坏的能力。

伸长率 $\delta = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \times \%$

断面收缩率 $\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times \%$



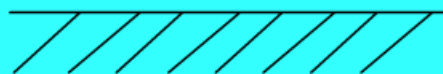
硬度：是指金属材料受压时抗局部变形，特别是塑性变形、压痕划痕的能力。

一、布氏硬度试验法

布氏硬度试验的原理：用一定直径 D （mm）的**淬火钢球**或硬质合金球，以相应的试验力 F （N）压入试件表面，并保持一定的时间，然后卸除试验力，测量试件表面的压痕直径 d （mm），用试验力除以压痕球形表面积 A （ mm^2 ）所得的商作为布氏硬度值，符号为HBS（压头为钢球时）或HBW（压头为硬质合金球时）。

布氏硬度试验法**一般用于试验各种硬度不高**的钢材、铸铁、有色金属等，也用于试验经淬火、回火但硬度不高的钢件。

由于布氏硬度试验的压痕较大，试验结果能更好地代表试件的硬度。



下一步

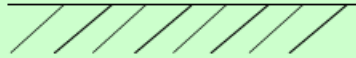
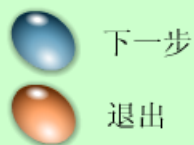


退出

图示 布氏硬度测量动画教学示意图

二、洛氏硬度试验法

洛氏硬度试验法原理：根据压痕的塑性变形深度来衡量硬度。试验时，先加初始试验力 98N（10kgf），使压头紧密接触试件表面a，并压入到b处，以此作为衡量压入深度的起点，再加主试验力使压头压入到c处，然后去掉主试验力，由于被试金属弹性变形的消除，压头向上回升到d处，残余压痕深度bd即为所测值。**洛氏硬度计**表盘上读出即可。



图示 洛氏硬度测量过程动画教学示意图

试验时，根据被测的材料不同，压头的类型、试验力及按下表选择，对应的洛氏硬度标尺为HRA、HRB、HRC三种。

符号	压头类型	载荷/kgf	硬度有效范围	使用范围
HRA	120°金刚石圆锥体	60	70~85	适用于测量硬质合金、钢表、 淬火层或渗碳层
HRB	Φ 1.588mm淬火 钢球	100	25~100 (相当60~ 230HB)	适用于测量非铁金属退火、火 等
HRC	金刚石圆锥体	150	20~67 (相当HB230 ~700)	适用于调质钢、淬火钢等

韧性：金属在冲击力作用下，断裂前吸收变形能量的能力。
韧性愈好，代表金属的抗冲击能力愈强。

摆锤式一次冲击试验原理：试验在专门的摆锤式冲击试验机上进行，把试样放在试验机的支承面上，试样的缺口背向摆锤冲击方向。将质量为 m 的摆锤安放到规定的高度 H ，然后下落，将试样打断，并摆过支点升到某一高度 h ，试样在冲击试验力一次作用下，**折断**时所吸收的功为冲击吸收功为 A_k

冲击试验 教学演示

原理图

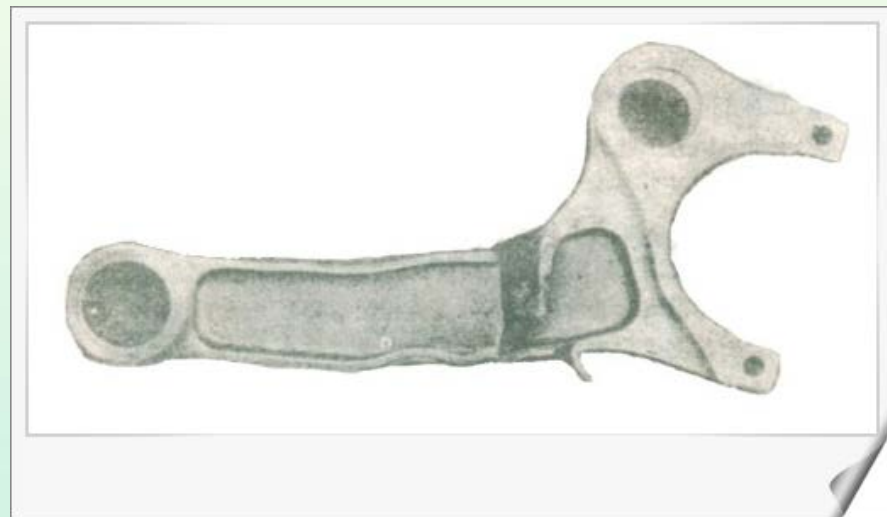
动画演示

退出



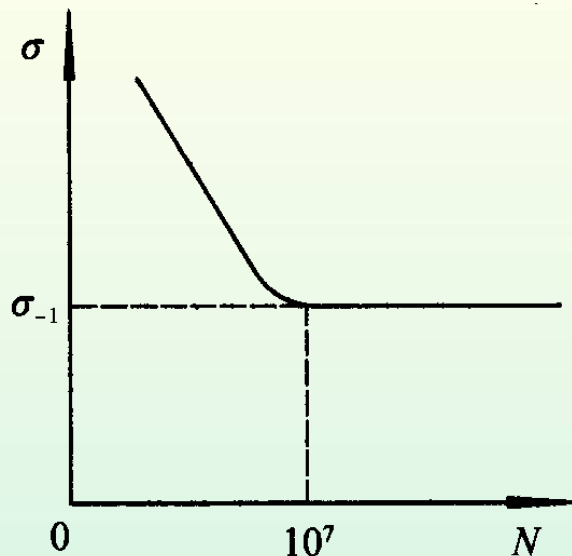
冲击韧度：材料在**冲击载荷**作用下抵抗变形和断裂的能力。
 $a_k = \text{冲击破坏所消耗的功 } A_k / \text{标准试样断口截面积 } S ; (\text{J}/\text{cm}^2)$

金属的疲劳：在多次**交变应力**作用，金属会在远小于抗拉强度 σ_b ，甚至小于屈服点 σ_s 。的应力下失效（出现裂纹或完全断裂）。



交变应力：是指大小和方向随时间周期变化的应力。

疲劳强度：金属材料抵抗交变载荷的作用而不破坏的能力。常用的指标有**疲劳强度(σ_{-1})**。



疲劳破坏的过程：一般认为，在突变应力作用下，材料的某些局部逐渐产生**微小的裂纹**，尤其在氧化物、硫化物等非金属夹杂物和钢件表面的沟槽、螺纹根部、加工刀痕等处，更易诱发裂纹。

随着应力循环次数的增加，裂纹逐渐扩展，使钢件剩下的断面大为减小，以致不能承受载荷而突然断裂。



1.2 金属材料的物理、化学及工艺性能

物理性能： 包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

密度： 表示某种材料单位体积的质量。

熔点： 材料由固态转变为液态时的熔化温度。

导热性： 材料传导热量的能力。

导电性： 材料传导电流的能力。

热膨胀性： 材料随温度变化体积发生膨胀或缩小的特性。

化学性能： 在室温或高温时抵抗各种介质的化学侵蚀能力。

耐腐蚀性： 金属材料在常温下抵抗氧、水蒸汽等化学介质腐蚀破坏作用的能力。

抗氧化性： 几乎所有的金属能与空气中的氧作用形成氧化物，这称为氧化。



工艺性能： 指金属材料**物理、化学性能和力学性能**在加工过程中的综合反映，是指**是否易于进行冷、热加工**的性能。

它包括铸造性、可锻性、焊接性、切削加工性和热处理性等。

上次课内容回顾

1

力学性能：**强度**，**塑性**、**硬度**、**冲击韧度**、**疲劳强度**

2

物理、化学性能：**密度**、**熔点**、**导热率**、**导电率**等

3

工艺性能：**铸造性**、**可锻性**、**焊接性**、**切削加工性**和**热处理性**

金属材料的主要性能

第2章 铁碳合金

主要内容

1

2.1 金属及合金的晶体结构

2

2.2 铁碳合金相图及其应用

3

2.3 常用的金属材料及选用

本章重难点

- 1、铁碳合金状态图的理解
- 2、铁碳合金状态图在铸造、压力加工、焊接和热处理中的应用

铁碳合金是最重要的工程材料，**钢和铸铁**是制造机器设备的主要金属材料，与其它材料相比，其资源广泛、冶炼方便、价格低廉、性能优越。





铁碳合金是以铁、碳为主要组元组成的合金。其中，铁的含量大于95%，是最基本的组元。要了解钢和铸铁的本质，首先必须了解纯铁的晶体结构。

金属的内部结构和组织状态是决定金属材料性能的一个重要因素。金属在固态下通常都是晶体，了解和掌握金属的晶体结构、结晶过程及其组织特点，是零件设计时合理选材的根本依据。

2.1 金属及合金的晶体结构

本节重点：金属结晶的概念、结晶过程

本节难点：合金的结构

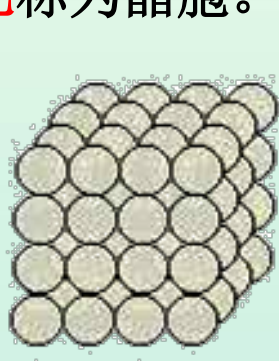
2.1.1 晶体结构及同素异构转变

1、晶体结构

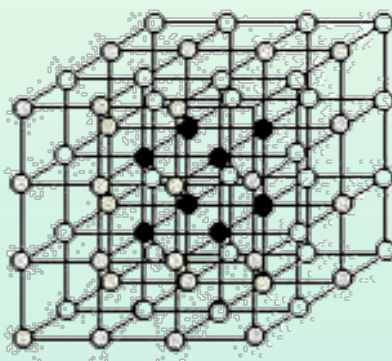
晶体结构：晶体中原子（离子或分子）规则排列的方式。

晶格：把原子排列抽象成一种空间格子，每个原子中心处在空间格子的结点上，这种假想的空间格架称为晶格。

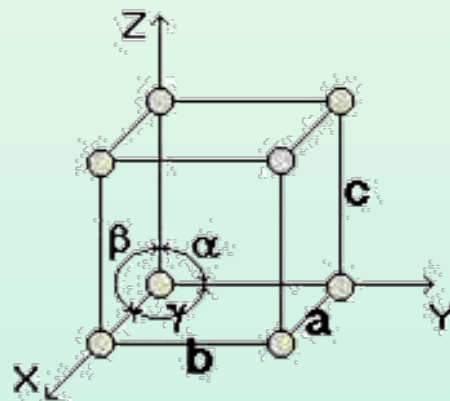
晶胞：为了便于研究，从晶格中取出能够完整反映晶格特征的最小几何单元称为晶胞。



(a) 晶体



(b) 晶格



(c) 晶胞



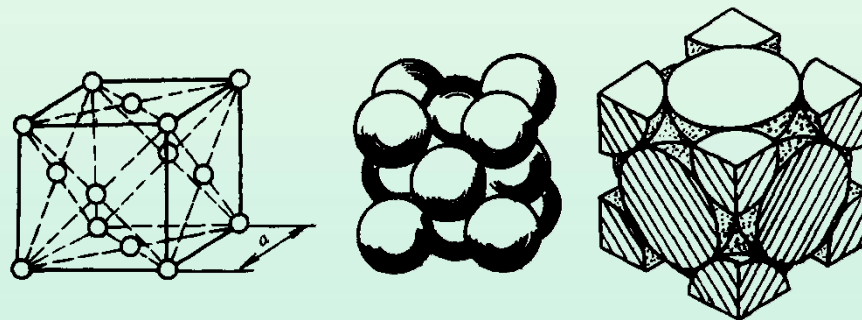
金属常见的晶格类型有体心立方、面心立方和密排六方。

(1) 体心立方晶胞BCC (Body-Centered Cube)



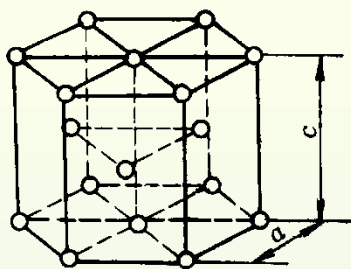
(a) 晶格模型 (b) 钢球模型 (c) 晶胞原子数 $(1/8) \times 8 + 1 = 2$

(2) 面心立方晶胞FCC (Face-Centered Cube)

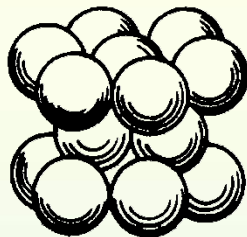


(a) 晶格模型 (b) 钢球模型 (c) 晶胞原子数 $(1/8) \times 8 + (1/2) \times 6 = 4$

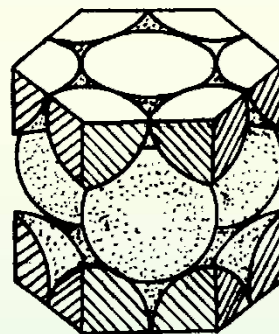
(3) 密排六方晶格



(a) 晶格模型



(b) 钢球模型



(c) 晶胞原子数 $(1/6) \times 12 + (1/2) \times 2 + 3 = 6$

2、金属的结晶

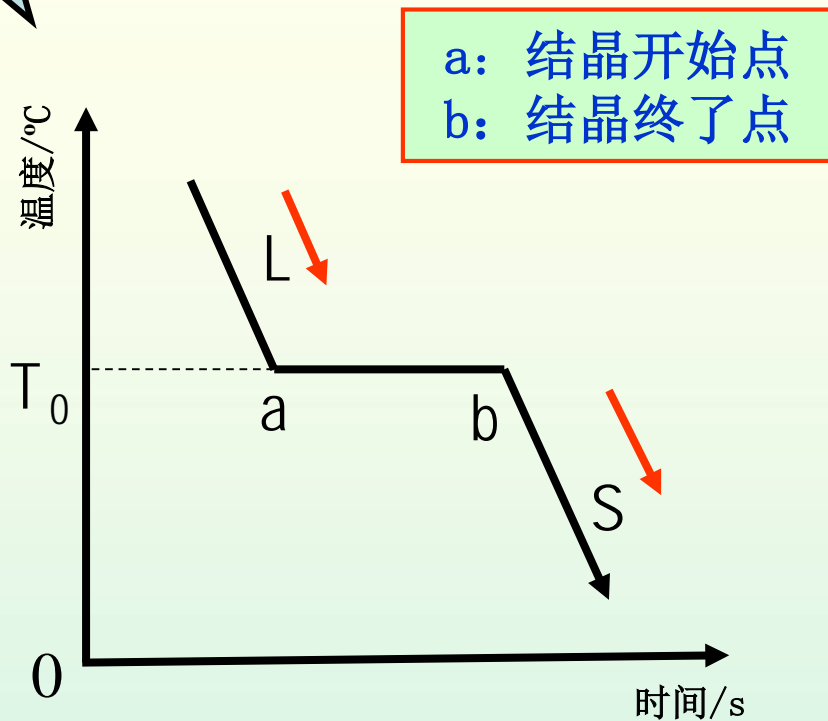
凝固：物质从液态变为固态的相变过程。

晶体：原子排列是**有序**的，原子在三维空间作**规则的、周期性的、重复**排列，有一定的**熔点**和**凝固点**，**性能趋向各向异性**。

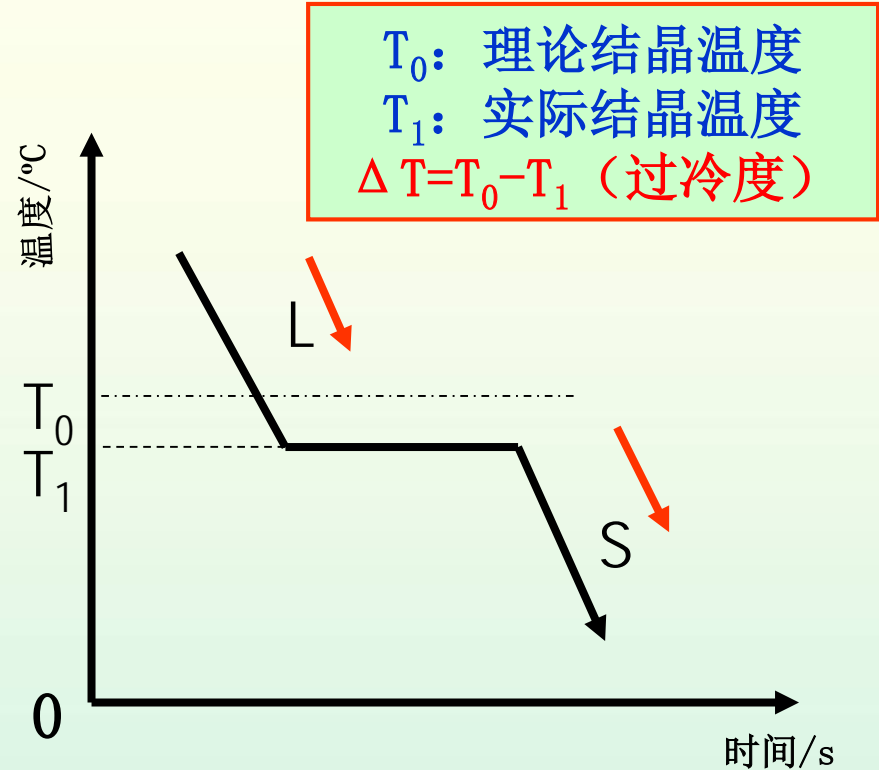
非晶体：原子排列**杂乱无章**呈**无序**状态，没有一定的熔点和凝固点，性能趋向**各向同性**。

结晶：由液态金属转变为固态晶体的过程。

金属的结晶



纯金属的理想状态冷却曲线



纯金属的实际冷却曲线

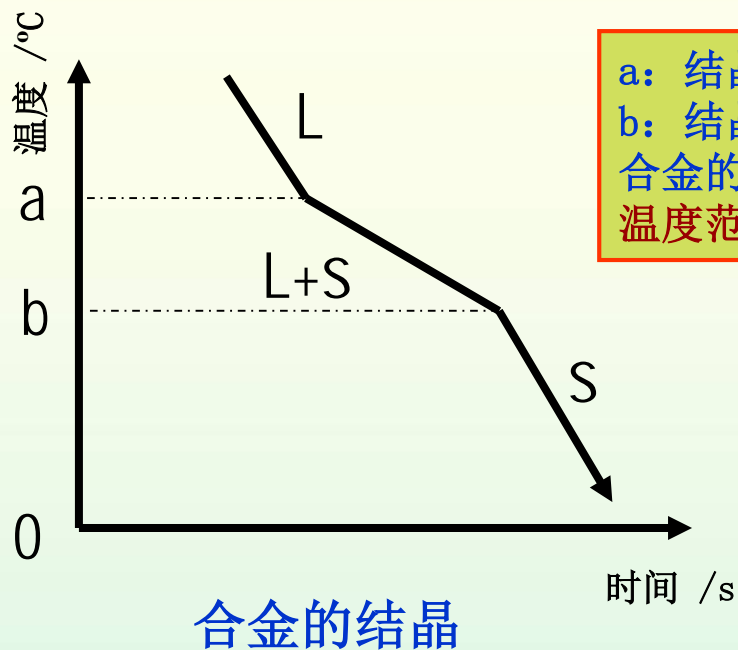
冷却曲线上为什么会出现一水平线段？

因为结晶时放出的结晶潜热使温度不再下降（潜热：物质发生相变时，在温度不变化时吸收或放出的热量）。

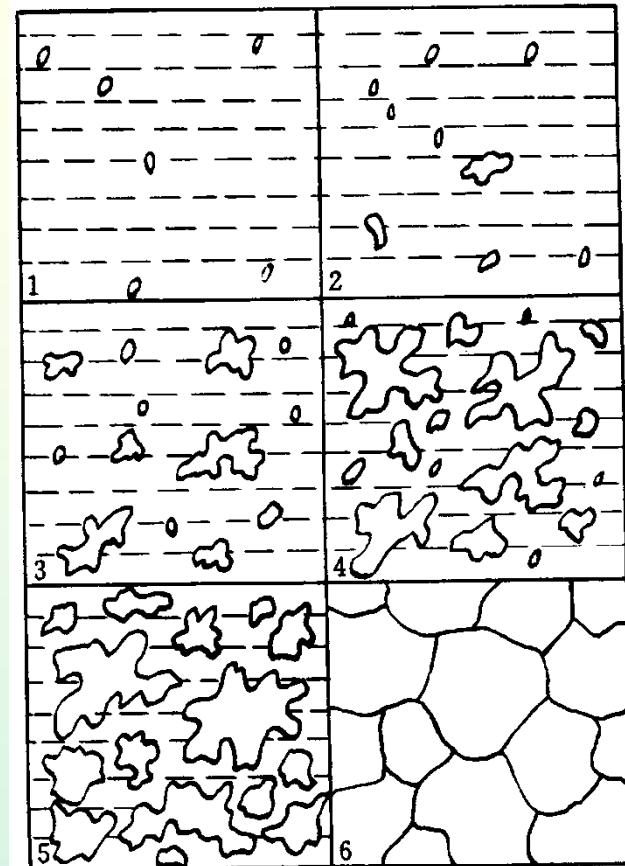
结晶的必要条件——过冷度



金属的结晶



a: 结晶开始点
 b: 结晶終了点
 合金的结晶是在一个
 温度范围内完成。

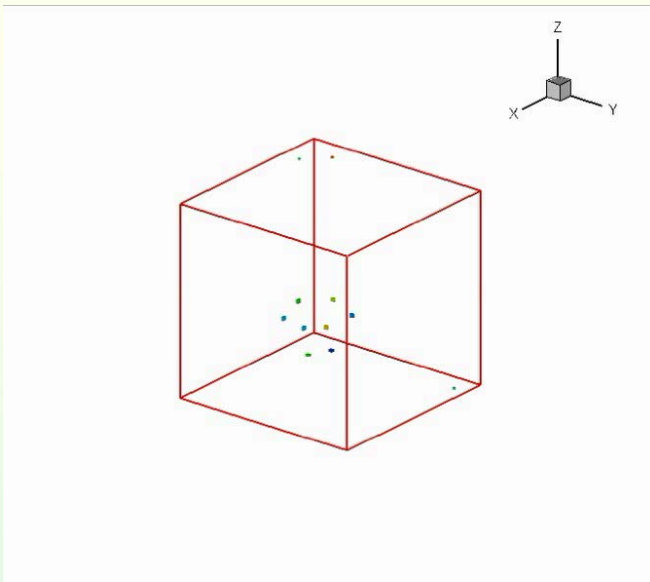


金属结晶过程示意图

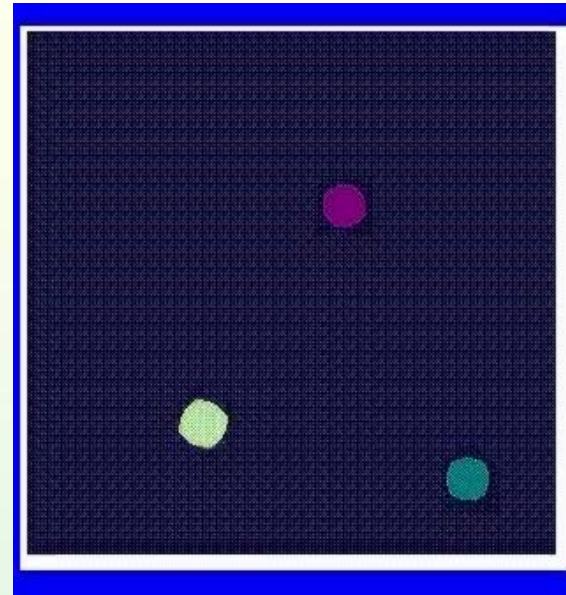
金属的结晶过程:

原子团 \longrightarrow 形核 \longrightarrow 晶核长大 \longrightarrow 小晶粒 \longrightarrow 晶粒 (外形不规则的小晶体)

形核



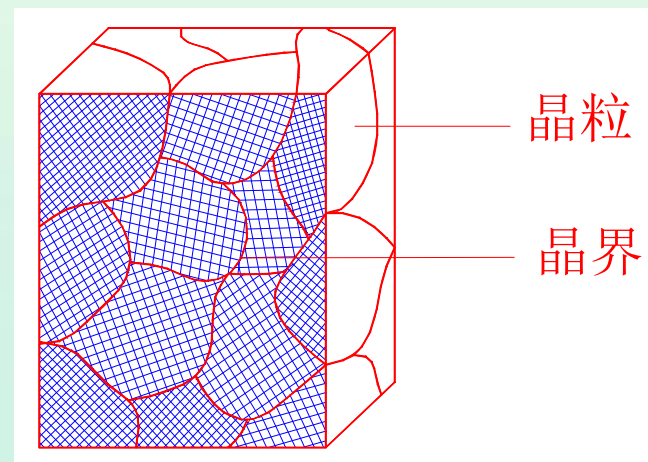
结晶过程



形核：自发晶核、外来晶核

晶核长大方式：树枝状方式

固态金属通常是由许多晶体构成的，
每个晶核长成的晶体称为**晶粒**，晶粒之间的
接触面称为**晶界**。





✓晶粒粗细对材料力学性能的影响:

对同一成分的金属，晶粒越细，其强度、硬度愈高，而且塑性和韧性也越好。

✓细化晶粒的方法:

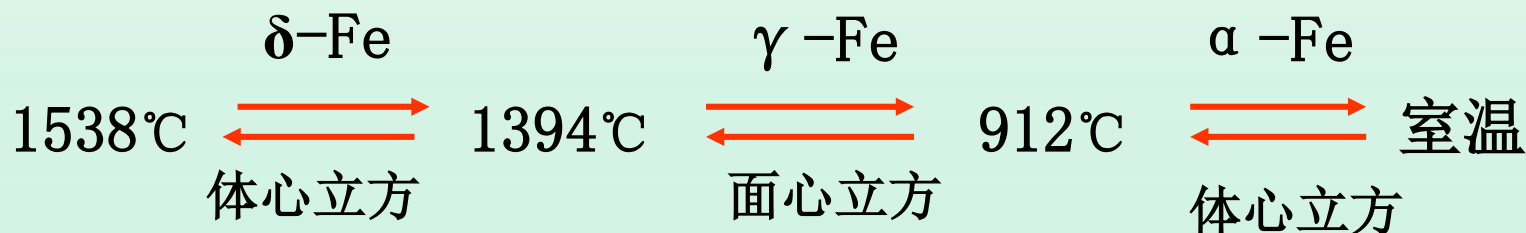
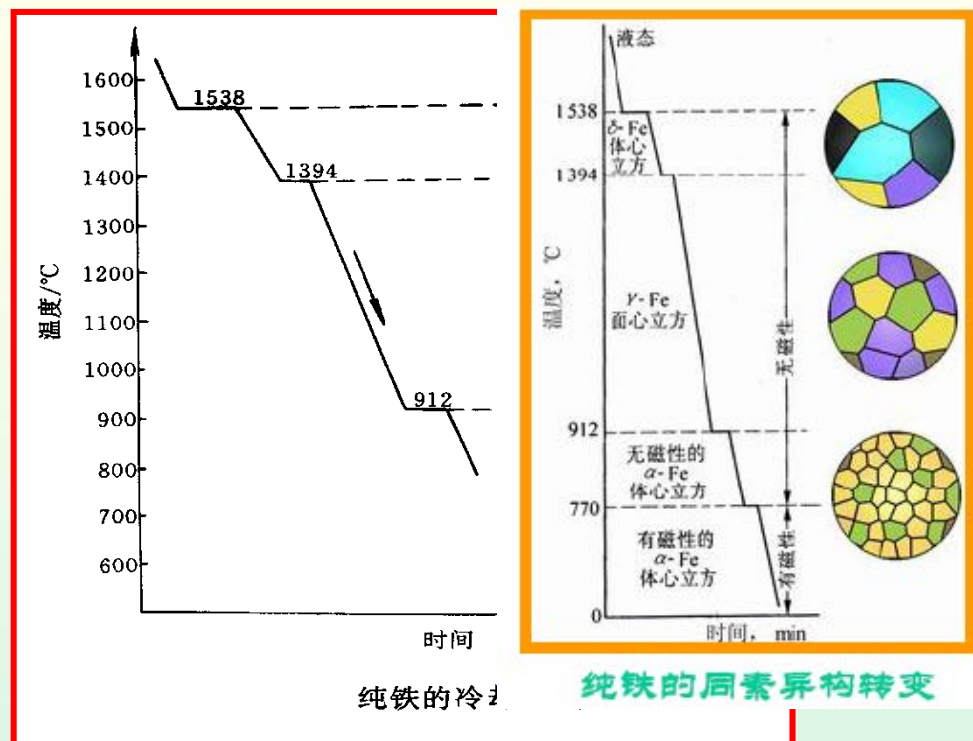
- 提高冷却速度，增大过冷度，以增加晶核的数目；
- 在金属浇注之前，向金属液内加入变质剂（孕育剂）进行变质处理，以增加外来晶核；
- 采用机械、超声波振动、电磁搅拌等；
- 采用热处理或塑性加工的方法，使固态金属晶粒细化；

3、纯铁的同素异构转变

同素异构转变：金属在固态下，随着温度的改变其晶体结构随之改变的现象。

金属的同素异构转变的意义：

可以用热处理的方法即可通过加热、保温、冷却来改变材料的组织，从而达到改善材料性能的目的。



为了区别由液态金属转变为固态金属的初次结晶，常将同素异构转变称为二次结晶或重结晶。

2.1.2 合金的晶体结构

一、基本概念

(1) 合金——由两种或两种以上的金属元素，或金属与非金属元素**熔合**在一起，构成具有金属特性的物质称“合金”。

例如，黄铜是铜和锌组成的合金，碳钢和铸铁是铁和碳组成的合金。

(2) 组元——组成合金的基本元素称为“组元”。**组元可以是纯元素，也可以是稳定的化合物。**

例如，铁、碳是钢和铸铁中的组元。合金中的稳定化合物（如 Fe_3C ）也可作为组元。

(3) 合金系——由给定组元可按不同比例配制出一系列不同成分的合金，这一系列合金就构成一个合金系统，简称合金系。

例如，两组元组成的为二元系，三组元组成的为三元系等。

(4) 相——在合金组织中，凡化学成分、晶格构造和物理性能相同的均匀组成部分称为相。

例如，钢液为一个相，称为液相；但在结晶过程中液相和固态钢共存，此时，它们各是一个相。

问题： 水、油混装在一个瓶子里，是几个相？
将奶粉加开水冲一杯牛奶又是几个相？

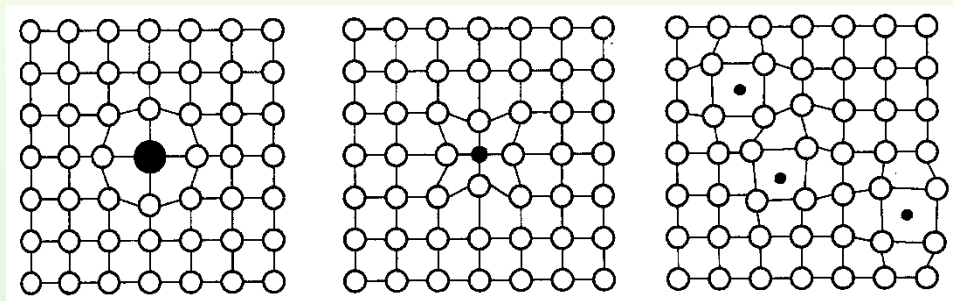
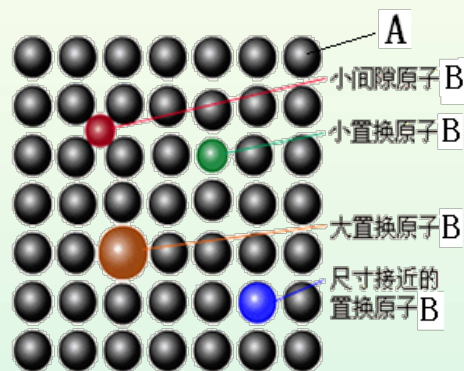


二、铁碳合金的基本组织

按照铁和碳相互作用形式的不同，铁碳合金的组织可分为**固溶体、金属化合物和机械混合物**三种类型。

(1) 固溶体

合金组元通过溶解形成一种成分和性能均匀的、且结构与组元之一相同的固相称为固溶体。



a、置换固溶体

b、间隙固溶体

按溶质原子在溶剂晶格中的位置，固溶体可分为**置换固溶体**和**间隙固溶体**两种。

固溶体随着溶质原子的溶入，都会致使晶格发生畸变。晶格畸变增大了位错运动的阻力，使金属滑移变形变得困难，导致材料的强度、硬度升高。

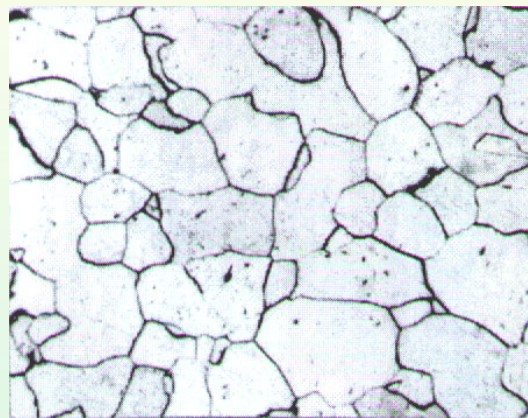
这种通过形成固溶体使金属强度、硬度提高的现象称为**固溶强化**。

碳可溶入 α -Fe、 γ -Fe、 δ -Fe，分别形成不同的固溶体。

1) 铁素体

碳溶解在 α -Fe中形成的**间隙固溶体**称为铁素体，常用符号“F”表示。

铁素体因溶碳极少，固溶强化作用甚微，故力学性能和纯铁相近，表现为**强度、硬度低，塑性、韧性好**。铁素体晶粒在光学显微镜下一般呈多边形，但晶界曲折。



0.01%C 铁素体

2) 奥氏体

碳溶解在 γ -Fe中形成的**间隙固溶体**称为奥氏体，常用符号“A”表示。

γ -Fe 的溶碳能力比 α -Fe 高许多。由于 γ -Fe 仅存在高温，因此奥氏体**通常存在于727℃以上**，属于高温组织。**一般来说，奥氏体强度硬度不高，但塑性优良。**

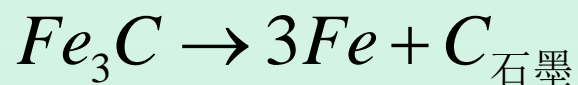
(2) 金属化合物

金属化合物是合金组元相互作用形成的晶格类型和晶格特征**完全不同**于任一组元的**新相**即为金属化合物，属于单相组织。

金属化合物一般熔点高、硬度高、脆性大。合金中含有金属化合物时，**其强度、硬度、耐磨性提高，但塑性、韧性下降。**

铁碳合金中的**渗碳体** (Fe_3C) 属于金属化合物， Fe_3C 的结构既不是铁的结构，也不是碳的结构，而是其自身的一种复杂结构，其**组织可呈片状、球状网状**等不同形状。

渗碳体在一定条件下可发生分解，形成石墨。其反应式为：



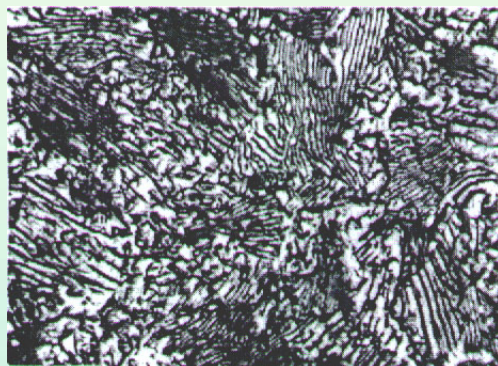
(3) 机械混合物

机械混合物是由结晶过程所形成的两相混合组织。它可以是纯金属、固溶体或化合物各自的混合，也可以是它们之间的混合。

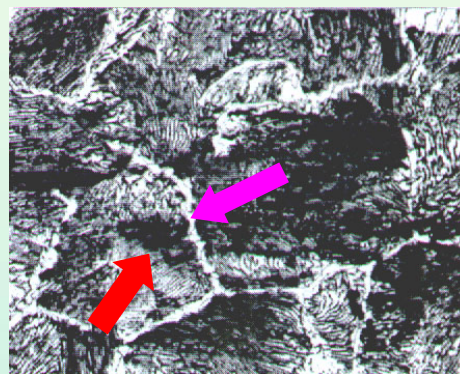
机械混合物各相均保持自身原有的晶体结构，其力学性能介于各相之间，取决于各相的性能和比例，并且与各相的形状、大小、数量和分布有关。

铁碳合金中的机械混合物有**珠光体**和**莱氏体**。

1) 珠光体—— 铁素体(白色)和渗碳体(黑色)组成的机械混合物，用符号P表示。 共析点



0.77%C 珠光体



1.2%C 珠光体+二次渗碳体

2) 莱氏体

高温莱氏体L_d是奥氏体和渗碳体的机械混合物；低温莱氏体L_{d'}是**珠光体**和**渗碳体**的机械混合物； 共晶点



思考题

- 1、在纯金属的冷却曲线上为什么会出现一水平台阶？
- 2、如果结晶时晶核不多而生长速度快，则结晶后的晶粒是粗还是细？

- 1、由于潜热的原因。结晶放热，某个阶段，潜热释放，温度不下降
- 2、结晶后的晶粒是粗，形核数目不多而形核的生长速度很快，为数不多的形核在以很快的线速度进行生长，晶粒为粗

上次课内容的回顾

晶格

晶胞

金属常见的晶格类型有体心立方、面心立方和密排六方。

结晶：由液态金属转变为固态晶体的过程。

纯金属的理想（非理想）状态冷却曲线，合金的结晶冷却曲线

金属的结晶过程

晶核长大方式：树枝状方式

晶粒越细，强度越高，塑性和韧性也越好。

金属（铁）的同素异构转变： 1538°C — 1394°C — 912°C — 室温

合金

组元

相

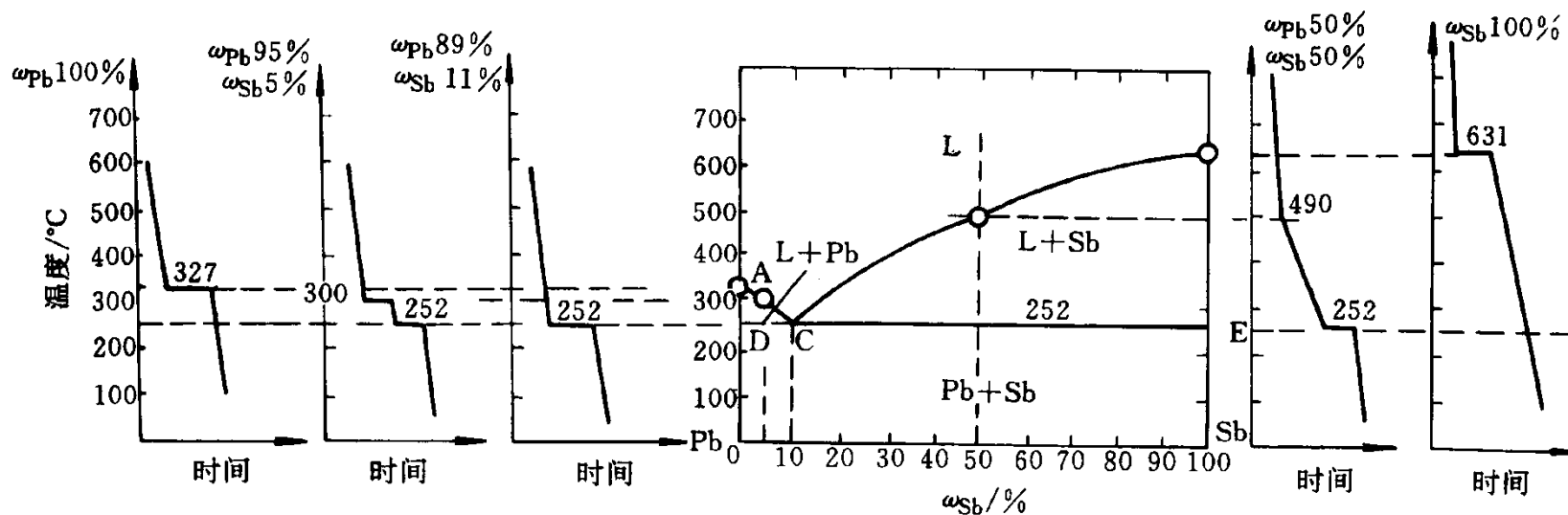
铁碳合金的组织可分为固溶体、金属化合物和机械混合物三种类型。

铁素体 奥氏体 渗碳体 珠光体 莱氏体

2.2 铁碳合金相图及其应用

本节重点：铁碳合金状态图在铸造、压力加工、焊接和热处理中的应用

本节难点：铁碳合金状态图的理解



Pb-Sb 二元合金相图的测定

把各合金的结晶开始温度点连接起来，即为液相线；把结晶终止温度点连接起来，即为固相线。这样就构成了Pb-Sb二元合金相图。

纯铁的熔点

1538

渗碳体的熔点

1227

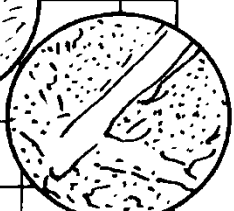
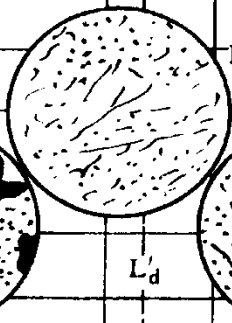
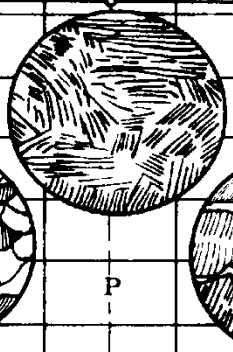
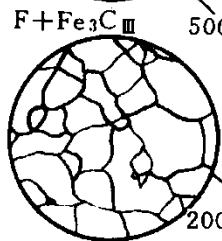
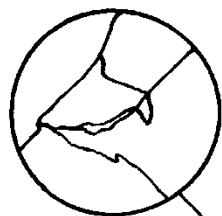
共晶点

共晶点

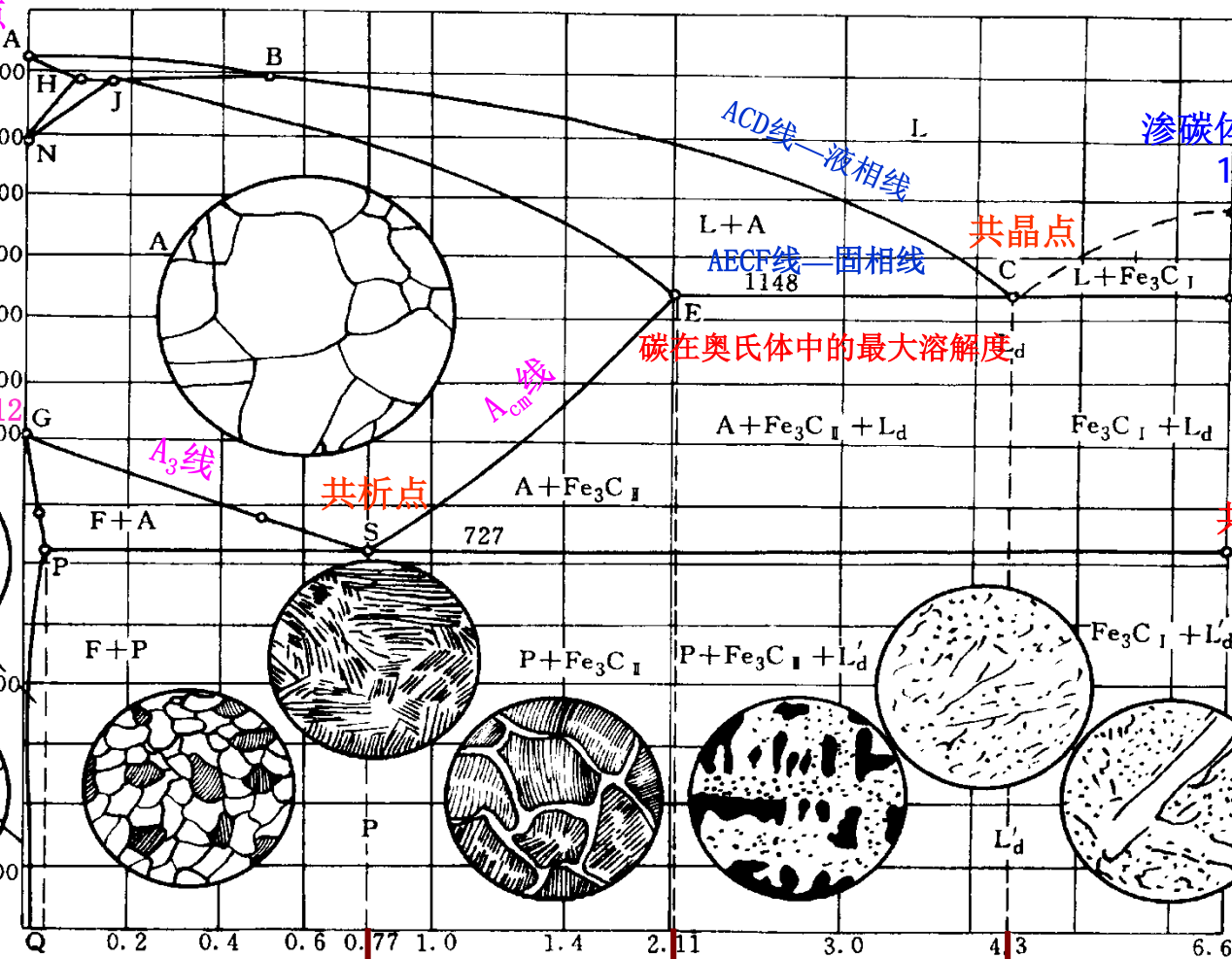
碳在奥氏体中的最大溶解度

共析点

共析线 A_1



温度/°C



亚共析钢 过共析钢 (%) 亚共晶铸铁 过共晶铸铁 Fe₃C

共析钢

钢

铸铁

共晶铸铁

2.2.1 铁碳合金相图分析

1 相图中的点、线、区分析

(1) 点的分析

铁碳合金相图中主要特性点的含义

特性点的符号	温度/ °C	含碳量/%	含义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在奥氏体中的最大溶解度
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \longleftrightarrow \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变点
P	727	0.02	碳在铁素体中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	600	0.006	碳在铁素体中的溶解度



两个重要的转变点

1) 共晶点

一定成分（4.3%*c*）的液相在一定温度（1148℃）下同时结晶出两种成分和结构均不相同的固相的反应，称为共晶反应。



2) 共析点

一定成分（0.77%*c*）的固相在一定的温度（727℃）下同时析出两种成分和结构均不相同的新的固相的反应。





(2) 线的分析

ACD线——液相线。此线上方的区域是液相区，合金冷却至此线温度时，便开始结晶。

AECF线——固相线。表示合金冷却到此线时，将全部结晶成固态。

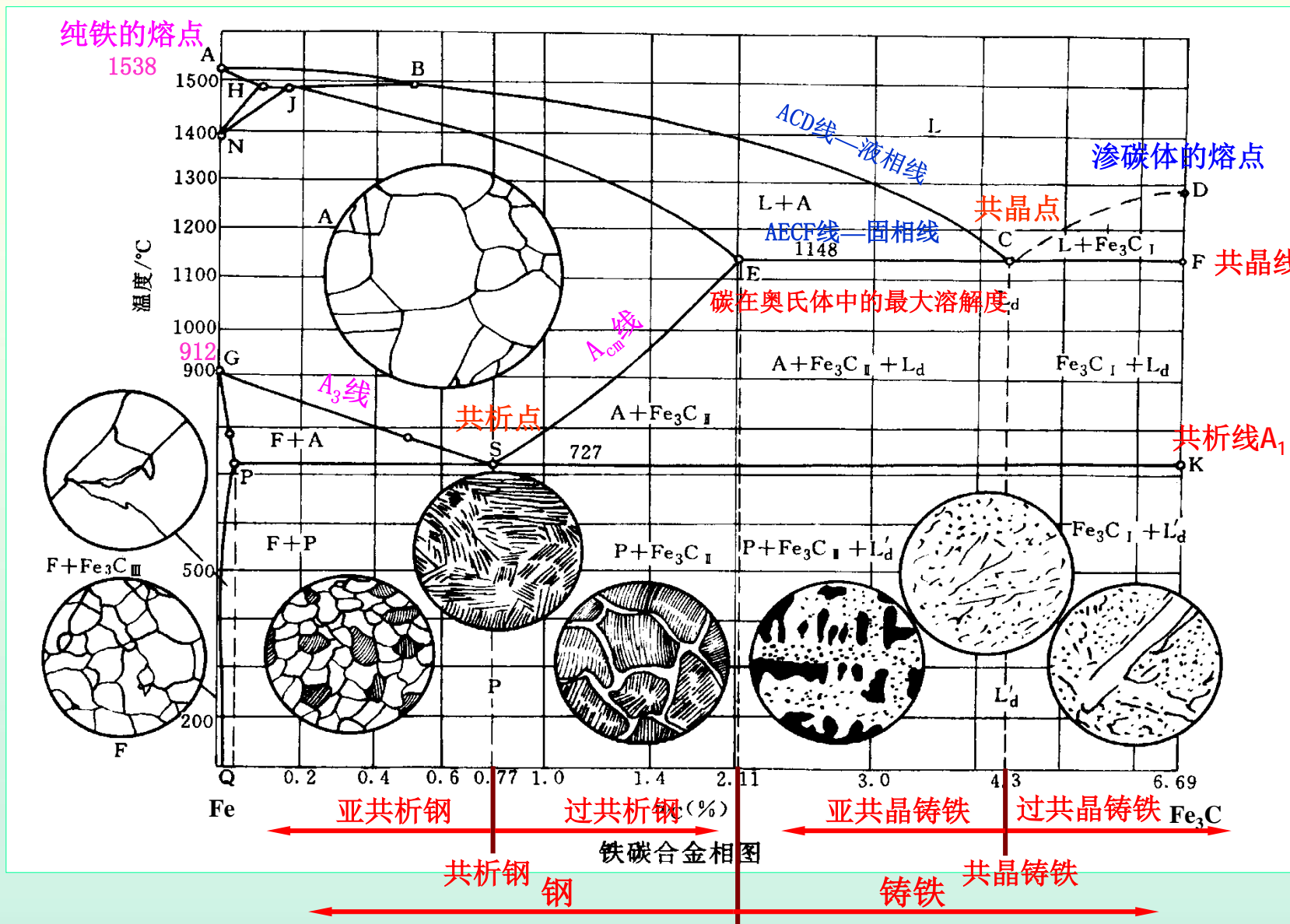
ECF线——共晶线。含碳量为2.11%~6.69%的所有合金（铸铁）经过此线都要发生共晶反应，除C点成分合金全部结晶成莱氏体，**其他成分合金都将形成一定量的莱氏体**，这是铸铁结晶的共同特征。

GS线—— A_3 线。**奥氏体在冷却过程中析出铁素体的开始线**。这是**同素异构转变**的结果。

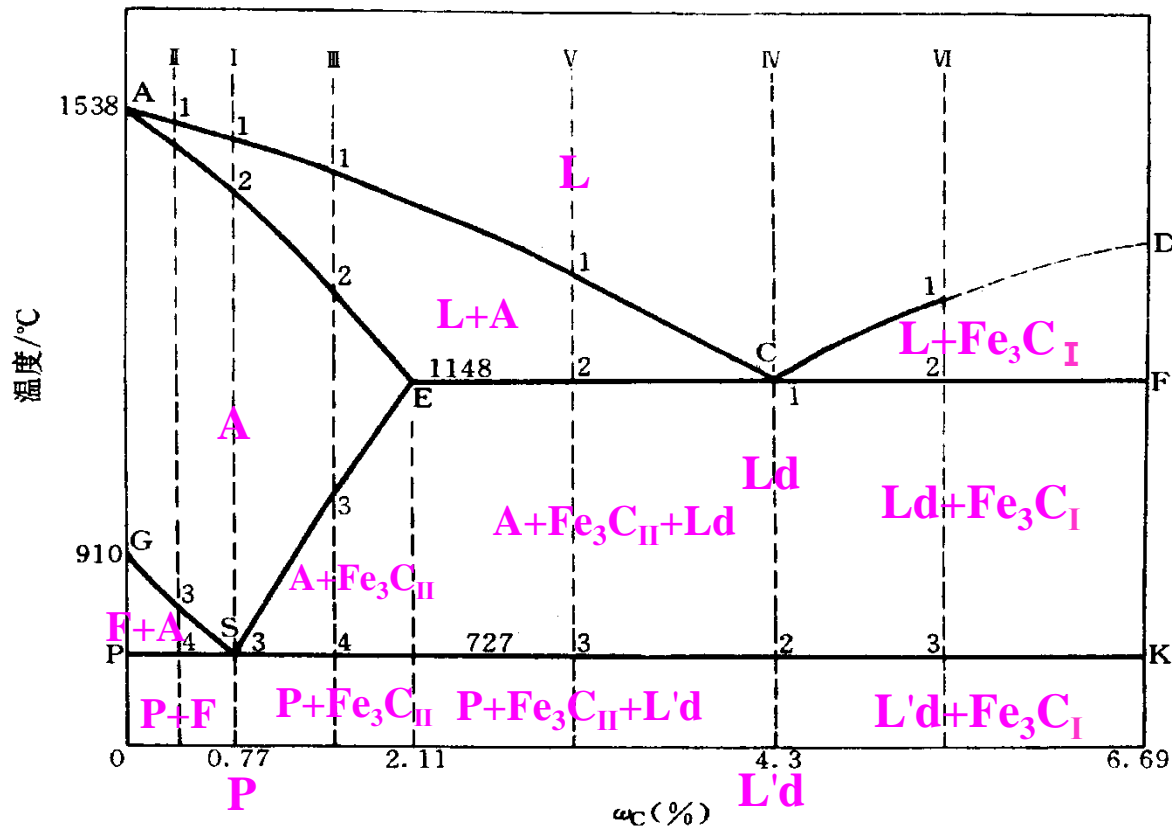
ES线—— A_{cm} 线。碳在奥氏体中的溶解度线。温度愈低，奥氏体的溶碳能力愈小，**过饱和的碳将以渗碳体的形式析出**。ES线实际上是冷却时由奥氏体中析出二次渗碳体的开始线。

PSK线——共析线（ A_1 线）。含碳量为0.77%的奥氏体冷却到此线时，在727 °C同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物，此反应称为共析反应。



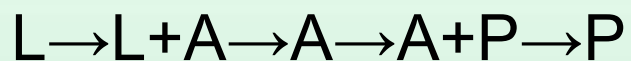
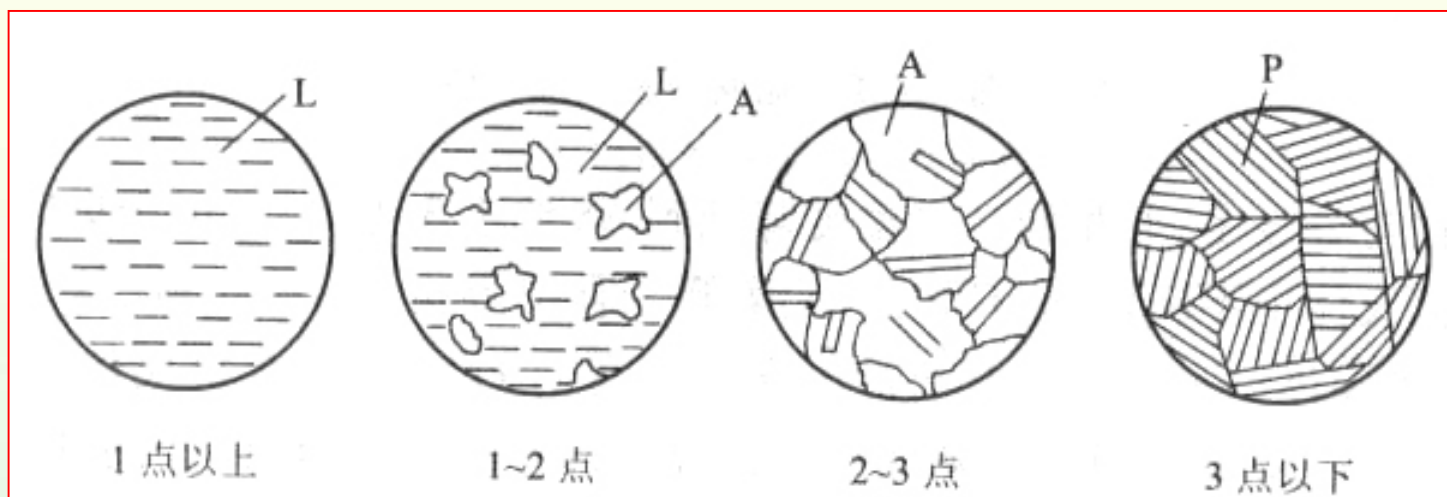


2 钢在结晶过程中的组织转变



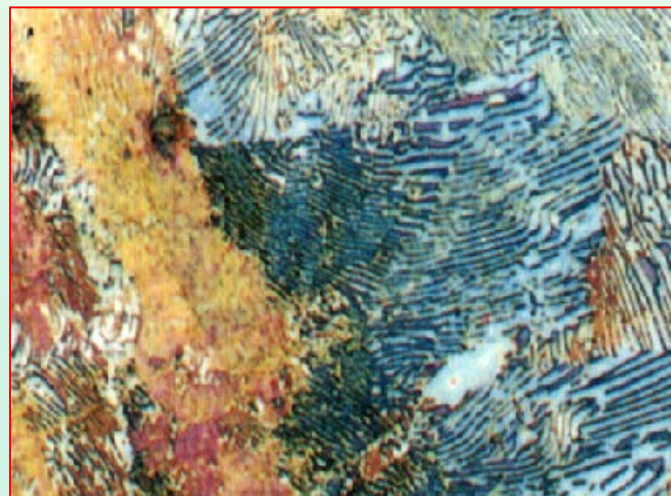
简化的铁碳合金相图上几种典型合金的位置

(1) 共析钢结晶过程分析 ($W_c=0.77\%$)

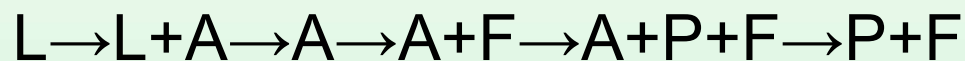
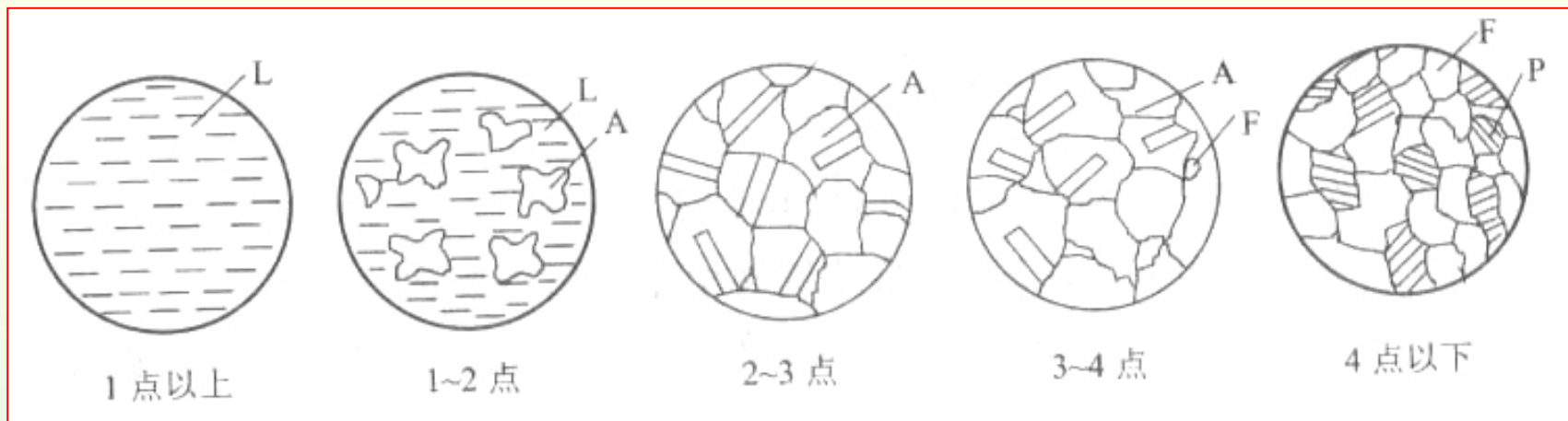


相组成物: F和 Fe_3C

组织组成物: P

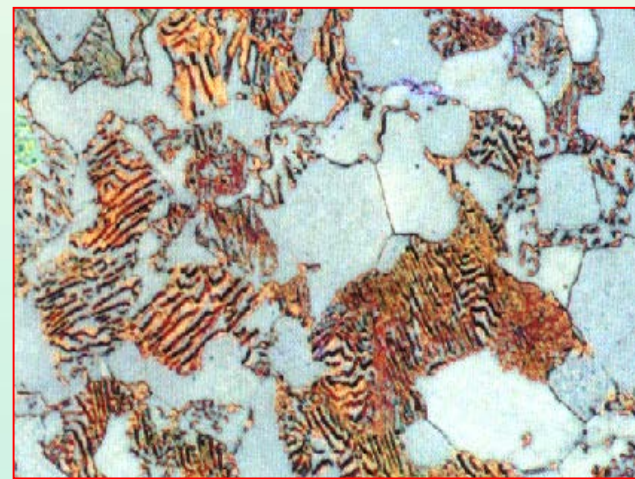


(2) 亚共析钢结晶过程分析 ($W_c < 0.77\%$)

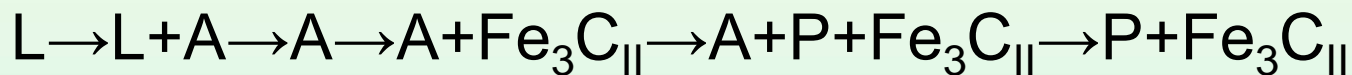
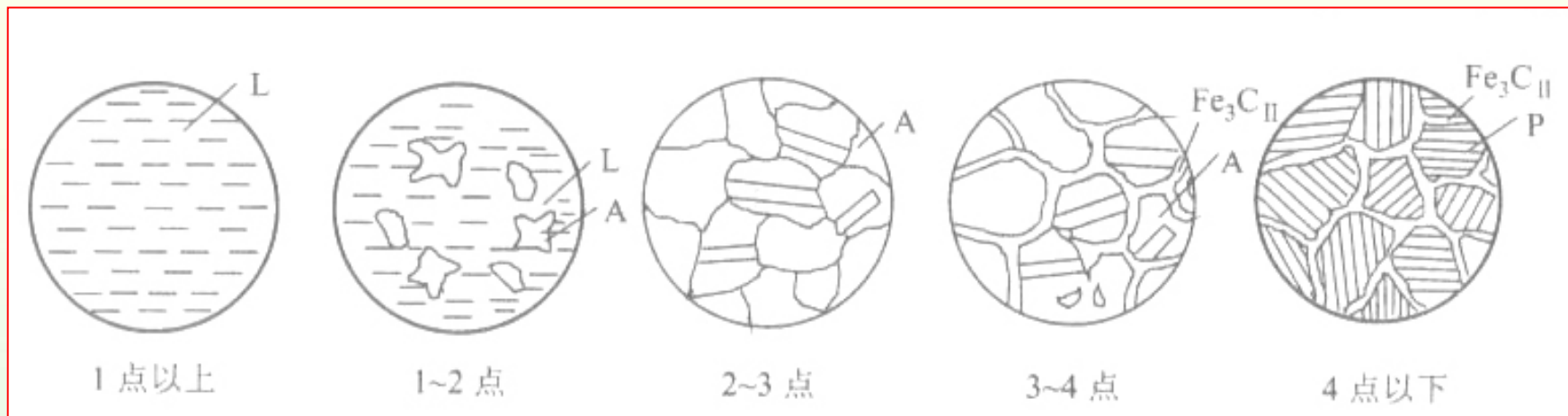


相组成物: F, Fe_3C

组织组成物: F、P

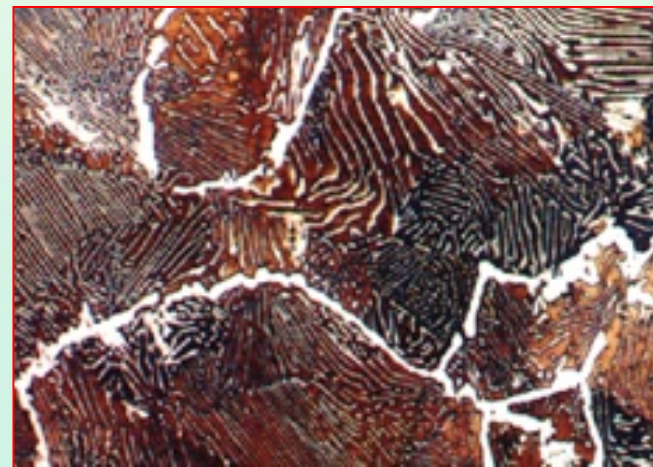


(3) 过共析钢结晶过程分析 ($W_c > 0.77\%$)



相组成物: F, Fe_3C

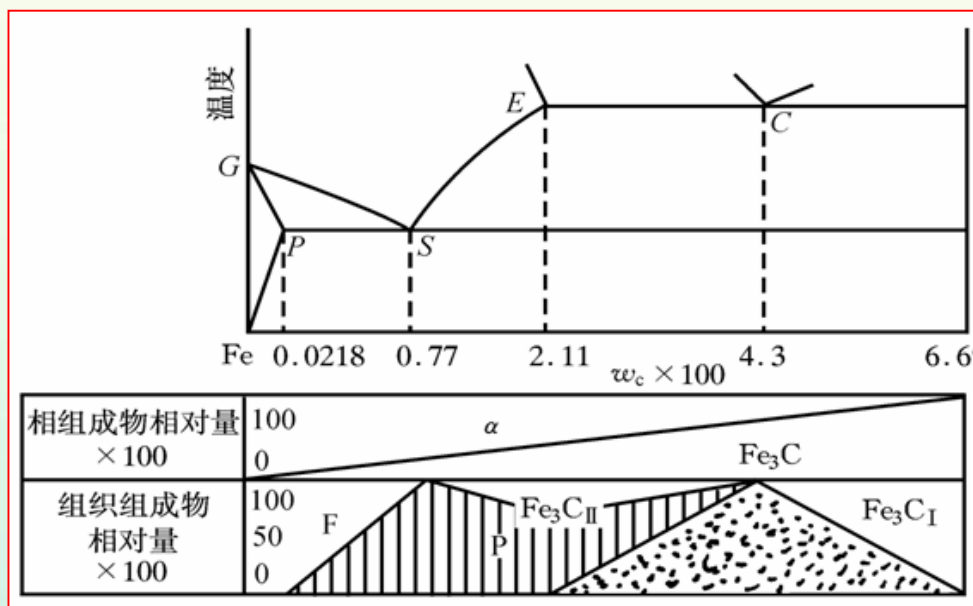
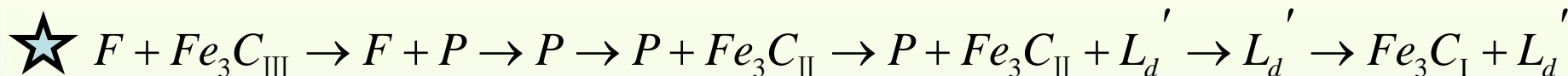
组织组成物: P, Fe_3C_{II}



2.2.2 碳对铁碳合金平衡组织和性能的影响

1. 含碳量对平衡组织的影响

铁碳合金随含碳量增高，其组织发生如下变化：

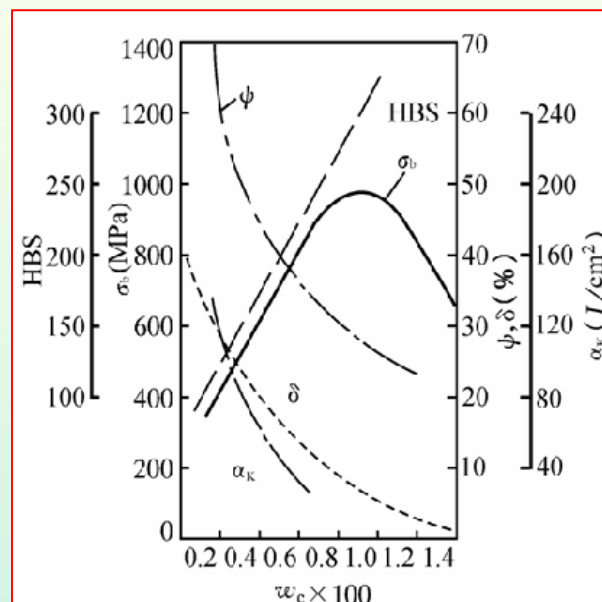


随着含碳量的增加，铁素体的量越来越少，渗碳体的量会越来越多，其相组成和组织组成都会发生变化，**不仅其组织中的渗碳体的数量增加，而且渗碳体的分布和形态也在发生变化。**

2. 含碳量对铁碳合金力学性能的影响

★ 室温下铁碳合金由铁素体和渗碳体两个相组成，铁素体是软、韧的相；渗碳体是硬、脆相，当两者以层片状组成珠光体时，珠光体兼具两者的优点，即具有较高的硬度、强度和良好的塑性、韧性。

铁碳合金中渗碳体是强化相，对于以铁素体为基体的钢来说，渗碳体的数量愈多，分布愈均匀，其强度愈高。



但如果 Fe_3C 以网状分布于晶界上或呈粗大片状，尤其是作为基体时就使得铁碳合金的塑性、韧性大大下降，这就是过共析钢和白口铸铁脆性很高的原因。 白口组织

2.3 工业用钢

2.3.1 碳素钢（非合金钢）

1、化学成分对碳钢性能的影响

碳素钢的含碳量在1.5%以下，除碳外，还有硅、锰、磷、硫等杂质。

1) 硅和锰是炼钢后期作为脱氧剂加入钢液中残存的，属于有益元素。

Si与Mn都能溶于铁素体中，使铁素体强化，从而使钢的强度、硬度提高，而塑性、韧性降低。其中锰还能与硫形成**MnS**，从而抵消硫的部分有害作用。

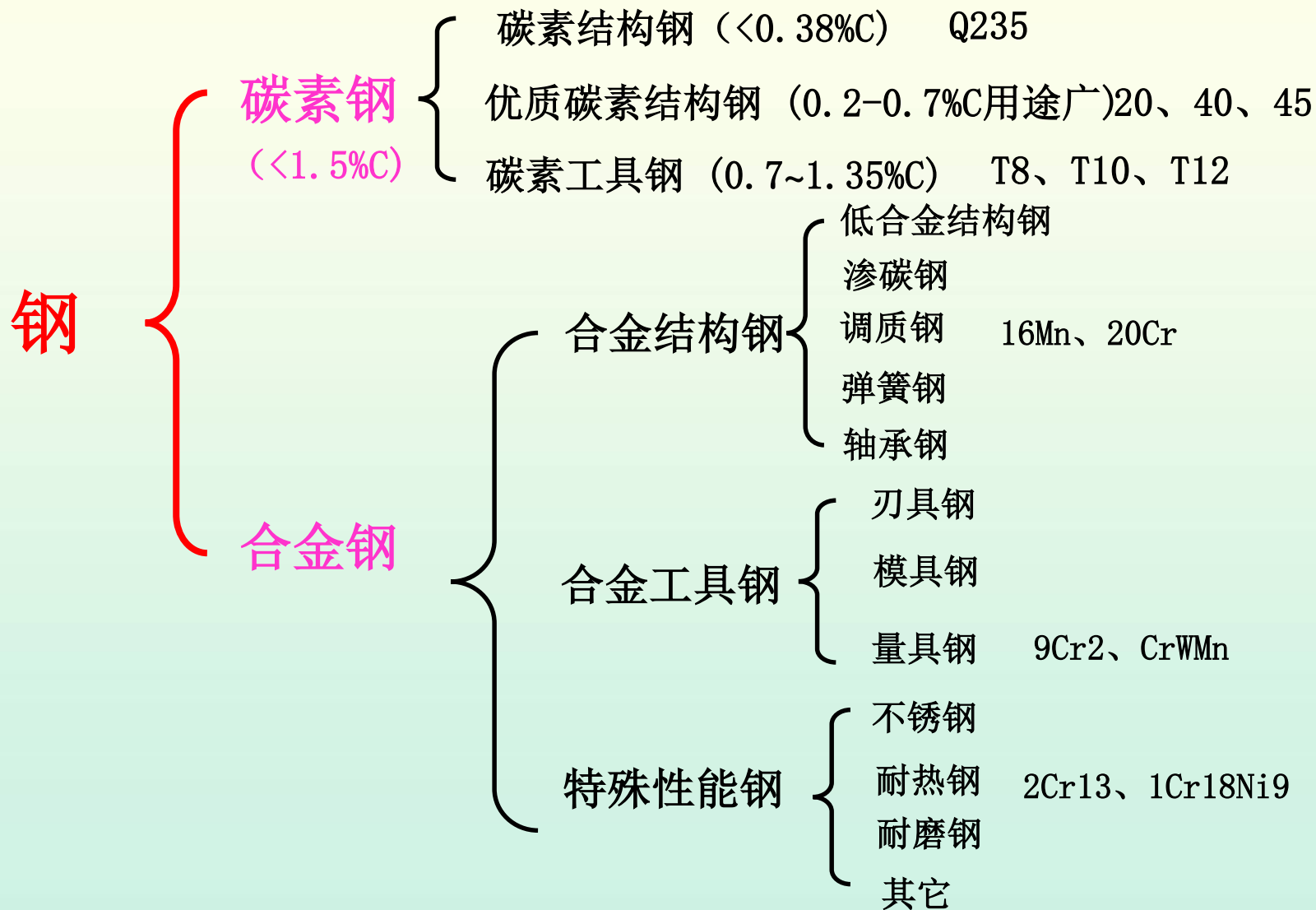
2) 磷和硫是钢中的有害元素。

磷在钢中全部溶于铁素体中，虽可使铁素体的强度、硬度有所提高，但却使室温下的钢的塑性、韧性急剧降低，并使钢的脆性转化温度有所升高，使钢变脆，这种现象称为“冷脆性”。

硫在钢的晶界处可形成低熔点的共晶体**FeS**，当钢在**1000℃~1200℃**进行压力加工时，由于**FeS-Fe**共晶（熔点只有**989℃**）已经熔化，并使晶粒脱开，易产生裂纹，这种现象称为“热脆性”。



2、碳素钢的牌号和用途



2.3.2 零件选材的一般原则

机械设计不仅包括零件的结构设计，同时也包括所用材料的选择和工艺设计。

1、使用性能原则

使用性能是保证零件完成规定功能（即满足零件得到工作要求）的必要条件。

2、工艺性能原则

材料的工艺性能表示材料加工（铸造、锻造、焊接、切削加工和热处理等）的难易程度。

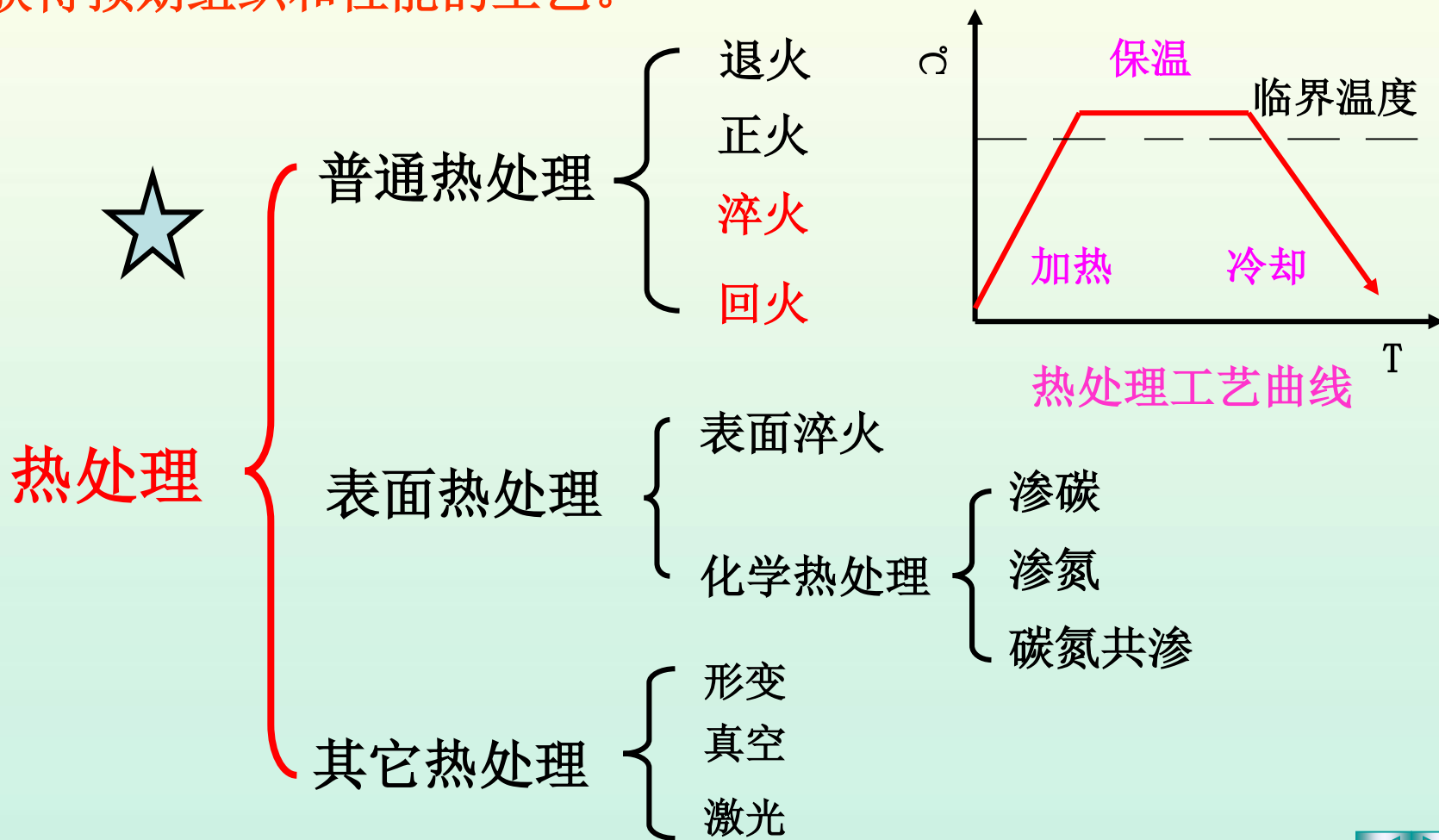
3、经济性能原则

材料的经济性是选材的根本原则。其原则是能用便宜的就不用昂贵的材料；**能用碳钢就不用合金钢**；能用普通钢就不用特殊钢；并立足国产资源。

第3章 钢的热处理

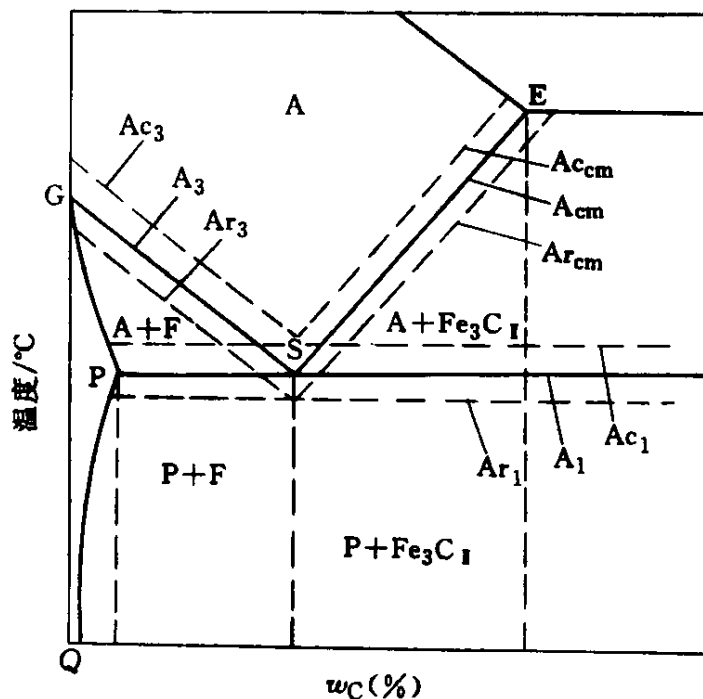
3.1 概述

钢的热处理是将钢在固态下，通过加热、保温和冷却，以获得预期组织和性能的工艺。



大多数热处理工艺需要将钢加热到**临界温度以上**，获得全部或部分奥氏体组织，即进行**奥氏体化（为什么？）**，然后以**不同的冷却速度**进行冷却获得不同的组织，最终获得所需要的性能。

因为一般来说，奥氏体强度、硬度不高，但塑性优良



碳钢在加热和冷却时的临界点位置

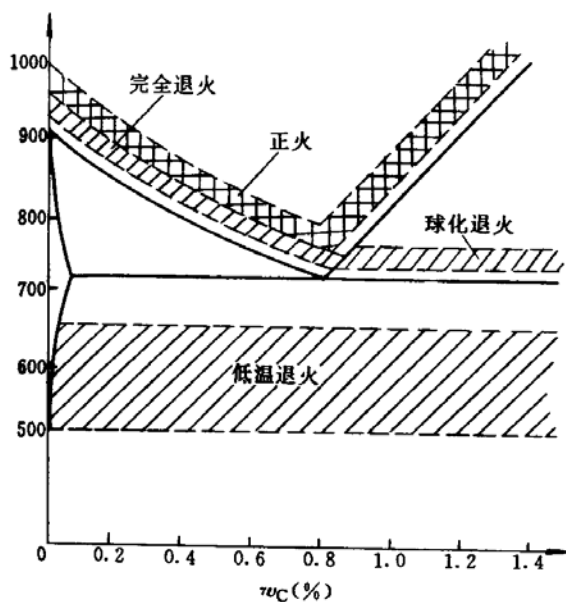
主要分为空气
随炉冷却。

3.2 钢的退火和正火

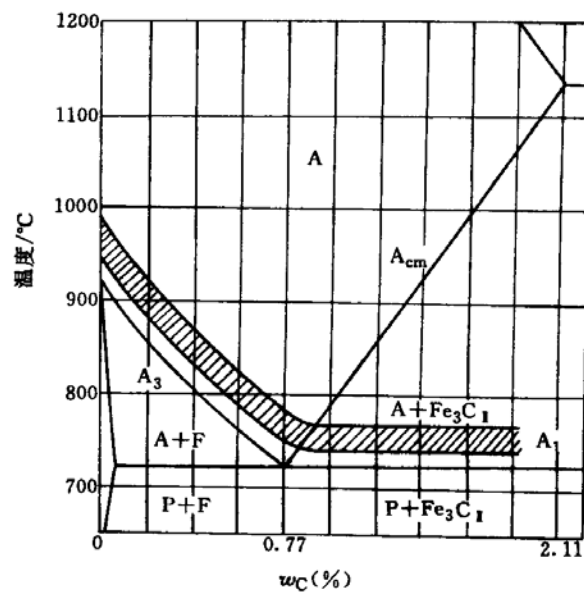
一、退火 一般是缓慢冷去，随炉冷却

将钢加热、保温，然后随炉冷却或埋入灰中使其缓慢冷却。

1、完全退火：又称重结晶退火，是将亚共析钢加热到 A_{c3} 线以上20—30℃，保温后缓慢冷却(随炉冷却或砂中冷却)，以获得接近平衡组织。



退火和正火的加热温度范围



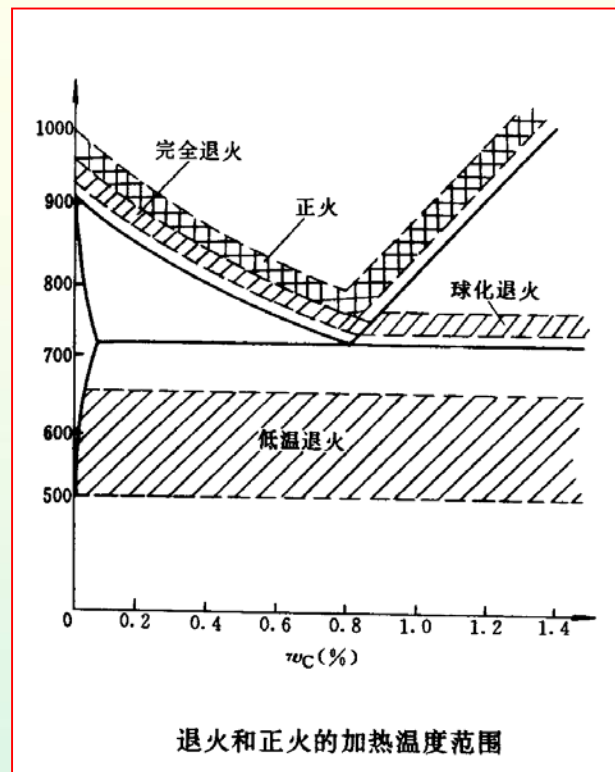
碳钢的淬火加热温度范围

完全退火的作用：

1、通过完全重结晶，使热加工中造成的晶粒粗大、不均匀组织细化和均匀化，提高材料的塑性和韧性；

2、使中碳以上的碳钢和合金钢接近平衡状态组织，以降低硬度，改善切削加工性能；

3、冷却速度慢，可消除铸件和锻件的内应力。

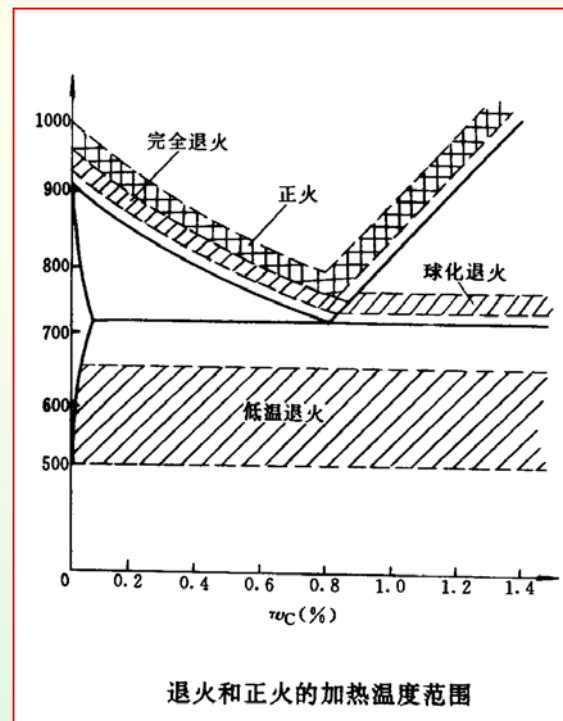


完全退火主要用于亚共析钢，过共析钢不宜采用，为什么？

因为加热至 $A_{c_{cm}}$ 以上缓慢冷却时，**二次渗碳体会以网状形式沿奥氏体晶界析出**，使钢的韧性大大下降，并可能在以后的热处理中引起开裂。

2、球化退火：主要用于过共析钢。因为使和珠光体中的渗碳体二次渗碳体球化。

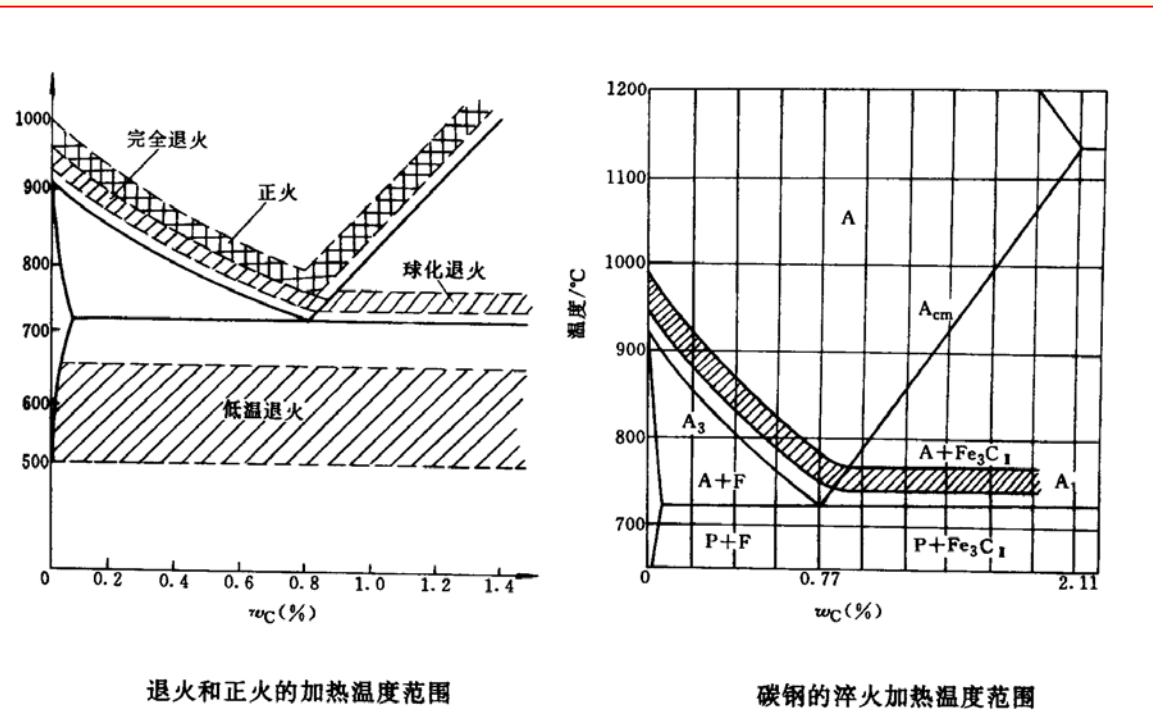
球化退火时，将过共析钢加热到 A_{c1} 线以上20—30℃。此时，初始形成的奥氏体内及其晶界上尚有少量未完全溶解的渗碳体，在随后的冷却过程中，奥氏体经共析反应析出的渗碳体便以未溶解渗碳体为核心，呈球状析出，分布在铁素体基体上，这种组织称为“球化体”。



为什么希望出现这种“球化体”组织？

因为车削片状珠光体时容易磨损刀具，而球化体的硬度低、容易加工，节省刀具。

球化退火主要用于过共析钢，目的是使二次渗碳体及珠光体中的渗碳体球化，以降低硬度，改善切削加工性能，并为以后的淬火做好组织准备。



3、低温退火（去应力退火）：将钢加热到 A_{c1} 线以下（500—650℃），保温后缓慢冷却。

由于加热温度低于临界温度，所以钢未发生组织转变。

去应力退火主要用于部分铸件、锻件及焊接件，有时也用于精密零件的切削加工，使其通过原子扩散及塑性变形消除内应力，防止钢件产生变形。



退火的目的：

- (1) 降低硬度，以利于切削加工或其它种类加工；
- (2) 细化晶粒，提高钢的塑性和韧性；
- (3) 消除内应力，为淬火工序做好组织准备。

实际生产中，各种工件在制造过程中的工艺路线：

铸造（或锻造）→退火（正火）→切削加工→成品；

铸造（或锻造）→退火（正火）→粗加工→淬火→回火→精加工→成品。

为什么将退火（正火）安排在铸造（锻造）之后，切削加工之前呢？



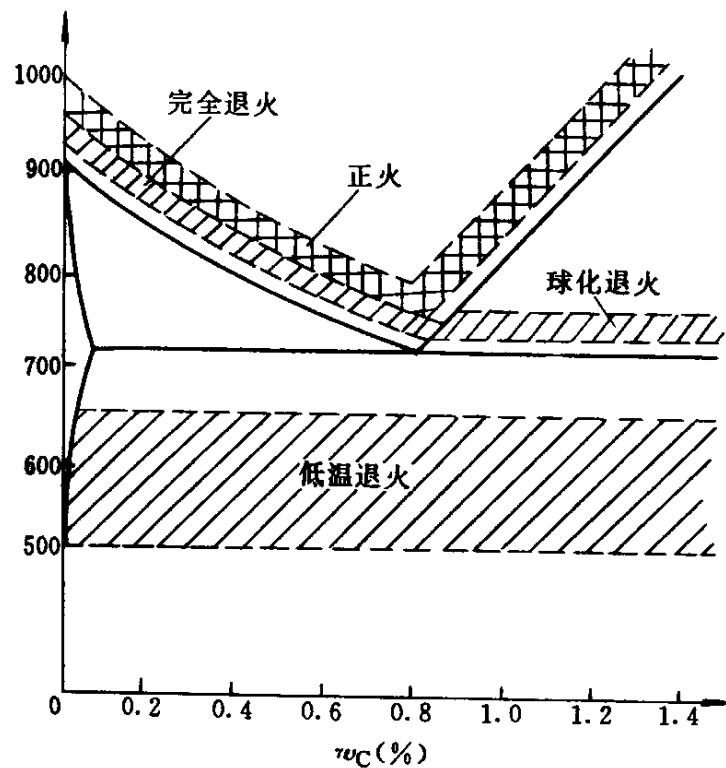
(1) 铸造或锻造后，钢件有铸造或锻造残余应力，而且还往往存在着成分和组织上的不均匀性，因而机械性能较低，还会导致以后淬火时的变形和开裂。

(2) 铸造或锻造后，钢件硬度经常偏高或偏低，严重影响切削加工。

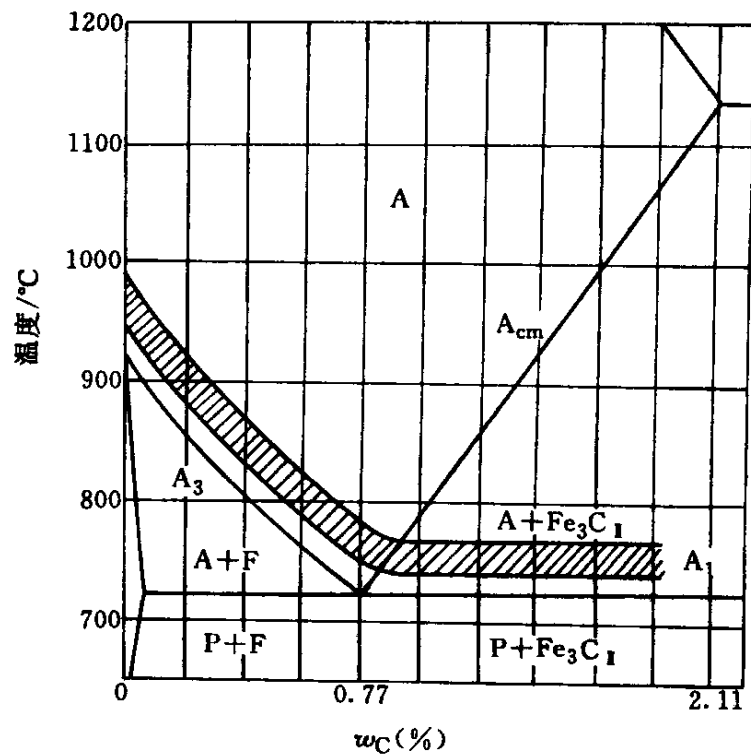
(3) 如果工件的性能要求不高时，如铸件、锻件或焊接件等，退火或正火常作为最终热处理。

退火分类	加热温度	冷却方式	主要目的	适用范围
完全退火	Ac_3 线以上 $20-30^{\circ}\text{C}$	缓慢冷却	消除粗晶和 不均匀组织	亚共析钢
球化退火	Ac_1 线以上 $20-30^{\circ}\text{C}$	缓冷至 600°C 空冷	渗碳体球化， 降低硬度	过共析钢
等温退火	Ac_3 线以上 $30-50^{\circ}\text{C}$	快冷至 A_1 线 下保温	获得均匀组织	合金钢 高合金钢
扩散退火	Ac_3 线以上 $150-250^{\circ}\text{C}$	缓慢冷却	消除偏析	合金钢铸锭 铸件
去应力退火	Ac_1 线以下 $600-650^{\circ}\text{C}$ 处	缓慢冷却	消除残余应力	铸、锻、焊件
再结晶退火	再结晶以上 150°C	缓慢冷却	消除加工硬化	冷塑性变形件





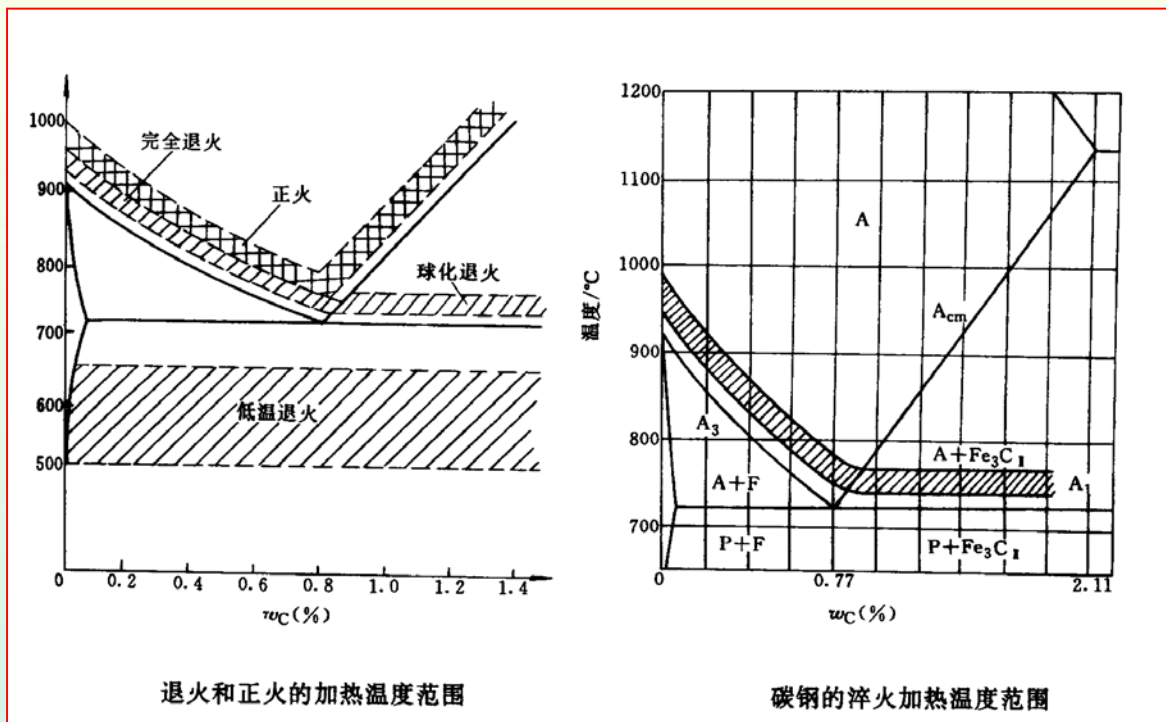
退火和正火的加热温度范围



碳钢的淬火加热温度范围

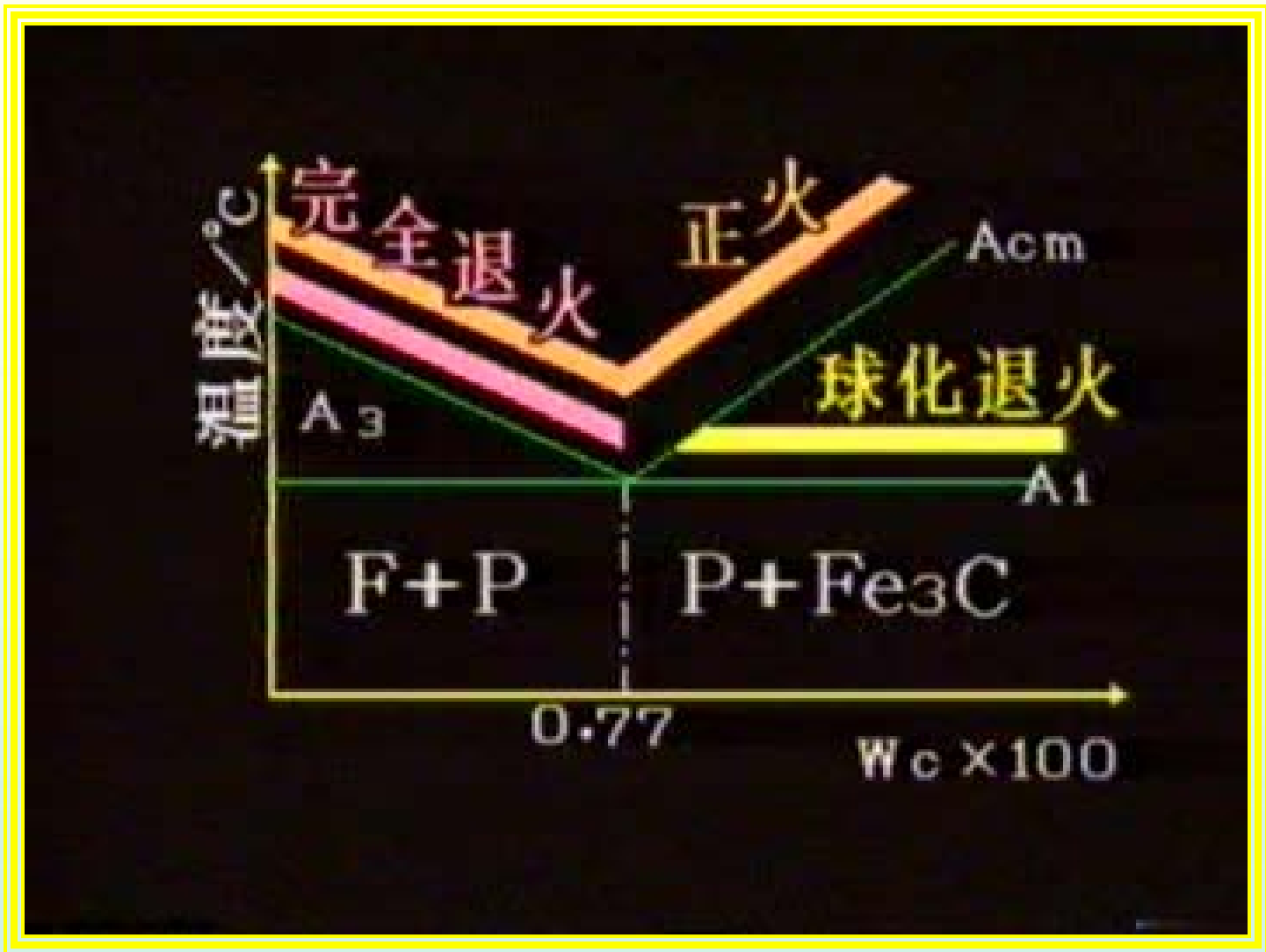
二、正火

将钢加热到 Ac_3 线以上30—50 °C （亚共析钢）或 Ac_{cm} 以上30—50 °C （过共析钢），保温后在空气中冷却，得到的是**细珠光体组织（索氏体）**。



- 应用：
- (1) 取代部分完全退火；（用于低碳钢和含碳量较低的中碳钢）
 - (2) 用于普通结构件的最终热处理；
 - (3) 用于过共析钢，减少或消除网状二次渗碳体，为球化处理作准备。

钢的种类	正 火 主 要 目 的
低碳 低合金钢	消除过热组织、细化晶粒、改善切削性（加硬度强度）
中碳钢	消除组织缺陷、保持硬度、为调质做准备
过共析钢	消除网状二次渗碳体、为球化退火和淬火做准备
高合金钢	淬火作用（空淬）



退火和正火的选择

(1) 从切削加工性上考虑

切削加工性包括硬度，切削脆性，表面粗糙度及对刀具的磨损等。

对于低、中碳结构钢以正火作为预先热处理比较合适，高碳结构钢和工具钢则以退火为宜。至于合金钢，由于合金元素的加入，使钢的硬度有所提高，故中碳以上的合金钢一般都采用退火以改善切削性。

(2) 从使用性能上考虑

如工件性能要求不太高，随后不再进行淬火和回火，那么往往用正火来提高其机械性能，但若零件的形状比较复杂，正火的冷却速度有形成裂纹的危险，应采用退火。

(3) 从经济上考虑

正火比退火的生产周期短，耗能少，且操作简便，故在可能的条件下，应优先考虑以正火代替退火。

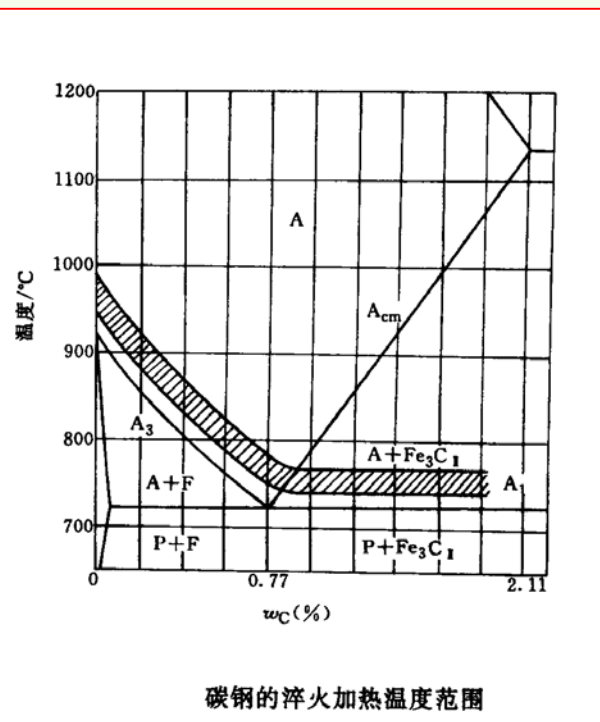
3.3 淬火和回火

一、淬火

将钢加热到 Ac_3 或 Ac_1 线以上30—50 °C，保温后在淬火介质中快速冷却（ γ —Fe向 α —Fe同素异晶转变），以获得马氏体（M）组织（碳在 α —Fe中的严重过饱和固溶体）。

马氏体中的碳在 α —Fe的晶格中严重过饱和，致使晶格发生严重的畸变，增加了变形的抗力，因此马氏体具有高的硬度和耐磨性，但塑性和韧性很差。

马氏体的实际硬度与钢的含碳量密切相关。一般含碳量愈高，晶格畸变加大，钢的硬度愈高，因此，要求高硬度和高耐磨性的工件多采用中、高碳钢来制造。



马氏体形成过程中将伴随着体积膨胀，造成淬火内应力。同时，马氏体含碳愈高，脆性愈大，这样会使工件在淬火时容易产生裂纹或变形。

为防止产生以上缺陷，除选择合适的钢材和正确的结构外，在工艺上还应采取以下措施：

(1) 严格控制淬火加热温度

温度低，硬度低；温度高，晶粒粗大，应力大，易产生裂纹。

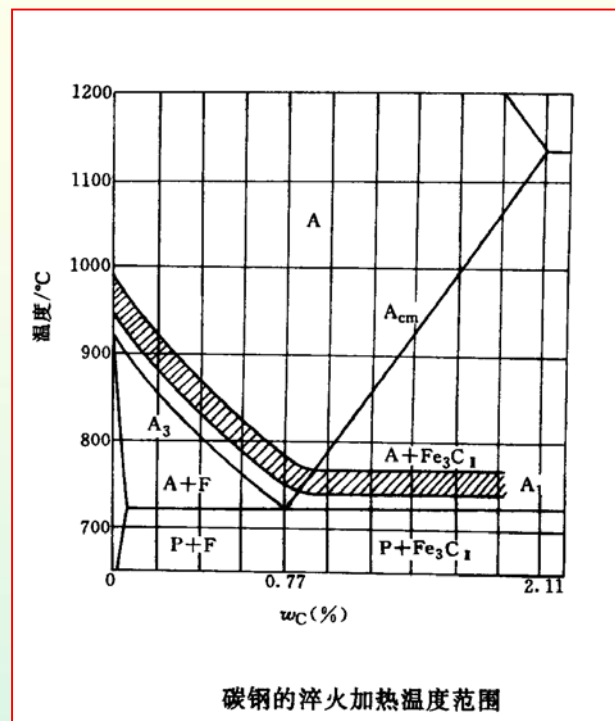
(2) 合理选择淬火介质

水和油是最常用的淬火介质。

(3) 正确选择淬火方法

采用合适的淬火方法可有效防止工件产生裂纹和变形。

采用水油双介质淬火法。



二、回火

将淬火钢重新加热到 Ac_1 以下某温度，保温后冷却到室温的热处理工艺。

目的：主要是消除淬火内应力，降低钢的脆性，防止产生裂纹。

回火三种形式：

(1) **低温回火**（150—250℃），目的是降低淬火钢的内应力和脆性，并保持高硬度（56—64HRC）和高耐磨性。淬火后低温回火可用于各种模具、刀具、滚动轴承和耐磨件等。

(2) **中温回火**（350—500℃），目的是使钢获得高弹性，并保持较高硬度（35—50HRC）和一定的韧性。主要用于如弹簧、锻模发条等。

(3) **高温回火**（500—650℃），淬火并高温回火称为**调质处理**。调质后的硬度20—35HRC，强度及韧性等综合性能较好。如连杆、曲轴、齿轮等。



3.4 表面淬火和化学热处理

表面淬火和化学热处理都是为改变钢件表面的组织和性能，仅对其表面进行热处理的工艺。



一、表面淬火 齿轮一般采用，表面怕折断，心部要有一定变形，与轴承配合

表面淬火通过快速加热，使钢的表层很快达到淬火温度，在热量来不及传到钢件心部时就立即淬火，从而使**表层获得马氏体组织，而心部仍保持原始组织。**

表面淬火的目的在于获得高硬度、高耐磨性的表层，而心部仍保持原来良好的韧性。常用于要求性能表硬里韧的工件，如**齿轮、曲轴**等。

二、化学热处理

化学热处理是将钢件置于合适的化学介质中加热和保温，使介质中的活性原子渗入钢件表层，以改变钢件表层的化学成分和组织，从而获得所需的**力学性能和理化性能。**

按照表面渗入元素的不同，化学热处理可以分为：**渗碳、渗氮、碳氮共渗**等，其中渗碳应用最广。