

苏联高等学校教学用书

金属学

下 册

A. A. 博奇瓦尔 著

唐棣生 謝希文 吳云書 譯

冶金工业出版社

苏联高等学校教学用书

金 属 学

下 册

A.A.博奇瓦尔 著

唐棣生 謝希文 吳云書 譯

江苏工业学院图书馆
藏书章

冶金工业出版社

特殊部分

工业用合金

第十七章

鉄及其合金

做为組元的鉄

純鉄（鉄所能达到的純度为 99.98—99.99%）的熔点为 1539°C。鉄在固体状态下有两种同素異形体。从低温直到 910°C，鉄是以具有体心立方晶格的 α -晶体的形式存在的。到了 910°C， α -晶体轉变为具有面心立方晶格的 γ -晶体。 γ -晶体在加热到 1400°C 以下时是稳定的，超过此温度后又重新轉变为具有体心立方晶格的晶体，通常叫做 δ -晶体。在本質上， δ -晶体与 α -晶体沒有任何区别。新的名称只是为了区别在 γ -晶体稳定范围以上及以下形成的具有同一种晶格的晶体。

α -晶体在低温时的鉄磁性很强。加热到 768—770°C 时鉄磁性就消失了。这种鉄磁性的消失使人們在以前有理由認為鉄在 770° 上下具有两种不同的同素異形体。过去將鉄在 770° 以上所处的状态叫做 β -晶体。然而 X 射綫研究的結果表明， β -晶体与 α -晶体在結構上沒有任何区别。因此，虽然 β -及 α -晶体具有不

同的磁性，也沒有理由認為 β 是一個獨立的同素異形体或是相。

在冷卻曲線上或在任何物理性質變化曲線上看到的鐵的同素異形轉變點用字母 A 表示，字母下的腳註表示轉變次序的號碼。腳註 0 及 1 表示的轉變在純鐵中沒有而只能在鐵碳合金中見到，腳註 2 表示 α -相的磁性轉變，而腳註 3 及 4 各表示 $\alpha \rightarrow \gamma$ 的轉變及 $\gamma \rightarrow \delta$ 的轉變。

由於鐵從一種同素異形体轉變到另一種時會有過冷，因此在加熱時和冷卻時所看到的轉變點的位置不一致，冷卻愈快，這種差別就愈大。冷卻時轉變點低於加熱時相應的點的現象叫做遲滯。因此，為了更準確地表示轉變點的位置，在字母 A 旁附記上字母 c (法文 chauffer) 或 r (法文 refroidir)，表示加熱或冷卻時的轉變；例如 Ac_1 表示加熱時 α -晶體轉變為 γ -晶體的溫度； Ar_1 表示冷卻時 δ -晶體轉變為 γ -晶體的溫度。

所有以上關於純鐵在加熱及冷卻時的轉變可以從圖 162 中的加熱曲線及冷卻曲線中清楚地看出。

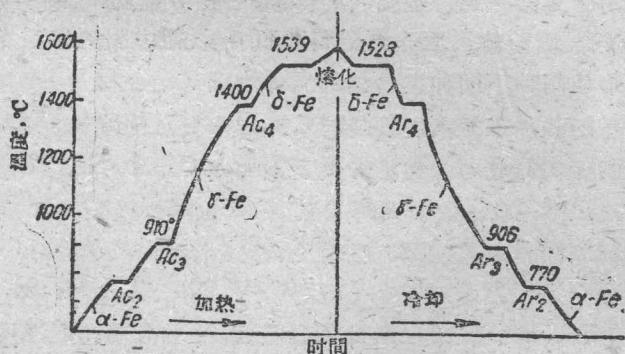


圖 162 純鐵的加熱及冷卻曲線

α 及 γ 同素異形体具有不同的密度。由於在 γ -鐵的面心立方晶格中，每個晶胞有 4 個原子，而在 α -鐵的體心立方晶格中，每個晶胞總共只有 2 個原子，因此可能會預料到兩種同素異形體的密度差別很大。實際上這種差別並不如此地大，因為 γ -鐵的

晶格常数比 α -鐵的大得多。在 910° 时， γ -鐵的晶格常数等于 $3.56Kx$ ，而 α -鐵的晶格常数則等于 $2.86Kx$ 。然而 α 及 γ -鐵的密度差別是如此的显著，以致在轉变时体积發生显著的变化，而在迅速的轉变时会产生超过彈性極限的巨大应力，甚至会引起断裂。 γ -晶体的密度比 α -晶体的密度大 3%。

鐵的同素異形轉变使鐵合金的状态圖复杂化了。在判断鐵和其他元素在合金中的相互关系时，应当記住鐵存在有兩種晶格不同、且原子間距离不同的同素異形体。鐵可以和其他元素形成具有 α -及 γ -晶格的兩类固溶体。

鐵和任何組元的状态圖的形狀一方面决定于鐵与該組元相互作用的类型，另一方面决定于这个組元对鐵的同素異形轉变点位置的影响。

第七章中談到的規律对于状态圖的类型还是有效的。原子結構上晶格类型与鐵相同、原子間距离与鐵差不多相等的金屬能和鐵形成連續固溶体。从一方面來說，金屬 Ni, Co, Pt 属于这种金屬；从另一方面來說，金屬 V, Cr 属于这种金屬。头一类金屬与 γ -鐵組成固溶体，后一类金屬則和 α -鐵組成固溶体。鐵与其他金屬形成兩種不同种类晶体的混合物或是化合物。

至于談到加入元素对鐵的同素異形轉变点位置的影响，則可將所有的元素分成兩大类。一类元素（如 C, N, Ni, Co, Mn, Pt, Cu, Au, Zn）会升高轉变溫度 A_1 並降低轉变溫度 A_3 ；加入这种元素会增加 γ -晶体的稳定区域並形成如圖 163a 所示的状态圖。另一类元素（如 Cr, Mo, W, V, Nb, Ta, P, Si, Sn, Ti, Zr, Al, Be, Ge）会降低轉变溫度 A_1 並升高轉变溫度 A_3 ，因而縮小了 γ 晶体的稳定区域，使其成为封閉区。在發生同素異形轉变区域的状态圖如圖 163, b 及圖 163, c 所示。

如果权且把位在週期表上部水平一排元素的影响撇开不談，那么不难看出，第 I、II、VII、VIII 族的元素扩大 γ -相稳定区域，而第 III、IV、V、VI 族的元素縮小 γ -相稳定区。此处所指的是加入原子的影响的性質与原子結構的关系。当鐵及加入金屬的原子

在結構上相差不大时会扩大 γ 区，而当差別較大时，則会縮小 γ 区。

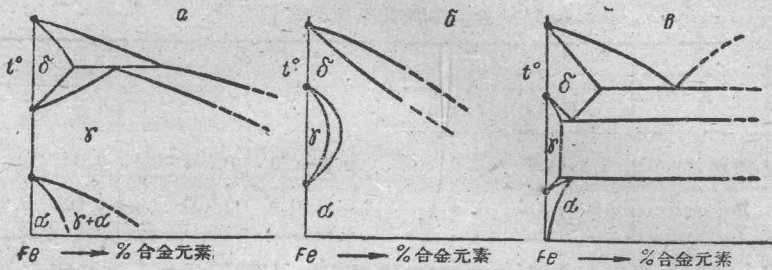


圖 163 合金元素对鉄的相变的影响示意图

关于工業用鉄合金的概念

广泛使用在工業上的、大家都知道的鉄、鋼及鑄鉄是以鉄为基础的复杂的、多組元的合金。这些合金經常有的組成物有：碳、錳、硅、硫、磷、氧、氮、氫。此外，常常有意加入其他元素，如：鎳、鉻、錳、鉬、鈮、鈦、鋁、有时还有鈦、鈮、鉭、銅、硼。

合金中除了鉄以外只含有一些在还原熔煉矿石过程中及在由鑄鉄煉鋼的过程中进入的雜質，叫做普通合金或碳素合金，因为碳是这些鉄合金中主要的雜質。合金中含有人为加入較多的、任何經常見到的元素时，以及合金中含有特意加入的元素时，就叫做合金鋼及合金鑄鉄。

“鑄鉄”是指含碳量比較高的合金（不小于 2.0% C），应用在鑄造状态，除了切削加工外不經受机械加工。

“鋼”在工業上的概念是指含碳比較少的合金（从十万分之几到 2% C）。这些合金用在鑄造状态，也用在机械加工（如鍛、軋等）状态。含碳从 0% 到 0.2—0.3% 的鋼常常被称为鉄。含 2—2.5% C 的合金很少用到，因为这些合金既不容易熔化，也不能經受机械加工。

鋼及鑄鐵中常見到的雜質的數量不一樣。表12舉出碳素鋼及鑄鐵中雜質含量的概念。

表 12

簡單鐵合金中常見雜質的含量範圍

金 屬	含 量. %				
	C	Mn	Si	S	P
鑄鐵.....	2.0—4.5	0.2—2.0	0.5—4.0	0.002—0.20	0.01—2.0
鋼.....	0.005—2.0	0.1—1.2	0.0—0.5	0.002—0.20	0.002—0.2

合金鋼和合金鑄鐵中加入元素的含量範圍很大。首先可以指出，鋼中常常可以見到含 Mn 到 13%、Ni 到 40%、Mo 到 9%、Cr 到 35%、W 到 18% 甚至更多、V 到 3%、Co 到 40% 等。在特种鑄鐵中可見到含 Si 到 16% 等。在中間合金——鐵合金——中特殊元素還可能有更高的含量，如 Mn 到 80%、Si 到 90%、Cr 到 60% 等。

為了能夠正確地估計任何鋼或鑄鐵的性能，應當知道鐵與雜質相互間的關係。多組元鐵合金的狀態圖還沒有研究過。因此目前必須依靠二元合金狀態圖、部分還須三元合金狀態圖，並根據狀態圖的類型以及我們已經知道的規律來判斷機械加工及熱處理時的行為。

由於鋼及鑄鐵的性能隨着含碳量的不同而有最顯著的變化，因此研究鐵合金應當從鐵—碳系開始。

鐵 碳 合 金

1. 狀態圖及組織

鐵碳合金的狀態圖及組織只研究了一部分。

在一般比較小的冷卻速度下（例如每分鐘幾度），鐵碳狀態圖已經研究過的部分如圖 164 中實線所示。

根據這個狀態圖，鐵與碳形成化合物——碳化鐵 Fe_3C 。

这个化合物可以認為是独立的組元，因此可以把这个系看作 Fe—Fe₃C 系。

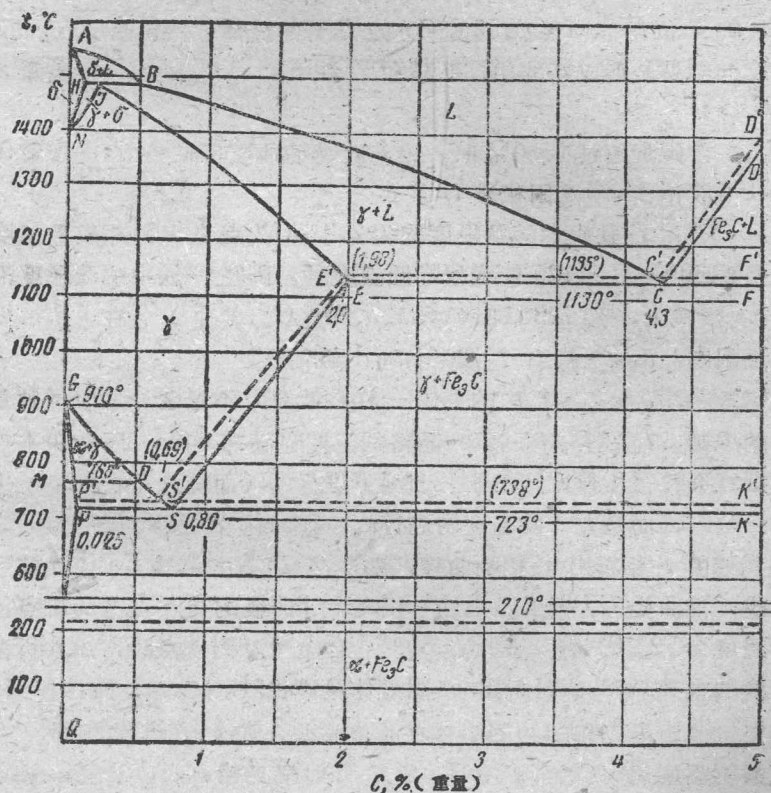


圖 164 鐵—碳狀態圖 (綜合一些著作的数据)

如果鐵沒有同素異形轉變，則狀態圖屬於最簡單的共晶类型。有了同素異形轉變使狀態圖變得复杂了，增加了相的数量以及相与相之間相互的轉變。

由狀態圖可知，以鐵的同素異形体 (δ, γ, α) 的晶格为基础形成了一系列的碳在 δ, γ, α 鐵中的固溶体，仍用相同的符号表示。

含碳少的合金結晶时，沿液相綫 AB 及固相綫 AH 析出 δ -固溶体的晶体。 δ -固溶体具有体心立方晶格，在 1490°C (δ -固溶体含碳飽和極限溫度) 时含 $0.10\%\text{C}$ (点 H)。在 1490°C 时，飽和的 δ -固溶体与含 $0.50\%\text{C}$ (点 B) 的液体进行包晶反应，反应的結果是形成新的相，即碳在 γ -鐵中的 γ -固溶体，含碳量为 0.18% (点 I)。

含碳量超过 0.50% 时，冷却时从液体直接結晶出 γ -固溶体 (沿液相綫 BC 及固相綫 IE)。

碳在 γ -鐵中的溶解限度約为 $2.0\%\text{C}$ (点 E)，相应的溫度是 1130°C 。从 1130°C 繼續降低溫度时，碳在 γ -鐵中的溶解度沿 ES 綫減少，到 723°C 时只剩下 $0.80\%\text{C}$ (点 S)。在上述溫度範圍內，沿 ES 綫由 γ -固溶体析出碳化鐵。

γ 固溶体和純鐵中的 γ -相一样在低溫时不稳定。随着含碳量的增加， γ -晶格轉变为 α -晶格的溫度也随之下降，而轉变本身則完全符合相律，即不是在恒溫下进行的 (而純鐵是在恒溫下进行的)，而是在一段溫度內进行的，如曲綫 GS 及 GP 所示。

由 γ -相析出 α -相的曲綫，即曲綫 GS ，与曲綫 ES (如前所說，沿曲綫 ES 析出碳化鐵) 相交。二曲綫的交点 S 是共析点，溫度为 723°C ，含碳量为 0.80% 。合金冷却到 S 点时，由共析濃度的 γ -固溶体同时析出 α -固溶体及碳化鐵。

为碳所飽和的 α 固溶体在晶格类型上和 δ -固溶体相同，在共析溫度 723°C 时含 $0.02\%\text{C}$ (点 P)。随后冷却时，碳在 α -鐵中的溶解度显著地減少，而在室溫时只剩下十万分之几 (点 Q)。

含碳超过 2% 的合金 (即在鑄鐵区)，結晶的开始或是沿着 BC 綫析出 γ -固溶体 (如果含碳量小于 4.3%)，或是沿着还不够准确的 CD 綫 (如果含碳量大于 4.3%) 析出碳化鐵。当所有含碳量大于 2.0% 的合金析出初生相后，在 C 点进行 γ -固溶体与碳化鐵的共晶結晶， C 点的座标是 1130° 及 $4.3\%\text{C}$ 。

表示磁性轉变的 MO 綫又增加了状态圖的复杂性。

鐵-碳系中的每一个相都有它的国际通用的名称。共晶及共

析混合物也有名称。表 13 列举这些名称並說明选用这些种名称的原因。

表 13

鉄—碳系組織組成物的名称

相 或 相 的 混 合 物	名 称	名 称 的 来 源
碳在 α -鉄 (以及 δ -鉄) 中的固溶体	鉄素体	来自拉丁字 Ferrum—鉄
碳在 γ -鉄中的固溶体	奥氏体	为了紀念英国的金相学家 Roberts Austen
碳化鉄 Fe_3C (更准确地, 是鉄在碳化鉄中的固溶体)	渗碳体	表示这个相的硬度
碳在 γ -鉄中的固溶体与碳化鉄的共晶混合物	莱氏体	为了紀念德国的金相学家 Ledebur
碳在 α -鉄中的固溶体与碳化鉄的共析混合物	珠光体	这个混合物的試样浸蝕后有珠母的光澤

上面列举的名称不能認為是合理的, 因为其中有一些是为了紀念金屬的研究者, 一些是表示成分, 一些表示这种或那种性質。然而由于这些名称具有国际性質, 同时也为了便于閱讀外国文献, 因此不得不放弃重新审定这些名詞的想法。

鉄在碳化鉄中的溶解度的准确值还不知道, 因此为了簡化而使用名詞“碳化物”, 虽然这是指鉄在碳化物中的固溶体。

当冷却速度很小时, 从液体不是結晶出渗碳体, 而是直接結晶出碳-石墨, 同时也会形成奥氏体与碳-石墨的共晶体以代替奥氏体与渗碳体的共晶体。因此在非常慢冷的情况下, 鉄-碳状态图的一部分綫将具有不同的形状, 如图 164 中的虛綫所示。在这种情况下, 形成游离的碳-石墨以代替碳化鉄。表示游离碳的相, 或者更正确些說, 少量鉄在碳中的固溶体, 简单地就叫做石墨。

为了醒目起見, 将两种可能有的状态图画在一起。鉄-石墨系的綫比鉄-渗碳体系的綫高些。显然, 鉄-石墨系比鉄-渗碳体系更稳定, 更接近于完全平衡的状态。这点从以下也可以看出, 即含許多渗碳体的高碳合金在加热时发生渗碳体的分解 (根据反应

式: $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$ 分解为铁素体及石墨)。

圖164所具有的兩種綫的状态圖可以認為鐵-碳系的空間状态圖的兩個截面在一个平面上的投影, 这种空間状态圖不仅給出相变溫度与濃度的关系, 还給出相变溫度与冷却速度的关系。

在中等的冷却速度下, 合金的一部分可以根据石墨系結晶, 而另一部分則根据滲碳体系結晶。如果在結晶过程中加速冷却, 則同样可得上述情况。在兩種情形下都可以看出石墨片切入滲碳体的共晶体中 (圖165)。因此証實了石墨及石墨共晶可以从液体直接結晶出来 [K. П. 布宁 H. H. 巴加切夫等]。

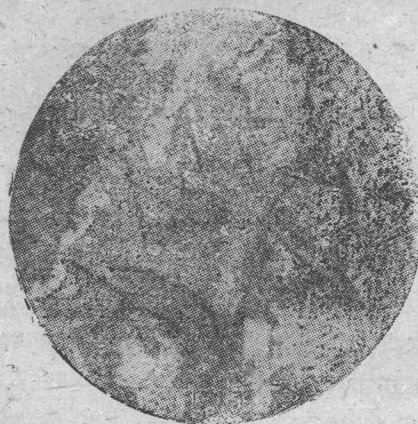


圖 165 石墨共晶的直接結晶 (根据 Л. А. 杜林斯基) (从半液体状态用淬火法固定下来的)

接結晶出来 [K. П. 布宁 H. H. 巴加切夫等]。

滲碳体系以及石墨系状态圖中根据試驗数据得出的綫与相的真正平衡的状态圖中的綫不同, 这些綫並不是很严格地确定了, 而是随着冷却速度而移动。碳在 γ -铁中的固溶体——即奥氏体——分解綫移动的特別利害。圖164中所給出的綫 (实綫) 的位置在冷却速度約为每

分鐘几十度时是正确的。当冷却速度为每分鐘一百度或更多时, 固溶体分解綫已經移到較低的溫度处 (即过冷或迟滯), 而当冷却速度为每秒数百度时, 固溶体分解的溫度比通常的低数百度。因此, 由圖164的状态圖所做出的所有結論只能直接应用于冷却速度比較小的合金, 对于較大的冷却速度还需要有一些附帶条件。

用普通的方法进行加热时, 任何物質的过热只能超过轉变点很少的几度。因此, 从以很小的冷却速度 (当 A_1 点几乎与 A_c 点

重合或是其值相差很少时)做出的状态圖中得出的实际上所有的結論可以应用在所有的加热过程中,只有当用特別快的加热方法时,例如用高頻率电流加热时才是例外。

只有液相綫的位置受冷却速度的影响較少。

为了进一步判断鋼及鑄鉄的性能,应当更詳尽地熟習鉄碳合金的組織及性能。

由于根据圖 164 的状态圖,緩慢冷却的合金最后是由鉄素体及滲碳体或是鉄素体及石墨所組成,所以首先应当熟習这两个相的特点。

鉄素体的范性好、在退火状态下具有高的伸長率(約为 40%)、性軟(其布氏硬度随晶粒的大小而变化在 65—130 之間)、鉄磁性強(在 770° 以下)、导电性及导热性比較好、具有体心立方晶格。鉄素体在 723°C 可溶解 0.02% C,但冷却到室溫时,固溶体中总共只剩下十万分之几的碳。

滲碳体性脆且非常硬(布氏硬度約 800)、磁性弱(到 210° 时就几乎沒有磁性)、导电性及导热性不好,具有斜方晶系晶格。滲碳体的熔点还不知道,同时也未必可以測定得出,因为滲碳体在加热时很容易分解成鉄素体及石墨。滲碳体的結晶能力很强。純滲碳体几乎沒有研究过。通常根据状态圖中不同的綫將滲碳体分为:初生(一次)滲碳体,是沿 CD 綫由液体結晶出的;二次滲碳体,是从 γ -固溶体沿 ES 綫析出的;三次滲碳体,是从 α -固溶体沿 PQ 綫析出的。滲碳体在固体状态下可以溶解一些鉄,但是到現在还没有确定准确的数量。

石墨性軟但同时也很脆;与金屬相比,导电性不好,然而导热性却很好、甚至到 3000—3500°C 还不熔化。石墨具有非密集六方晶格,軸比值 $\frac{c}{a}$ 很大(大于 2),因而原子排列緊密的底面之間的距离很大。因此石墨的晶体很容易沿平行于六角柱的底平面的方向裂开(象云母一样)。

为了能够判断高温时的性能,还应当指出奥氏体的性能。奥

氏体性軟，虽然它要比铁素体硬（在相同溫度下）、范性好，伸長率可达 40—50% 或更高、比铁素体的导电性及导热性差、具有順磁性、比铁素体的密度大、具有面心立方晶格。純粹的奥氏体可以用人为的方面在低溫下保持短時間（用过冷或淬火的方法），此时量得其布氏硬度为 200—250。

圖 166 为純铁素体的組織。由圖可知，铁素体的組織与任何純物質或均匀固溶体的組織沒有任何区别。铁素体晶粒的大小决定于冷却速度、机械加工及热处理的特点，其变化范围非常大——直径从百分之几毫米到几个厘米。铁素体的組織經弱酸的酒精溶液浸蝕后很容易显出。5—10% 的硝酸特別合适。含碳很少的鋼具有純粹铁素体的組織。

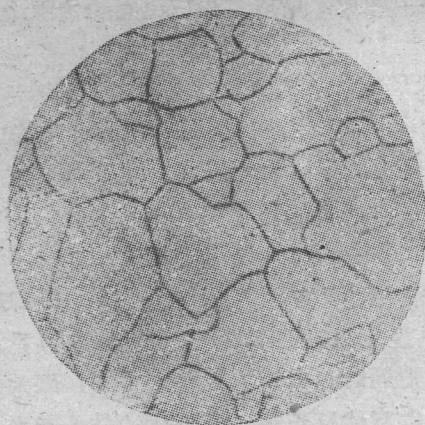


圖 166 含 0.03%C 的铁素体。×200

一旦碳的含量超过其能溶入铁素体中的限度后，就会出现新的組織組成物——渗碳体。低碳鋼中由于碳在 α -铁中的固溶体沿状态图的 PQ 綫分解出的渗碳体通常叫做三次渗碳体或游离渗碳体（即不是以共析或共晶的形式出现）。

三次渗碳体通常沿铁素体的晶粒边界呈細的夹杂（图167）。这些条状物由于硬度高及易于磨光而突出成浮雕状并析出在铁素体的底上。用普通的酸浸蝕即可看出三次渗碳体，但是如果用热苦味酸鈉溶液浸蝕則显出的特別好。这个对渗碳体的特別浸蝕剂使渗碳体染成褐色，長時間浸蝕則成黑色。

含 0—0.02%C 的鋼的組織由铁素体及三次渗碳体組成。碳的含量再增多时就会出现新的組織組成物——铁素体与渗碳体的共析体，即珠光体。这个組成物最初出现在铁素体的晶粒間成单

独的夹杂形状，然后其数量随着含碳量的增加而增多，在0.8%C时，珠光体佔据着显微镜下的整个视野（顺序参看圖 168, 169, 170, 171, 172）。当珠光体量少时，其形状为暗的（但不象縮

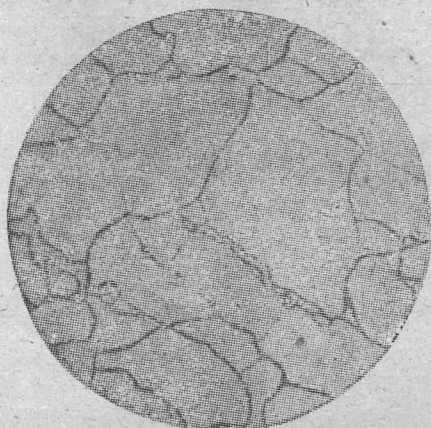


圖 167 铁素体中的带状三次渗碳体 (0.06%C)。×150

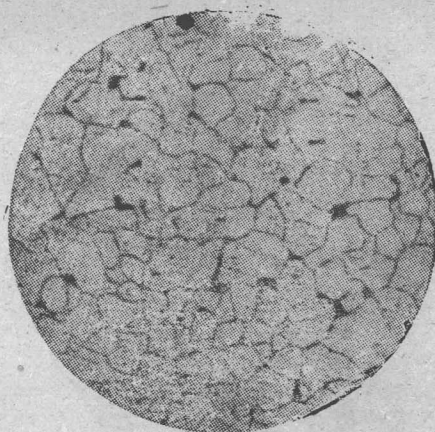


圖 168 含0.1%C的鋼。铁素体及珠光体。×200

孔、气泡那样黑)斑点或夹杂。放大倍数较大时(500—1000倍)，在这些斑点内可以辨别出颗粒状的、或者是更常见到的片状组织的两相混合物（圖 173）。当珠光体的量再多时，在低倍数下

(100—200 倍) 就已經可以看到珠光體的組織了。

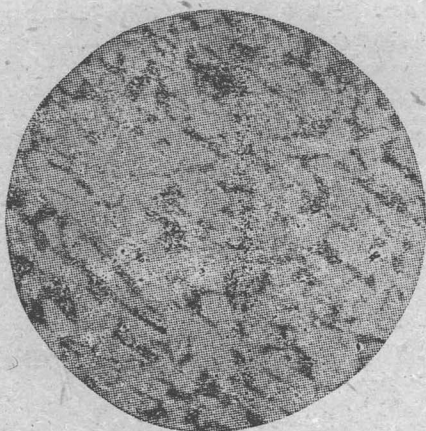


圖 169 含 0.2% C 的鋼。鐵素體及珠光體。×200



圖 170 含 0.45% C 的鋼。鐵素體及珠光體。×200

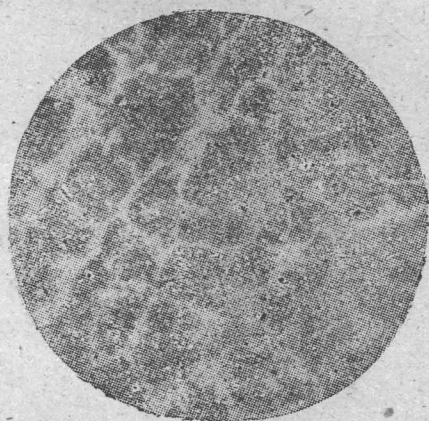


圖 171 含 0.7% C 的
鋼。鉄素体及珠
光体。×200

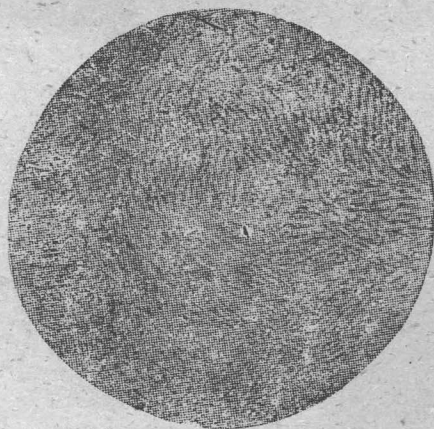


圖 172 含 0.8% C 的
鋼。珠光体。
×200

在不是很高的倍数下，珠光体看起来是由暗的和亮的条紋組成。在高倍数下（圖 174）可以看出組成珠光体的条紋都是亮



圖 173 含 0.45% C 的鋼。鉄素体及珠光体。×1000



圖 174 珠光体的組織。×2000

的，但是有一些条紋的暗影投到另一些較寬的条紋上。比較寬的条紋是鉄素体。由滲碳体投到鉄素体上的暗影一方面是由于滲碳体作为較硬的組成物析在鉄素体上，另一方面是由于鉄素体比滲