

技術資料 No.107

# 鋼鐵金相組織圖譜

金屬工業研究所

許榮宗·蘇國璋·楊國和



中華民國鑄造學會 編印

# 鋼鐵金相組織圖譜

金屬工業研究所

許榮宗 · 蘇國璋 · 楊國和

蘇工業學院圖書館  
藏書章

中華民國鑄造學會 編印

## 序

金相是表現金屬材料顯微組織的基本方法。大凡材料所具有的一切特性，如機械、物理或腐蝕等性能，在在都與其顯微組織有極密切的關聯。因此，經由金相的觀察與探討，吾人可做為品管的依據，更可做為研究開發新材料之利器。

本書所觀察的試片是英國 Metallurgical Services 所推出的整套標準試片 Annotated Metallographic Specimens，其中包括工業上常見之鋼、鐵、錳、鈦、鋁、銅、鎂、鉛、鋅等等各種材料之合金，可供一般工業界之參考與比較。

金相準備上最重要的是研磨與腐蝕 (etching)，研磨方法或腐蝕液的不當，經常會影響其金相的正確結果；但是由於硬度及耐腐蝕性之差別，各種金屬試片的研磨及腐蝕也不相同，目前國內有關金相圖解書籍在此方面的敘述大多過於簡單，基於此，筆者乃參考 Günter Petzow 氏所著 Metallographic Etching 一書，列表於第二章內。

本書蒙金工所林主任振泰先生之鼓勵，及金相室黃金德先生之多方協助，特此誌謝。由於整編匆促，掛漏舛誤之處在所難免，希望各方先進不吝賜予教正。

許榮宗

謹誌於金屬工業研究所  
中華民國七十年十二月

# 目 錄

序

第一章 金相組織	1
第一節 鑄 鋼	1
第二節 鑄 鐵	19
2.1 白口鑄鐵	20
2.1.1 碳含量對白口鑄鐵的影響	20
2.1.2 磷含量對白口鑄鐵的影響	24
2.2 灰口鑄鐵	27
2.2.1 碳含量對灰口鑄鐵的影響	27
2.2.2 矽含量對灰口鑄鐵的影響	31
2.2.3 磷含量對灰口鑄鐵的影響	34
2.2.4 高硫灰口鑄鐵	37
2.2.5 過冷石墨灰口鑄鐵	38
2.2.6 商用連續鑄造之灰口鑄鐵	39
2.3 可鍛鑄鐵及球墨鑄鐵	41
2.3.1 白心可鍛鑄鐵	41
2.3.2 黑心可鍛鑄鐵	43
2.3.3 波來可鍛鑄鐵	45
2.3.4 球墨鑄鐵	46
2.4 合金鑄鐵 (砂模鑄造狀態)	48
第三節 軋 製 鋼	58
3.1 素 碳 鋼	59
3.2 低 - 中合金鋼	68
3.3 高合金鋼	76
第四節 軋製鎳合金	80
4.1 Inconel 和 Monel 合金	81
4.2 Nimonic合金	86
第五節 鈦 合 金	95
第二章 試片的研磨及腐蝕	101
第一節 鐵、鋼、鑄鐵的研磨及腐蝕法	101
第二節 鎳合金之研磨及腐蝕法	106
第三節 鈦合金的研磨及腐蝕法	109



## 金相圖目錄

圖 1	低碳鋼 (C 0.03%/Mn 0.30%)	2
圖 2	0.2%碳鋼 (Mn 0.6%)	3
圖 3	0.4%碳鋼 (Mn 0.8%)	4
圖 4	高碳鋼 (C 1.30%/Mn 0.97%)	5
圖 5	低碳錳鋼 (C 0.34%/Mn 1.70%)	6
圖 6	中碳錳鋼 (C 0.75%/Mn 1.35%)	7
圖 7	碳—鉬鋼 (C 0.34%/Mo 0.55%)	8
圖 8	鎳—鉻鋼 (C 0.4%/Ni 2.4%/Cr 0.7%)	9
圖 9	高碳鎢鋼 (C 0.92%/W 1.33%/Cr 1.11%)	10
圖 10	鉻鋼 (C 0.25%/Cr 3.1%/Mo 0.5%)	11
圖 11	鉻鋼 (C 0.09%/Cr 5.60%/Mo 0.58%)	12
圖 12	高鉻鋼 (C 0.08%/Cr 9.48%/Mo 0.96%)	13
圖 13	高鉻鋼 (C 0.16%/Cr 12.5%)	14
圖 14	高碳鉻鋼 (C 2.10%/Cr 14.0%/V 0.23%)	15
圖 15	鎳—鉻奧斯田鐵 (C 0.11%/Ni 19.0%/Cr 22.76%)	16
圖 16	鎳—鉻—鈮鋼 (C 0.1%/Ni 9.6%/Cr 19.0%/Nb 0.9%)	17
圖 17	鎳—鉻—鎢鋼 (C 0.2%/Ni 11.8%/Cr 22.6%/W 3.1%)	18
圖 18	亞共晶鑄鐵	20
圖 19	亞共晶鑄鐵	21
圖 20	共晶鑄鐵	22
圖 21	過共晶鑄鐵	23
圖 22、圖 23	磷對白口鑄鐵的影響	24
圖 24、圖 25、圖 26、圖 27	碳含量對灰口鑄鐵的影響	27
圖 28、圖 29、圖 30	矽含量對灰口鑄鐵的影響	31
圖 31、圖 32	磷含量對灰口鑄鐵的影響	34
圖 33	高硫灰口鑄鐵	37
圖 34	過冷石墨灰口鑄鐵	38
圖 35、圖 36	商用連續鑄造之灰口鑄鐵	39
圖 37	白心可鍛鑄鐵 (鑄造狀態)	41
圖 38	白心可鍛鑄鐵 (在 1060°C 保持 80 小時、爐冷)	42
圖 39	黑心可鍛鑄鐵 (鑄造狀態)	43
圖 40	黑心可鍛鑄鐵 (在 900~920°C 保持 60 小時)	44
圖 41	波來可鍛鑄鐵	45
圖 42、圖 43	球墨鑄鐵	46
圖 44	鎳硬型麻田散白鑄鐵	48
圖 45	白鉻鑄鐵 (Cr 27.5%)	49
圖 46	耐酸 14/16 矽鑄鐵 (C 0.7%/Si 15.8%)	50

圖47	高矽耐熱鑄鐵 Silal (C 2.1%/Si 5.0%)	51
圖48	非磁性奧斯田鑄鐵 (Mn 6.0%/Ni 11.8%)	52
圖49	耐蝕鎳系奧斯田鑄鐵 (Ni 33.0%/Cr 3.4%)	53
圖50	Nicosilal 奧斯田鑄鐵 (Si 5.5%/Ni 18.9%/Cr 3.7%)	54
圖51	針狀組織鑄鐵 (Ni 1.4%/Mo 1.2%)	55
圖52	球墨耐蝕鎳系鑄鐵 (Ni 21.8%/Cr <0.05%)	56
圖53	含鉻球墨耐蝕鎳系鑄鐵 (Ni 21.4%/Cr 2%)	57
圖54	初鍊熟鐵	59
圖55	精鍊熟鐵	60
圖56	0.1%碳鋼 (Mn 0.8%)	61
圖57	0.2%碳鋼 (Mn 0.8%)	62
圖58	0.3%碳鋼 (Mn 0.8%)	63
圖59	0.4%碳鋼 (Mn 0.7%)	64
圖60	0.7%碳鋼 (Mn 0.8%)	65
圖61	0.8%C 工具鋼 (Mn 0.2%)	66
圖62	1.3%C 工具鋼 (Mn 0.3%)	67
圖63	0.16%C 錳鋼 (Mn 1.3%)	68
圖64	0.1%C 鉬鋼 (Mo 0.7%)	69
圖65	1%Ni 鋼	70
圖66	3%Ni 鋼	71
圖67	1%Cr 鋼	72
圖68	1%C—Cr 鋼	73
圖69	4¼%Ni—Cr 鋼	74
圖70	3%Ni—Cr—Mo 鋼	75
圖71	0.3%C/13%Cr 餐具不銹鋼	76
圖72	18/8奧斯田不銹鋼 (鈦穩定型)	77
圖73	Hadfield 錳鋼 (C 1.1%/Mn 12.7%)	78
圖74	18/4/1 高速鋼 (工業用)	79
圖75	Monel 合金	81
圖76	Inconel 600	82
圖77	K-Monel, A 級	83
圖78	K-Monel, B 級	84
圖79	K-Monel, C 級	85
圖80	Nimonic 75 (冷軋)	86
圖81	Nimonic 75 (退火)	87
圖82	Nimonic 80 A (經固溶處理)	88
圖83	Nimonic 80 A (經析出熱處理)	89
圖84	Nimonic 90 (固溶處理)	90
圖85	Nimonic 90 (經析出熱處理)	91

圖86	Nimonic 105 (固溶處理) .....	92
圖87	Nimonic 105 (第二段熱處理) .....	93
圖88	Nimonic 105 (第三段熱處理) .....	94
圖89	鈦—160, 工業級純鈦 (Fe 0.045%), 熱軋製 .....	96
圖90	鈦230 (Cu 2.5%/Fe 0.03%), 熱軋製.....	97
圖91	鈦315 (Al 1.5%/Mn 1.5%/Fe 0.02%), 熱軋製 .....	98
圖92	鈦318 (Al 6.2%/V 3.9%/Fe 0.07%/C 0.03%), 熱軋製 .....	99
圖93	鈦679 (Al 2.3%/Sn 11.1%/Mo 1.0%/Zn 4.8%/Si 0.7%/Fe 0.03%), 熱軋製.....	100

# 鋼鐵金相組織圖譜

## 第一章 金相組織

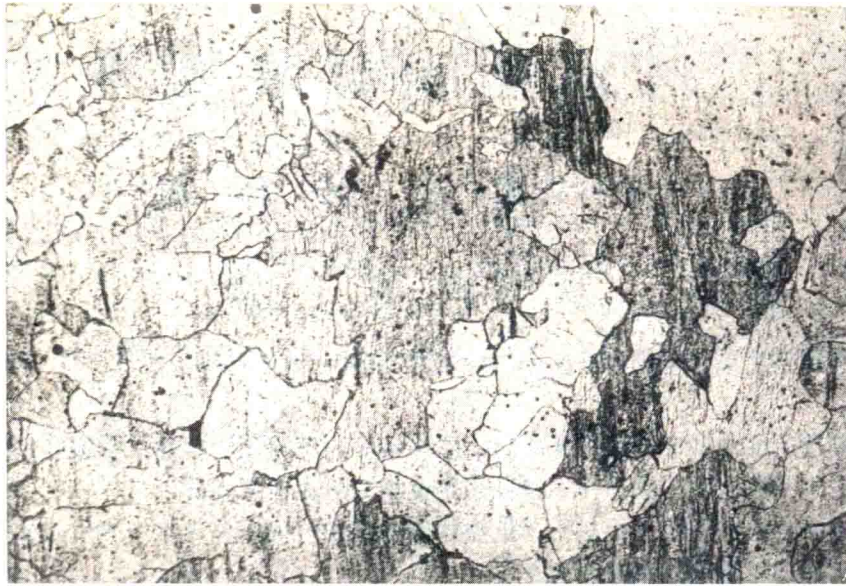
### 第一節 鑄鋼

本節所觀察之試片是經由石墨模鑄成之 $\frac{7}{8}$ "圓棒，或六角棒（ $\frac{3}{4}$ "A/F），觀察面為其橫截面。

這些鑄鋼中經常含有圓形的灰色硫化物，暗色的不規則形狀硫化物或矽化物等不純物，不純物產生的位置大多在晶界上，或原來的奧斯田鐵晶粒之晶界。

大部份試棒的中心都有小縮孔，但有的縮孔均勻分佈在試片上。試片表面和中心的結晶粒度不同，並且常常有柱狀晶產生。





(a)

100 X



(b)

500 X

圖 1 低碳鋼 (C 0.03% / Mn 0.30%)

元 素	C	Si	S	P	Fe
%	0.03	0.17	0.006	0.30	餘

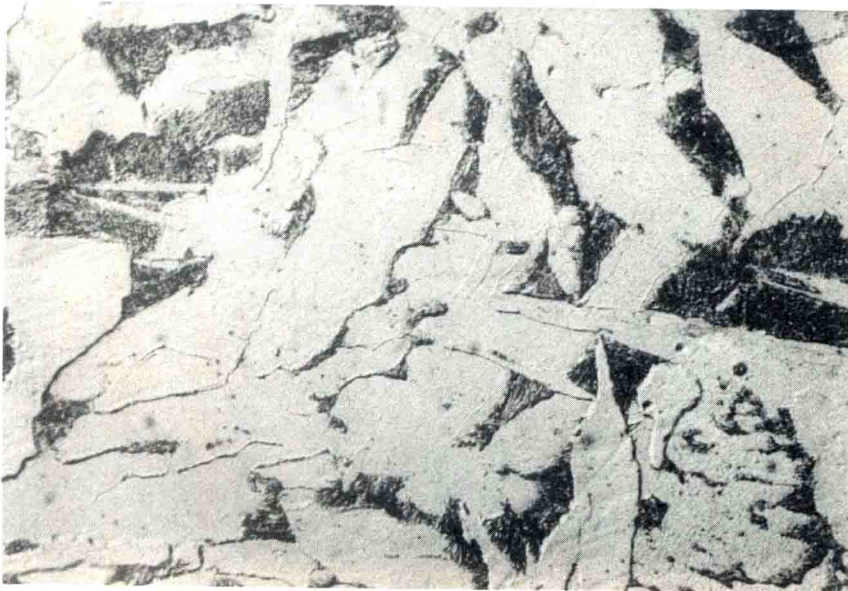
腐 蝕 劑：5 % Nital。

組 織：主要為粗大的肥粒鐵，低倍率下可以看到極少量波來鐵，呈黑色小塊，高倍率下有碳化物薄膜在晶界上出現，而肥粒鐵晶粒內有葉脈狀的條紋。



(a)

100 X



(b)

500 X

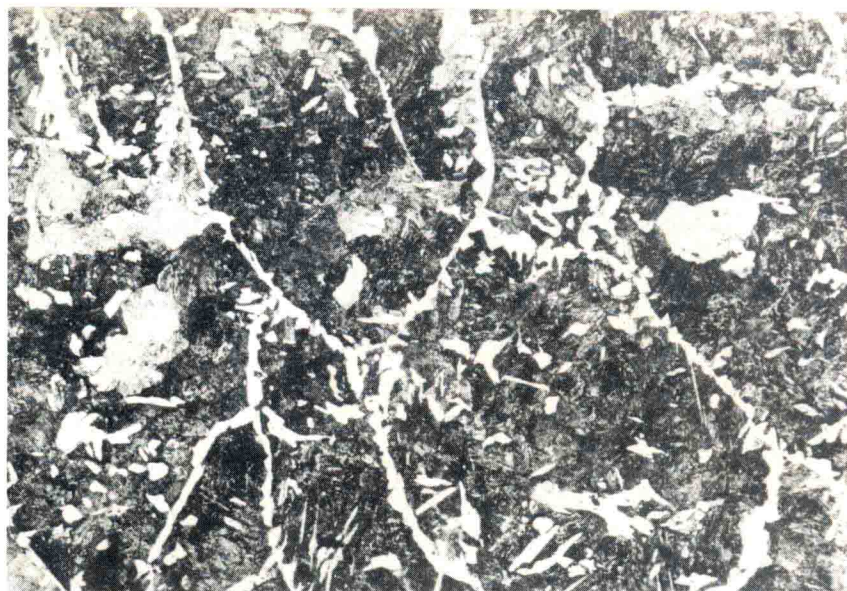
圖 2 0.2% 碳鋼 (Mn 0.6%)

元 素	C	Si	S	P	Mn	Fe
%	0.20	0.13	0.032	0.023	0.63	餘

腐 蝕 劑：2 % Nital

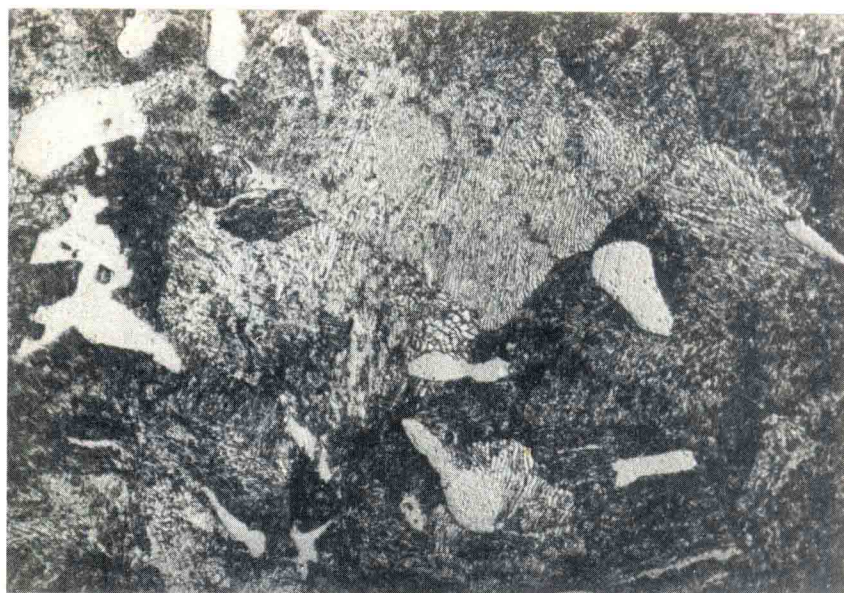
組 織：白色的肥粒鐵由黑色的波來鐵襯托成近似樹狀的結晶，有些地方肥粒鐵形成 Widmanstätten 之形態。在高倍率下可以看出波來鐵的層狀組織。





(a)

100 X



(b)

500 X

圖 3 0.4% 碳鋼 (Mn 0.8%)

元 素	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Fe
%	0.38	0.26	0.011	0.010	0.79	0.03	0.01	餘

腐 蝕 劑：2 % Nital

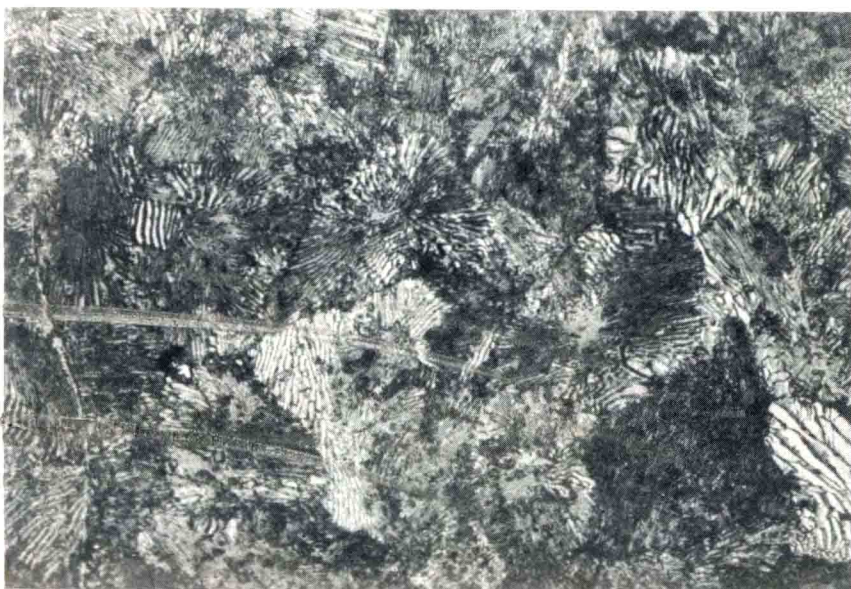
組 織：黑色的波來鐵在高倍率下有徑清楚的層狀組織，其晶界上有網狀的肥粒鐵（白色），有部份肥粒鐵伸入波來鐵區而形成鋸齒狀。由於試片中心的冷卻速率較慢，其肥粒鐵的量較試片外部為多。





(a)

100 X



(b)

500 X

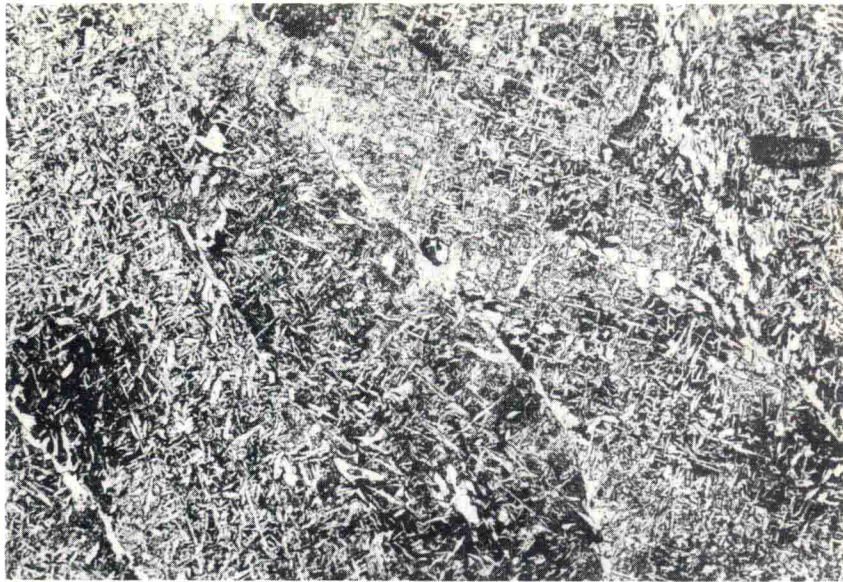
**圖 4** 高碳鋼 (C 1.30% / Mn 0.97%)

元 素	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Fe
%	1.30	0.47	0.017	0.019	0.97	0.01	0.05	餘

腐 蝕 劑：2 % Nital

組 織：黑色區域乃波來鐵，而其晶界細薄的網狀物為碳化物，碳化物所圍繞的區域表示原奧斯田鐵的晶粒。





(a)

100 X



(b)

500 X

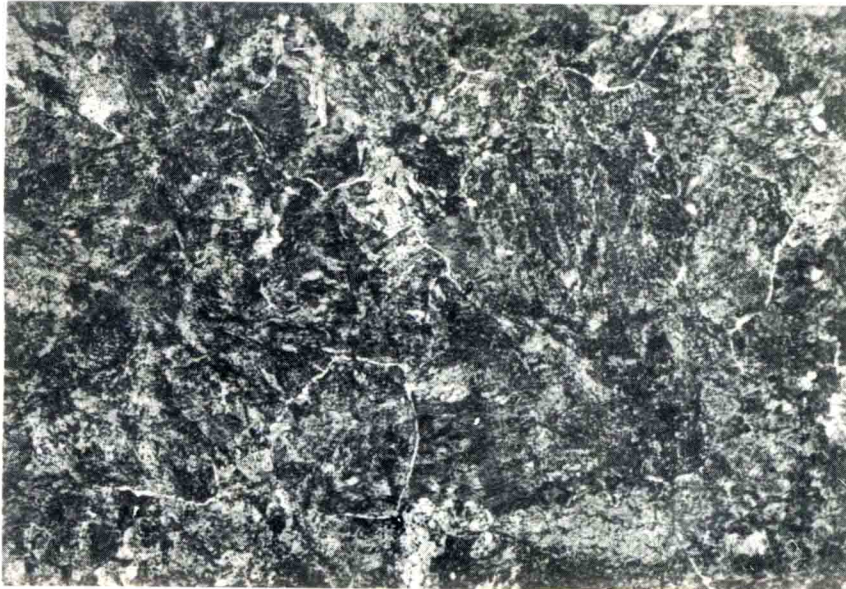
**圖 5** 低碳錳鋼 (C 0.34% / Mn 1.70%)

元 素	C	Si	S	P	Mn
%	0.34	0.49	0.025	0.020	1.70

腐 蝕 劑：2 % Nital

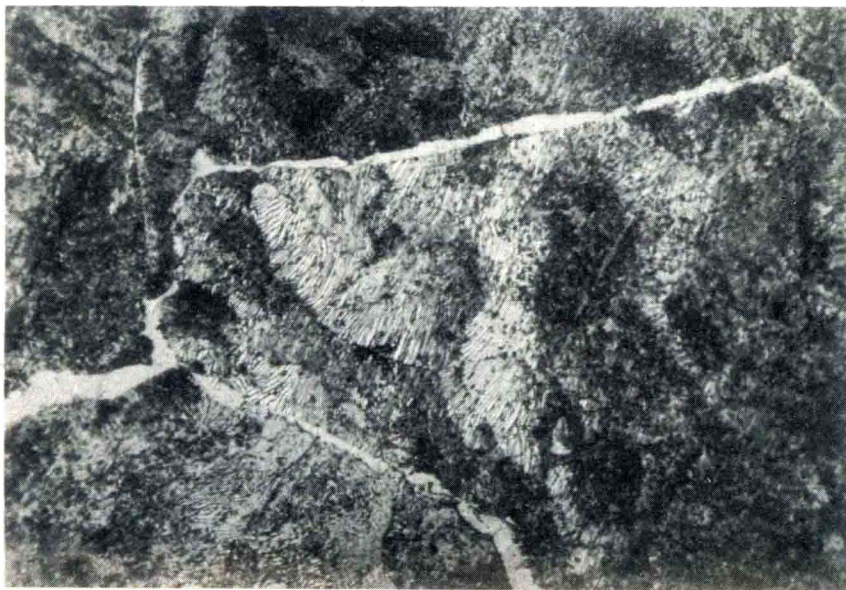
組 織：主要組織是波來鐵，晶界上的肥粒鐵，及波來鐵內的析出肥粒鐵。晶界上的肥粒鐵呈短而不規則小塊，其餘的則呈類似的形狀或針狀。黑色的波來鐵非常細，高倍率下亦不易分出其層狀組織，它之所以呈粒狀是由於高錳含量所造成，低倍率下可看出波來鐵區為原奧斯田鐵的核心偏析 (coring) 處。





(a)

100 X



(b)

500 X

**圖 6** 中碳錳鋼 (C 0.75% / Mn 1.35%)

元 素	C	Si	S	P	Mn	Fe
%	0.74	1.78	0.019	0.018	1.35	餘

腐 蝕 劑：2% Nital

組 織：幾乎完全是波來鐵，原奧斯田鐵的晶界上有細薄的肥粒鐵膜。波來鐵的層狀組織可以明顯的看出。





(a)

100 X



(b)

500 X

**圖 7 碳-鉬鋼 (C 0.34% / Mo 0.55%)**

元 素	C	Si	S	P	Mn	Cr	Mo	Fe
%	0.34	0.47	0.025	0.016	1.22	0.09	0.55	餘

腐 蝕 劑：2 % Nital

組 織：呈細 Widman stätten 形態的是肥粒鐵（白色），在高倍率下，深色區為上變韌鐵，而灰色或淡黃褐色的組織為麻田散鐵。大多數的試樣中分散的波來鐵小塊也會出現。





(a)

100 X



(b)

500 X

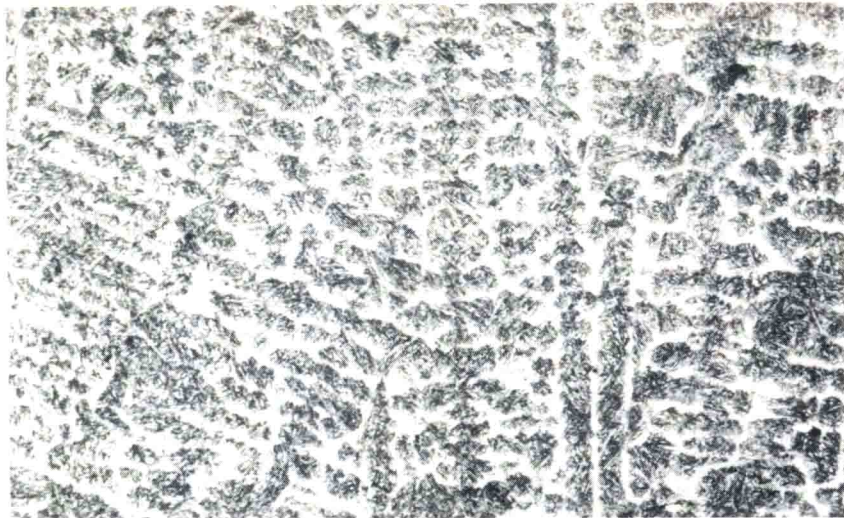
圖 8 鎳-鉻鋼 (C 0.4% / Ni 2.4% / Cr 0.7%)

元 素	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Fe
%	0.40	0.32	0.038	0.014	0.55	2.43	0.71	餘

腐 蝕 劑：2 % Nital

組 織：灰色區是麻田散鐵，而針狀的白色和黑色區是上變韌鐵。低倍率可清楚看出明暗對比所顯現出的樹枝狀晶，表示合金元素有偏析和核心偏析 (coring)，而較亮的區域即為麻田散鐵。





(a)

100 X



(b)

500 X

**圖 9** 高碳鎢鋼 (C 0.92% / W 1.33% / Cr 1.11%)

元 素	C	Si	S	P	Mn	Cr	W	Fe
%	0.92	0.42	0.029	0.017	1.17	1.11	1.33	餘

腐 蝕 劑：2 % Nital

組 織：本材料的組織包含奧斯田鐵、上下變韌鐵、麻田散鐵，可能有一些波來鐵，各組織的比率隨試棒而不同，而且由於裡外的冷卻速率不同，其硬度也有顯著差異。在低倍率下，可看出樹枝狀結晶，結晶中央的部位相變態量最大，而愈到晶界未變態的沃斯田鐵愈多，這是由於中央部份先凝固，其合金元素的量較少之故。圖內上變韌鐵呈現其典型的形狀，為暗褐色；下變韌鐵呈暗色的針狀組織；麻田散鐵呈淡色的針狀組織，不易腐蝕，很不明顯。最後凝固的組織是奧斯田鐵，呈白亮的區域，無特殊外形，偶爾有很細的碳化物微粒在其晶界上。