

合金鋼

Н.Ф. 維雅斯尼可夫 著

北京黑色冶金設計院翻譯科 譯

冶金工業出版社

合金鋼

Н.Ф. 維雅斯尼可夫 著

北京黑色冶金設計院翻譯科 譯

北京黑色冶金設計院煉鋼科 校

冶金工業出版社

本書專門研究特殊（合金）元素對鋼的組織，性能及熱處理的影響。敘述簡明扼要，讀後對各種合金鋼有一個鮮明的概念

本書供工程技術人員閱讀，也可供熱處理專業的高等學校學生參考。

本書由北京黑色冶金設計院翻譯科潘秉春、程希忠、王俊泉、蘇星、秦祥興翻譯，由關克強、陳潤甫和徐作霖校對。技術校對是北京黑色冶金設計院煉鋼科馮啓東、顧濬祥和王世章。

Н.Ф.ВЯЗНИКОВ: ЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ (Москва—1951)

合 金 鋼 北京黑色冶金設計院翻譯科 譯

1957 年 5 月第一版 1957 年 5 月北京第一次印刷 5,042 冊

850×1168 • 1/32 • 160,000 字 • 印張 $6\frac{14}{32}$ • 定價 (10) 1.10 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0598

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲 45 號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

目 录

第一章 鉄碳合金	8
第一节 鋼的原子結晶構造	8
第二节 鉄与碳在鋼中的相互作用	9
第三节 鉄-碳平衡圖	11
第四节 碳素鋼緩慢冷却时的显微組織	15
第五节 冷却速度对鋼的組織和临界点的影响	17
第六节 奥氏体等溫轉变	23
第七节 鋼的热处理的基本种类	25
第二章 工業鉄和碳素鋼	29
第八节 鋼的化学成分	29
第九节 工業鉄	31
第十节 碳素鋼的分类及編号	34
第十一节 碳素机器制造鋼及其热处理	35
第十二节 碳素工具鋼及其热处理	41
第十三节 碳素鋼的主要物理性能	44
第三章 合金鋼	47
第十四节 合金元素的分类	47
第十五节 合金元素对鋼主要性能的影响	50
第十六节 合金元素对鋼組織的影响	52
第十七节 合金元素对鋼热处理条件的影响	54
第十八节 合金鋼按其用途的分类	57
第十九节 合金鋼按其显微組織的分类	58
第二十节 合金鋼的标号	59
第二十一节 合金鋼的缺陷	60
第四章 鎳鋼	65
第二十二节 鎳	65
第二十三节 鉄鎳合金	65
第二十四节 鎳对鋼組織及热处理的影响	67
第二十五节 鎳对鋼的机械性能的影响	72
第二十六节 工業用珠光体鎳鋼的种类	74

第二十七节	珠光体鑲鋼的缺陷	76
第二十八节	鎳对鉄和鋼的化学性質及物理性能的影响	76
第五章 錳鋼		80
第二十九节	錳	80
第三十节	鉄錳合金	80
第三十一节	錳对鋼組織及性能的影响	81
第三十二节	珠光体錳鋼	86
第三十三节	珠光体錳鋼的缺陷	89
第三十四节	奧氏体高錳鋼	90
第六章 銅鋼		92
第三十五节	銅	92
第三十六节	鉄銅合金	92
第三十七节	珠光体銅鋼	94
第三十八节	銅鋼的时效硬化	94
第三十九节	石墨化銅鋼	95
第四十节	銅对鋼的化学性能的影响	98
第四十一节	銅鋼的缺陷	98
第四十二节	各种銅鋼的牌号	99
第七章 鋁鋼		100
第四十三节	鋁	100
第四十四节	鉄鋁合金	100
第四十五节	鋁对珠光体鋼性質的影响	101
第四十六节	氮化鋁鋼	104
第四十七节	鋁对鋼的物理性能和化学性能的影响	105
第八章 矽鋼		108
第四十八节	矽	108
第四十九节	矽鉄合金	108
第五十节	矽对鋼的組織及性能的影响	109
第五十一节	含矽机器制造鋼	113
第五十二节	矽錳鋼	114
第五十三节	具有特殊物理——化学性能的高矽鋼	116
第九章 鎢鋼		117
第五十四节	鎢	117

第五十五节	鉄鉻合金	117
第五十六节	鉻对鋼的組織及临界点的影响	118
第五十七节	珠光体鉻鋼	122
第五十八节	碳化物鉻鋼	127
第五十九节	鉻镍机器制造鋼	129
第六十节	鉻矽鋼和鉻錳鋼	132
第六十一节	鉻錳矽鋼	134
第六十二节	鉻磁性鋼	126
第六十三节	鉻不銹鋼	137
第六十四节	镍鉻不銹鋼	139
第六十五节	鉻耐热鋼	141
第六十六节	扩散渗鉻	142
第十章	鎢鋼	143
第六十七节	鎢	143
第六十八节	鉄鎢合金	143
第六十九节	鎢对鋼性能的影响	144
第七十节	珠光体鎢鋼	148
第七十一节	成分复杂的鎢工具鋼	149
第七十二节	含鎢冲模鋼	151
第七十三节	镍鉻鎢机器制造鋼	153
第七十四节	含鎢耐热鋼	155
第七十五节	高速鋼、它的化学成分与热处理	155
第七十六节	高速鋼的代用鋼	169
第十一章	鉍鋼	170
第七十七节	鉍	170
第七十八节	鉄鉍合金	170
第七十九节	鉍对鋼性能的影响	171
第八十节	鉍結構鋼	175
第八十一节	成份复杂的含鉍机器制造鋼	176
第十二章	鈾鋼	181
第八十二节	鈾	181
第八十三节	鉄鈾合金	181
第八十四节	鈾对鋼組織的影响	182

第八十五节 钒对钢热处理的影响	185
第八十六节 钒钢的牌号	187
第十三章 钴钢	191
第八十七节 钴	191
第八十八节 铁钴合金	191
第八十九节 钴对珠光体钢的性能及组织的影响	192
第九十节 高钴合金	193
第十四章 钛钢	195
第九十一节 钛	195
第九十二节 铁钛合金	195
第九十三节 钛对钢组织及性能的影响	196
第九十四节 钛钢钢号	198
第十五章 钢中的铍与镉	199
第九十五节 铍	199
第九十六节 镉	201
钢号索引	203
参考文献	206

前 言

本書選用了作者在列寧格勒加里寧工業學院冶金系講授「特殊鋼」一課時所用的教材。

為了縮短篇幅，教材中許多有關個別現象的理論解釋沒有編入本書，因為它們在許多金相學書籍中都能見到。書中的材料主要限於業已大致肯定的關於合金鋼性質、性能及熱處理方面的實際生產資料。

講授該課程時是按合金元素來進行鋼的研究的，所以用途相同但化學成份不同的某些鋼號就在本書的不同章節內出現了。有鑑於此，為了便於查找所需要的鋼號，在書的後面列有「鋼號索引」，將所研究的全部鋼號按其用途加以分類，並附有各種鋼號在書內初次出現的頁次。

Г. А. 卡申科教授為本書做了校閱，B. A. 捷列副教授和O. A. 華赫拉梅也夫副教授在閱讀書的手稿時也提出了寶貴的意見，因此作者特向他們表示深切的謝意。

作者

第一章 鐵碳合金

鋼是鐵與碳的合金，其中還含有少量特意加入的其他元素，以及不可避免的或偶然混入的雜質。

普通碳素鋼中，含碳量一般在 $0.03 \sim 1.7\%$ 之間（實際上都不超過 1.4% ）。而在化學成分較為複雜的特殊鋼（合金鋼）中，含碳量可能比普通碳素鋼為低，但也可能較高。例如：[微碳鐵合金] 內的含碳量則極其微少（少於 0.03% ），而高合金工具鋼內的含碳量卻高於 2% 。

第一节 鋼的原子結晶構造

鋼的主要元素，即其金屬基體——鐵，是一種多晶體金屬，它有二種原子結晶構造。

溫度在 910° 以下時，鐵以 α 晶態存在。此時鐵的單位原子晶格為體心立方體（圖 1 a）。晶格常數（立方體邊長）在 20° 時等於 $2.86 \text{ \AA}$ ①。

溫度在 $910 \sim 1400^\circ$ 之間時，鐵以 γ 晶態存在。此時鐵的單位原子晶格為面心立方體（圖 1 b）。晶格常數在 910° 時等於 $3.63 \text{ \AA}$ 。

從 1400° 直到熔點為止，鐵乃以 δ 晶態存在。此時鐵的每一原子晶格為體心立方體，也就是說，與 α ——鐵晶態的晶格完全相同。

因此，在低溫區和高溫區，鐵的穩定晶形是體心立方體的原子晶格（ α 、 δ 晶態），而面心立方體的晶格（ γ 晶態）只有在 $910 \sim 1400^\circ$ 範圍內才存在。

在加熱和冷卻時，隨着鐵的晶格轉變，同時必定會產生顯著的热效应：加熱時，在同素異晶轉變時，為吸熱；反之，在冷卻

① $\text{\AA}$ ——埃，長度單位，等於 10^{-8} 公厘。

时，則放热。鋼的这种热的变化是由 Д. К. 契尔諾夫最先發現的，此变化要在一定的溫度範圍內完成，此溫度称为临界点。現在，临界点都用字母“ A ”表示，並加以相应的数字作为角标——如 A_1 ， A_2 ， A_3 等。

当 $\delta \rightleftharpoons \gamma$ 鐵轉变时（ 1400°C ），用临界点 A_4 表示，而当 $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ 鐵轉变时（溫度 910°C ），則用临界点 A_3 表示。

除 A_4 和 A_3 兩临界点之外，純鐵在 770° 时尙有临界点 A_2 。 α 鐵加热到此临界点上时，則从鉄磁状态轉变为順磁状态，而冷却时則相反。因此， A_2 点是鉄的磁性轉变点。在这一点上，鉄並不是从一个晶态轉变为另一个晶态，也就是說，原子晶格在这里沒有改变。因此 A_2 点对鋼的热处理不起任何影响。

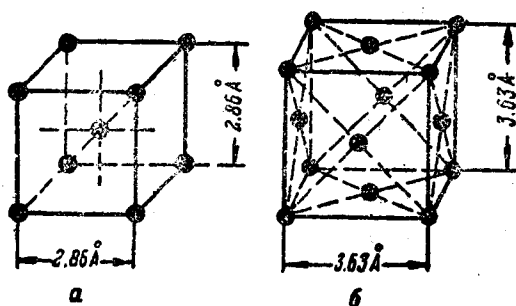


圖 1 單位原子晶格

a) α 鐵——体心立方体；б) γ 鐵——面心立方体

鋼在加热和冷却时的同素異晶轉变，不是在同一溫度下进行的（冷却时，轉变总是要迟一些）。因此，在表示冷却或加热的临界点时，另外加一字母：加热时用“ c ”（例如 Ac_3 ），冷却时用“ r ”（例如 Ar_3 ）。

第二节 鉄与碳在鋼中的相互作用

碳是鋼的主要成分之一，它也有兩種晶态：①極复杂的金剛石原子晶格；②較簡單的六方体的石墨晶格，它的單位晶包是六

方柱体（圖 2）。

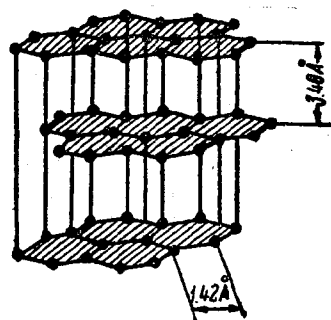


圖 2 石墨的原子晶格

在緩慢冷却的鋼中，几乎全部的碳都与鐵結成化合物，以碳化鐵（ Fe_3C ）形态存在。只有極少数的碳（少於0.008%）与 α 鐵形成平衡的固溶体。碳溶於 α 鐵（近乎純鐵）中得到的固溶体，在金相学上称为純鐵体。純鐵体是鋼中最軟而又最富有韌性的組織成份。

純鐵体的硬度在 $80 \sim 100 \text{ H}_\text{B}$ （压印直徑6.0~5.8公厘）或在 $60 \sim 65 \text{ R}_\text{B}$ 之間。

鐵与碳的化合物——碳化鐵（ Fe_3C ）称为滲碳体。滲碳体是一种非常硬而脆的物体，按其机械性能来看与玻璃很类似。滲碳体的硬度約为 $72 \sim 75 \text{ R}_\text{o}$ 。

溫度在 210° 以下时，滲碳体帶有磁性（鐵磁状态），而超过 210° 时，則失去磁性（变为順磁状态）。滲碳体在加热时从磁性状态变为非磁性状态，冷却时則相反，这种轉变点用 A_1 点来表示。

在特殊的情况下（下面將講到），碳也可能以游离状态存在於鋼中——呈簇狀“退火碳”（гнездо “углерода отжига”），但仍具有石墨原子晶格構造。碳决不可能以金鋼石形态存在於鋼中。

在高溫区内（高於临界点），碳和 γ 鐵形成含碳量最高（1.7%）的固溶体。这种碳溶於 γ 鐵中的固溶体称为奧氏体。

奧氏体与純鐵体很相像，是一种可鍛和可塑的並富有韌性的物体。在純鐵碳合金中，奧氏体仅在高溫区内是稳定的（在 γ 鐵区内），而当溫度降低时，在冷却过程中，奧氏体分解为滲碳体（ Fe_3C ）和純鐵体。当后面兩相形成的时候，产生了机械的共析混合物（含有一定量的碳），这种混合物由七份純鐵体和一份

滲碳體組成，滲碳體呈細小薄片狀均勻分佈在純鐵體內。純鐵體和滲碳體所組成的共析混合物稱為珠光體。

珠光體與純鐵體相比，有着較高的硬度和強度。片狀珠光體的硬度為 $180 \sim 200 H_B$ （壓印直徑 $4.5 \sim 4.3$ 公厘）或 $12 \sim 15 Rc$ ，比純鐵體高一倍。

冷卻時奧氏體分解成珠光體，加熱時珠光體轉變為奧氏體，這種轉變在一定的溫度（ 723° ）下產生，同時，還產生顯著的热效应。鋼的這個從一種狀態到另一種狀態的轉變稱為珠光體轉變，用 A_1 表示（加熱時為 Ac_1 ，冷卻時為 Ar_1 ）。

在高碳鋼中還有一種轉變，即冷卻時從奧氏體內析出部分的次生滲碳體，而在加熱時次生滲碳體則又回到奧氏體中。這種轉變用 A_{cm} 表示。

這樣，在鋼加熱和冷卻時，共有六個臨界點（在固態時）。

- 1) A_4 點——在 $1400 \sim 1486^\circ$ 時， $\delta \rightleftharpoons \gamma$ 鐵的轉變；
- 2) A_s 點——在 $910 \sim 723^\circ$ 時， $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ 鐵的轉變；
- 3) A_2 點——在 770° 時， α 鐵在冷卻時由順磁性轉變為鐵磁性，而在加熱時，則有相反的轉變；
- 4) A_1 點——在 723° 時，奧氏體分解出珠光體（冷卻時）和珠光體轉變為奧氏體（加熱時）；
- 5) A_0 點——在 210° 時，非磁性的滲碳體變為磁性的滲碳體（冷卻時）和磁性的滲碳體轉變為非磁性的滲碳體（加熱時）；
- 6) A_{cm} 點—— $1130 \sim 723^\circ$ 時，奧氏體開始析出次生滲碳體（冷卻時）和次生滲碳體溶解於奧氏體中（加熱時）。

上述六個臨界點，在鋼的热處理時實際應用的只有兩個： A_s 點和 A_1 點，這兩個臨界點是與鐵的同素異晶轉變時的鐵碳相互作用直接相關的。

第三節 鐵-碳平衡圖

溫度和含碳量改變時，鐵碳合金的各種轉變情況，都反映在

鐵——碳平衡圖（圖3）上。

圖的橫坐標為用對數標度表示含碳量（%），縱坐標為溫度（°C）。

上述各種組織和相在此平衡圖內和以後的各個圖內，為了簡便起見，都用該組織或相的俄文名稱的第一個字母（大写）和最後一個字母（小寫）表示。這樣，碳溶於 α 鐵中的平衡固溶體——純鐵體（феррит）——將用 Φ_T 表示；碳和鐵的化合物——滲碳體（цементит）——用 Π_T 表示；游離碳——石墨（графит）——用 Γ_T 表示；碳溶於 γ 鐵中的固溶體——奧氏體（Аустенит）——用 A_T 表

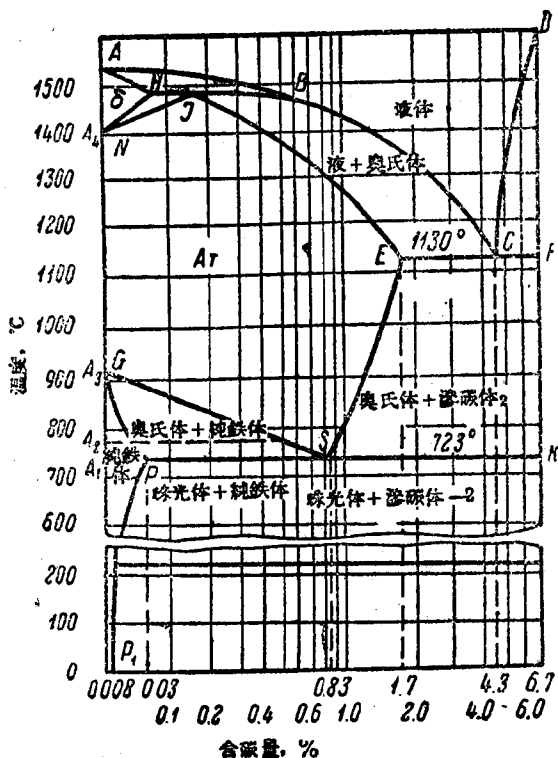


圖3 鐵-碳平衡圖（含碳量以對數標尺表示）

示；滲碳体和純鉄体的共析混合物-珠光体（Перлит）——用Пг表示。

平衡圖的右部乃是含碳量高於1.7%的生鉄区域，由於本書只进行鋼的研究，所以这一部分將不作介紹。

平衡圖的左部是含碳量低於1.7%的鋼的区域，这部分將較詳細的介紹，特別是其中固态轉变的这一部分^①。

GPP₁区域为碳溶於 α 鉄中的固溶体区域，即純鉄体区域（Фг）。

当723°时（P点），碳在純鉄体中达到最大溶解度0.03%。随着溫度的降低，碳在純鉄体中的溶解度也逐渐降低，当在20°时約为0.008%（P₁点）。

PP₁綫是碳在純鉄体中的極限溶解度綫。

圖中NIESG区域是碳溶於 γ 鉄中的固溶体区域，也就是奧氏体区域（Аг）。

γ 固溶体区域随着碳量的增加而扩大：A₁点上升，而A₂点下降。含碳量每增加0.1%，A₂点將下降22.5°（GS綫）。当含碳量增加到0.83%时，A₂点便降到723°，与A₁点相重合，因此这一点有时又用A₁₋₂表示。

奧氏体区的上部，左面的界綫是NI綫—— δ 固溶体轉变为 γ 固溶体的临界綫（A₃点）；右面的界綫是IE固相綫——鋼（奧氏体）开始轉为液体的临界綫——为界。

E点位于1130°，它相当於碳在 γ 鉄中的最大溶解度——1.7%。

奧氏体区域的下部，左面含碳量在0.83%以下的部分，它的界綫是GS綫，即 γ 固溶体轉变为 α 鉄-純鉄体（A₂点）的临界綫；右面含碳量在0.83~1.7%的部份，它的界綫是以SE綫，即碳在 γ 鉄中的極限溶解度綫，也是从固溶体中析出过剩滲

^① 鉄-碳平衡圖的詳細敘述在很多金屬学教科書內都可以找到，像Г.А.卡申科著的金屬学原理（1949）；А.П.顧良也夫著的金屬学（1948）等等。

碳体的临界綫 (A_{cm} 点)。

当含碳量低於 0.83% 的奥氏体冷却至 GS 綫 (即 A_s 点) 时, 固溶体开始析出純鉄体 (接近純鉄)。随着温度从 A_s 点向 A_1 点的下降, 由於奥氏体的减少, 純鉄体乃不断地有所增加。因为合金中总的 (平均的) 含碳量是不变的, 所以純鉄体析出愈多, 則剩余奥氏体中的碳濃度愈高。当 723° 时, 奥氏体中的含碳量等於 0.83%, 而当越过 A_{r1} 点 (PSK 綫上) 时, 含碳 0.83% 的奥氏体便分解成珠光体。因此, 在 A_s 点和 A_1 点之間时, 合金是由奥氏体和純鉄体組成 ($A_T + \Phi_T$), 在 A_1 点以下时, 則由珠光体和純鉄体組成 ($\Pi_T + \Phi_T$)。

合金在加热时, 各項轉变过程都以相反方向进行, A_{c1} 点就成为珠光体向奥氏体轉变的临界点, 而在 $A_1 \sim A_s$ 点之間, 奥氏体由於純鉄体的减少而逐漸增加。最后, 在 A_{c8} 点处 (GS 綫), 純鉄体完全消失, 这时合金的組織为單一的奥氏体 (A_T)。

碳在 γ 鉄中的溶解度是有一定限度的, 温度愈低, 溶解在奥氏体中的碳就愈少。当从 1130° 冷却到 723° 时, 过剩的碳便沿 ES 綫从奥氏体中析出, 而形成过共析的即所謂次生滲碳体 ($\Pi_T - 2$)。

奥氏体冷却温度愈低, 則析出的滲碳体愈多。这样一来, 碳在剩余奥氏体中的濃度也將逐漸降低。当冷却到 723° 时, 碳在奥氏体中的含量則达到 0.83%, 一过 A_{1-s} 点 (在 PSK 綫上), 奥氏体就轉变为珠光体。

碳在奥氏体中的極限溶解度綫 (SE) 称为滲碳体綫。在这条綫上含碳量为 0.83~1.7% 的各种鋼在冷却时开始析出次生滲碳体, 加热时次生滲碳体溶解完了, 这点用临界点 A_{cm} 表示。在 A_{cm} 点以上, 合金全部为奥氏体 (A_T); 在 A_{cm} 和 A_{1-s} 点之間, 鋼由奥氏体和次生 (过共析的) 滲碳体所組成 ($A_T + \Pi_T - 2$); 而在 A_{1-s} 点以下时, 鋼由珠光体和上述之过共析的滲碳体所組成 ($\Pi_T + \Pi_T - 2$)。

在鉄-碳平衡圖中, 含碳量等於 0.83% 的 S 点称为共析点。

含碳量低於0.83%的鋼称为亞共析鋼，含碳量高於0.83%的鋼称为过共析鋼，而含碳量为0.83%的鋼（实际为0.8~0.9%）称为共析鋼。

第四节 碳素鋼緩慢冷却时的显微組織

含碳量低於0.83%的鋼經緩慢冷却后，具有珠光体和純鐵体組織，而当含碳量高於0.83%时，則为珠光体和滲碳体組織，而含碳量在0.83%时，則为單一的珠光体。

下面我們举出几个显微組織試样，这些显微組織是將鋼的試片用4%的硝酸酒精溶液侵蝕后所取得的。

圖4所表示的，是近乎純鐵（含碳0.02%左右）的显微組織。該組織是由純鐵体的晶粒和它們之間的明显的晶界（交界綫）組成的，也就是一切純金屬所固有的所謂粒狀或多面体的典型組織。

圖4 含碳0.02%的鐵的組織，純鐵体晶粒， $\times 500$



科学院院士 A.A. 巴依科夫用在高溫下侵蝕試片的方法証实了，奧氏体（碳溶於 γ 鐵中的固溶体）也具有粒狀組織，也就是由彼此結合得很堅固的結晶（晶粒）集合体所組成的。

共析鋼的奧氏体在緩慢冷却时分解成为滲碳体和純鐵体的均匀的机械混合物，也就是变成珠光体，此时鋼組織中原有的奧氏体晶粒为珠光体晶粒所代替。

圖 5 所示，是含碳 0.83% 左右的鋼，緩慢冷却時的組織。從此圖上可以看到片狀珠光體的晶粒。

圖 6 所示，是含碳 0.1% 的亞共析鋼的組織。圖 7 所示，是含碳 0.5% 的鋼的組織：明場是純鐵晶粒，暗場是珠光體晶粒。

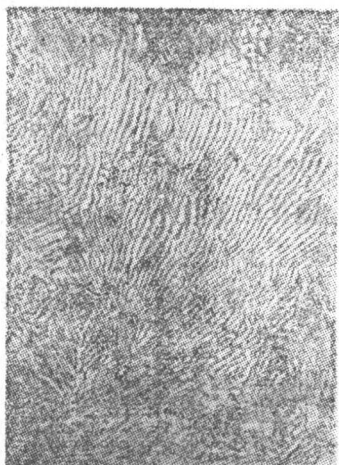


圖 5 共析鋼的組織——片狀珠光體 $\times 500$

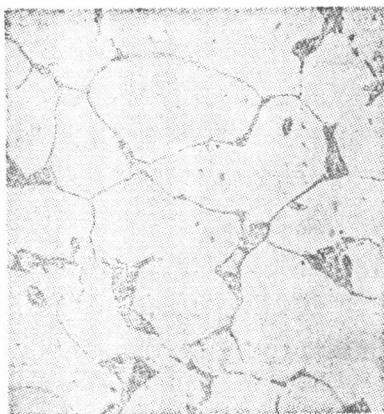


圖 6 含碳 0.1% 的鋼的組織， $\times 500$

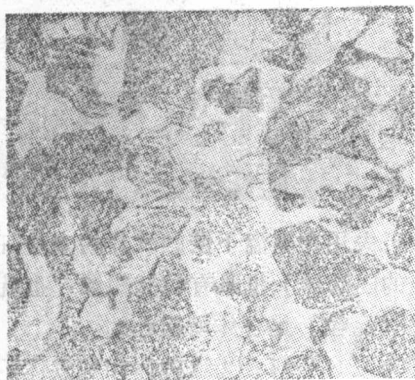


圖 7 含碳 0.5% 的鋼的組織， $\times 500$

圖 8 所示，是含碳 1.3% 的過共析鋼的組織。在珠光體晶粒的周圍有過剩的（過共析的）滲碳體的細微網狀組織。