

工 業 技 術

*

編譯者：孫一唐 文字編輯：顏一琴 責任校對：費 翊

1953年6月初版 1953年12月第二版 13,001—22,000冊

書號0250-8-42 $31 \times 43 \frac{1}{32}$ 23千字 18印刷頁 定價1,700元(丙)

機械工業出版社(北京姦甲廠17號)出版

機械工業出版社印刷廠(北京泡子河甲1號)印刷

中國圖書發行公司發行

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。爲了使新工人能够很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了「機械工人活葉學習材料」。

這套活葉學習材料是機器工廠裏的鑄、鍛、車、鉗、銑、鉋、熱處理、鉚、鉚等工種的工人爲對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據八級工資制各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的「活葉」出版。

要提高產品的質量，就必須對材料有很好的認識。本書簡單扼要地介紹了鋼的種類，金屬和合金的結晶結構、鐵碳合金組成圖（平衡圖）以及過共析鋼和次共析鋼的結構、熱處理（括煏火、淬火和回火）的基本原理等，這些都是現場工人所應懂的常識。

這本小冊子比較難讀些。我們建議同志們組織起來學習，並且請廠裏的技術人員指導，這樣大家就可以學得更好。

本書再版時，由作者重新校訂一次，改正了一些錯誤。

目 次

一	鋼的分類.....	1
二	金屬和合金的結晶結構.....	4
	1 純鐵的同素異形體——2 鐵碳合金組成圖——3 鋼的結構	
三	鐵碳合金組成圖(平衡圖).....	8
四	鋼的熱處理基本原理.....	19
	1 煏火(退火)——2 淬火——3 回火	

一 鋼的分類

鋼在機械工業上的用途非常廣，差不多任何一種工業都用到它。鋼的分類方法很多，大致可以按照下列幾方面來分：

按照化學成分來分：

1 **碳鋼** 就是不加特殊元素的鋼，含有碳、矽、錳、磷、硫等元素。

2 **合金鋼** 含有特殊元素的鋼，例如鉻合金鋼，鉻鎳合金鋼，鉻錳合金鋼等。

按照用途來分：

1 **建築用鋼** 這種鋼一般多屬於低碳鋼，不能也不必進行熱處理。

2 **構造用鋼** 根據它的化學成分，這種鋼多屬於碳鋼和合金鋼。它可以進行熱處理（淬火、回火或滲碳處理）。

3 **工具鋼** 它是製造切削刀具、驗規和鑊子等用的。除了碳工具鋼以外，合金工具鋼還可以分為低合金工具鋼，中合金鑊子鋼和高合金高速鋼。

4 **特殊用途的鋼** 這類鋼包括耐熱鋼、不銹鋼、耐酸鋼以及具有特殊磁性、導電性和其他物理性質的鋼等。

用冶煉的方法來分：

1 **坩堝鋼** 把熟鐵或者粗煉的鋼料，加入用石墨和黏土製成

的坩堝中，閉緊坩蓋，不使燃料及火焰和鋼液接觸。這樣加熱2~4小時以後，注入砂模，就成了坩堝鋼。這種鋼所採用的原料極好，所以它的品質很高，所含的雜質很少。它主要用在合金鋼冶煉方面，但是因為成本很高，而且產量小，自從高週波電爐被廣泛應用以後，採用這種方法煉鋼的就很少了。

2 貝塞麥鋼 它是利用高壓空氣把生鐵中的矽、錳、碳、硫等氧化，因而發生高熱，使鐵水變成鋼水。貝塞麥鋼有兩種不同的煉法：一種是用酸性爐煉製。爐裏用的是酸性耐火材料主要是矽砂，它不能把鐵中的磷去除，因而製煉出來的鋼含磷較高，所以所用的原料，含磷應該少些。另一種是用鹼性爐煉製。爐裏用鎂砂和白雲石做耐火材料，熔煉時又加入石灰石，這樣磷就會和石灰石起作用而變成浮渣去除掉。所以它可以用含磷很高的原料。這種鋼每製煉一爐酸性的只需要時間10~15分鐘；製煉碱性的比較長些，也不過30分鐘。

3 馬丁爐鋼(或平爐鋼) 這種鋼是在利用拱形爐頂的反射原理的平爐中，加熱熔化，把含碳少的鐵屑和含碳高的生鐵煉成含碳適中的鋼料。因為有火焰的氧化作用，可以把雜質用氧化的方法去除。平爐鋼的冶煉方法，也可以分成酸性和碱性兩種。

4 電爐鋼 這種鋼是利用電熱煉成的。電爐有電弧爐、感應加熱爐和電阻爐等三種。煉鋼所用的原料是鋼屑、熟鋼、生鐵，但也有用鐵屑做原料的。電爐鋼的特點是在用電爐煉鋼的時候，鋼液沒有和空氣、煤氣、焦炭等燃燒火焰接觸，清除雜質並不困難，溫度也容易準確地控制。因此，這種鋼的品質最高。

根據鋼的品質來分：

1 普通鋼

2 特種鋼

3 高品質鋼

有人認為品質好的鋼，一定含有許多特殊元素如鉻(Cr)、錳(Mn)、鎳(Ni)、鉬(Mo)、鎢(W)、釩(V)、鋁(Al)、銅(Cu)等，這是不正確的。碳鋼和含有特殊元素的合金鋼，一樣可以屬於高品質鋼。品質好的鋼，主要是決定於下面幾個因素：

1. 氣孔少，雜質少；

2. 結晶組織均勻，沒有分凝結晶和樹枝狀組織；

3. 鍛軋加工良好，沒有過熱、裂紋等毛病。化學成分只是決定鋼類的不同，它並不能直接說明鋼的品質等級。各種不同的鋼，它的機械性質和其他性質也各各不同。每一種鋼都有它最適合的用途。因此，脫離開一定的使用目的，單從鋼的種類來決定它的好壞是不對的。

下面介紹一下蘇聯鋼料的符號，和它所代表的意義：

蘇聯代表各種金屬元素的符號是：X=鉻、Г=錳、H=鎳、Φ=釩、M=鉬、Ю=鋁、B=鎢、C=矽、Д=銅、K=鈷、T=鈦。跟在各元素代表字母後面的數字，表示前面元素的平均含量（即代表該元素的百分數值，如2是2%，12是12%等）。如果不寫出數字，就是說明那一元素的含量至少在1%以上。此外，在這些字母前面的兩位數字是代表含碳量的，（即小數點以後的百分數值）如08（含碳0.80%）、10（含碳0.1%）等。在編號後面的字母是表示鋼的品質等級的，

通常 A 是指高級品質的鋼。例如 12XH3A 就是表示含碳 0.12%，大約還含有 1% 鉻、3% 鎳的高品質鋼。

切削工具用的碳鋼，它的代表符號是 Y7、Y8……Y13 等。符號 Y 表示這鋼是碳鋼，符號後面的數字是它的平均含碳量。

高合金高速切削鋼用 PΦ1 表示，它的化學成分是：碳 0.7~0.8%、鎢 17.5~19.0%、鉻 3.8~4.6%、鎳 1.0~1.4%。低合金高速切削鋼用 ЭИ-來標明，有 ЭИ-184（碳 0.8~1.0%、鎢 3.5~4.8%、鉻 7.0~9.0%、鎳 1.0~1.5%）、ЭИ-262（碳 0.85~0.95%、鎢 8.5~10.0%、鉻 4.0~4.6%、鎳 2.0~2.6%）、和 ЭИ-347（碳 0.7~0.8%、鎢 8.5~9.5%、鉻 4.0~4.6%、鎳 1.3~1.7%）等幾種。

二 金屬和合金的結晶結構

合金內部的結構組織，決定了合金的機械性質；而化學成分和處理方法，又決定了合金的結構組織。合金的處理方法有很多，從原料起一直到成品，要經過：熔煉、澆鑄、鍛工、熱處理和機械處理。

所有的金屬和合金，都和其他物質一樣，是由原子構成的。原子在金屬的內部並不是隨意堆在一起，而是有一定的排列式樣的。它們之間都佔有一定的空間，搭成一個跟房屋架子相仿的架子，叫做結晶格子。極大部分金屬的結晶格子都是正立方形的。有些金屬如鐵（ α ）、鉻、鉬、鎢等的原子，分佈在正立方形每個角上和對角線的中心（圖 1 甲），我們叫它做體心正立方形格子。又有些金屬如鐵（ γ ）、鋁、銅、鎳等的原子，分佈在正立方形的每個角上和每一面的中心（圖 1 乙），我們叫它做面心正立方形格子。其他有些金屬如

鎂、鋅、鈦等是正六角形格子。在正六角形格子裏，有 12 個原子分佈在上下面每一個角上，二個原子在上下面正六角形的中心，三個原子在中間面的內部（圖 1 丙）。

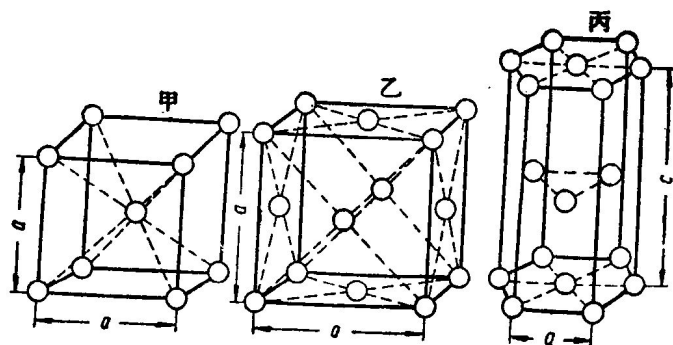


圖 1 基本的結晶格子。

甲——體心正立方形； 乙——面心正立方形； 丙——正六角形格子。

兩個相鄰原子空間距離，叫做原子間距或參數，原子間距的長度單位是 $\text{\AA}$ ， $1 \text{\AA} = 0.000,000,01$ 公厘（即 10^{-8} 公厘）。正六角形格子有兩個參數 a 和 c 。每個單位的結晶格子大小如下：銅 $a = 3.6 \text{\AA}$ ；鋁 $a = 4.05 \text{\AA}$ ；鎂 $c = 5.199 \text{\AA}$ ， $a = 3.202 \text{\AA}$ 。

晶粒是金屬內部的結構組織。大部分晶粒小到我們目力不能直接看見，這些晶粒的形狀，大小很不規則。一般金屬所含有的晶粒數目非常多（圖 2）。金屬的結晶並不影響金屬外表的形狀（原子在空間相互排列的位置和結晶格子的大小，可

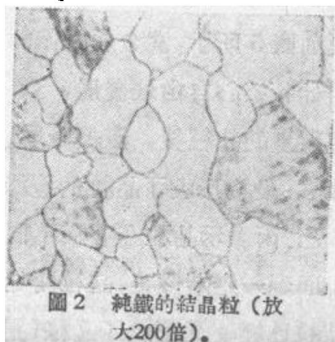


圖 2 純鐵的結晶粒（放大 200 倍）。

以用X光分析來測定)。

形狀不規則的晶粒，是在金屬溶液凝固的時候，圍繞着核心逐漸形成和長大的。當金屬從液體狀態變成固體狀態的時候（就是凝固的過程），首先形成了許多小晶粒（核心）（圖3）。然後各個核心依照本身的結晶特性，吸收同類性的原子結構，在不同的位置裏向不同的方向自由長大發展，並且集結成了各種幾何形狀的結晶。

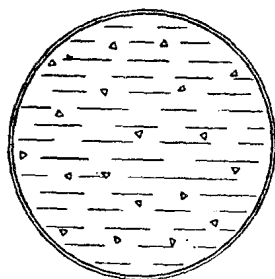


圖3 液體金屬在開始結晶時的核心理論圖。

我們可以做一個試驗，來更清楚地說明這個問題。把一小粒明礬用線吊住，放在裝有明礬溶液的杯子中。我們可以漸漸地看到，小粒的明礬不斷地從溶液中吸收，集結而長大（圖4）。晶粒的長大和上面試驗的情形完全相像，它的變化過程如圖5所示。當金屬凝固的時候，

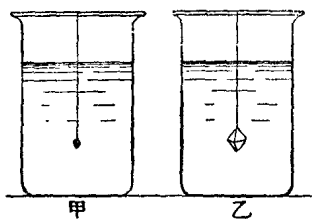


圖4 明礬晶粒在溶液中長大的試驗。甲——試驗開始時的情形；乙——試驗結束時的情形。

開始各核心自由地發展，到了有相當數量的晶粒後，繼續發展就相互接觸，最後形成了晶粒的邊緣。圖5甲是結晶核心的形成情形。圖5乙、丙表示晶粒在各個不同階段自由長大，互相不干涉。圖5丁說明到一定階段後，晶粒開始擁擠，互相妨礙了發展。圖5戊表示晶粒已經交叉形成了邊緣（這邊緣我們叫它做‘晶界’），就是已經

得到了如圖 2 所示的結果。

工業上很少用到純金屬。機械方面用的工業材料多半不是純金屬，而是由一種以上的金屬（或非金屬）所組成的合金。

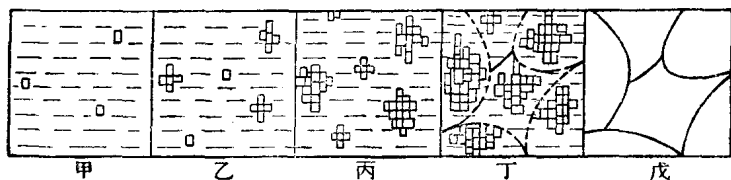


圖 5 金屬在凝固時晶粒發展的情形。甲——形成結晶核心；乙——晶粒長大和新的核心的形成；丙——晶粒繼續不斷長大；丁——晶粒繼續不斷長大；戊——固體金屬的晶粒邊緣。

由兩種金屬組成的合金，叫做雙重合金。三種金屬組成的合金，叫做三重合金。四種金屬組成的合金，叫做四重合金。四種以上金屬組成的合金，叫做多重合金。我們最常用的鋼、鐵，基本上就是純鐵和碳組成的雙重合金。現在我們所知道的金屬不下幾十種，就是用雙重合金的組合來計算一下，它的數量就已經很多了，如果組成了多重合金，它的數量會達到驚人的程度，不過對我們有用的種數是不太多的。

雙重合金的內部結構組織，大概可以分成四種：

一、兩種元素如果在液體狀態下，能够互相溶解，但在凝固後就互相分離開來的合金，它的內部結構是一種機械的混合體。這種混合體的性質，大概可以用兩種元素的平均情形來表明。例如銅和鉛，在固體時互不溶解，它們的合金硬度比鉛高，但比銅低，抗拉力也這樣。這種合金除了銅鉛合金是用來做軸承的以外，一般說來對我們是沒有多大用處的。

二、兩種元素在固體狀態下，仍舊能够互相溶解的合金，它的組織成爲一種均勻的固溶體。這種固溶體和液體的溶液完全相似，所不同的只是在固體狀態而已。這種結構組織的性質和原來單獨元素的性質完全不同。例如，熔化的銅和熔化的鎳混和起來，不但成爲一個非常均勻的液體，如果把它冷卻下來，凝固以後，它仍舊是很均勻的。這種合金在顯微鏡下，我們看不出具有任一原來元素的特點。它是我們用的最多的一類合金。

三、有的合金的兩個元素能够互相化合，組成了金屬化合物如碳化鐵(Fe_3C)。按化學原則，化合物有它自己的性質，和原來單獨元素完全不同。普通這種化合物都很硬很脆，我們不希望合金中有許多這種化合物。

四、由上面所說的三種中的兩種或全部組成的集合體。一般的合金組織都是這樣的。

金屬本身既然是多元素的結合體，同時構成結合體的方式又有以上所說的四種形式，因此我們知道各種金屬總的晶體結構裏，是包括有多種不同的結晶組織的。不過這只能先把金屬表面磨得很光，再用適當的溶液侵蝕一下，放在高倍數的顯微鏡下，才能清楚地看出來。

各種結晶組織的含量和它們分佈的情形，能够決定材料的性質，這種結晶組織的樣子，叫做‘金相組織’。

三 鐵碳合金組成圖(平衡圖)

純鐵的硬度很低($H_b = 90 \sim 100$)，抗張極限強度也很低($\sigma_b =$

28~30 公斤/公厘²), 而引伸率很大($\delta=30\sim40\%$)。純鐵因為機械性質不好, 而且也不容易煉製, 所以在工業上是不用它的。在純鐵中加入少量的碳元素後, 它的機械性質就起了很大的變化。純鐵中加入了碳以後, 所成的‘鐵碳合金’, 具有了一個特點。這特點就是: 同一成分的鐵碳合金, 在不同的條件下, 會產生不同的金相組織; 也就是說它可以用熱處理的方法來改變它的材料性質。

機械工業, 最主要的材料就是鋼和鐵。鐵碳合金中含碳量在 1.7% 以下的叫做鋼; 含碳量在 1.7% 以上的叫做鐵。鋼和鐵裏面除了含有碳以外, 往往還含有其他元素——矽、錳、硫、磷……。這些元素是在冶煉過程中, 因金屬元素的還原變化等作用而摻入鋼中, 沒有辦法避免。

此外, 爲了改善材料的性質, 增加它的硬化深度, 提高它的耐熱性和高熱強度, 增加它的耐磨性、耐酸性……等, 在冶煉的時候, 有計劃地把其他特殊金屬元素如鉻(Cr)、錳(Mn)、矽(Si)、鎳(Ni)、鉬(Mo)、鎢(W)、釩(V)、銅(Cu)、鋁(Al)……等加入在合金裏。這樣煉出來的鋼或鐵, 就叫做合金鋼或合金鑄鐵。

在開始進一步研究鐵碳合金組成問題以前, 我們要先了解一下純鐵的一個主要性質。純鐵在加熱或冷卻的時候有一個特點: 就是它會從一種結晶結構變成另一種結晶結構。這種變化叫做純鐵的‘同素異形體’的變化, 它會使材料的物理性質改變, 而化學性質却不變。

下面我們先談一談純鐵的同素異形體、鐵碳的固溶體, 然後再談談鐵碳合金組成圖以及次共析鋼、過共析鋼的結構。

1 純鐵的同素異形體 在同素異形體變化的時候，物體從一個狀態變換到另一個狀態，同時跟隨着原子結構的重新排列，組成了新的結晶格子。

鐵的同素異形體有下面幾種類型：當鐵碳合金的溫度在 910°C 以下的時候，純鐵在合金中存在的情況叫做 α 鐵。到 910°C 時， α 鐵轉變成了另一種同素異形體 γ 鐵（在 α 鐵和 γ 鐵之間，還有一種過渡形態，叫做 β 鐵，它的結晶格子和 α 鐵一樣，但是 α 鐵有磁性，而 β 鐵沒有磁性，也可以說 β 鐵就是沒有磁性的 α 鐵）。如果溫度超過了 1401°C ， α 鐵就轉變成為 δ 鐵。 α 鐵、 β 鐵和 δ 鐵的結晶形狀是一樣的，但是它們的物理性質（包括比重、溶融性等）都不相同，因此它們都是 α 鐵的同素異形體。

α 鐵的溫度在 768°C 以下時有導磁性，它差不多完全不能和碳溶合（在 723°C 時， α 鐵溶解碳的最大量是 0.04% ）。

γ 鐵沒有導磁性，但它可以和碳溶合，組成了‘固溶體’（ γ 鐵的溫度升高到 1130°C 時，溶解碳的最大量是 1.7% ）。 γ 鐵和碳溶合的固溶體的專門名稱，叫做固溶體‘奧氏體’。

當‘鐵’從一個形態轉變成另一個形態的時候，在結晶格子中同時也產生了原子結構重新組織和排列的活動。

α 鐵的結晶格子是體心正立方（圖 6）。格子每一邊的原子間距（參數）的大小等於 $2.87 \text{ \AA}$ ，原子數目為 9，有 8 個原子分佈在正立方的每一個角上，有一個原子在交角線的中心。

γ 鐵是面心正立方格子（圖 7）。每一邊原子間距等於 $3.65 \text{ \AA}$ ，原子數目是 14，有 8 個原子在正立方的每個角上，有 6 個原

子在每一面的正中心。

在加熱的時候，金屬結晶結構從 α 鐵轉變成 γ 鐵；在冷卻的時候，從 γ 鐵轉變成 α 鐵；也就是把結晶格子的形狀從體心正立方格子變成面心正立方格子，或者從面心正立方格子變成體心正立方格子。

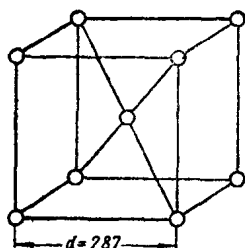


圖6 α 鐵結晶空間格子
(體心正立方)。

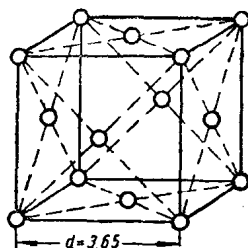


圖7 γ 鐵結晶空間格子
(面心正立方)。

面心正立方格子的原子間距(參數)雖然比體心正立方格子大,但是它每個格子方體所集結的原子數量很多。因此,當 α 鐵轉變為 γ 鐵的時候,體積會顯著地縮小;相反的,當 γ 鐵轉變為 α 鐵時,體積會顯著地增加(圖8)。在實際操作中,這種變化結果的影響,是十分重要的。由於這一點,我們可以判斷體

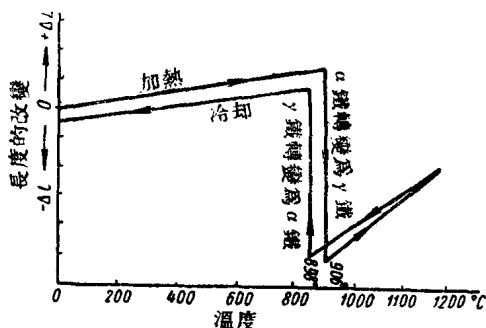


圖8 加熱時 α 鐵轉變為 γ 鐵的長度改變(體積的改變)和冷卻時 γ 鐵轉變為 α 鐵的長度改變(體積的改變)。

積的變化情形，初步體會到鋼鐵材料或工件在加溫或熱處理時候所發生的變形問題。

鐵在加熱到一定溫度時，發生了結晶結構形狀的變化（如 α 鐵轉變成 γ 鐵）；在它從一個狀態轉變成另一個狀態的過程中，變化活動並不另外產生溫度變化。如 α 鐵在轉變成 γ 鐵的過程中，溫度一直保持在 910°C （圖10）。同樣在金屬熔化的時候，也可以看到這個情形。

一般金屬在形成結晶的時候，需要放出熱量，在熔化的時候，需要吸收熱量。結晶時所放出的熱量叫做凝固熱，熔化時所吸收的熱量叫做熔化熱。金屬在結晶結構從一個形態轉成另一形態，或者在同素異形體的變化的時候，也會發生熱量的異動。這種熱量的異動叫做‘變換熱’。但兩個變化形態之間反覆變化的

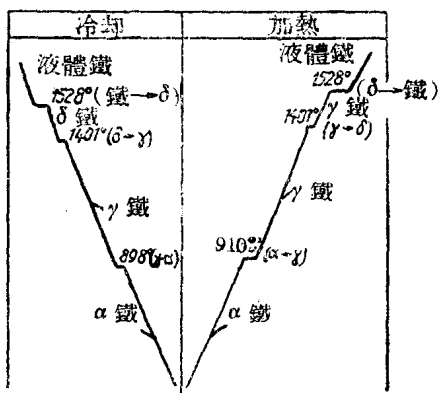


圖9 純鐵的加熱和冷卻曲線。

變換熱却不一定相等。比如 γ 鐵降溫變成 α 鐵的溫度異動，要比 α 鐵升溫變成 γ 鐵的溫度異動小一些（圖9）。這是因為 γ 鐵本身特有的‘過冷性’的作用現象。由於這種現象，所以在加熱的時候一定要熱到 910°C 以上才變成 γ 鐵，而冷卻的時候又必定要冷到 910°C 以下才變成 α 鐵。這樣一來，加熱時的轉變溫度和冷卻時的轉變溫

度就不相同，我們叫加熱時候的幾個轉變點爲 Ac_1 、 Ac_2 、 Ac_3 ，叫冷卻時候的轉變點爲 Ar_1 、 Ar_2 、 Ar_3 。 Ar_1 又叫做低臨界點， Ar_3 又叫做頂臨界點。

Ac_2 是加熱時由 α 鐵變成 β 鐵的溫度。 β 鐵的組織和 α 鐵一樣，也是體心正立方晶，但是 β 鐵沒有磁性，這一點和 α 鐵不一樣。 β 鐵存在的溫度是很短的一段。

Ac_3 是 β 鐵變成 γ 鐵的溫度， Ac_4 是 γ 鐵變成 δ 鐵的溫度。 Ac_2 的溫度大約是 $770^\circ C$ 。

Ar_4 是 δ 鐵冷卻變成 γ 鐵的溫度， Ar_3 是 γ 鐵變成 β 鐵的溫度， Ar_2 是 β 鐵變成 α 鐵的溫度。

熔化了的鐵很容易溶解碳，溫度愈高愈容易溶解，最大的溶解量大約是 5%。溶解了碳的鐵，熔點就降低了。含碳 4.3% 的鐵，成爲一個共晶的成分，熔點最低。

在冷卻的時候，不含碳的鐵變成 δ 、 γ 、 β 、 α 等形態。含碳的鐵就受到溶解的碳的影響。如果含碳量不超過 0.55%，那就先變成 δ 鐵，再變成 γ 鐵。但是含碳量如果超過了 0.55%，那就直接變成 γ 鐵，不再經過 δ 鐵這一步了。

2 鐵碳合金組成圖 圖 10 是鐵碳合金組成圖（平衡圖）。圖的左邊指的是純鐵，右邊指的是含碳 6.67% 的鐵碳化合物 Fe_3C 。鐵碳化合物本身硬度很高，又可以叫做滲碳體。鐵碳合金根據它的性質，可以分成兩類：含碳 0~1.7% 的鐵碳合金是鋼，展延性很好，可以鍛造；含碳 1.7%~6.67% 的鐵碳合金就是鑄鐵，性質脆不能鍛造。

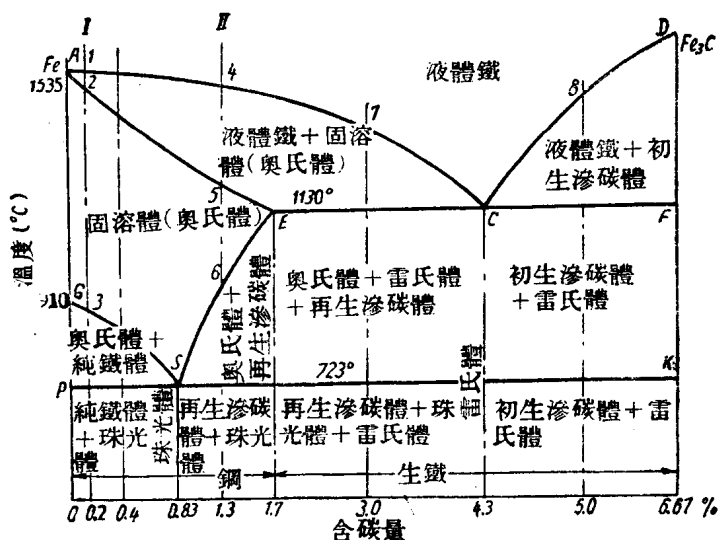


圖10 鐵碳合金組成圖(平衡圖)。

所有的鐵碳合金溶液，都沿 ACD 線(液線)開始凝固。含碳 0~4.3% 的合金，沿 AC 線凝固，一部分奧氏體(含碳的 γ 鐵固溶體)從液體合金中分解出來。含碳 4.3% 以上的合金沿 CD 線凝固，碳化鐵結晶(鐵和碳的化合物— Fe_3C)從合金溶液中分離出來。因此，C 點(AC 和 CD 線的交點)就叫做‘共晶點’。

含碳 4.3% 的合金(共晶合金)在 1130°C (C 點)時凝固，從合金溶液中同時有滲碳體和奧氏體分離出來，組成了共晶混合物，叫做雷氏體。圖中的 AECF 線是合金凝固終了線，這個線又叫做固線。

鐵碳合金組成圖上，很重要的一點是 E (溫度 1130°C ，含碳 1.7%)。E 點代表 γ 鐵在 1130°C 時所能溶解碳的最大量。溫度降