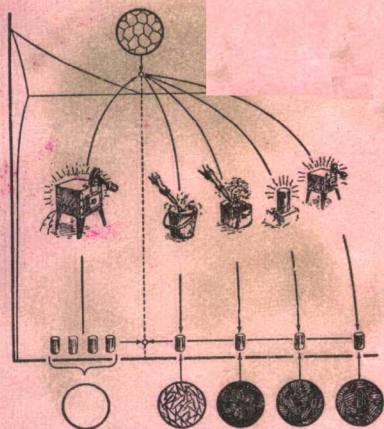


汽车修理中的 热处理技术

林震亚 编著



人民交通出版社

汽车修理中的 热处理技术

林震亚 編著

人民交通出版社

本書除簡要地敘述了熱處理技術的基本知識外，着重介紹了熱處理技術在汽車修理中的應用，包括主要的熱處理工藝過程以及所需的設備和用劑，還編訂了一些汽車零件的熱處理標準規範，最後還介紹了有關的熱處理方面新的理論和成就。

本書可供汽車修理單位熱處理工和技術人員閱讀，也可供一般熱處理工作者參考。

汽車修理中的熱處理技術

林震亞 編著

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新华書店北京發行所發行 全國新华書店經售

人民交通出版社印刷廠印刷

*

1962年9月北京第一版 1963年11月北京第二次印刷

開本：787×1092 1/32 印張：6 1/4

全書：180,000字 印數：2501-6000冊

統一書號：15044·4390

定價(10)：0.85元

目 录

第一章 基本知識	3
一、物質的构造	3
二、金屬和合金	3
三、溫度变化与結構組織	8
四、平衡图 (状态图)	13
五、热处理的涵义	18
第二章 主要的热处理工艺过程	20
一、退火	21
二、正火	27
三、淬火	29
四、回火	38
五、調質	44
六、时效	49
七、化学热处理	52
第三章 热处理設備和用劑	72
一、热处理炉和冷却設備	72
二、輔助設備	98
三、仪表	107
四、一般热处理用剂和化学热处理用剂	117
第四章 汽車主要零件的热处理标准规范	131
一、齒輪	131
二、軸类	136
三、連杆	141
四、彈簧	142
五、銷子	149

六、套筒、套管和軸套·····	151
七、氣門·····	153
八、伸縮叉、變速叉和變速軌、其他叉子·····	156
九、標準零件·····	157
十、活塞環·····	160
十一、活塞·····	162
第五章 幾種先進的熱處理技術 ·····	165
一、快速加熱熱處理·····	165
二、火焰表面淬火·····	167
三、電解液加熱淬火·····	173
四、接觸電熱淬火·····	176
五、高頻加熱表面淬火·····	178
六、冷處理（零下低溫處理）·····	183
七、防止淬火裂紋法·····	187
八、液體鑄鐵滲碳法·····	188
九、用固體滲碳劑的氣體滲碳·····	189
十、氰化過程控制法·····	191
第六章 熱處理工間的技術安全 ·····	196
一、一般安全守則·····	197
二、各種加熱爐的安全操作·····	197
三、鹽浴、鉛浴和油浴的安全操作·····	198
四、氰化處理的技術保安·····	200
五、火焰淬火的技術保安·····	202
六、冷處理的技術保安·····	202
七、其他設備的安全操作·····	203

第一章 基本知識

一、物質的構造

大家知道，鋼鐵、金銀、木材、玻璃和石頭等等都是物質。

物質是由原子和分子構成的。分子是物質能分成的而不失其特性的最小質點。1 升空氣中含有 27×10^{21} 個分子。分子又是由原子構成的，原子比分子更小。按照現代物理學關於物質構造的學說，自然界中的一切物質，均由原子所組成，而原子則由質子、中子和電子所組成。原子的中心部分為原子核，外層有電子環繞着。原子核包含帶正電荷的質子和不帶電荷的中子，在原子核外圍運行的電子帶有負電荷。氫原子是已知的最輕的原子，可是它的重量為電子重量的 1840 倍。物質的構造大致如此（根據最近的物理學說，原子的構造還要複雜些），金屬是如此，非金屬亦是如此。

了解物質的構造，對進一步研究金屬熱處理的理論是有幫助的，因為金屬在熱處理過程中所發生的變化，主要是物質內部的變化，是原子與原子之間的變化。

二、金屬和合金

金屬在大自然里分布極廣，已經知道的一百多種的化學元素中，約有七十餘種是金屬。地球上分布最廣的金屬元素是鐵和鋁，其次為鈣、鎂和鉀等。

無論在物理-機械性質上或在工藝性質上，金屬和非金屬有非常顯著的差別。金屬具有特有的顏色和光澤，善於導電傳熱，並有一定的強度、硬度、彈性、韌性、延性和展性。它們大都可以鍛壓、鑄造、焊接和進行切削加工。正由於這些良好的性質，金屬的用途很大。

可是，不含任何雜質的純粹金屬，不但價格高昂，而且強度較低。

例如純鐵在工業上的應用就遠較普通碳素鋼為少。因此在工程上，合金確有着十分重大的實際意義。

所謂合金，即是含有兩種或兩種以上化學元素（至少其中之一為金屬元素）的複合物質。根據現代生產技術的要求，已製出成千上萬的合金，通常應用得最早和最廣泛的為鋼、生鐵（鋼和生鐵主要是鐵和碳的合金）和銅合金（例如青銅是銅和錫的合金，黃銅是銅和鋅的合金）。此外，還有各種各樣性質不同、用途各異的合金：硬而脆的碳化鎢硬質合金，低電阻的銅銀合金，高電阻的鎳鉻合金，耐酸的鎳鉻鋼（含25%鉻和20%鎳），以鎳為主的耐熱合金鋼（含25%鎳、18%鉻和2.5%硅），實際不受磁化的鎳鋼（含25%鎳和2%鉻），銅鋁錳磁性合金（66.5%銅、11.1%鋁和22.4%錳）以及極易熔化的易熔合金（鉍4份、鉛2份、鎢1份和錫1份）等等，不勝枚舉。

合金的性質與其所含成分的性質往往是有着很大的區別。如上面所舉的例中，銅、鋁和錳都是非磁性金屬，而它們可組成磁性合金；易熔合金的熔點僅為 67°C ，而這種合金的金屬成分都要到相當高的溫度才會熔化（鉛的熔點為 327°C ，銅為 321°C ，鉍為 271°C ，錫為 232°C ）。

為了能更好地選用所需要的材料，熟悉金屬和合金的性質是十分必要的。

前面已經談過，非金屬和金屬均是由原子構成的。組成物質的原子，有的排列得整齊，有條不紊；有的卻排列得亂七八糟，雜亂無章。原子按一定規律排列的固體物質，我們稱之謂“結晶體”；原子隨便排列的固體物質，則叫做“非晶體”（如玻璃、松香等）。

一切金屬都具有結晶結構，其中的原子相互成幾何規則的排列，形成了所謂“結晶空間格子”。因為金屬原子極為微小，只有 $2\sim 5$ 埃（以符號 $\text{\AA}$ 表示， $1\text{\AA}=10^{-8}$ 厘米），不能用顯微鏡來觀察結晶體中的原子排列情況。1912年才開始利用X射線來研究結晶格子中的原子排列。

根據X射線研究的結果，最常見的金屬結晶空間格子（簡稱“晶格”，也叫“空間點陣”）有三種類型，它們是體心立方體、面心立方體和密集六方體。

在體心立方格子中，各個角及立方體中心都有一個原子，如圖1所

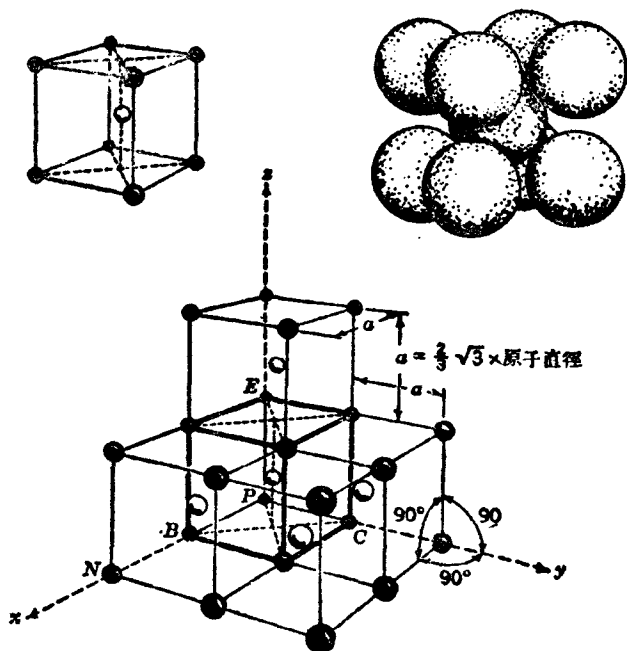


图1 体心立方结晶格子（黑线部分表示单位晶胞，白球为格子结点）

示。低温和高温时的铁、钨、钨和钨等的结晶格子属于这种结构。

在面心立方格子中，各个角及各个面的中心都有一个原子，如图2所示。属于这种结构的有铝、镍、金、银、铜和铅等。

少数有色金属如镁、锌、钴、镍和钛等的结晶格子，则属于密集六方体结构。这种密集六方格子的X轴和Y轴成 120° 的角度，Z轴与其他两轴垂直（详见图3）。

除了以上三种主要的结晶格子外，还有不常见的其他类型，例如 α -锡（灰锡）为金刚石格子， β -锡（白锡）为正方体晶格，铋为斜方晶格。

各种结晶格子还可用它们的大小或叫做格子常数（沿各方向测出的原子之间的距离）来表示（参阅图1、2和3）。

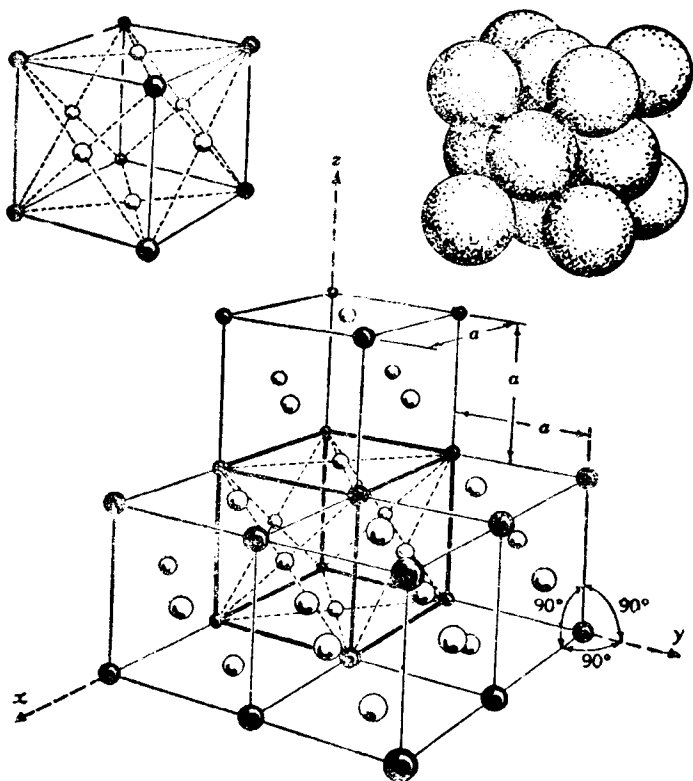


图2 面心立方体结晶格子 (黑线部分表示单位晶胞, 白球为格子结点)

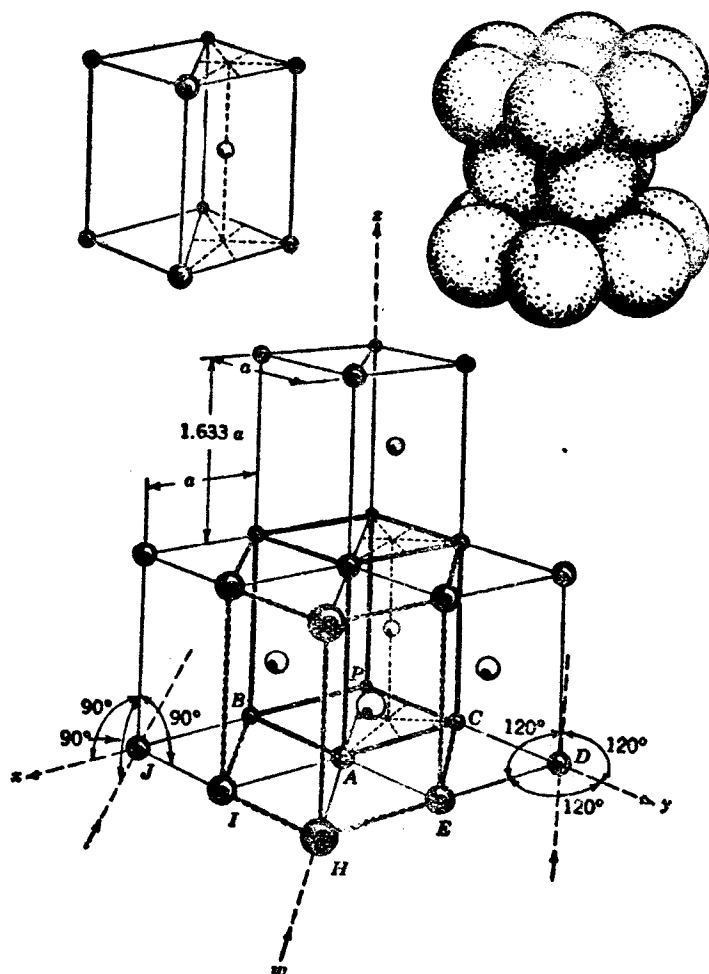


图3 密集六方体结晶格子（格子结点位在构成半个单位晶胞的等三角柱的中心，其他一半则空）

三、溫度变化与結構組織

某些金属于固体状态加热到一定的溫度之后，結晶格子的形状会发生改变，由此而引起金属性質（物理性質和化学性質）的显著变化，这一現象称为同素变态。每一种同素体（同素异晶形），只在一定的溫度范围内呈稳定性。当受热的金属冷却时，也可以看到相反的同素变态。

铁的結晶格子是随着溫度的变化而改变的，也就是說，铁会发生同素变态，所以它有好几种同素体。又如具有正方体晶格的白 β -錫，在溫度低于 18°C 时可能轉变成灰 α -錫（这种白錫块变为灰錫粉末的現象俗称“錫疫”）。

同一元素在不同溫度下具有不同結晶结构的性能叫做同素异晶性。通常以希腊字母 α 、 β 、 γ 、 δ 等来表示各元素的同素变态（在最低溫度存在的那种同素体用 α 表示）。与此同素异晶变化的同时，将吸收或放出热量。

从室溫开始到 910°C ，铁的結晶格子是按照体心立方体排列的，这时的铁叫做 α -铁。当溫度在 $910\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 的范围时， α -铁轉变为面心立方晶格的 γ -铁。在 768°C 以下时 α -铁有磁性，而到 768°C 以上时它就失去磁性，沒有磁性的 α -铁曾叫做 β -铁（晶格仍为体心立方体）。 768°C 是铁的磁性轉变溫度，叫做居里点。当溫度再从 1400°C 直到接近铁的熔点以前（ 1528°C ）， γ -铁又轉变成体心立方結晶格子。在 $1400\sim 1528^{\circ}\text{C}$ 溫度范围内的铁叫做 δ -铁。 β -铁、 γ -铁和 δ -铁都是无磁性的。

工业上用途最广的鋼和生铁是铁和碳的合金，鋼的含碳量在1.7%以下，生铁的含碳量为1.7~6.67%。一般工业上应用的铁-碳合金，其含碳量不超过5%，含碳量过高了，熔点既太高并且也极不稳定。

铁碳合金的結構組織，依靠显微鏡的观察研究，能明显地被检查出来。对于铁碳合金显微組織的基本成分，将在下面一一加以討論。

铁素体（純铁体） 铁素体是碳溶解在 α -铁中的固溶体。所謂固溶体，就是某种（某些）元素（物質）在固体状态下溶解在另一种固体状态的元素（物質）里，形成了象糖或盐溶解在水中一样的“固体溶液”。在 723°C 时铁素体含有0.02~0.03%碳，而在室溫时仅含0.006

~0.008%碳。正如純鐵那樣，鐵素體是由晶粒構成的，呈體心立方晶格，並有磁性。

在普通鋼和生鐵中，鐵素體不僅含有碳，還含有大量的硅、錳、磷和其他元素。它的物理-機械性質決定於固溶體中各元素的数量，硅和磷對它的影響最大。鐵素體很軟，布氏硬度80~120（不含雜質時， $H_B \approx 60$ ），抗拉強度為25~30公斤/毫米²，韌性很好，延伸率為30~50%，斷面收縮率80%。

滲碳體（碳化鐵） 滲碳體是鐵和碳的化合物（鐵的碳化物， Fe_3C ），或者是以 Fe_3C 為基本的固溶體。它具有斜方晶格，每一單位晶胞中有12個鐵原子和4個碳原子。

滲碳體的含碳量為6.67%，硬而脆，布氏硬度 >800 （或 $H_{RC} > 65$ ），沒有延伸率。在210°C以下時它是具有磁性的。

鐵溶解在滲碳體中時，將使滲碳體的硬度降低，然而當形成碳化物的元素（錳和鉻等）溶解在滲碳體中，硬度反而會增加。

在顯微鏡下，滲碳體呈現光亮的突起狀。滲碳體以不同的形式出現於鋼和生鐵的組織中，它有時沿晶界成網狀，有時沿晶面成針狀分布，或為發亮的單獨析出物。

珠光體 珠光體是鐵素體和滲碳體的機械混合物，是不同大小的層狀滲碳體分布在鐵素體內的共析體（固溶體分解而形成的均勻的粒狀或層狀組織）。因為這種組織在顯微鏡下與珍珠相似，所以叫做珠光體。

當含碳量為0.8%時，在幾乎不含雜質的鐵碳合金中可以全部得到珠光體。又在鋼中含有硅、錳和其他元素時，即使含碳量較低，也可全部得到珠光體。

由於熱處理的方法不同，珠光體分片狀珠光體（層狀珠光體）和球狀珠光體（粒狀珠光體）兩種。珠光體的機械性質視其中滲碳體粒子的細度而定。普通片狀珠光體的抗拉強度為82~88公斤/毫米²，延伸率15~20%；粗大的片狀珠光體，抗拉強度為55公斤/毫米²，延伸率5%；而細粒珠光體的抗拉強度達133公斤/毫米²，延伸率11%；球狀珠光體，抗拉強度為63公斤/毫米²，延伸率20~25%。球狀珠光體的硬

度为 $H_B 160 \sim 190$ ；片状珠光体为 $H_B 190 \sim 280$ 。

由此可見，珠光体中渗碳体析出物越粗大，它的机械性質就越差。使渗碳体粒子細化能够提高珠光体的机械性質。

奥氏体 奥氏体是碳在 γ -鉄中的固溶体，也許同时有别的元素溶解在內。在奥氏体固溶体的单位晶胞中，鉄原子位在立方体的各个角上和每个面的中心，而碳原子則位于立方体的中心，亦即碳跑进 γ -鉄面心立方晶格的中央去了。对普通碳素鋼來說，奥氏体仅在高温时才是稳定的。在 1130°C 时， γ -鉄能溶解碳达2%。在 723°C 时最多則为0.8%碳。

它的韌性很好，經受得起冲击，硬度为 $H_B 170 \sim 220$ ，抗拉强度为 $85 \sim 105$ 公斤/毫米²，延伸率20~25%，无磁性而有展性。

奥氏体的显微組織完全是由特征性的孪晶（宛如被两条平行綫所限制的晶粒基本部分）晶粒所构成。

鋼中含2%左右的碳或較多的特种元素时，例如鎳鉻鋼和錳鋼，奥氏体的組織可以在常溫保存下来。

索氏体（苏班体） 索氏体是鉄素体和渗碳体的較細的机械混合物。鋼在热油或鉛浴中冷却时可以获得这种組織。淬火的鋼回火到 600°C 时也可得到索氏体組織。在一般金相显微镜下，索氏体呈云雾状，要放大3000倍左右才能看出片状或球状分布的情况。

它的硬度是 $H_B 250 \sim 400$ ，抗拉强度为 $70 \sim 140$ 公斤/毫米²，延伸率10~20%。

屈氏体（托氏体） 屈氏体同索氏体一样，也是鉄素体和渗碳体的机械混合物，不过比索氏体的組織更細。在显微镜下，屈氏体呈細針状（放大600倍左右），在放大3000倍左右时可見到鉄素体和渗碳体的层状分布。

屈氏体的硬度比索氏体高，为布氏硬度 $400 \sim 500$ ，抗拉强度也較高，为 $140 \sim 175$ 公斤/毫米²，延伸率5~10%。

索氏体和屈氏体有时总称为細珠光体。

馬氏体（馬登体） 馬氏体是碳在 α -鉄中的过飽和固溶体。这种組織又硬又脆，而且极不稳定。它在显微镜下呈針状分布。馬氏体的硬度仅次于渗碳体，为 $H_B 650 \sim 750$ ，抗拉强度为 $175 \sim 210$ 公斤/毫米²，

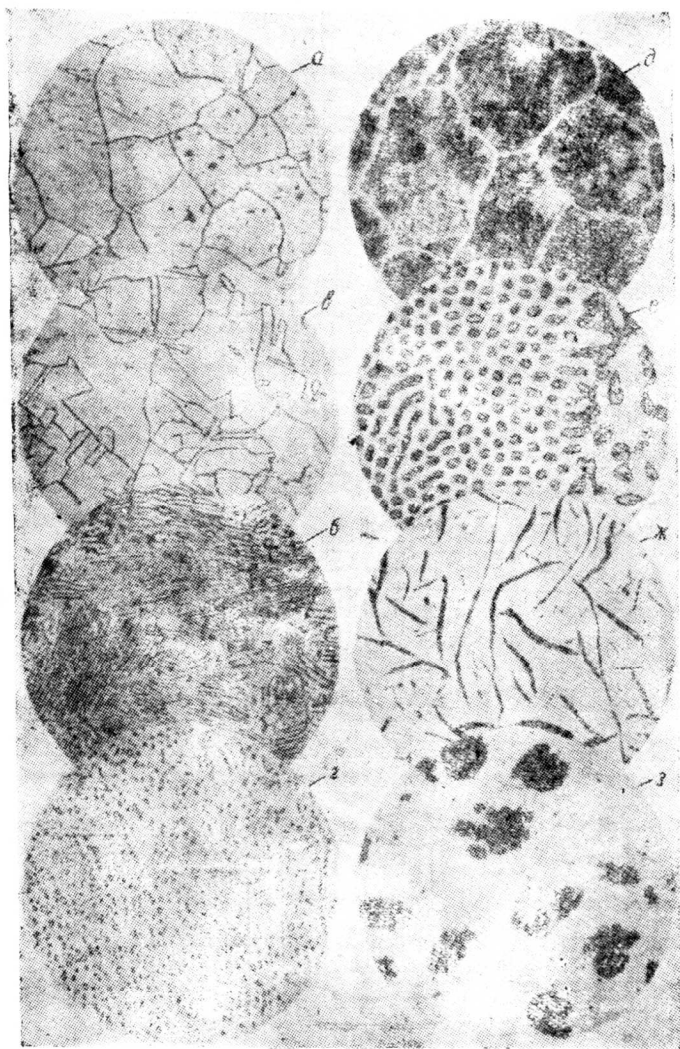


图4 鉄碳合金的一些顯微組織

a-鉄素体；b-片状珠光体；c-奥氏体；d-球状珠光体；e-珠光体+渗碳体（沿晶界成网状分布）；f-萊氏体（渗碳体共晶組織）；g-片状石墨；h-球状石墨（退火炭）

延伸率 2~8%。

貝氏體 (貝耐體) 貝氏體與珠光體相仿，也是細的鐵素體和滲碳體的混合組織。在形成過程中，它是以針狀鐵素體領先出現，而且鐵素體所含的碳量超過正常含碳量（呈過飽和狀態），這便與珠光體不同（在珠光體的形成過程中先出現滲碳體；鐵素體中的含碳量正常）。在顯微鏡下，貝氏體的組織呈針狀或羽毛狀，這又與馬氏體有些類似，可是馬氏體的韌性卻遠較貝氏體為低。某些合金鋼具有高的硬度和沖擊韌性，就是由於在空氣中冷卻時得到了貝氏體組織。

萊氏體 萊氏體系一種共晶體（液體冷卻時所形成的二相機械混合物，具有特有的粒狀或片狀組織，熔點很低，鑄造性質和機械性質良好），是由滲碳體（52%）和飽和的奧氏體（48%）所組成，它含有 4.3% 碳。萊氏體在生鐵的組織中可以見到，硬而且脆，硬度為 $H_u > 100$ 。在高合金鋼（例如高速鋼）中也可發現這種組織。

石墨 石墨為具有六方晶格的碳的一種結晶變態，在它的晶格中碳原子排列在每層六方柱面的角上（見圖 5 6）。石墨是片狀組織，強度很低，在金屬基體中它起着類似空洞及裂縫的作用。生鐵和石墨化鋼的組織內可以找到石墨（在顯微鏡下呈黑色，不用侵蝕即能顯示出來）。

研究指明：石墨在固溶體中能夠含有鐵和其他元素。

很顯然，鐵碳合金既然有這許多不同的結構組織，那麼，鋼和生鐵的性質（機械的和工藝的）必定受它們的支配。一些鐵碳合金的顯微組織表示在圖 4 上。

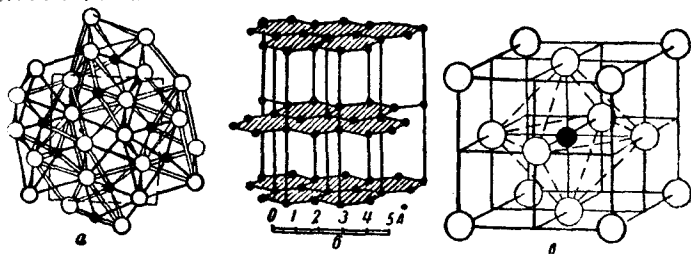


圖 5 顯微組織成分的結晶格子

a—滲碳體；b—石墨；c—奧氏體

(○—鐵原子；●—碳原子)

在图 5 上，表示出三种铁碳合金的显微组织成分的结晶格子。从它们截然不同的晶格形式，也可以说明为什么它们的性质有很大差别。

四、平衡图（状态图）

状态图或平衡图是用来确定合金中存在的相，也就是表示一定的合金所处的状态，并且这些图只指明在适当的条件下处在平衡状态（稳定状态）的相。因此，我们可按平衡图来研究相变。所谓相，就是在一系列（物质群）中呈均一组成的部分（物质）。

合金的状态图，是根据合金中任何一相转变为另外一相的原理而测定的，也就是说，它要根据各种状态变化的原理来决定。

工程上大多数重要的金属材料，都是由数种化学元素组成的合金。这些合金又按其所含元素的种数而分为二元合金、三元合金……等等。含有三种元素以上的合金算作复合合金。

要判定合金的性质以及用途，必须观察各种成分的合金在冷却（加热）时其结构形成的过程。因为知道了每一种合金元素的性质，并不能精确地预料其所组成的各种合金的性质。

绘制平衡图并非一件简单的事情，通常要根据各种方法详细研究合金所得的数据来作成。在合金平衡图上，一般是将合金与温度、浓度的关系明显地画出。该图多半用横轴代表各元素所占成分的百分数，而纵轴则代表熔化和凝固（加热和冷却）的温度。

对于冶金工作者们说来，合金状态图固然是一种珍贵的指示图，即使对热处理工作者，它也是十分有益的助手。特别是铁碳合金平衡图，由于它有着巨大的实际的与科学意义，更值得我们重视。

下面对铁碳合金平衡图作一个比较详细的叙述（参阅图 6）。

铁碳合金平衡图（Fe—C 合金图）是相当复杂的。在此合金中，不仅当熔融的液体合金凝固时发生变化，而且在固态时还继续发生变化。这是因为铁会产生同素变态，从一种同素异晶形转变到另一种同素异晶形。

碳含量表示于平衡图的横轴上（6.67% C 相当于 100% Fe₃C），温度则表示在纵轴上。图上的每一点代表着在一定温度时具有一定成分的

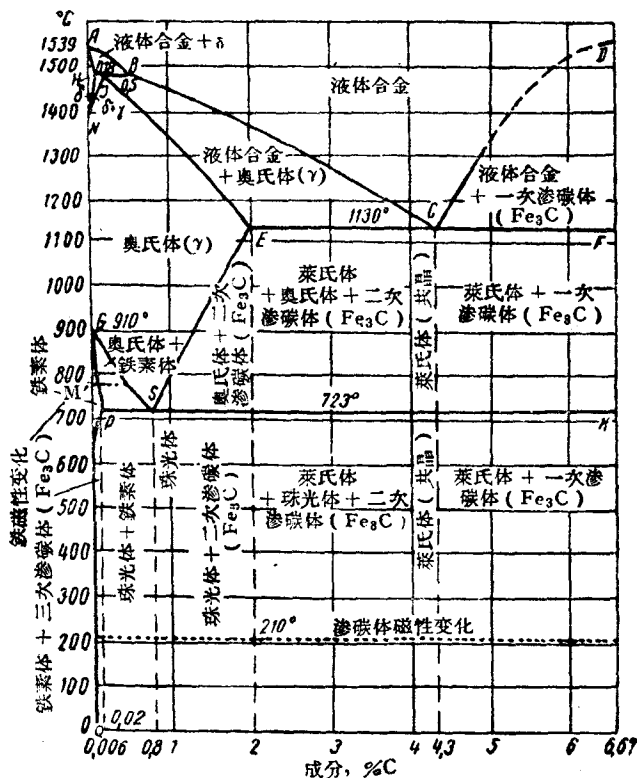


图8 铁碳合金平衡图

合金。

在平衡图的上部有一根 ABCD 线，它是铁碳合金开始凝固的曲线，位于这线以上的合金均处在液体状态，因此叫做液相线。

于 1539°C 时，纯铁（含 0.006%C）熔化（加热时）或凝固（冷却时）。含 4.3%C 的共晶合金于 1130°C（图上 C 点）时熔化或凝固，凝固后生成莱氏体（具有典型的球状或粒状共晶组织）。

液体合金冷却时， δ -固溶体（碳在 δ -铁中的固溶体）按 AB 线从液