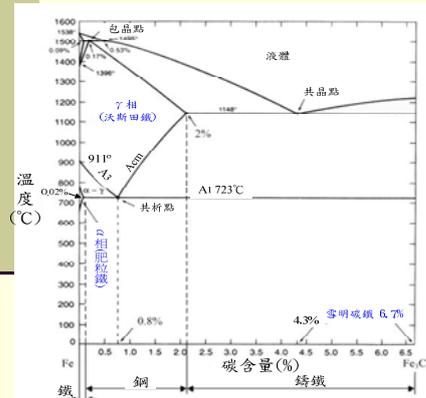


# 1. 鋼鐵材料的分類

- (1) 鋼——含碳量 0.02%~2% 的 Fe-C 合金
- (2) 鐵——含碳量小於 0.02% 的 Fe-C 合金
- (3) 鑄鐵——含碳量大於 2% 的 Fe-C 合金

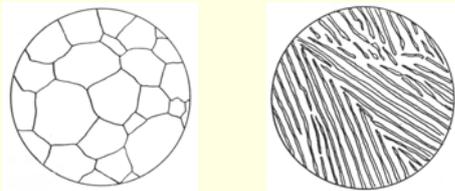
# 2. 鐵碳平衡圖



鋼中的碳以Fe<sub>3</sub>C狀態存在  
實為Fe-Fe<sub>3</sub>C平衡圖  
Fe<sub>3</sub>C 含碳量為6.7%  
共析反應：  
沃斯田鐵  $\xrightarrow{A1}$  波來鐵

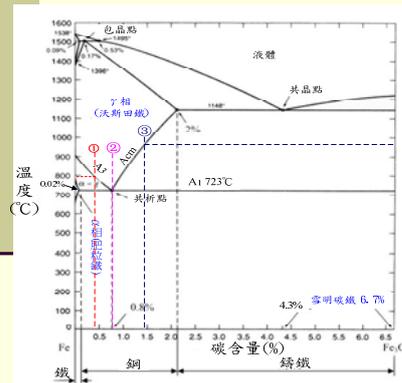
## 共析反應 (波來鐵變態)

0.8% C 沃斯田鐵  $\xrightarrow{723^{\circ}\text{C}}$  波來鐵



因沃斯田鐵的密度大於波來鐵，故會膨脹。

# 3. 鋼的平衡組織



- ① 亞共析鋼——肥粒鐵 + 波來鐵 (白)
- ② 共析鋼——波來鐵
- ③ 過共析鋼——雪明碳鐵 + 波來鐵 (白)

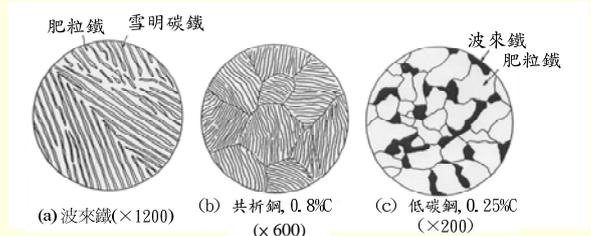
## 鋼依含碳量分類

- 金相學上 {
  - 亞共析鋼 — C < 0.8%
  - 共析鋼 — C = 0.8%
  - 過共析鋼 — C > 0.8%

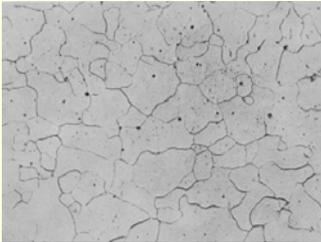
- 工業上 {
  - 低碳鋼: 0.3% C 以下
  - 中碳鋼: 約 0.4%~0.5% C
  - 高碳鋼: 0.6% C 以上

## 波來鐵的三種形貌

- a. 高倍率 —— 肥粒鐵與雪明碳鐵的層狀混合物
- b. 中倍率 —— 指紋狀
- c. 低倍率 —— 整片黑

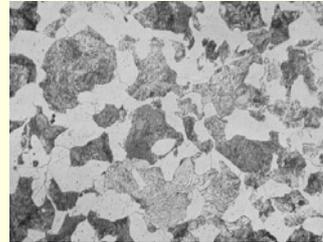


### 鐵的平衡組織



- 組織：肥粒鐵
- 黑線：晶界
- 黑點：氣孔或雜質
- 倍率：120倍

### 亞共析鋼的平衡組織



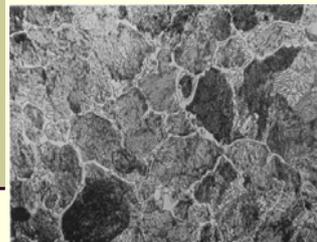
- 組織：肥粒鐵 + 波來鐵  
(白) (黑, 層狀)
- 含碳量：0.44% C
- 倍率：250 倍

### 共析鋼的平衡組織



- 組織：波來鐵(全部)
- 含碳量：0.8% C
- 倍率：400 倍

### 過共析鋼的平衡組織

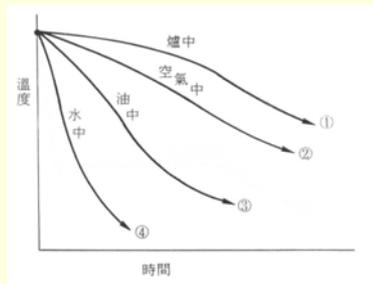


- 組織：波來鐵 + 雪明碳鐵  
(黑, 層狀) (白色網狀)
- 含碳量：1.13% C
- 倍率：250 倍

## 4. 連續冷卻變態的組織

—— 以共析鋼為例

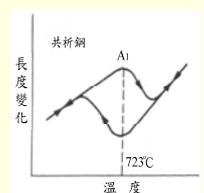
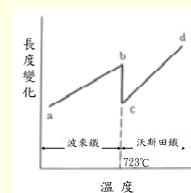
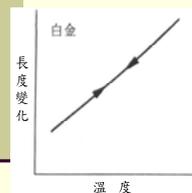
### 常用的冷卻方法與其冷卻速率的比較



- ① 爐中冷卻
- ② 空氣中冷卻
- ③ 油中冷卻
- ④ 水中冷卻

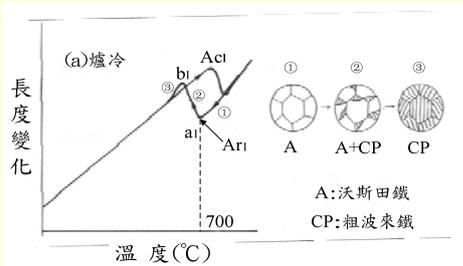
### 發生變態時，由於密度改變，故長度會驟變

- (a) 無變態發生 (b) 變態時理論上的長度變化 (c) 變態時實際上的長度變化



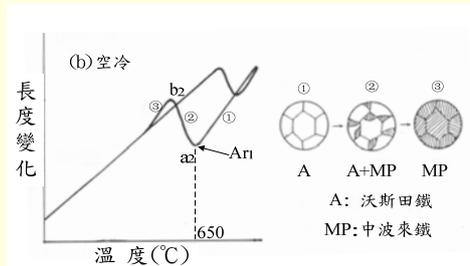
### (1) 爐冷時的變態

- 變態溫度：700°C
- 組織：粗波來鐵



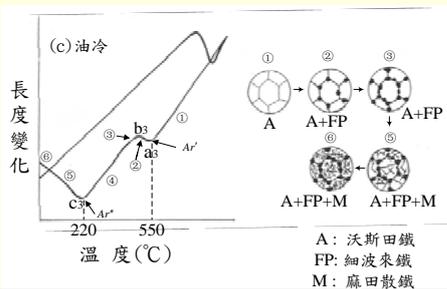
### (2) 空冷時的變態

- 變態溫度：650°C
- 組織：中波來鐵



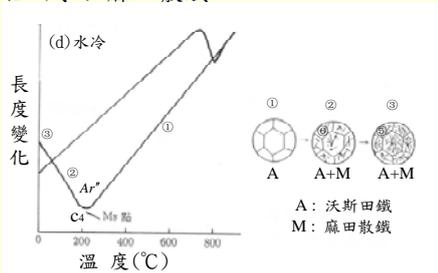
### (3) 油冷時的變態

- 變態溫度：550°C 及 220°C
- 組織：細波來鐵 + 麻田散鐵

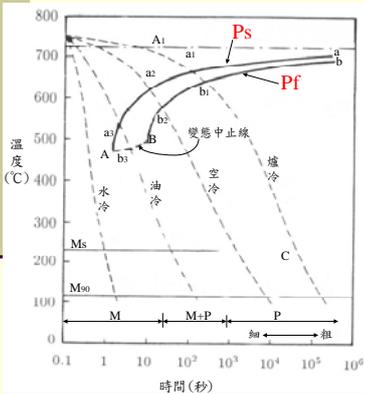


### (4) 水冷時的變態

- 變態溫度：220°C
- 組織：麻田散鐵



### 共析鋼的連續冷卻變態圖



Ps：波來鐵變態開始  
Pf：波來鐵變態完成

Ms：麻田散鐵變態開始

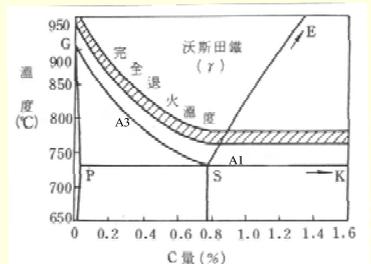
M：麻田散鐵  
P：波來鐵

## 5. 熱處理的方法

### (1) 退火(完全退火)

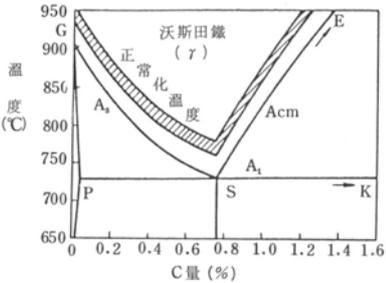
- 目的：軟化材質，改善切削或塑性加工性
- 方法：加熱到適當高溫，保溫後，慢慢冷卻

- 退火溫度：  
亞共析鋼：A<sub>3</sub> 稍上方  
過共析鋼：A<sub>1</sub> 稍上方



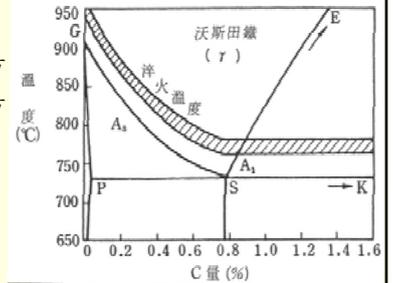
## (2) 正常化

- 方法：加熱至完全沃斯田鐵化後，在空氣中冷卻。
- 目的：使不良的組織變為正常
  - 微化晶粒
  - 消除殘留應力
- 正常化溫度
  - 亞共析鋼：A3 稍上方
  - 共析鋼：A1 稍上方
  - 過共析鋼：Acm 稍上方
- 組織：近似平衡組織



## (3) 淬火

- 方法：加熱至適當高溫，保溫適當時間後急冷之
- 目的：得到高硬度的麻田散鐵
- 淬火溫度
  - 亞共析鋼：A3 稍上方
  - 過共析鋼：A1 稍上方
- 淬火時體積會膨脹



## 麻田散鐵變態

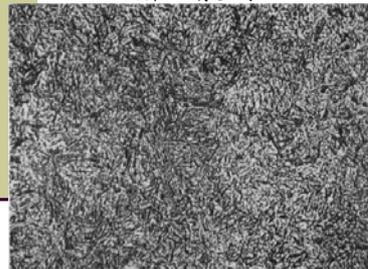
### 1. 變態反應

沃斯田鐵 (0~2% C)	急冷	麻田散鐵 (0~2% C)
固溶體		過飽合固溶體
面心立方		體心正方
密度大		密度小

◎ 麻田散鐵因溶入過飽和的碳，結晶格子畸變大，不易滑動，故**硬度極高**。

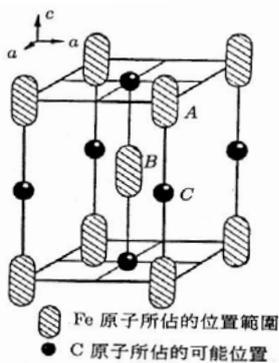
## 鋼材淬火後的組織

### 麻田散鐵



- 含碳量：0.81%
- 熱處理：850°C 水淬火
- 硬度：HRC64
- 倍率：400倍

## 麻田散鐵中碳原子的位置



- ◎ 麻田散鐵—**體心正方**
- ◎ 碳含量愈高，格子常數 c 愈大，密度愈小

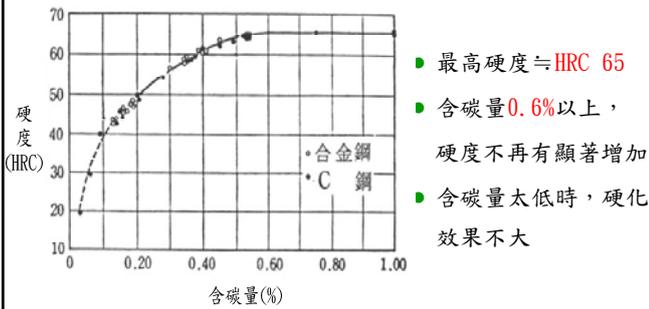
## 各種含碳量的鋼料變態成麻田散鐵時所引起的體積變化

鋼的含碳量 %	生成麻田散鐵時的體積變化 %
0.1	+0.113
0.3	+0.404
0.6	+0.923
0.85	+1.227
1.00	+1.557
1.30	+2.376
1.70	+3.781

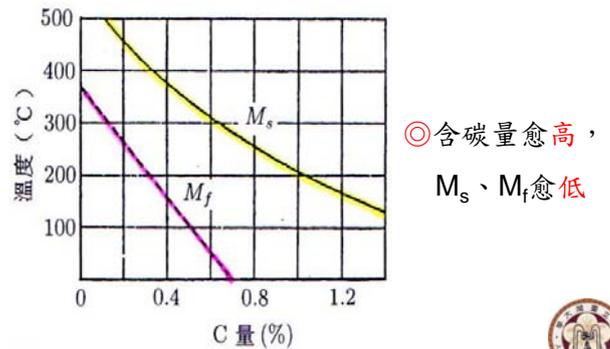
◎ 含碳量愈高，**體積膨脹愈大**



## 麻田散鐵的硬度與含碳量的關係



## 鋼料的含碳量與 $M_s$ 、 $M_f$ 的關係



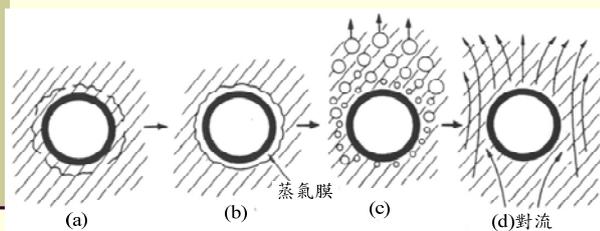
## 麻田散鐵的性質

- (1) 麻田散鐵為不安定的組織，若給予適當加熱，則有回復安定組織的傾向。
- (2) 麻田散鐵硬度高，但脆性也大，需經回火後才可使用。
- (3) 麻田散鐵的硬度與含碳量有關，含碳量愈多，硬度愈高，但含碳量在 0.6% 以上，硬度就不再有顯著變化。
- (4) 由沃斯田鐵變態成麻田散鐵時，因體積大量膨脹，故有顯著的熱處理應力、變形，甚至破裂。
- (5) 麻田散鐵的密度隨含碳量的增高而降低。

## 麻田散鐵變態的特性

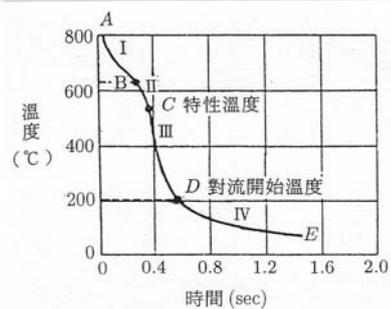
- (1) 麻田散鐵的變態量決定於溫度，溫度愈低，變態愈完全。
- (2) 麻田散鐵開始變態的溫度 ( $M_s$ ) 及變態完成的溫度 ( $M_f$ )，與鋼料的化學組成有關。鋼的含碳量愈高或合金含量愈多， $M_s$ 、 $M_f$  均愈低。
- (3) 麻田散鐵的變態速率很快，變態幾乎不需要時間 ( $10^{-7}$  秒)。
- (4) 在一定溫度下保持長時間，並不會增加麻田散鐵的變態量。
- (5) 在沃斯田鐵變態成麻田散鐵的過程中，若停止冷卻一段時間，則將使剩下的沃斯田鐵不容易變態成麻田散鐵，此現象稱為沃斯田鐵的安定化。

## ◎ 鋼料在淬火液中的冷卻過程



攪拌可使蒸氣膜提早破裂，提高淬火冷速

## 鋼料淬火時，表面的冷卻曲線



國立台灣大學機械工程學系表面改質實驗室

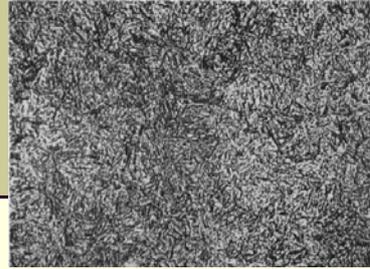
Surface Modification Lab, Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University

### ◎ 攪拌對淬火冷卻速率的影響

攪拌程度	相對冷卻速率			
	空氣	油	水	鹽水
靜止	0.02	0.3	1	2
輕微攪拌	-	0.35	1.2	2.2
中度攪拌	-	0.5	1.5	-
激烈攪拌	0.06	1.1	4	5

### ◎ 鋼材淬火後的組織

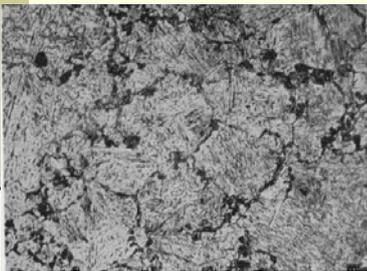
麻田散鐵



- 含碳量：0.81%
- 熱處理：850°C 水淬火
- 硬度：HRC64
- 倍率：400倍

### 淬火時冷速不夠快

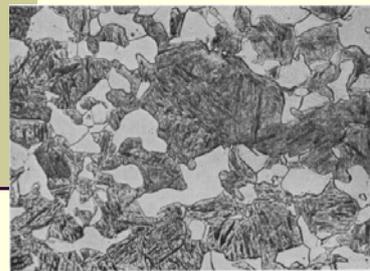
麻田散鐵 + 細波來鐵



- 含碳量：0.41%
- 熱處理：850°C 油淬火
- 針狀基地：麻田散鐵  
黑色網狀：細波來鐵
- 倍率：250倍

### 淬火時溫度不夠高

麻田散鐵 + 肥粒鐵

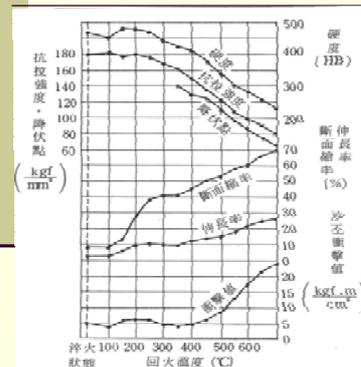


- 含碳量：0.33%
- 熱處理：750°C 水淬火
- 白色：肥粒鐵  
深色：麻田散鐵
- 倍率：400倍

### (4) 回火

- 方法：將淬火過的材料，加熱至A1以下適當的溫度
- 目的：調節硬度，增加韌性，消除淬火應力
- 組織：回火麻田散鐵
- 低溫回火：100~200°C，注重**硬度**
- 高溫回火：500~600°C，注重**韌性**

### ◎ 回火性能曲線



- 強度——抗拉強度、降服點
- 硬度——勃氏硬度(HB)
- 延性——伸長率、斷面縮率
- 韌性——衝擊值

若回火溫度愈高，則  
 強度、硬度愈小  
 延性、韌性愈大



### 麻田散鐵的回火反應

◎ 淬火組織 = 麻田散鐵(M) + 殘留沃斯田鐵(RA)

(不安定) (不安定)  
密度最小 密度最大

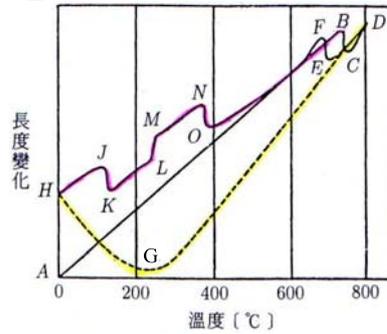
◎ 室溫的安定組織 = 肥粒鐵( $\alpha$ ) + 雪明碳鐵( $Fe_3C$ )

◎ 麻田散鐵分解時，體積會收縮

◎ 殘留沃斯田鐵分解時，體積會膨脹



### 共析鋼加熱冷卻時的長度變化



◎ 加熱：ABCD

◎ 徐冷：DEFA

◎ 淬火：DGH

◎ 回火：HJKLMNO



### 麻田散鐵的回火反應

◎ 回火分 4 階段：

1. 100°C ~ 200°C (JR) — 收縮

◎  $\alpha$ -M  $\rightarrow$   $\beta$ -M +  $\epsilon$  碳化物  
(高碳M) (低碳M) ( $Fe_2C$ )  
> 0.3% C 0.2 ~ 0.25 %C



### 麻田散鐵的回火反應

2. 230°C ~ 270°C (LM) — 膨脹

◎ RA  $\rightarrow$   $\beta$ -M +  $\epsilon$  碳化物  
(殘留沃斯田鐵) (低碳M) ( $Fe_2C$ )  
FCC BCT  
密度大 密度小



### 麻田散鐵的回火反應

3. 270°C ~ 430°C (NO) — 收縮

◎  $\beta$ -M  $\rightarrow$  肥粒鐵( $\alpha$ ) +  $Fe_3C$   
(BCT) (BCC)  
密度小 密度大

◎  $\epsilon$  碳化物  $\rightarrow$   $Fe_3C$



### 麻田散鐵的回火反應

4. 430°C 以上 —  $Fe_3C$  凝聚

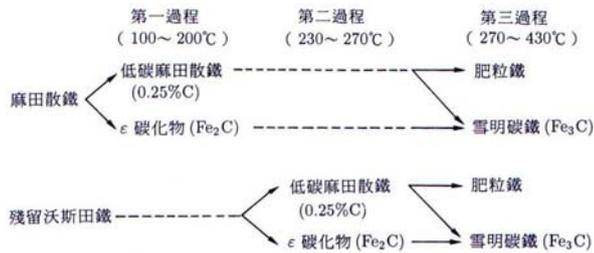
組織：肥粒鐵 +  $Fe_3C$

500°C — 回火吐粒散鐵

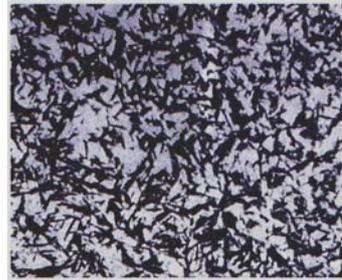
600°C — 回火糙斑鐵

通稱：回火麻田散鐵(TM)

## 淬火鋼回火時顯微組織變化之說明圖



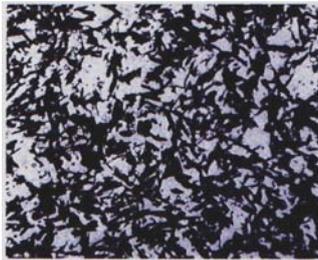
## 共析鋼的淬火組織



800°C 水淬火

組織：麻田散鐵 + 殘留沃斯田鐵

## 共析鋼於100°C回火1小時後的顯微組織



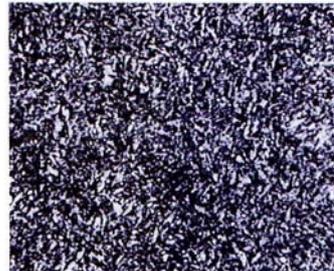
800°C 水淬火

回火：100°C × 1hr

組織：β-麻田散鐵 + ε 碳化物 + 殘留沃斯田鐵



## 共析鋼於500°C回火1小時後的顯微組織



800°C 水淬火

回火：500°C × 1hr

組織：回火吐粒散鐵 (碳化物較小)



## 共析鋼於600°C回火1小時後的顯微組織



800°C 水淬火

回火：600°C × 1hr

組織：回火糙斑鐵 (碳化物較大)



## 麻田散鐵的回火反應

回火溫度在430°C以上 — Fe<sub>3</sub>C 凝聚

組織：肥粒鐵 + Fe<sub>3</sub>C

溫度愈高，Fe<sub>3</sub>C 顆粒愈大

500°C — 回火吐粒散鐵

600°C — 回火糙斑鐵

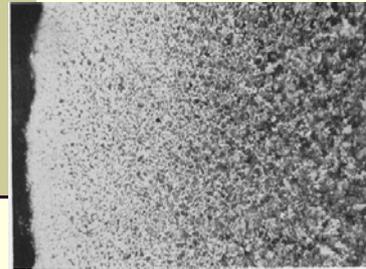
通稱：回火麻田散鐵 (TM)

## 6. 熱處理時，可能發生的問題

### (1) 氧化及脫碳

- 氧化性氣體：O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>
- 脫碳性氣體：O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>
- 氧化的害處
- 脫碳的害處
- 避免氧化、脫碳的方法

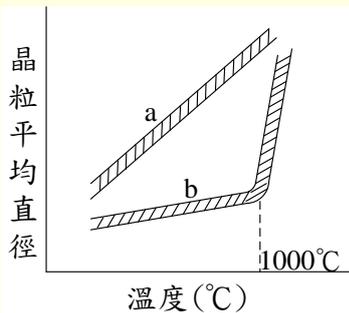
### ◎ 脫碳層的組織



- 白色：肥粒鐵
- 黑色：波來鐵
- 原材含碳量：0.81%
- 熱處理：960°C × 2.5 hr  
爐冷

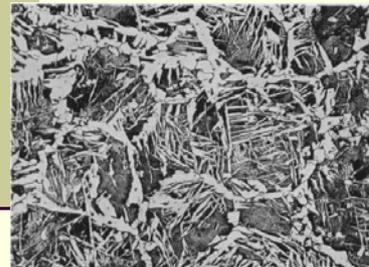
### (2) 晶粒生長

- 晶粒大小與溫度的關係



- a. 連續成長
- b. 異常成長

### 過熱組織

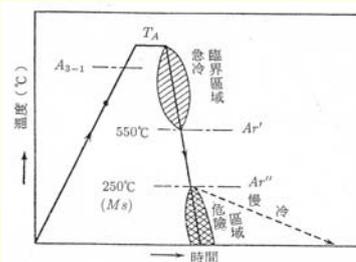


- 含碳量：0.30%
- 熱處理：1280°C 保溫  
1小時後，空冷
- 白色：肥粒鐵
- 深色：波來鐵
- 倍率：120倍

### (3) 熱處理應力、變形及破裂

- 熱處理應力 { 熱應力  
變態應力
- 主要發生於淬火
- 減少淬火應力的原則
  - ① 工件各部位的厚度盡量一致
  - ② 避免有銳角，產生應力集中
  - ③ 降低 Ms 點附近的冷速

### 減少變形的淬火方法(階段淬火)



- 臨界區域：  
急冷——避免產生波來鐵
- 危險區域：  
慢冷——減少淬火變形