

金属材料学

Metal Material and Heat Treatment

主讲教师：曾燕屏

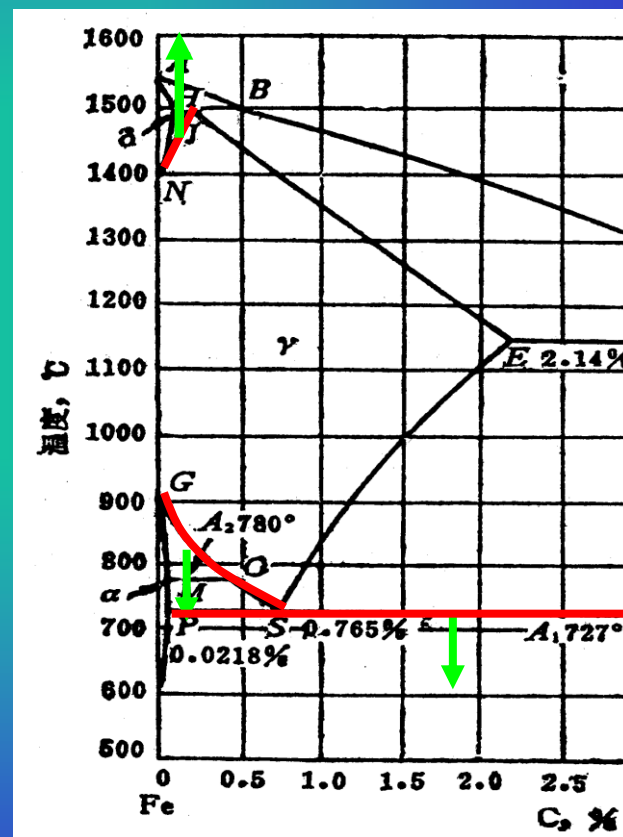
§ 1-3 合金元素对铁碳相图中 临界点的影响

- 在碳钢的基础上有意地加入一种或几种其它元素，使钢的使用性能或工艺性能得以改善提高，这样组成的铁基合金即为合金钢。
- 钢中常用的合金元素有：Mn、Cr、Mo、W、V、Ti、Nb、Ni、Co、Al、Si、B等。

根据合金元素对铁碳相图中临界点的影响，可以把合金元素分为两大类：

(1) 扩大奥氏体相区的元素

- 这类元素均使 A_4 点升高， A_3 点和 A_1 点降低。
- Mn、Ni、Cu、N等。



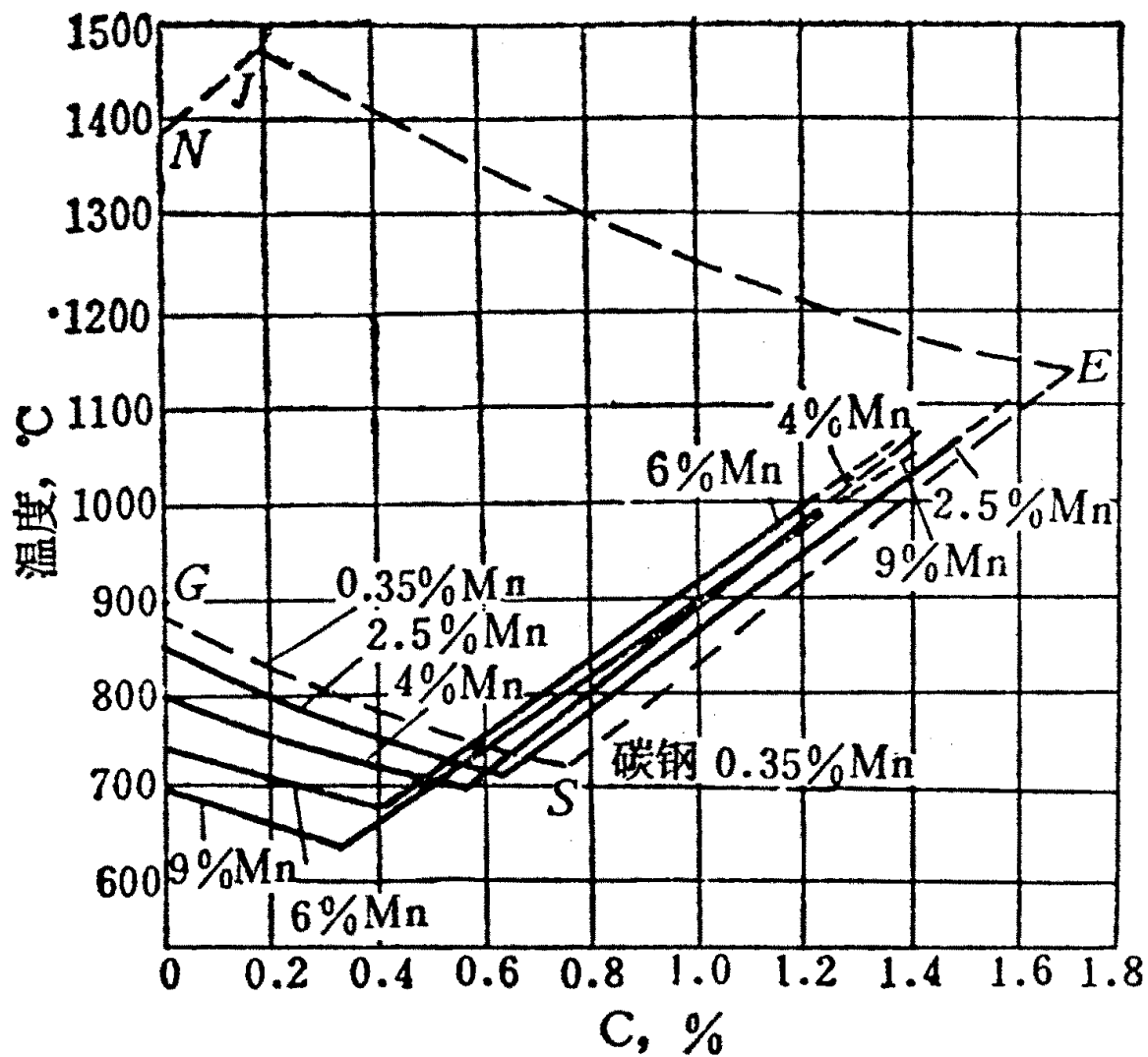


图1-3 Fe-Mn-C三元系的奥氏体相区

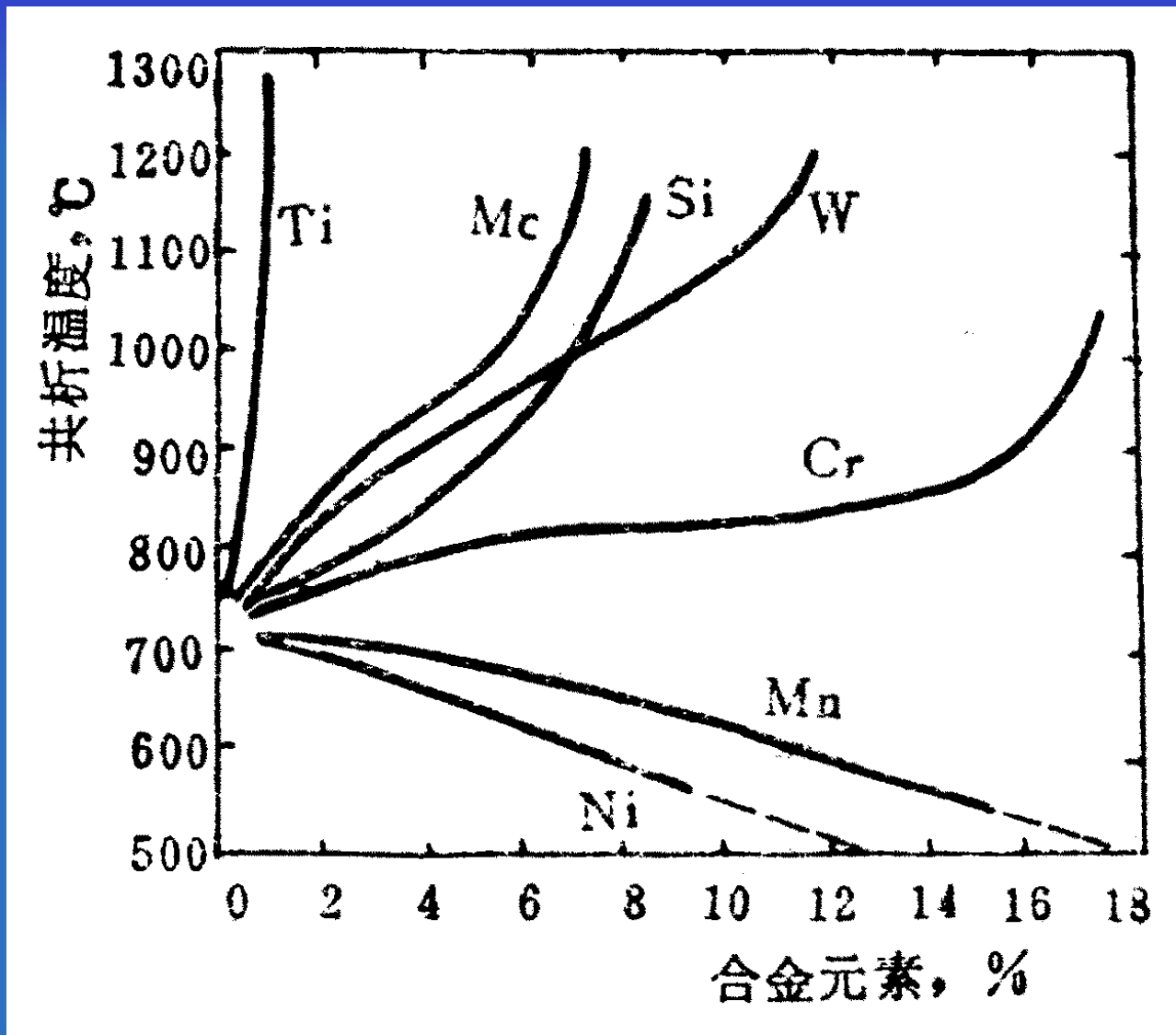


图1-4 几种合金元素对共析温度(A_1)的影响

按照对奥氏体相区扩大的程度，通常又可以把这类合金元素细分为两种：

① 开启奥氏体相区的元素

- 在这类元素(M)与铁组成的二元相图中，奥氏体相区存在的温度范围变宽，相应地 δ 和 α 相区缩小，并在一定温度范围内铁与该元素可以无限固溶。
- Mn、Co、Ni等。



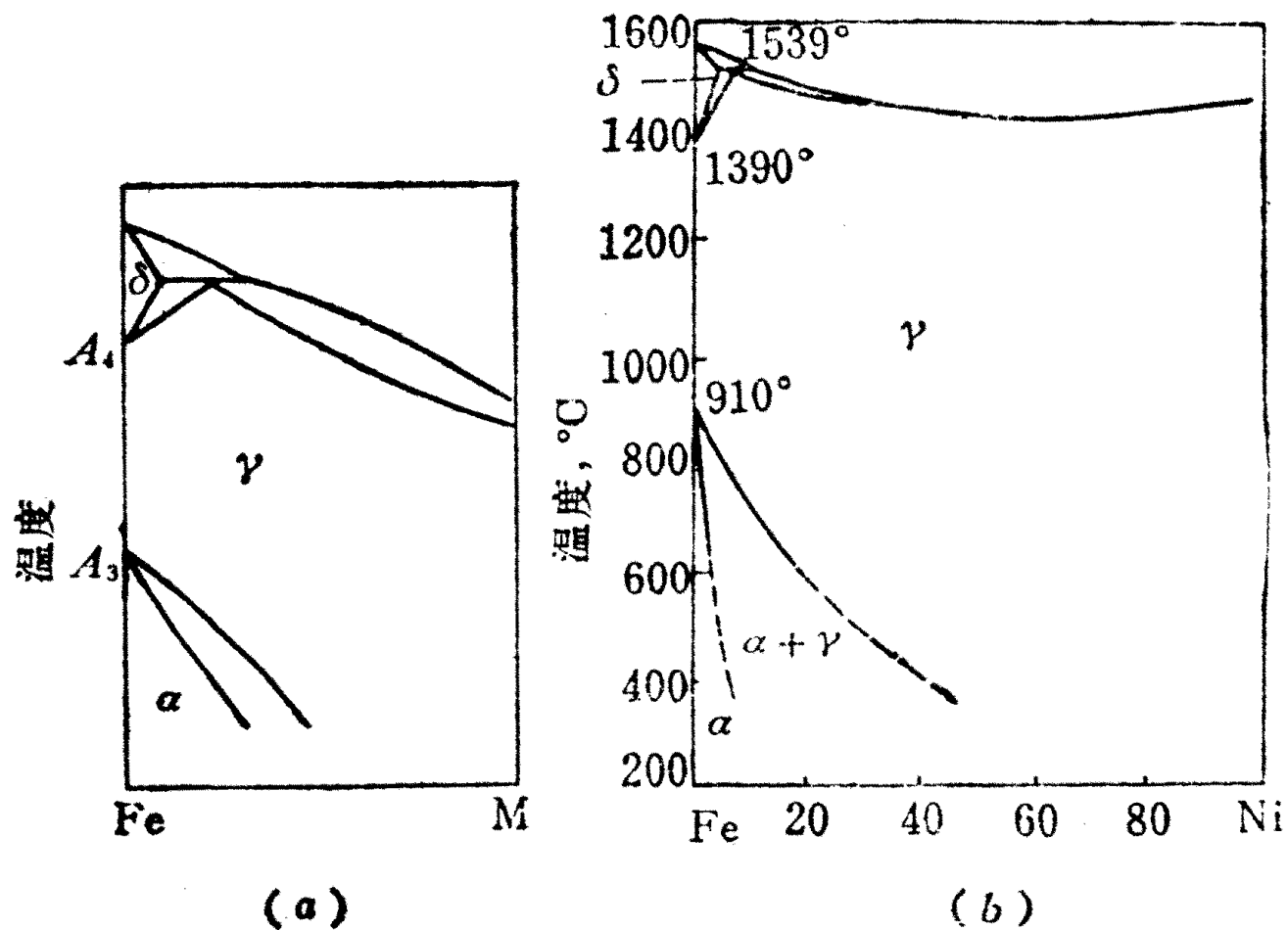


图1-5 开启奥氏体相区类型

(a) Fe-M相图示意图 (b) Fe-Ni相图

② 扩大奥氏体相区的元素

- 这类合金元素的作用与①中的合金元素相似，但它们不与铁无限固溶。
- C、N、Cu等。

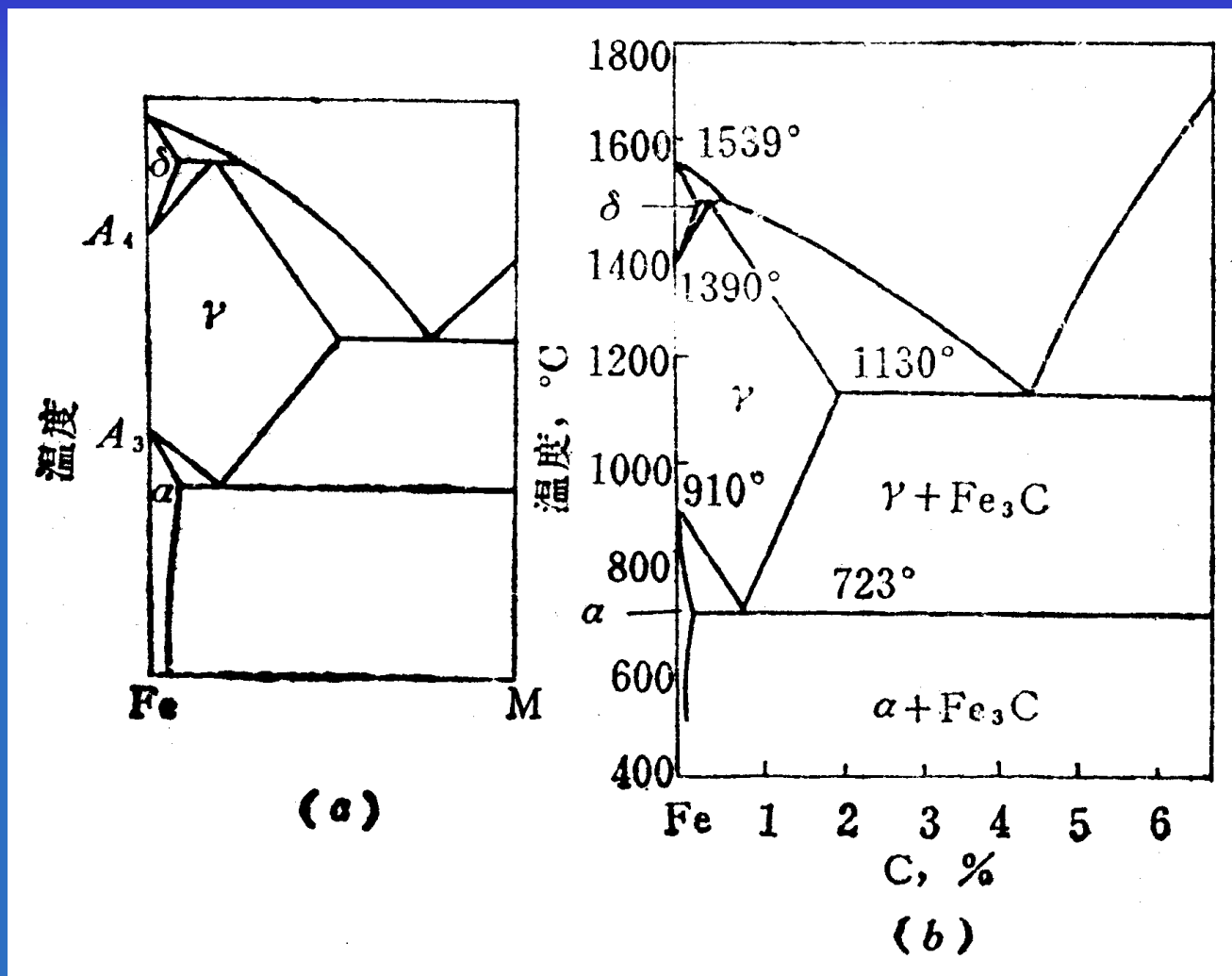


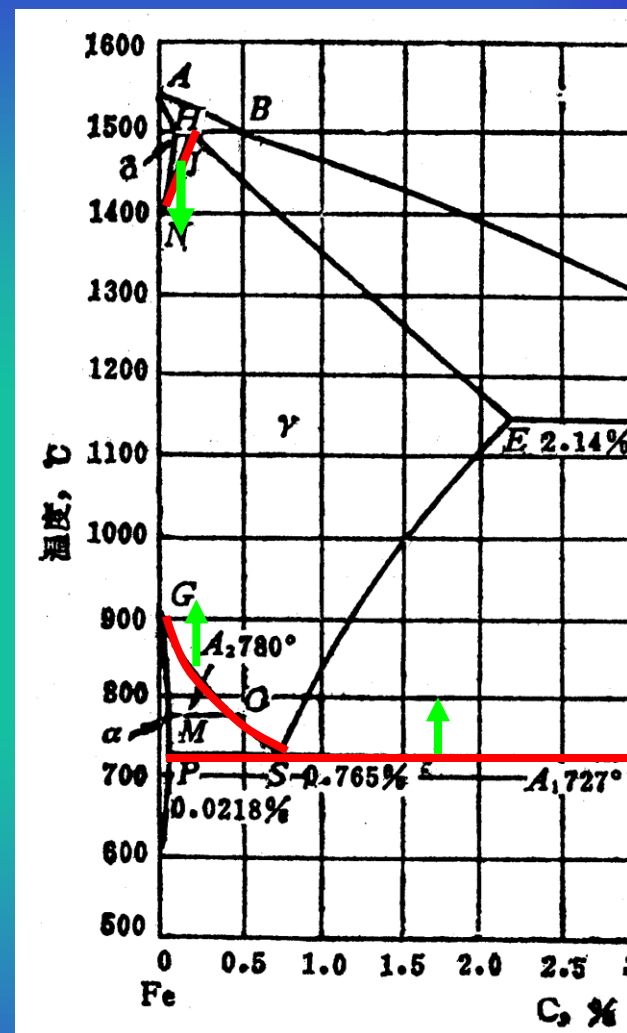
图1-6 扩大奥氏体相区类型

(a) Fe-M相图示意图

(b) Fe-C相图

(2) 缩小奥氏体相区的元素

- 这类元素均使 A_4 点降低， A_3 点和 A_1 点升高。
- Si、Ti、Cr、Mo等。



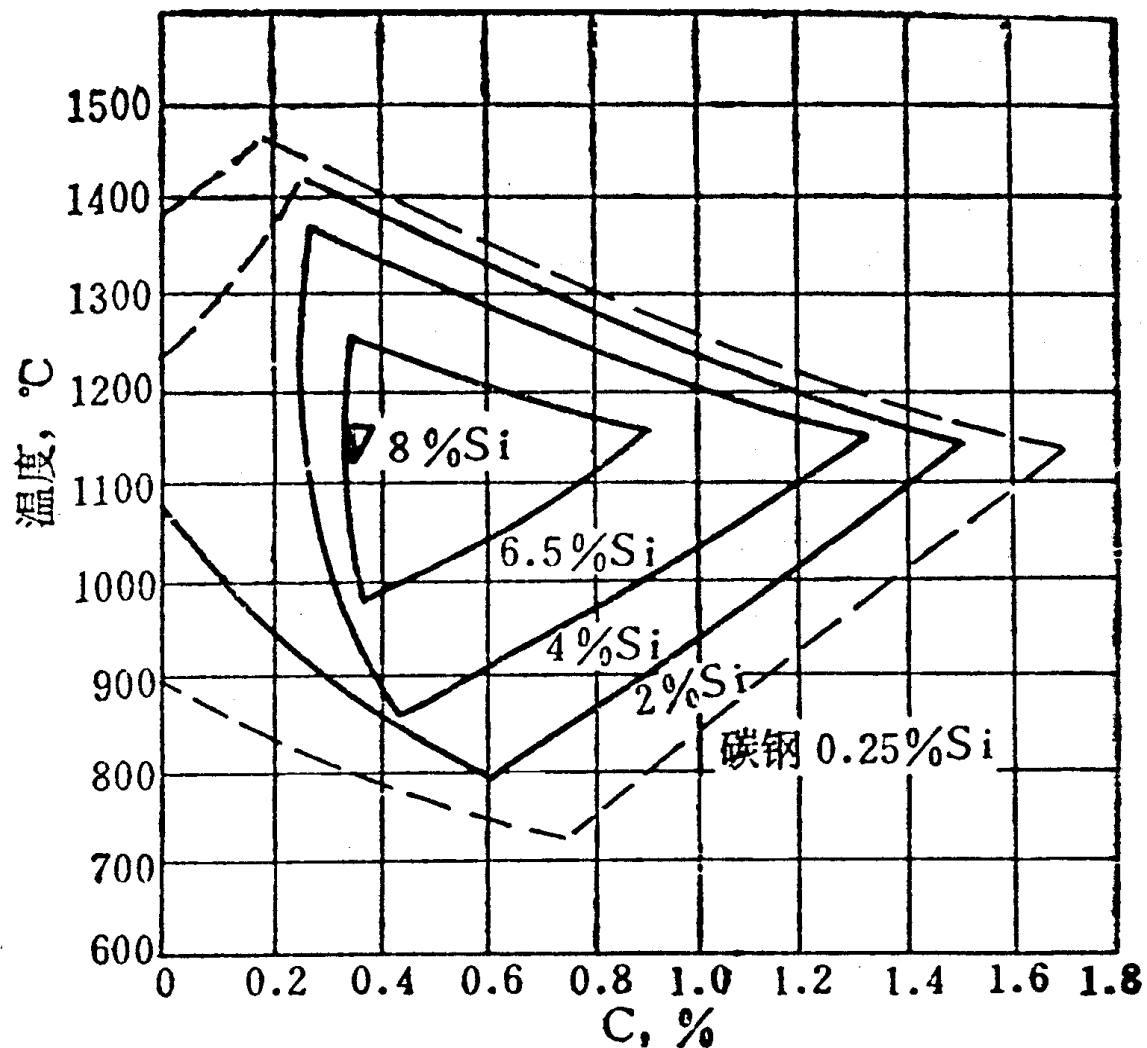


图1-7 Fe-Si-C三元系的奥氏体相区

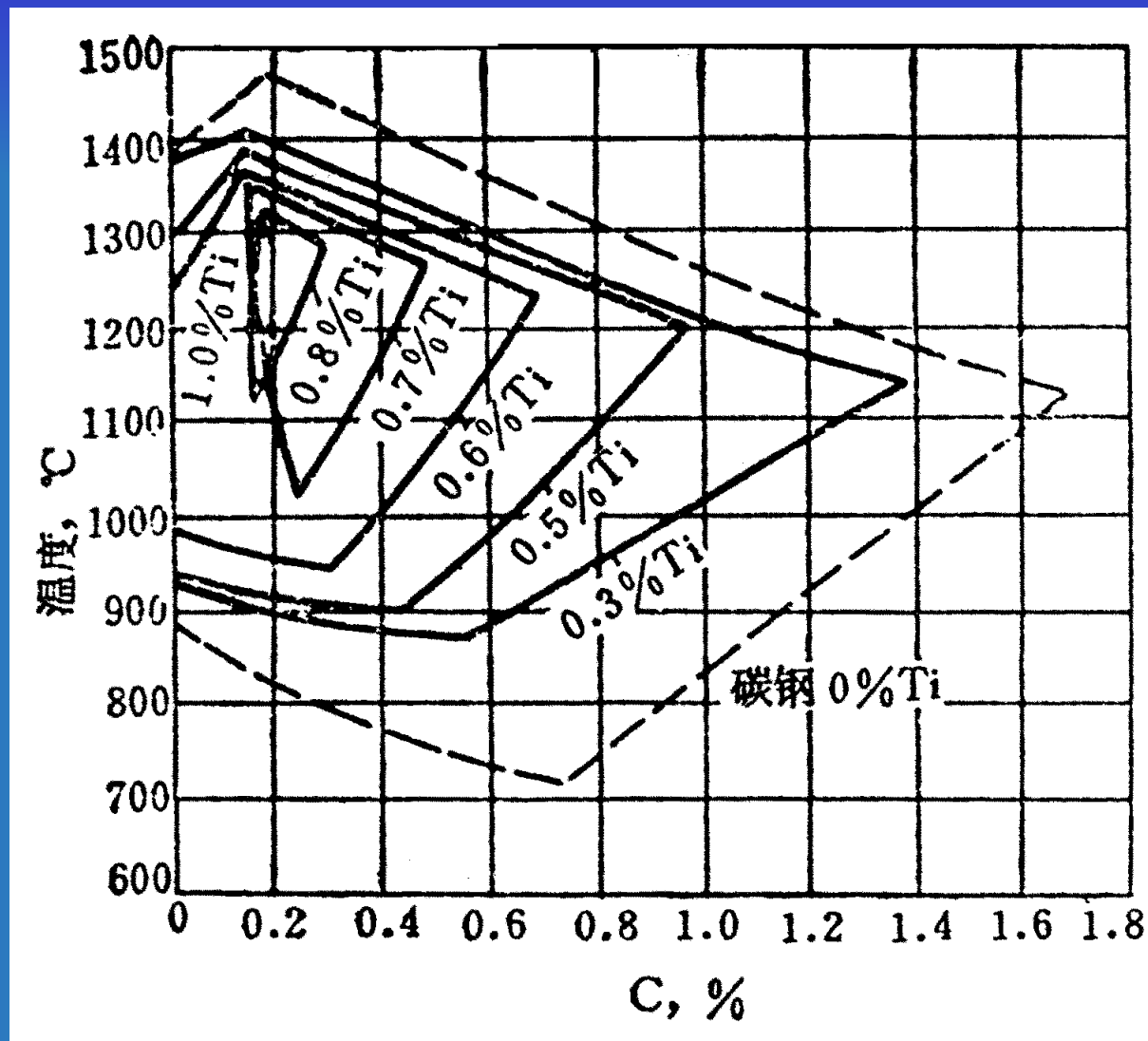


图1-8 Fe-Ti-C三元系的奥氏体相区

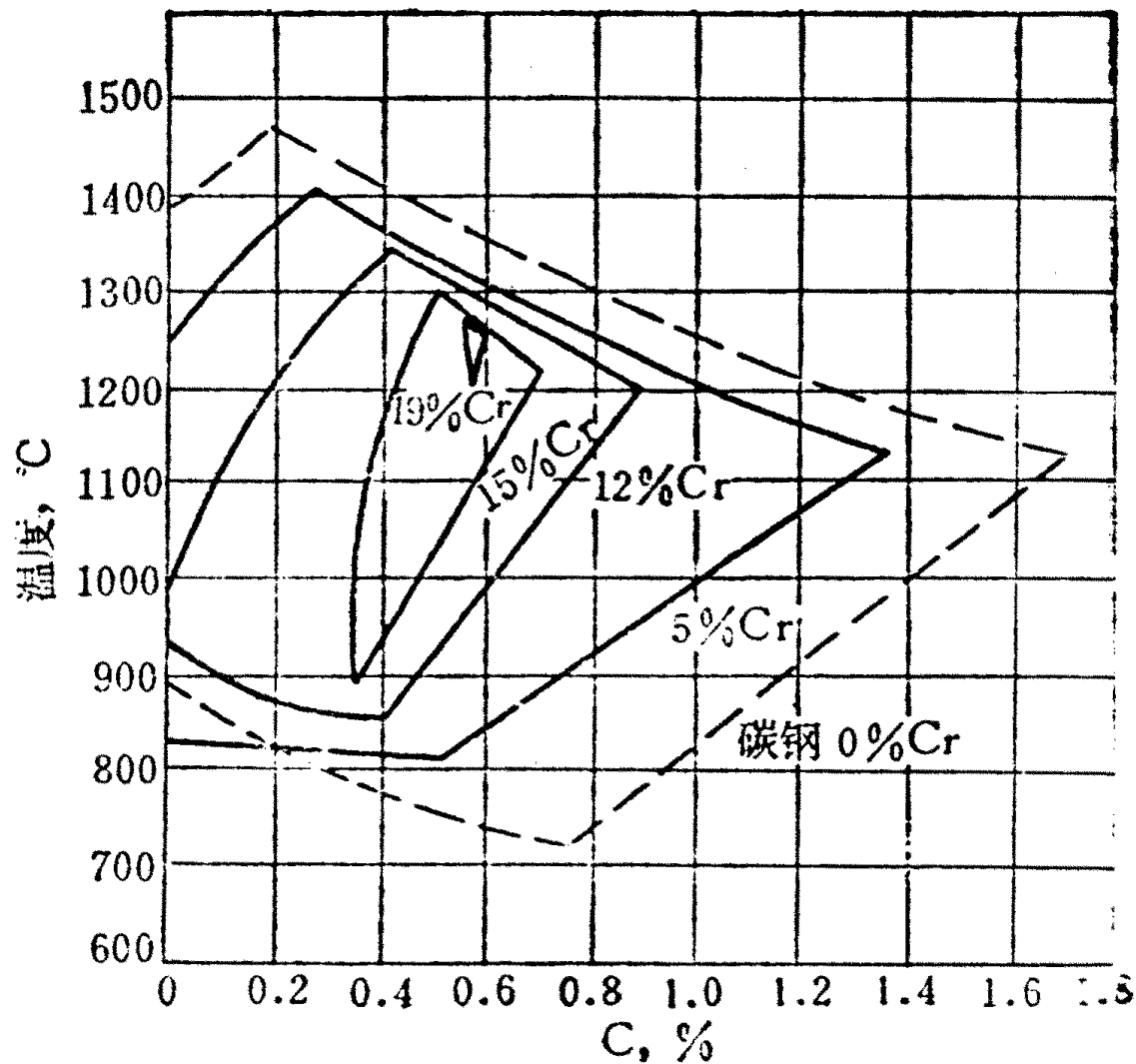


图1-9 Fe-Cr-C三元系的奥氏体相区

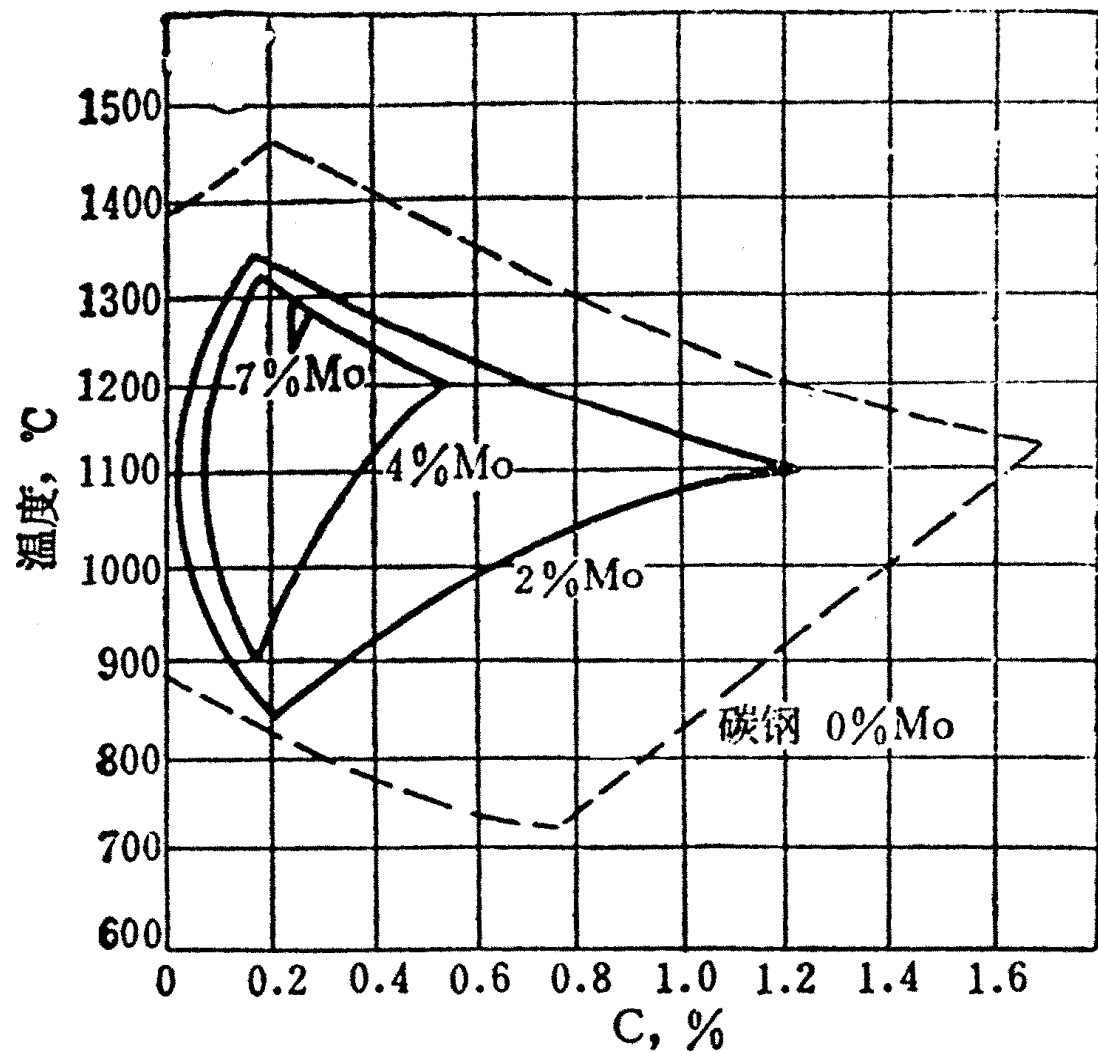


图1-10 Fe-Mo-C三元系的奥氏体相区

根据铁与合金元素组成的二元相图，通常也可以把缩小奥氏体相区的合金元素细分为两种：

① 封闭奥氏体相区的元素

- 在这类元素与铁组成的二元相中，奥氏体相区被铁素体相区所封闭，形成奥氏体圈。
- V、Cr、Ti、W、Mo、Al、Si等。



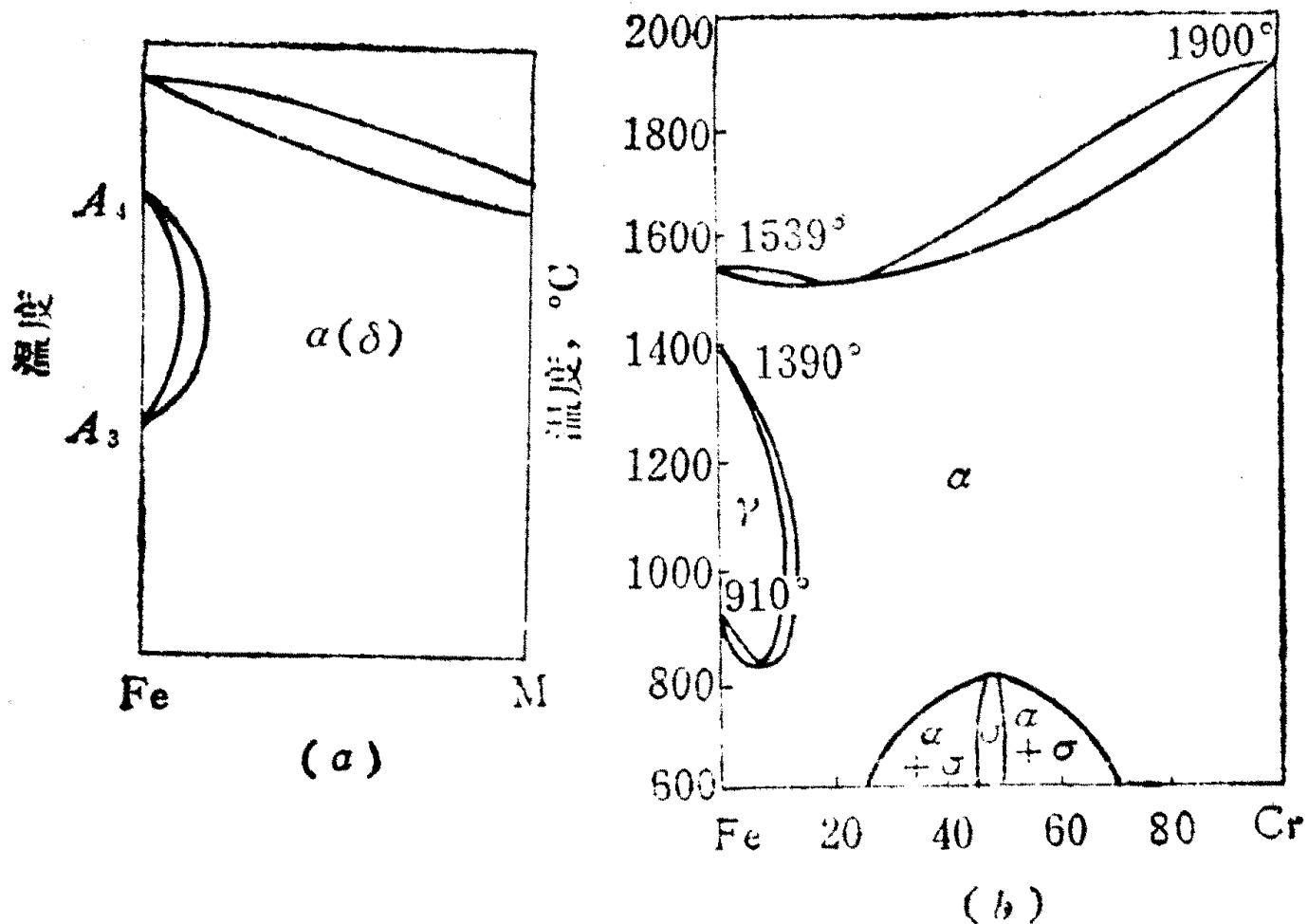


图1-11 封闭奥氏体相区类型

(a) Fe-M相图示意图

(b) Fe-Cr相图

② 缩小奥氏体相区的元素

- 这类元素与封闭奥氏体相区的元素相似，但由于在一定浓度出现了金属化合物，破坏了奥氏体圈，使奥氏体相可以在相当大的浓度范围内与化合物共存。
- B、Nb、Zr等。

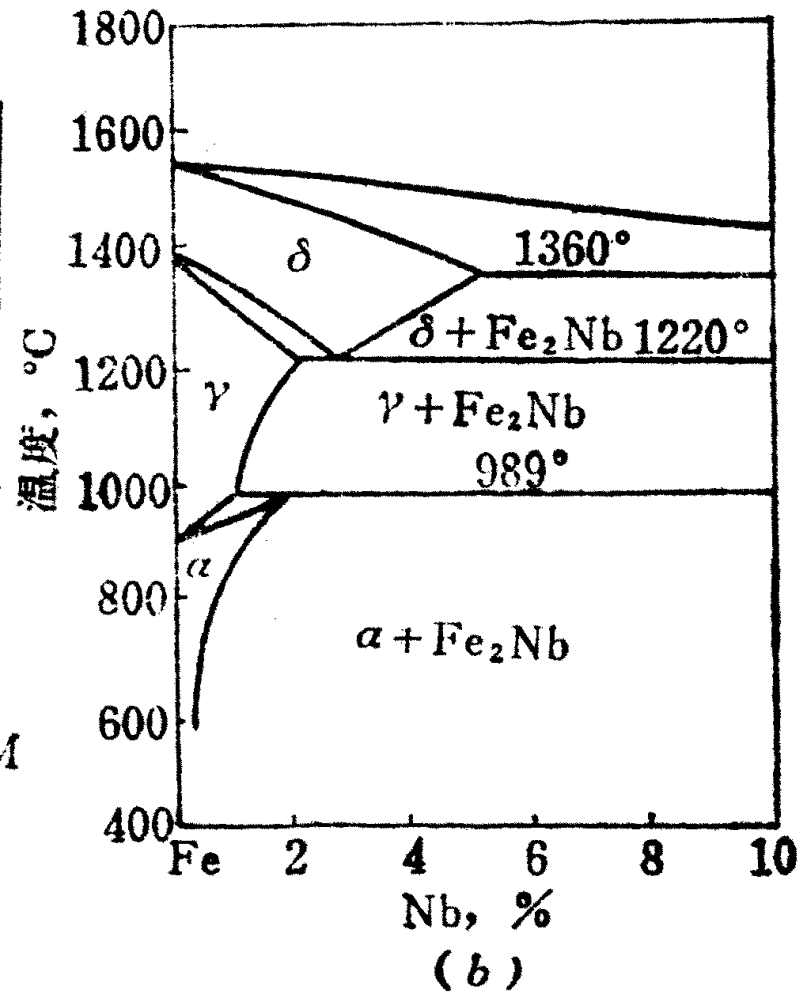
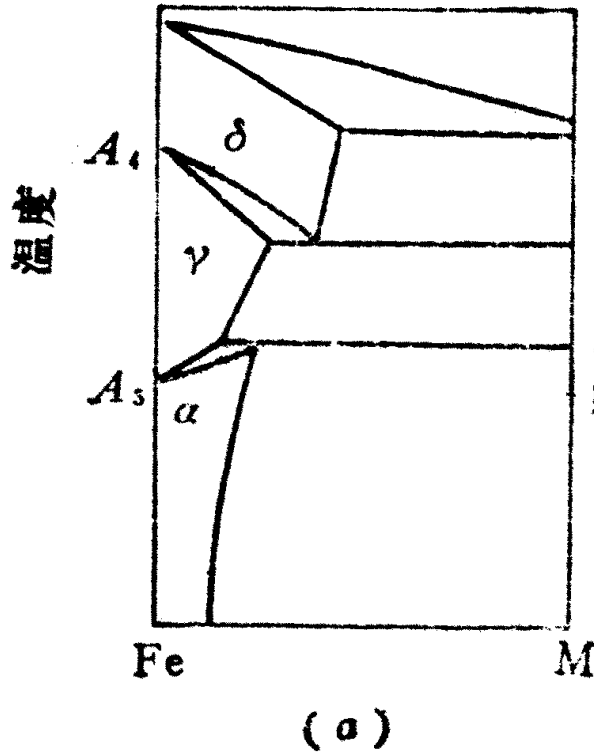


图1-12 缩小奥氏体相区类型

(a) Fe-M相图示意图

(b) Fe-Nb相图

● 常用的一些合金元素，在一般含量的情况下均使S点左移，即合金钢共析体的碳含量较碳钢低。

● 大多数合金元素都使C点左移，因此，合金钢中共晶莱氏体的碳含量一般都小于4.3%(Fe-Fe₃C相图中的C点成分)。

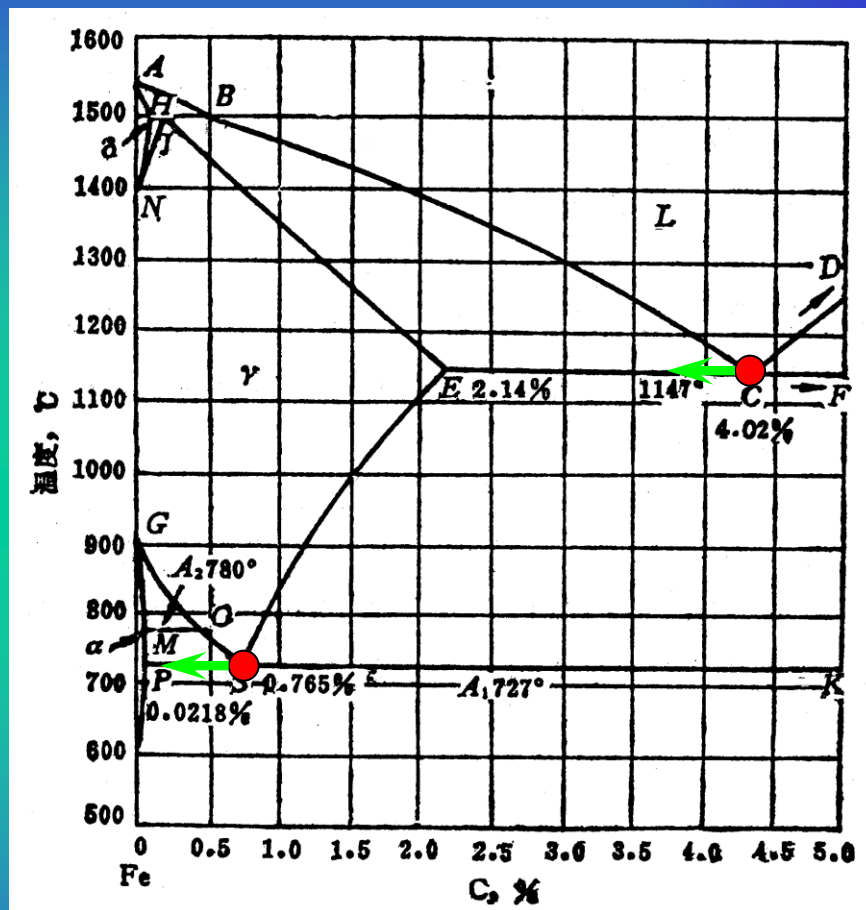


图1-13 铁碳相图

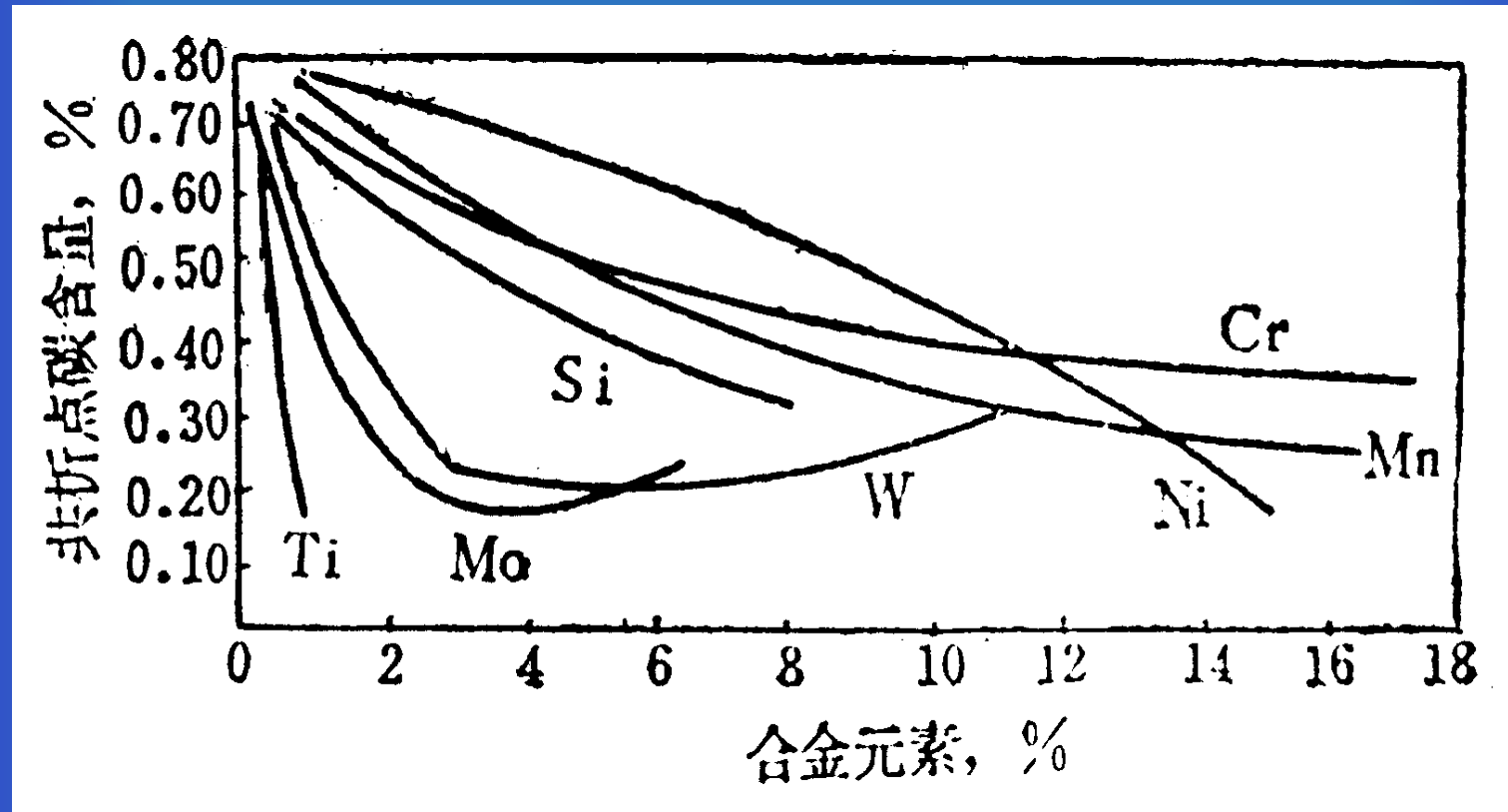


图1-14 合金元素对S点成分的影响

§ 1-4 钢中的合金相

根据合金元素与铁、碳以及合金元素之间相互作用的不同，合金钢中的合金相主要有以下几种类型：

一、铁基固溶体



在常用的合金元素中，除C、N、B与铁形成间隙固溶体外，其余元素均与铁形成代位固溶体。

与铁形成代位式固溶体的元素，在铁中的溶解度与该元素属于哪一族、元素的晶体点阵类型、该元素与铁的电负性和原子尺寸差别有关。

在铁基固溶体中，由于合金元素与铁之间的差异，存在着合金元素的偏聚或短程有序。

- 在Fe-Cr、Fe-V、Fe-Mo、Fe-Cu等合金中存在合金元素原子的偏聚。
- 在Fe-Al、Fe-Si、Fe-Cr-Al等合金中存在短程有序。

溶入钢中的合金元素，依其原子的尺寸因素和电子因素的不同，将与钢中的晶体缺陷，如晶界、相界、亚晶界及位错等产生相互作用。

- 溶质原子与晶界结合，形成晶界偏聚。
- 溶质原子与位错结合，形成柯垂耳气团。

二、钢中的碳化物及氮化物

1. 钢中的碳化物

根据合金元素和碳相互作用的情况，可以把合金元素分为两大类：

(1) 非碳化物形成元素

- 不形成单独的碳化物。
- Ni、Co、Si、Al、Cu等。

(2) 碳化物形成元素

- 碳化物形成元素都具有一个未填满的d电子层，d电子层愈是不满，形成碳化物的能力就愈强，即和碳的亲和力愈大，从而形成的碳化物也就愈稳定。
- 合金元素形成碳化物的能力由强至弱排列如下：Ti、Zr、V、Ta、Nb、W、Mo、Cr、Mn、Fe。
- 一般把Ti、Zr、V、Ta、Nb算作**强**碳化物形成元素，W、Mo算作**中强**碳化物形成元素，Cr、Mn、Fe算作**弱**碳化物形成元素。

- 强碳化物形成元素和碳有很强的亲和力，易于形成不同类型的碳化物，由于这些碳化物的结构不同于渗碳体，在合金钢中常称为**特殊碳化物**。
- 弱碳化物形成元素，当其含量较低时，一部分进入固溶体中，另一部分进入渗碳体，取代其中部分铁原子，形成合金渗碳体，如 $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 、 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ 等。
- 除Mn以外，当弱碳化物形成元素含量超过一定限度时，又可形成特殊碳化物，如 $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$ 等。
- 总的来看，弱碳化物形成元素在碳化物中的浓度一般都比在固溶体中的高。

按照晶体结构的不同，钢中的碳化物可分为两大类：

(1) 晶体结构比较简单的碳化物

- 当碳原子和过渡族元素原子半径之比 $r_c/r_M < 0.59$ 时，形成晶体结构比较简单的碳化物。
- 其晶体结构可以是面心立方点阵、体心立方点阵、密排六方结构，或简单六方点阵。
- 这时碳原子填入金属立方晶格或六方晶格的空隙中，并使碳化物具有金属键，因而碳化物仍保留着明显的金属特性。

(2) 晶体结构比较复杂的碳化物

- 当 $r_c/r_M > 0.59$ 时，形成晶体结构比较复杂的碳化物。
- 第IV族(Ti、Zr、Hf)、V族(V、Nb、Ta)和VI族(Mo、W)的碳化物具有简单密排结构，而第VI族(Cr)、VII族(Mn)和VIII族(Fe)的碳化物具有复杂密排结构。

2. 钢中的氮化物

- 合金元素与氮亲和力的大小与碳相似。
- 钢中氮化物的形成规律也与碳化物相似。
- 氮化物一般为简单的晶体结构。
- 与纯金属相比，碳化物和氮化物具有高熔点、高硬度、高弹性模量和脆性，它们是钢铁中重要的组成相，其类型、数量、大小、形状和分布对钢的性能有极重要的影响。

三、钢中的金属间化合物

- 钢中合金元素与铁或合金元素之间也可以相互作用，形成各种**金属间化合物**。
- 如元素周期表中的IVB、VB、VIB、IIIA族元素(设为A组元)可与Fe、Co、Ni、Mn(设为B组元)结合形成多种 B_xA_y 型金属间化合物。
- 合金钢中比较重要的金属间化合物有 σ 相、 AB_2 相(拉维斯相)和 AB_3 相(有序相)。
- 利用金属间化合物从固溶体中脱溶，已成为铁基、镍基、钴基耐热钢与合金以及一些合金化程度较高的合金钢的重要强化手段。

§ 1-5 合金钢的分类及编号

- 根据用途不同合金钢可分为：结构钢、轴承钢、工具钢、耐蚀钢、耐热钢及特殊物理性能钢等。
- 按退火后钢的金相组织，可将合金钢分为亚共析钢、共析钢、过共析钢和莱氏体钢等。
- 按空冷后钢的金相组织可将合金钢分为珠光体类、马氏体类、贝氏体类、奥氏体类以及铁素体类等。

- 根据钢中主要合金元素的类型，可将合金钢分为：锰钢、硅钢、硅锰钢、硼钢、铬镍钢、铬镍钼钢等。
- 根据合金元素总含量的多少将合金钢大致分为低合金钢(元素总量少于3%者)、中合金钢(元素总量约3~10%者)以及高合金钢(元素总量多于10%者)。
- 还可按冶炼方法、杂质含量等来分类。

根据GB221-63，我国合金钢编号方法的原则是：

- 钢中化学元素采用汉字或国际化学元素符号表示。
- 产品用途、冶炼和浇注方法，采用汉字或汉语拼音字母牌号的缩写。

一、合金结构钢(包括低合金钢)

(1) 钢的含碳量以平均含碳量的**万分之几**表示；

- 钢中主要合金元素含量，除个别情况外，一般以**百分之几**表示；
- 当元素平均含量少于1.5%时，钢号中只标明元素，而不标具体含量；
- 当元素平均含量等于或多于1.5%、2.5%、3.5%……时，在元素符号后面还要相应标注2、3、4……等数字。
- 这些代表合金元素含量的数字，应与元素符号平写。如20Cr2Ni4A。

(2) 合金结构钢中的Mo、V、Ti、Nb、Zr、B、稀土等元素，如是有意加入的，虽含量较少，但作用特殊，仍应在钢号中标出元素符号。

(3) 有时，两个钢种的化学成分，除其中一个主要合金元素外，都基本相同，而且这个主要元素的平均含量也都少于1.5%，这时应该将该元素含量较高的钢号的元素符号后标加“1”字来区别。

(4) 高级优质钢的钢号末尾加注“高”或“A”。

(5) 低合金钢，如果是碱性或酸性转炉冶炼的，则应在其钢号前分别冠以碱(或J)和酸(或S)。

(6) 弹簧钢的表示方法与合金结构钢相同。

二、合金工具钢和高速钢

(1) 当平均含碳量 $\geq 1.00\%$ 时，含碳量就不再标出，当平均含碳量 $< 1.00\%$ 时，则以千分之几表示。

● 合金元素的表示方法，基本上与合金结构钢相同。但含Cr量低的工具钢，其铬含量也以千分之几表示，并在含量数字之前加一个“0”字，以便把它和一般的表示元素含量百分数的标记区别开来。

(2) 高速钢的含碳量一般不标出，只标明合金元素的平均含量，以百分之几表示，如W18Cr4V。

三、滚动轴承钢

- 为了避免这类钢的编号和其它合金钢发生混淆和重复，在钢号前冠以表示用途的缩写滚(或G)
- 钢中的含碳量不予标出。
- 钢中含铬量以千分之几表示，如GCr15。

四、不锈钢耐蚀钢、耐热钢和电热合金

(1) 这几类钢与合金中的含碳量大都很低，一般不予标出。

合金元素的平均含量以百分之几表示，微量特殊元素如Ti、N、Nb、B、稀土等，也标示元素符号。

(2) 如一类钢合金元素含量相同，而含碳量不同，则含碳量以千分之几概略表示，如0Cr13、1Cr13、2Cr13、00Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni9Ti，它们的含碳量相应约为 $\leq 0.08\%$ 、 $0.08\sim 0.15\%$ 、 $0.16\sim 0.24\%$ 、 $\leq 0.04\%$ 、 $0.04\sim 0.06\%$ 、 $0.06\sim 0.12\%$ 。

(3) 如果个别情况含碳量较高，为明确起见，也以千分之几表示，如9Cr18、4Cr9Si等。

(4) 铁素体珠光体型耐热钢的钢号与合金结构钢相同。

思考题

1. 合金钢中经常加入的合金元素有哪些？
2. 试述合金元素对铁碳相图中临界点的影响。
3. 试述合金钢中合金元素与铁、碳、以及合金元素之间的相互作用。