

金属材料学

Metal Material and Heat Treatment

主讲教师：曾燕屏

第一篇 ■ 原理篇

第一章

钢铁材料合金化原理

- 是国民经济和国防工业生产中最重要的一大类金属材料
- 是以铁为基础的合金
- 在各种钢铁材料中总是或多或少地含有碳

§ 1-1 铁碳相图

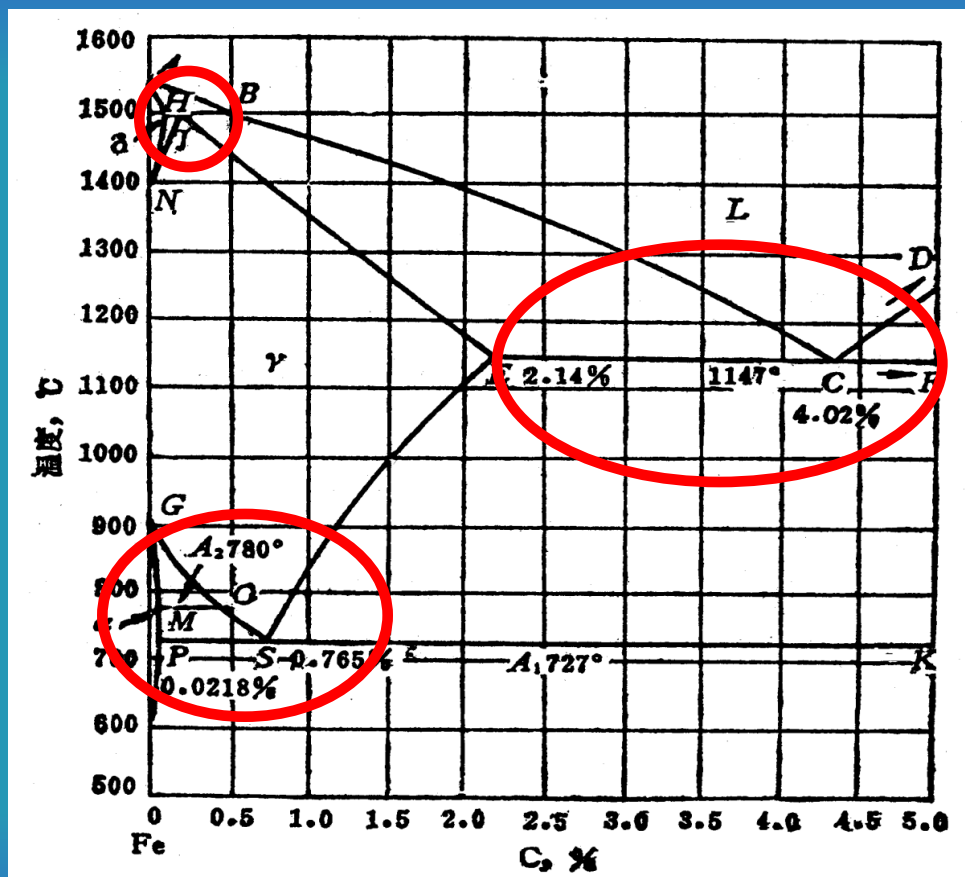


图1-1 Fe-Fe₃C相图

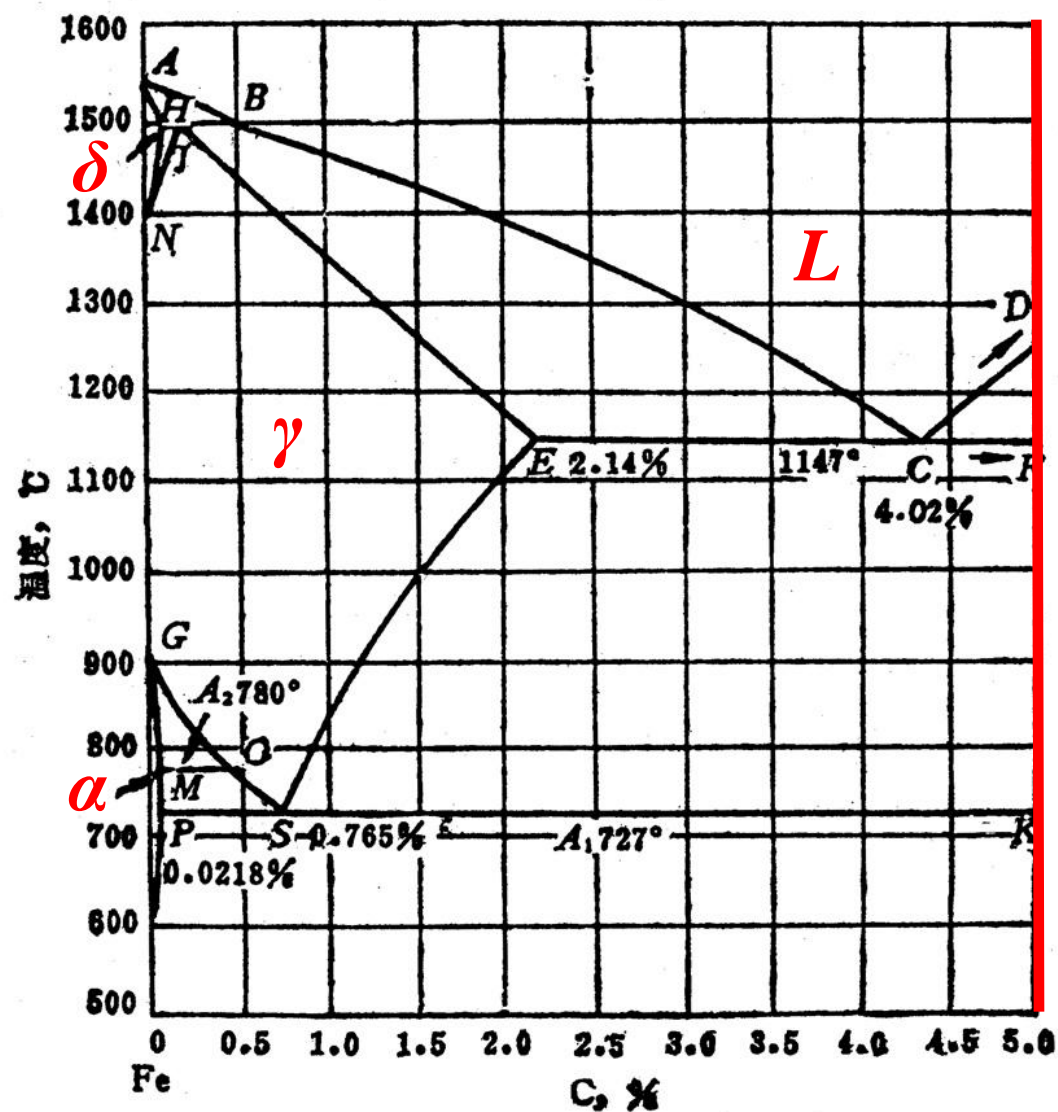


图1-1 Fe-Fe₃C相图

- 铁碳相图是由包晶反应、共晶反应和共析反应三部分联接而成的。
- 除了液相和渗碳体这两个单相区外，还有碳在铁中的固溶体 α 、 δ 、 γ 三个单相区。
- α 和 δ 分别称为铁素体和 δ 铁素体， γ 称为奥氏体。

● 当铁碳合金的含碳量超过铁的溶解度时，多余的碳将以碳化物的形式存在于合金中。

✓ 渗碳体是铁与碳形成的间隙化合物，化学式为 Fe_3C ，通常以 cm 表示。

✓ 渗碳体的硬度很高($\text{HB} \approx 800$)，但塑性很差，为硬脆相。

✓ 渗碳体是一个亚稳相，在条件适合时会向稳定相石墨转变：



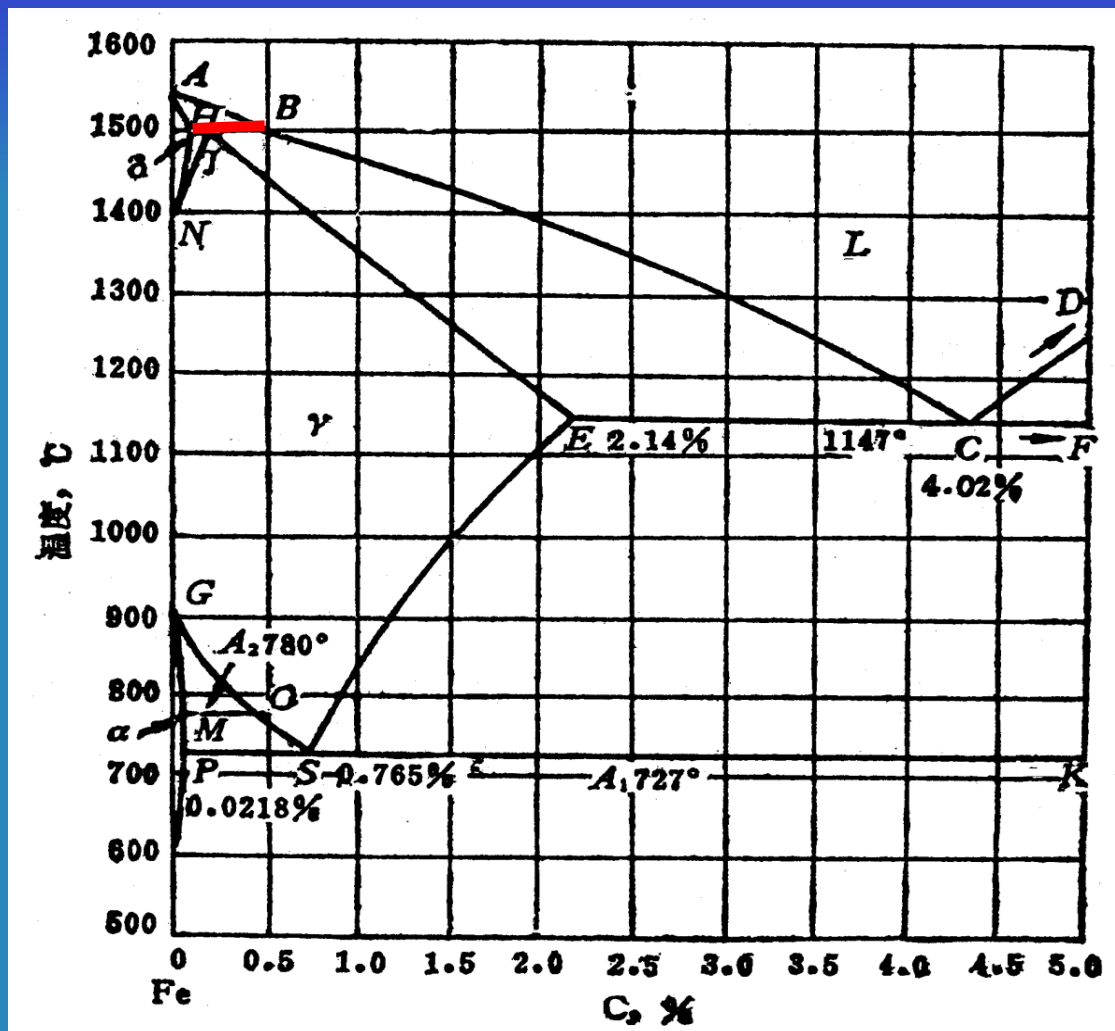


图1-1 Fe-Fe₃C相图

在1495℃发生包晶反应：



即 δ 铁素体(0.09%C)、液相(0.53%C)和奥氏体(0.18%C)三相共存。在此温度， δ -Fe对碳的溶解度最大。

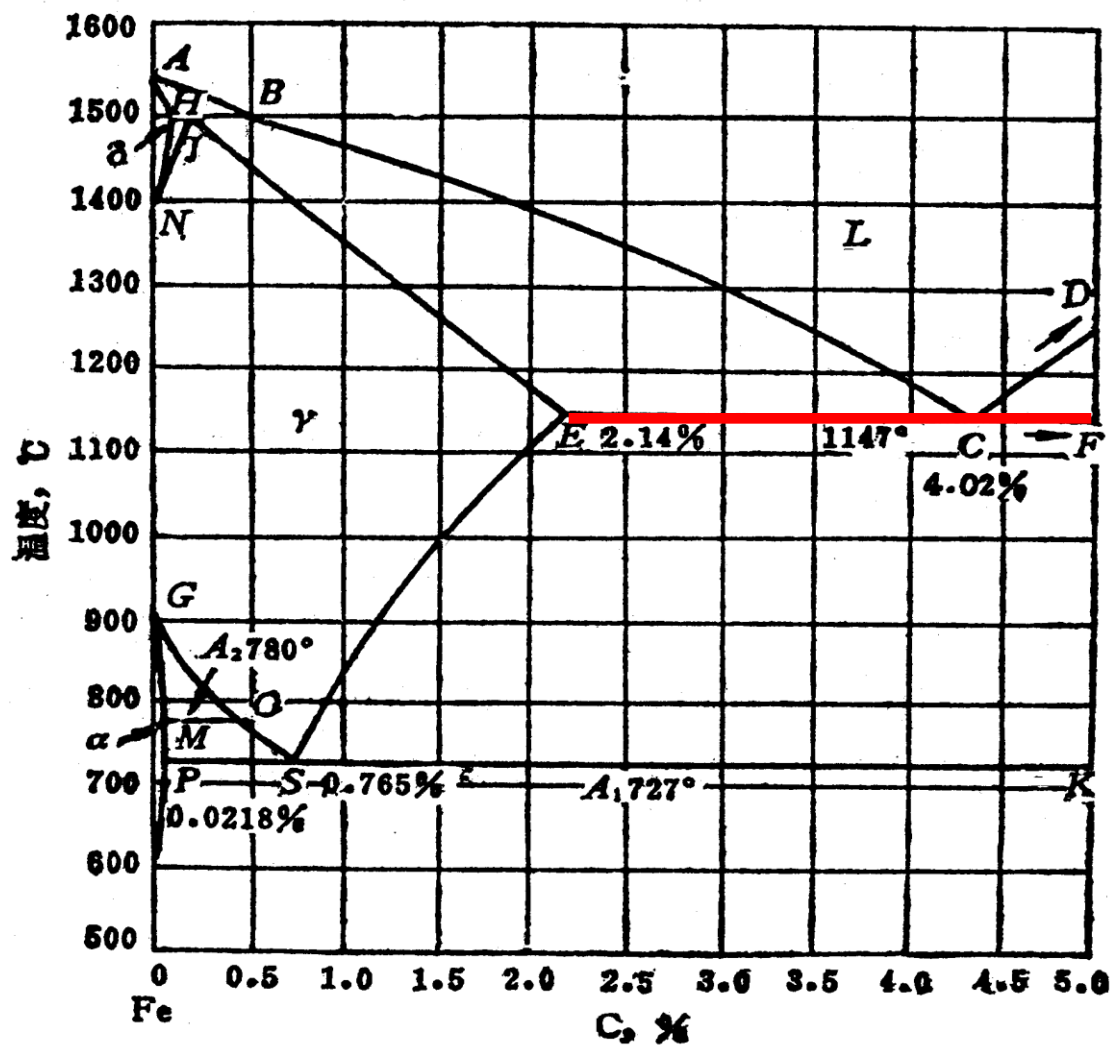


图1-1 Fe-Fe₃C相图

在1147℃发生共晶反应：



即液相(4.30%C)、奥氏体(2.11%C)和渗碳体(6.69%C)三相共存。在此温度， $\gamma\text{-Fe}$ 对碳的溶解度最大。

在共晶温度以下，奥氏体对渗碳体的溶解度沿ES线变化，ES线又称 A_{cm} 线，下标cm代表渗碳体；奥氏体对铁素体的溶解度沿GS线变化，GS线又称 A_3 线。

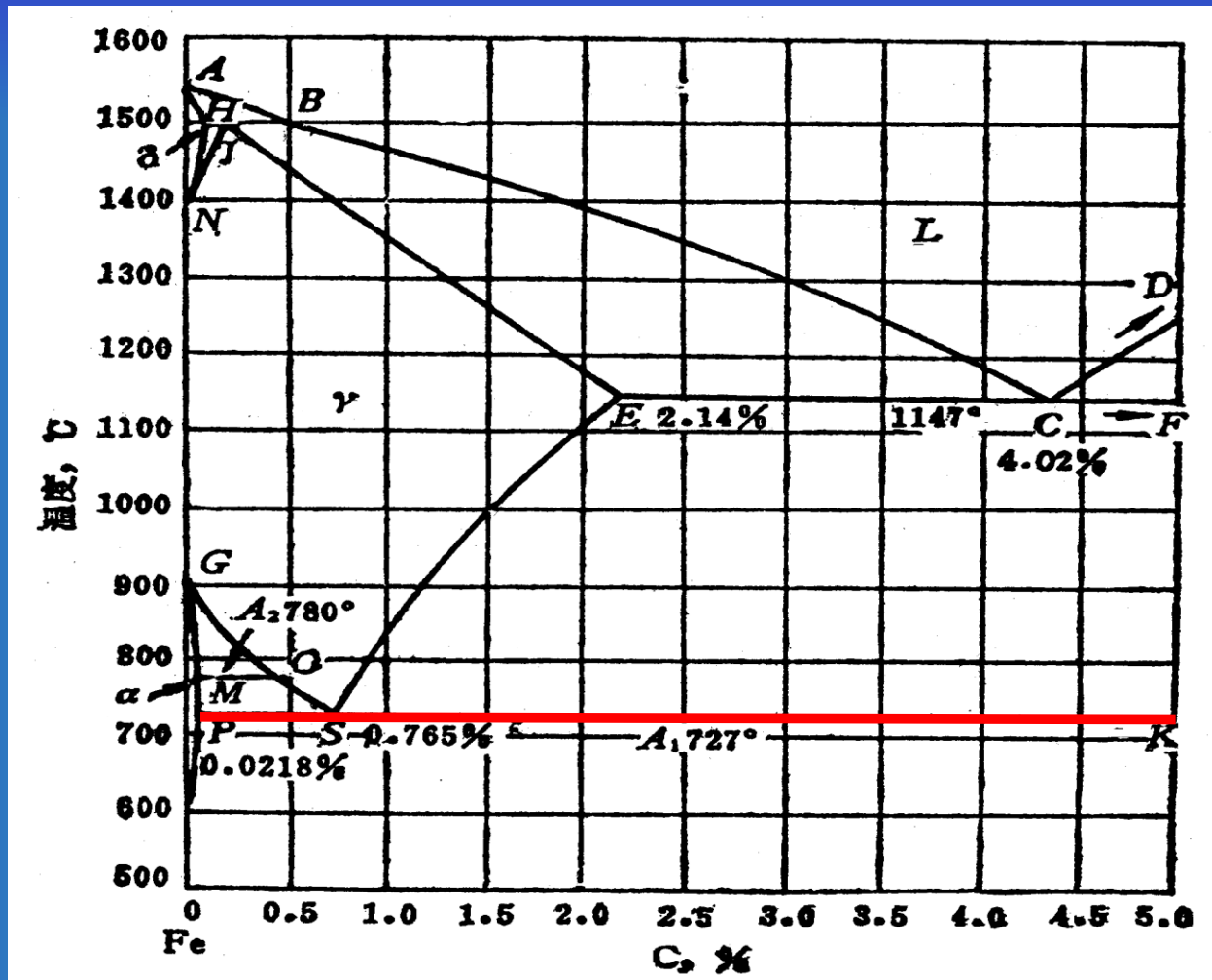


图1-1 Fe-Fe₃C相图

在727℃(即A₁温度)发生共析反应:



即奥氏体(0.77%C)、铁素体(0.0218%C)和渗碳体(6.69%C)三相共存。在此温度, α 对碳的溶解度最大。

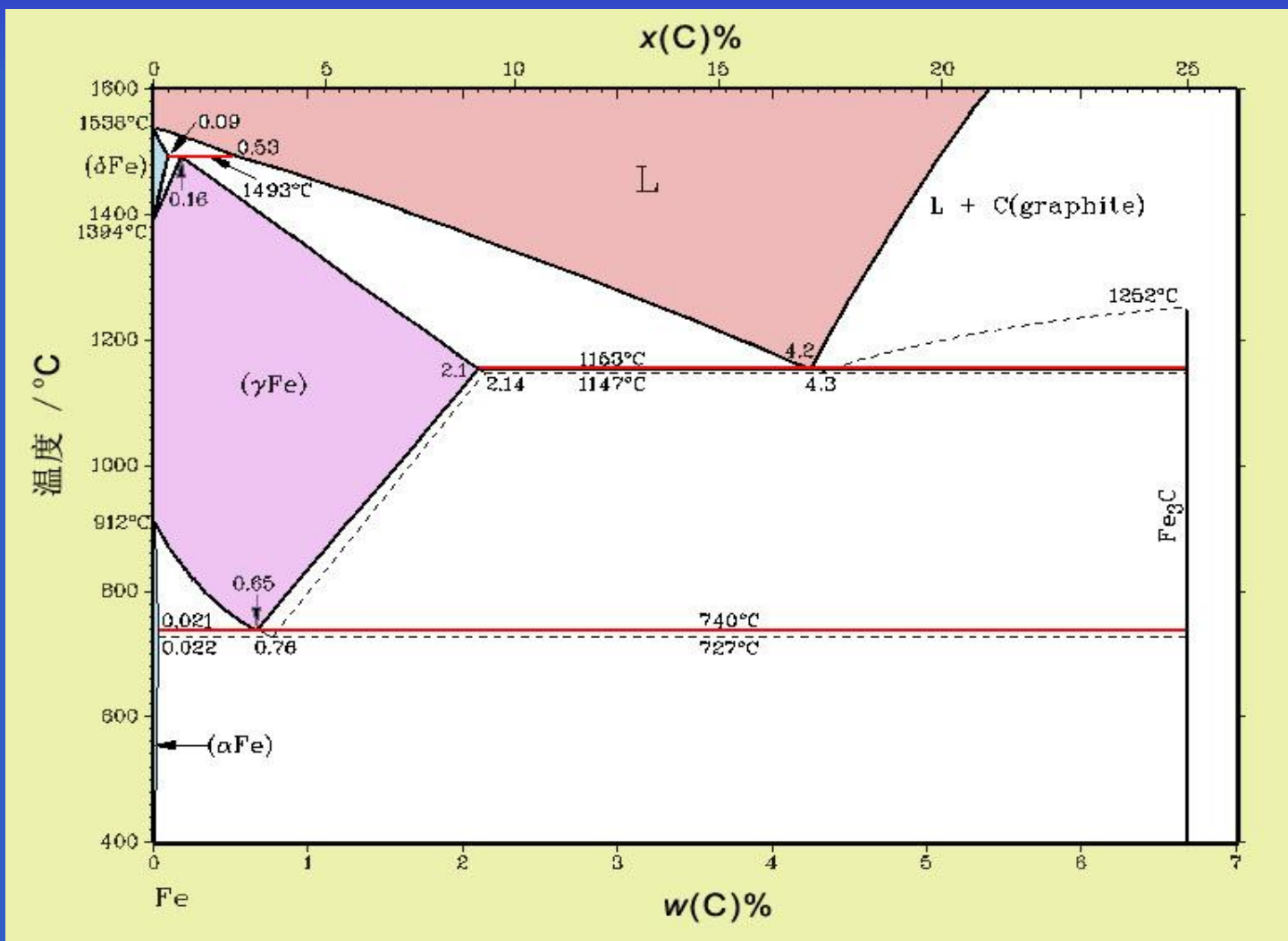


图1-2 Fe-Graphite与Fe-Fe₃C相图

思考题

1. 何谓铁素体、奥氏体、渗碳体、珠光体、莱氏体、变态莱氏体？它们是由一个相还是多个相组成的组织组成物？其常用的英文缩写是什么？
2. 何谓 δ -铁素体、 α -铁素体、共析铁素体和先共析铁素体？
3. 何谓一次渗碳体、共晶渗碳体和二次渗碳体、先共析渗碳体、共析渗碳体、三次渗碳体？

4. 徒手绘制Fe—Fe₃C相图，并标出各相区的相组成物和组织组成物，说明临界温度A₁、A₃、A_{cm}的含义。

5. 简述Fe—Fe₃C相图中三个基本反应：包晶反应、共晶反应及共析反应，写出反应式，注出碳含量及温度。

§ 1-2 铁及铁碳合金简介

铁碳二元系

纯铁 (工业纯铁 $C\% < 0.0218\%$)

碳钢 ($0.0218 < C\% < 2.11\%$)

铸铁 ($C\% > 2.11\%$)

一、纯铁

- 元素周期表上第26个元素，属于过渡族元素
- 原子量：55.85
- 密度：7.87g/cm³
- 熔点：1538℃(常压下)
- 气化点：2740℃ (常压下)



1 H Hydrogen 1.0																	2 He Helium 4.0				
3 Li Lithium 6.9	4 Be Beryllium 9.0															5 B Boron 10.8	6 C Carbon 12.0	7 N Nitrogen 14.0	8 O Oxygen 16.0	9 F Fluorine 19.0	10 Ne Neon 20.2
11 Na Sodium 23.0	12 Mg Magnesium 24.3															13 Al Aluminum 27.0	14 Si Silicon 28.1	15 P Phosphorus 31.0	16 S Sulfur 32.1	17 Cl Chlorine 35.5	18 Ar Argon 40.0
19 K Potassium 39.1	20 Ca Calcium 40.2	21 Sc Scandium 45.0	22 Ti Titanium 47.9	23 V Vanadium 50.9	24 Cr Chromium 52.0	25 Mn Manganese 54.9	26 Fe Iron 55.8	27 Co Cobalt 58.9	28 Ni Nickel 58.7	29 Cu Copper 63.5	30 Zn Zinc 65.4	31 Ga Gallium 69.7	32 Ge Germanium 72.6	33 As Arsenic 74.9	34 Se Selenium 79.0	35 Br Bromine 79.9	36 Kr Krypton 83.8				
37 Rb Rubidium 85.5	38 Sr Strontium 87.6	39 Y Yttrium 88.9	40 Zr Zirconium 91.2	41 Nb Niobium 92.9	42 Mo Molybdenum 95.9	43 Tc Technetium 98.0	44 Ru Ruthenium 101.1	45 Rh Rhodium 102.9	46 Pd Palladium 106.4	47 Ag Silver 107.9	48 Cd Cadmium 112.4	49 In Indium 114.8	50 Sn Tin 118.7	51 Sb Antimony 121.8	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.9	54 Xe Xenon 131.3				
55 Cs Caesium 132.9	56 Ba Barium 137.4	57-71	72 Hf Hafnium 178.5	73 Ta Tantalum 181.0	74 W Tungsten 183.8	75 Re Rhenium 186.2	76 Os Osmium 190.2	77 Ir Iridium 192.2	78 Pt Platinum 195.1	79 Au Gold 197.0	80 Hg Mercury 200.6	81 Tl Thallium 204.4	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 209.0	84 Po Polonium 210.0	85 At Astatine 210.0	86 Rn Radon 222.0				
87 Fr Francium 223.0	88 Ra Radium 226.0	89-103	104 Rf Rutherfordium 261	105 Db Dubnium 262	106 Sg Seaborgium 263	107 Bh Bohrium 262	108 Hs Hassium 265	109 Mt Meitnerium 268	110 Uun Ununillium 272												

Types of Elements Key:

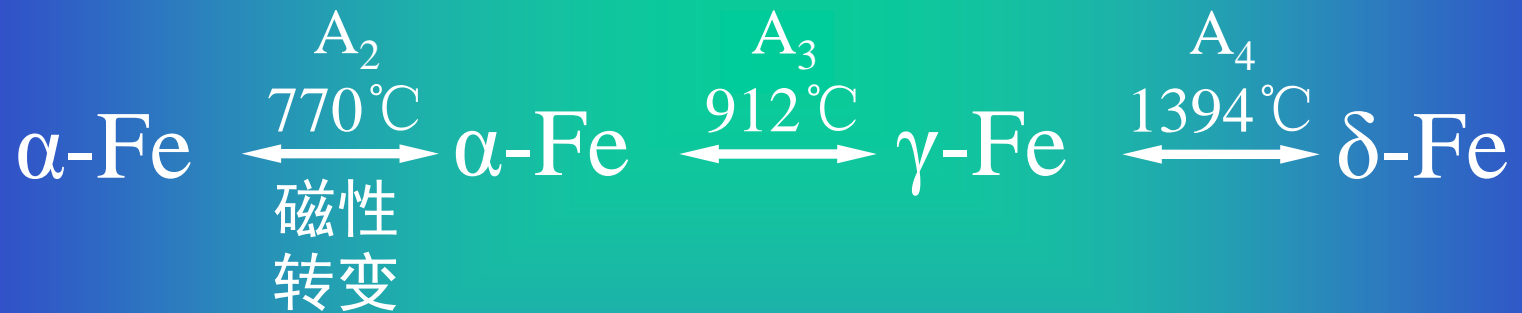
Alloy. A metallic substance that is composed of two or more elements.

Metal alloys, by virtue of composition, are often grouped into two classes—ferrous and nonferrous. Ferrous alloys, those in which iron is the principal constituent, include steels and cast irons. These alloys and their characteristics are the first topics of discussion of this section. The nonferrous ones—all the alloys that are not iron based—are treated next.

Types of Elements Key:	
	Alkali metal
	Alkaline earth metal
	Transition metal
	Lanthanides
	Actinides
	Poor metal
	Semimetal
	Non-metal
	Noble gases

图1-3 元素周期表

铁的多型性转变：



纯铁(0.001~0.005%C)室温下的力学性能

- 屈服强度： $128\sim 206\text{MN/m}^2$
- 抗拉强度： $275\sim 314\text{MN/m}^2$
- 面缩率： $70\sim 80\%$
- 冲击韧性： $1275\sim 1962\text{kJ/m}^2$
- 硬度(HB)： $70\sim 80\text{kg/mm}^2$

非常柔软，易变形，塑性好，但强度低

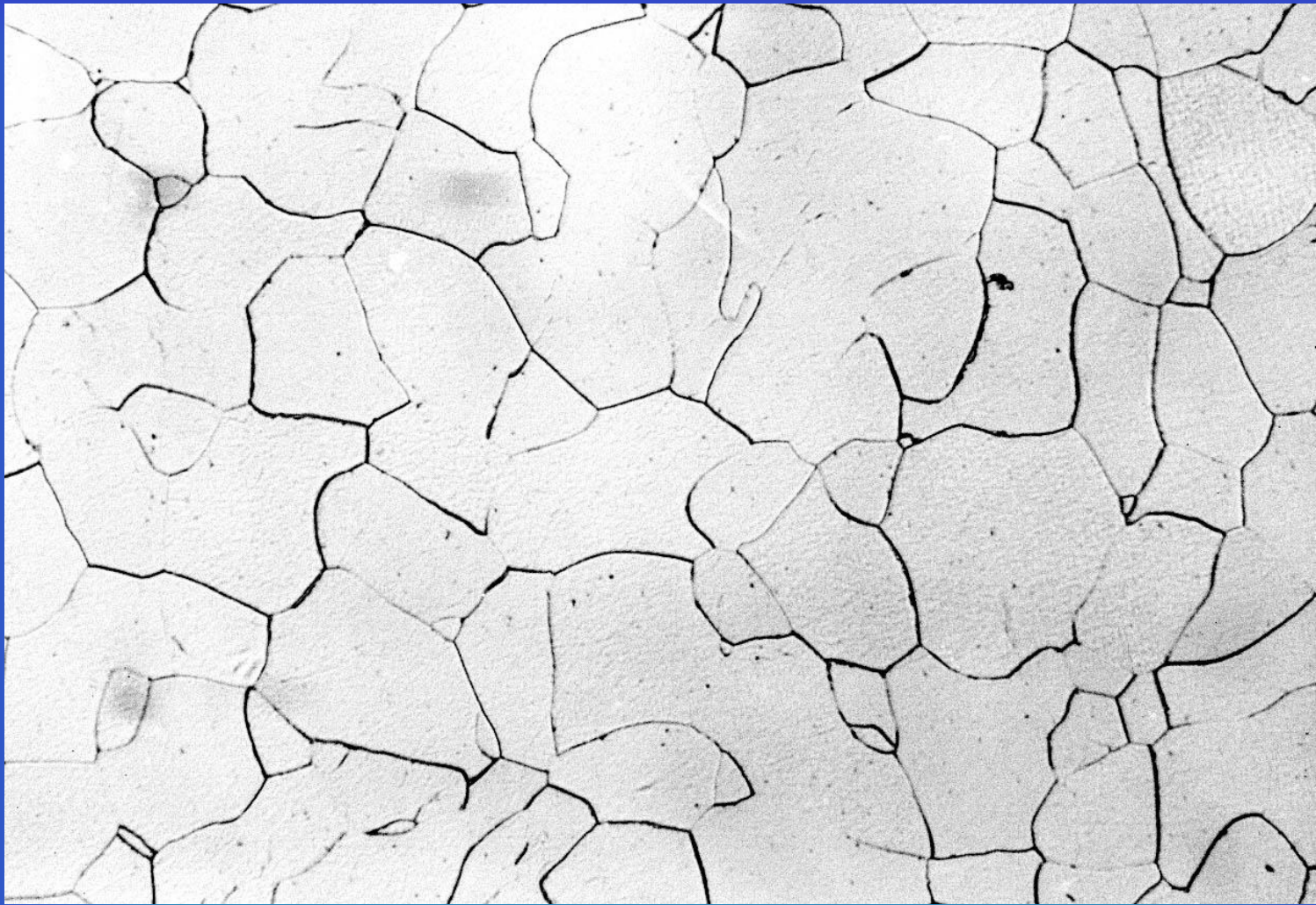


图1-4 工业纯铁的显微组织

二、碳钢

碳钢

亚共析钢 ($0.0218\% < C\% < 0.77\%$)

共析钢 ($C\% = 0.77\%$)

过共析钢 ($0.77\% < C\% < 2.11\%$)

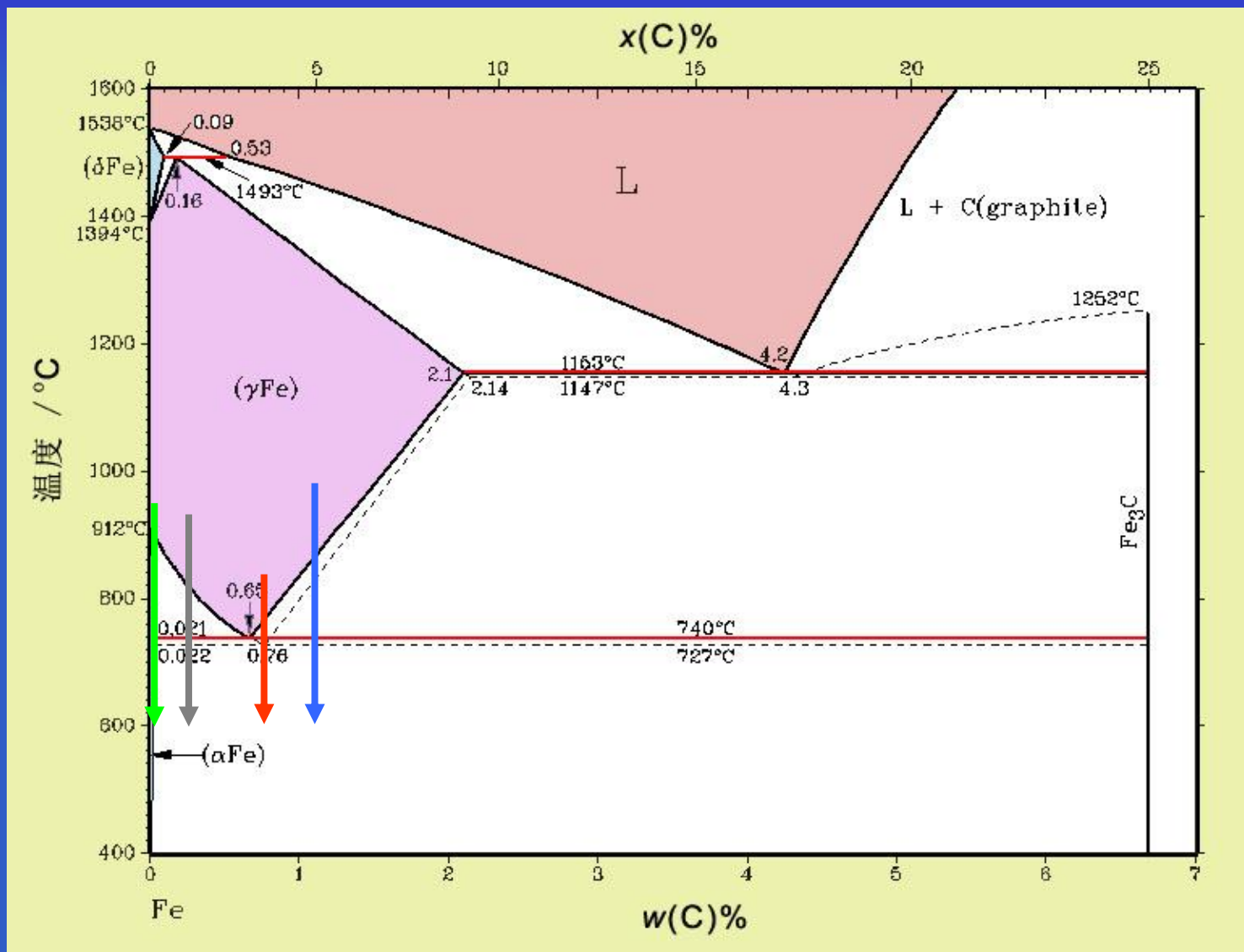
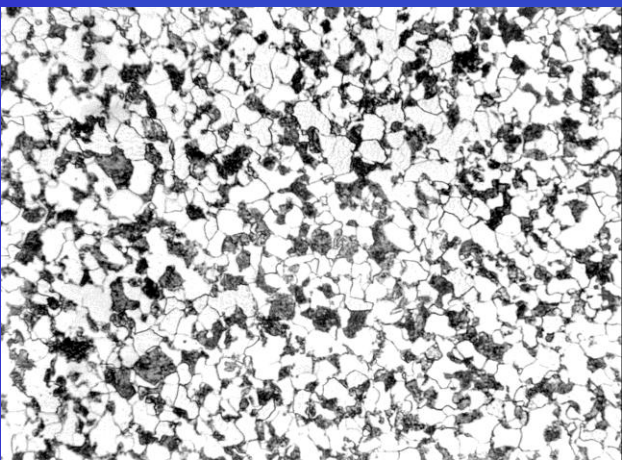
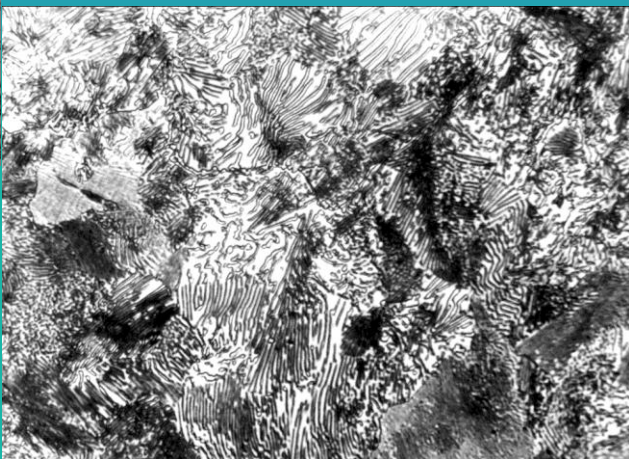


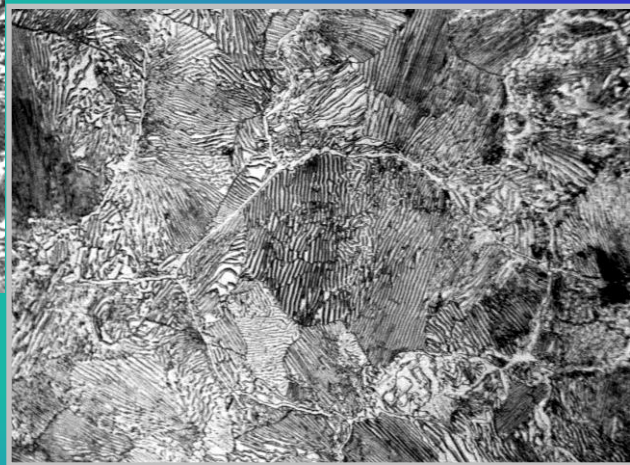
图1-5 Fe-Fe₃C与Fe-Graphite相图



亚共析(35)钢
先共析铁素体+珠光体



共析(T8)钢
珠光体



过共析(T12)钢
先共析渗碳体+珠光体

图1-6 碳钢在室温下的组织

碳钢中的常存元素

- 工业用碳钢除碳外还含有其他元素，如硅、锰、硫、磷、氧、氮、氢等。
- 硅、锰是在钢冶炼时作为脱氧元素而加入的。
- 硫和磷是冶炼时未能除尽的杂质元素。
- 在碳钢中它们的含量范围大致如下：锰 $\leq 0.7\%$ ；硅 $\leq 0.5\%$ ；磷 $\leq 0.05\%$ ；硫 $\leq 0.04\%$ 。
- 氧、氢、氮等的含量与冶炼方法有关，一般只有十万分之几到万分之几，非常少。

碳对碳钢显微组织和性能的影响

- 碳是决定碳钢在缓冷后的组织和性能的主要元素。
- 碳对缓冷后碳钢显微组织的影响是：
 - ✓ 在亚共析钢范围内，随含碳量增加，铁素体相对量减少，珠光体相对量增加；
 - ✓ 达到共析成分时，全部为珠光体；
 - ✓ 在过共析钢范围内，随含碳量增加，先共析渗碳体相对量增多，珠光体相对量减少。

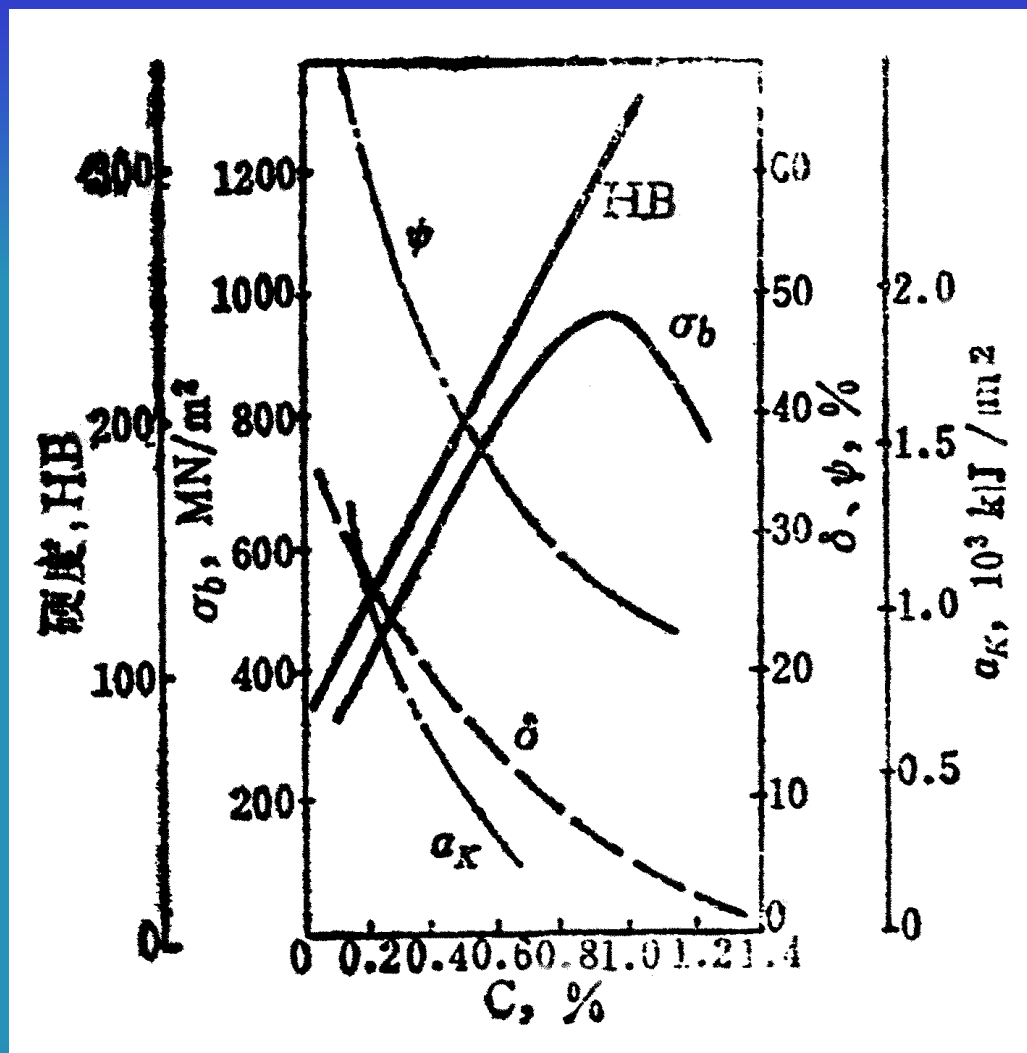


图1-7 含碳量对碳钢热轧后力学性能的影响

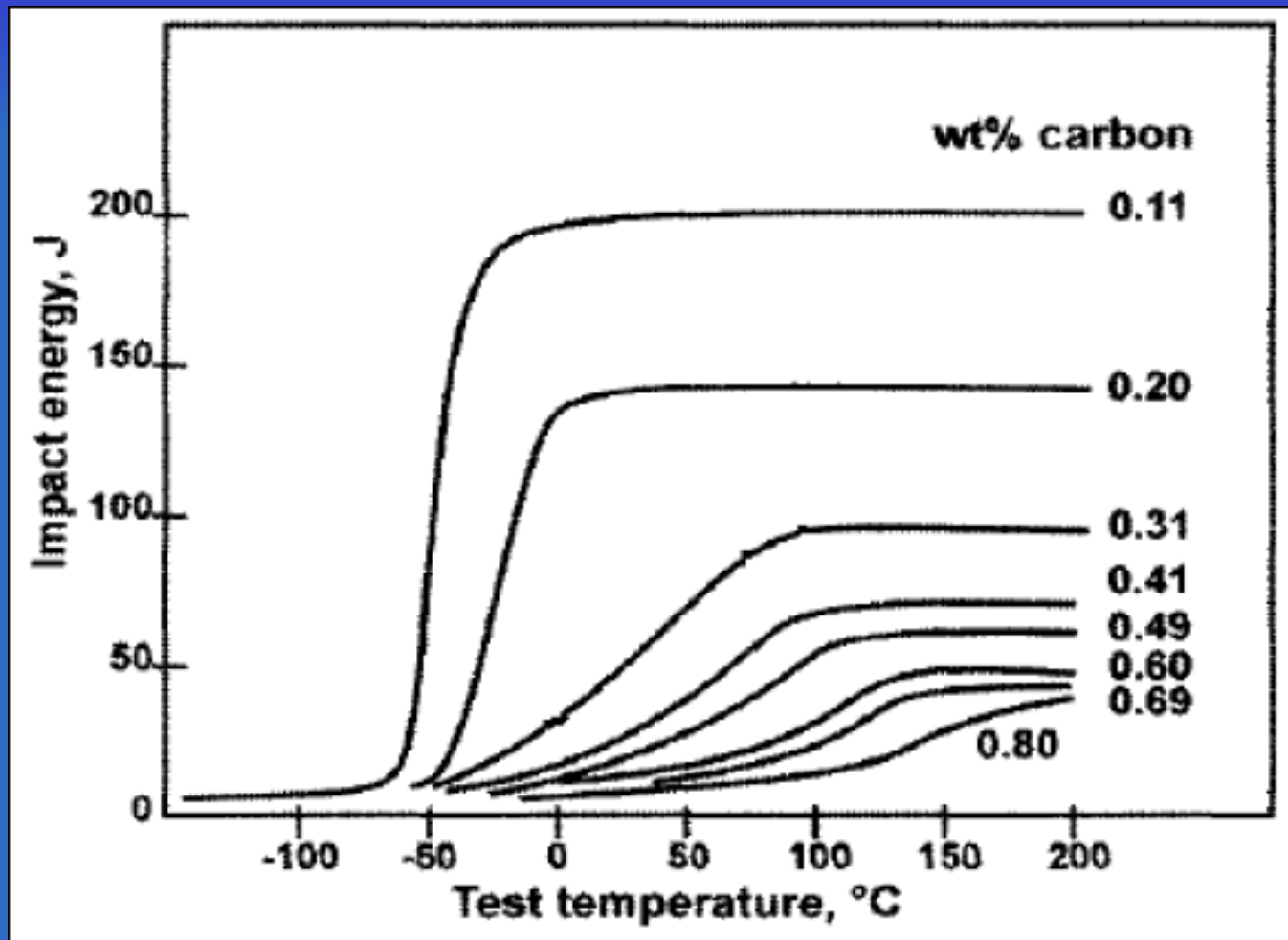


图1-8 含碳量对碳钢冲击韧性(V型缺口)和脆性转化温度的影响

硫对碳钢性能的影响

- 一般来说，硫是有害元素，它主要来自生铁原料、炼钢时加入的矿石和燃料燃烧产物中的二氧化硫。
- 硫在铁中的溶解度很小。室温时，硫以硫化物夹杂的形式存在于固态钢中。

- 硫的最大危害是引起钢在热加工时开裂，即产生所谓热脆。

- 硫通过形成硫化物夹杂而对钢的力学性能发生影响。增加钢中的含硫量，使硫化物夹杂的含量增高，钢的塑性和韧性将降低，同时，钢材力学性能的方向性增大，钢的热加工性能也变坏。

磷对碳钢性能的影响

- 一般来说，磷是有害杂质元素。它来源于矿石和生铁等炼钢原料。
- 钢中残余含磷量与冶炼方法有很大关系。
 - ✓ 侧吹转炉钢的含磷量较高，达0.07~0.12%；
 - ✓ 氧气顶吹转炉钢和碱性平炉钢可以降至0.02~0.04%；
 - ✓ 电炉钢含磷量 $<0.02\%$ 。

- 磷在纯铁中有相当大的溶解度。
- 磷能提高钢的强度，但使塑性、韧性降低，特别是使钢的脆性转化温度急剧升高，即提高钢的冷脆性。
- 硫和磷能改善钢材的切削加工性，在易削钢中常加入0.08~0.2%的硫或0.08~0.15%的磷。磷还可以增加钢的抗大气腐蚀能力，提高磁性，减少热轧薄板的粘结等。
- 在大多数情况下，由于硫、磷的有害影响，同时考虑到硫、磷的偏析倾向较大，所以，一般对钢的含硫磷量限制甚严。

碳钢的分类

碳钢可以按以下三种方法进行分类：

1. 按钢的含碳量可分为：

- 低碳钢： $C\% \leq 0.25\%$
- 中碳钢： $0.25\% < C\% \leq 0.6\%$
- 高碳钢： $C\% > 0.6\%$

2. 按钢的质量可分为：

- 普通钢： $S\% \leq 0.055\%$ ， $P \leq 0.045\%$
- 优质钢： $S\% \leq 0.04\%$ ， $P \leq 0.04\%$
- 高级优质钢： $S\% \leq 0.03\%$ ， $P \leq 0.03\%$

3. 按钢的用途可分为：

- 碳素结构钢：用于制造工程结构(如桥梁、建筑、船舶、高压容器等)和机械零件(如齿轮、轴、连杆、螺钉、螺母等)，这类钢一般为低、中碳钢。
- 碳素工具钢：用于制造各种工具(如刀具、模具和量具等)，这类钢一般为高碳钢。

碳钢的编号

根据国标(GB700-88)规定，碳钢可以按以下方法进行编号：

1. 碳素结构钢：其牌号由四部分组成

- (1) 屈服点字母：Q—“屈”字汉语拼音字首
- (2) 屈服点强度数值(单位MPa)
- (3) 质量等级符号：A, B, C, D级，依次提高
- (4) 脱氧方式符号：F—沸腾钢，b—半镇静钢，Z—镇静钢，TZ—特殊镇静钢，如Q235AF

2. 优质碳素结构钢

- 优质碳素结构钢分普通含锰量(0.25~0.80%Mn)和较高含锰量(0.70~1.20%Mn)两个钢组，共33个钢号。
- 普通含锰量的钢用两位数字表示，如15、45、60等。数字表示钢的含碳量。每0.01%C作为一个单位，例如45号钢表示含碳量为0.45%。
- 较高含锰量的钢号除用两位数字表示钢的含碳量外，另附加一个“锰”(或Mn)字在数字后面，如20Mn，其中含碳量平均为0.20%，含锰量接近1%。

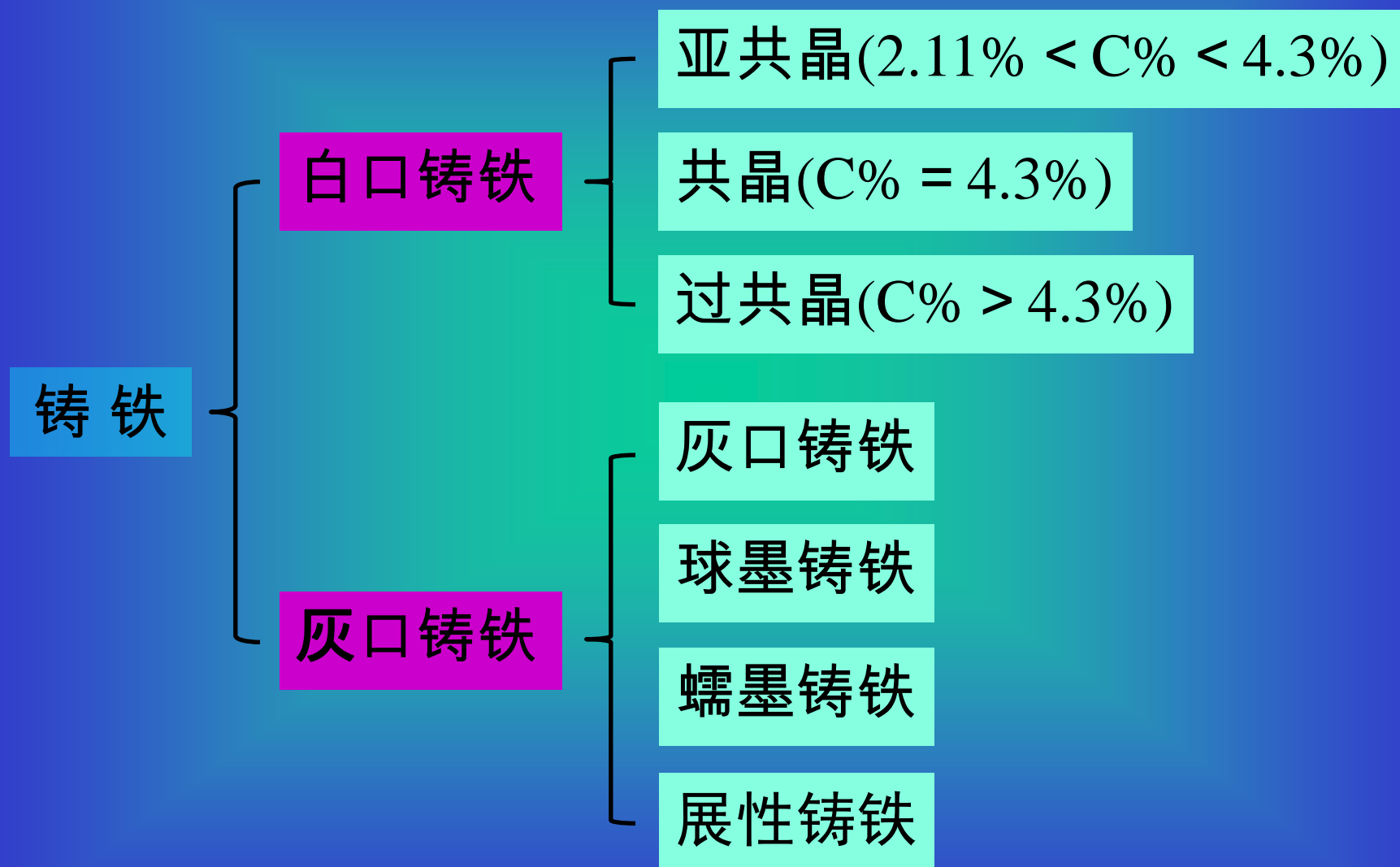
3. 碳素工具钢

- 碳素工具钢分为优质钢和高级优质钢。
- 其牌号用“碳”(T)字起头，接着用数字表示含碳量。
- 含碳量以0.10%为单位，如T7表示工具钢的含碳量为0.7%。
- 若属高级优质钢，则钢号末尾加上一个“高”(A)字，如T8A。
- 不加A字者为优质碳素工具钢。

4. 铸钢

- 铸钢的牌号由“ZG”即铸钢两字的汉语拼音字首和两组数字组成。
- 前一组数字表示铸钢屈服强度的最低值。
- 后一组数字表示抗拉强度的最低值，如ZG200-400。

三、铸铁



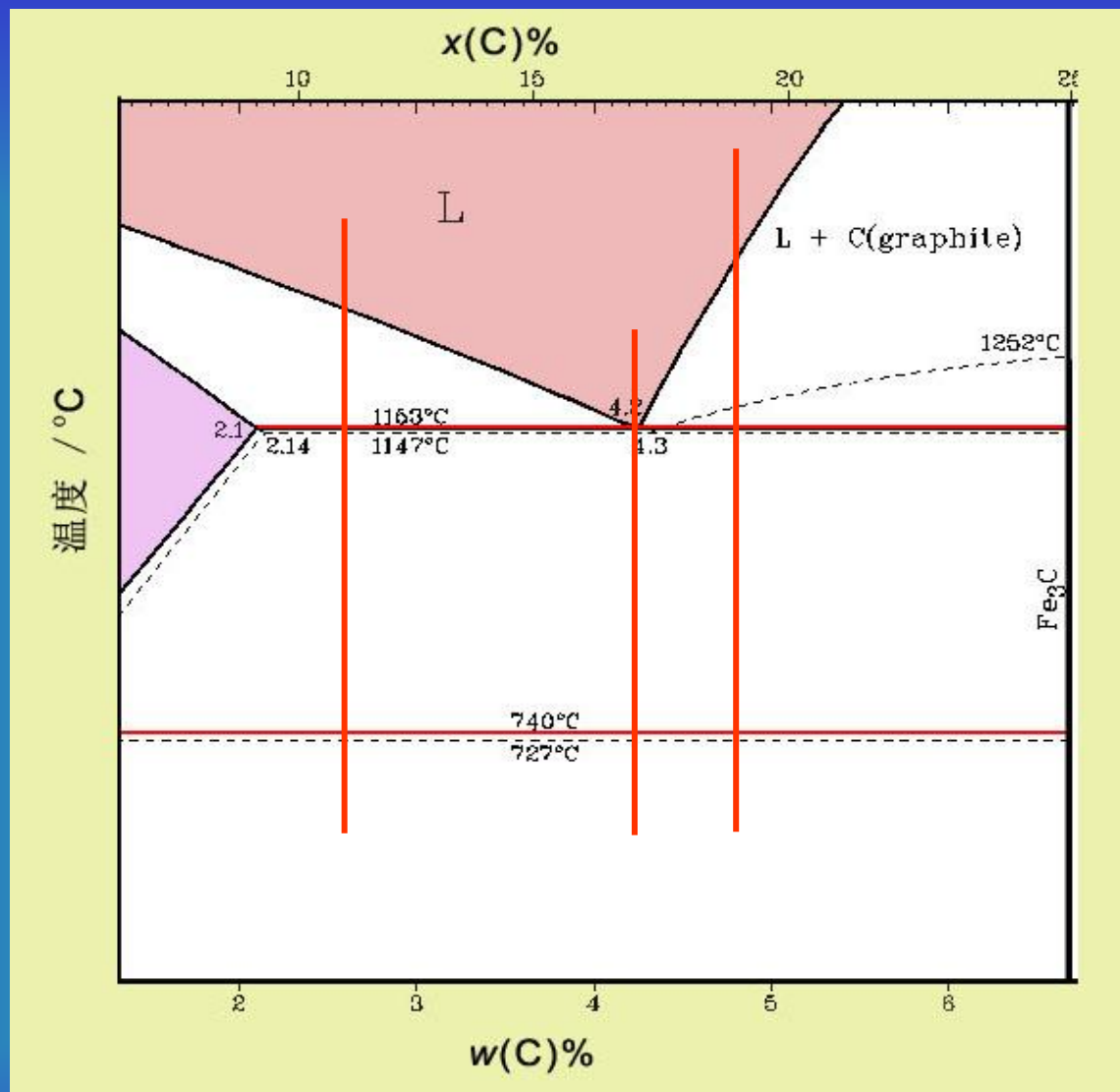
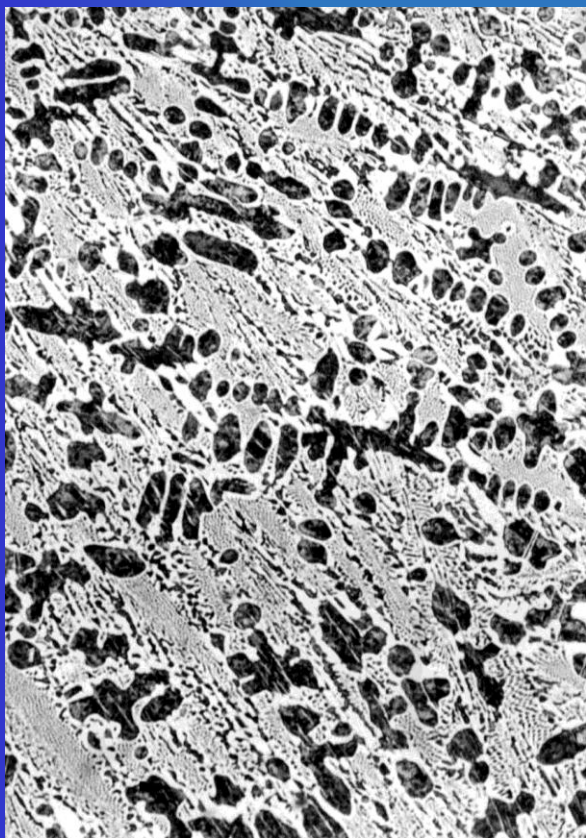
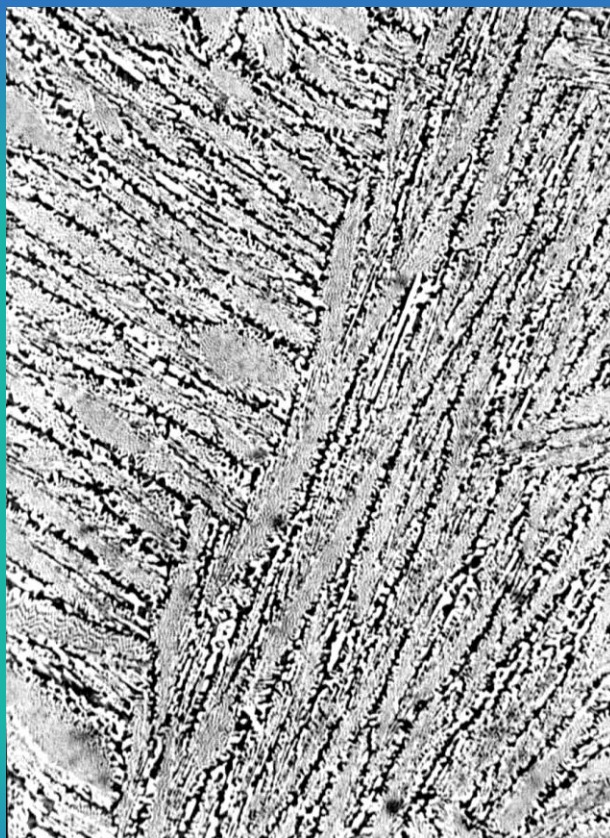


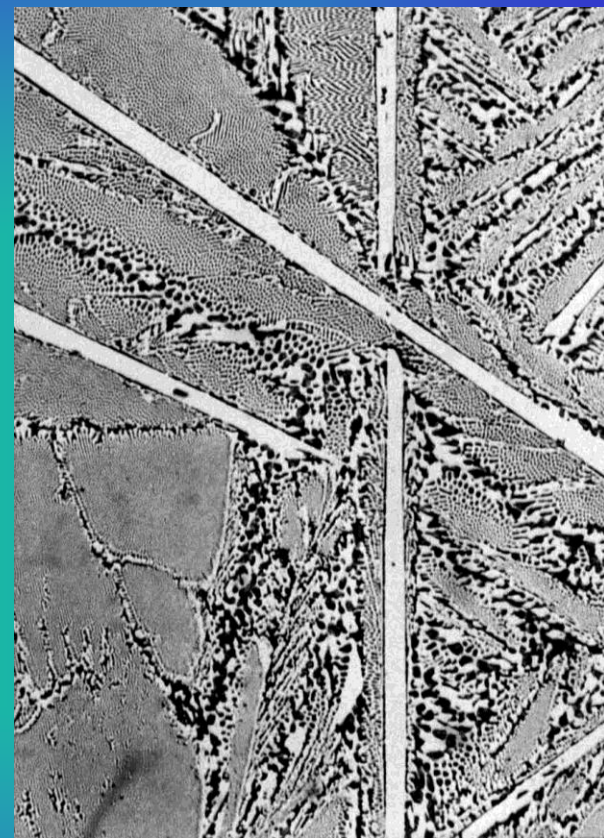
图1-2 铁-渗碳体与铁-石墨相图



亚共晶白口铁



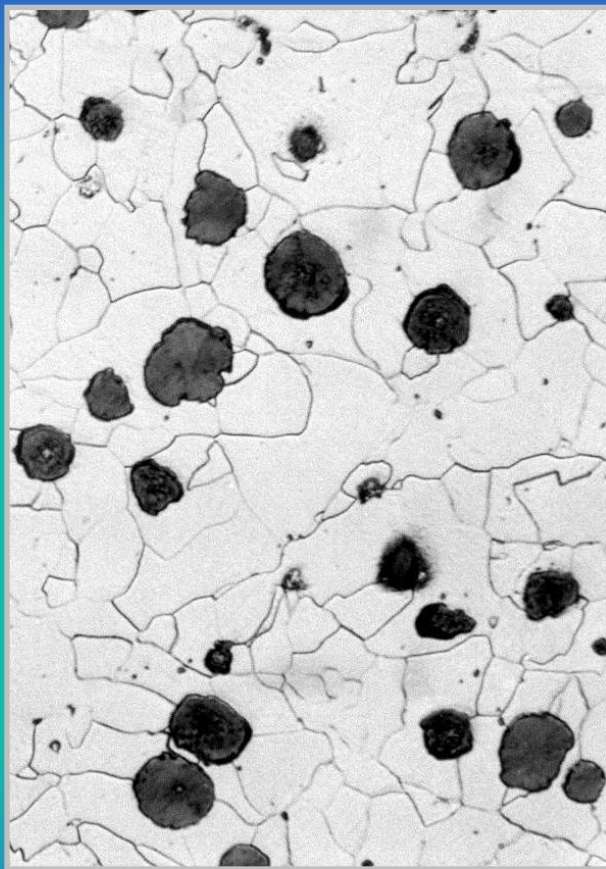
共晶白口铁



过共晶白口铁



灰口铸铁



球墨铸铁



展性铸铁

铸铁中加入的元素按其对石墨化的作用差异，排列顺序如下：

铝、碳、硅、钛、镍、铜、磷、铌、钨、
锰、钼、硫、铬、钒、铁、镁、铯、硼

铌为中性元素，其前边的为石墨化元素，其后边的为反石墨化元素。各元素的位置离铌越远，其作用越强。

思考题

写出铁碳合金中工业纯铁、钢与铸铁的碳含量范围，讨论钢与白口铸铁的化学成分、显微组织和性能的主要差别。