

基本馆藏

1714

現代鑄工補充參考資料

(第二輯)

陳 農 編 譯

大東書局出版

現代鑄工補充參考資料

第 二 輯

陳 農 編 譯
王 樹 良 校 閱

大 東 局 書 出 版

現代鑄工補充參考資料(第二輯)內容提要

本書分爲三章，專論孕育處理鐵的實際製造方式，如液體孕育處理法等，其中並包括利用孕育處理法以改良冷硬車輥品質的方法。第一章專論高強度鑄鐵的理論與實際。第二章專論球墨鐵的製造方法及其生成理論，其中包括有一次處理法及處理時所用的防護方式等，此外並介紹了各種解釋球狀石墨的生成理論以及球墨鐵的特殊性質與其產生原因、球墨鐵的熱處理方式等。第三章討論可鍛鑄鐵的生成原理以及各種加速石墨化的方法，本書適合於工廠技術人員，技術學校學生參考之用。

現代鑄工補充參考資料(第二輯)

書號：5137

編譯者	陳	農
校閱者	王	樹良
出版者	大東書局	
	上海福州路301號	
印刷者	大東印刷廠	
	上海安慶路268弄	

25開 68印刷頁 95,000字 定價8,000元
一九五四年二月初版

(0001-3000)

上海市書刊出版業營業許可證出043號
上海市書刊發行業營業許可證發061號

1714 468.91
7555

目 錄

一 高强度鑄鐵的理論與實際.....	1
1. 決定鑄鐵強度的因素.....	1
2. 高强度鑄鐵的製造方法.....	13
3. 鑄鐵的加製方法.....	24
4. 加製法在激冷表皮白口化鑄鐵中的應用.....	49
5. 鑄鐵的化學成分及強度估計法.....	59
二 球墨鑄鐵的補充資料	63
1. 加製劑的種類及加製方法.....	63
2. 球墨鐵的分級法.....	66
3. 球墨鐵的熱處理.....	67
4. 球墨鐵的表面強化處理.....	78
5. 球狀石墨的初晶組織.....	81
6. 球狀石墨的生成理論.....	95
7. 球狀石墨的特點及其發生原因.....	100
三 可鍛鑄鐵的製造原理及其快速退火法	107
1. 可鍛鑄鐵的製造方式.....	107
2. 黑心可鍛鑄鐵的製造原理及退火加速法.....	119
3. 淬火後再退火式快速可鍛鑄鐵製造法的研究.....	122

一 高强度鑄鐵的理論與實際

(1.1) 決定鑄鐵強度的因素

鐵鑄的強度有二種決定因素：一種是鑄鐵的組織，另一種是石墨結晶的形狀和數量。上述二項，均與初品及二次再結晶作用有關係。表1示鑄鐵所含各種基體組織的強度。

表 1 灰鐵基體組織的機械性質

基本組織的名稱	強 度 σ_b 公斤/平方公厘	延 伸 率 δ %	硬 度 H_B	可能佔有容積 %
鐵 素 體	40	50	95	0-90
珠 光 體	70	15	200	0-93
沙 別 體	85	10	250	0-93
炭 化 鐵	2	—	550	0-50
磷化鐵共晶體	—	—	400	0-7
石 墨	—	—	—	7-10

鑄鐵的強度，不能單憑其中各種組織所佔比率加以計算。以珠光體鑄鐵而論；其中珠光體約佔 93% (容積)，石墨佔 7% 左右。不計石墨的強度，則該項鑄鐵的強度應如下：

σ_b 公斤/方公厘	δ %	H_B
$70.0 \times 0.93 = 65$	$15.0 \times 0.93 = 14$	$200 \times 0.93 = 186$

事實上珠光體鑄鐵的強度與計算值有極大距離，尤以延伸率相差極大(實際 $\sigma_b = 25$ 公斤/平方公厘， $\delta = 0.5\%$)。由此可知石墨結晶不

但減低基體的有效截面積；同時產生切缺刻痕作用^①。有名的公式鑄鐵=鋼+石墨的意義即在於此。一是即研究鑄鐵的機械性質時，必須分基體組織與石墨兩方面進行，始能達到目的。在這種情況下，求得鑄鐵在各種溫度下的基體組織，實屬必要。

(一) 基體組織的影響：基體組織一部份由初晶組織所決定，即結晶粒子的大小，此項性質與機械強度有關，圖1示此種情況。即結晶粒子愈細(即號數愈大)，強度愈大。此項結晶粒子的大小，對析出石墨結晶的大小亦有關係，且對二次結晶作用亦發生作用，上述兩項，對鑄鐵的強度有極大關係。

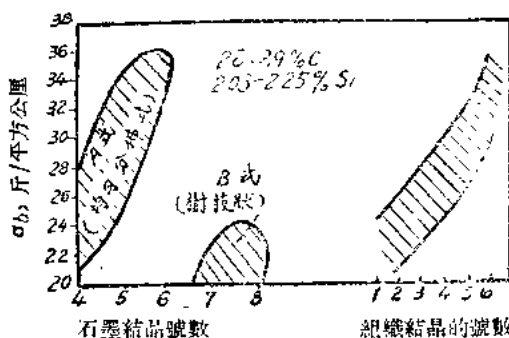


圖1 鑄鐵抗張強度與組織結晶大小及石墨結晶大小間的關係

根據許多研究，珠光體組織鑄鐵的強度最大，圖2示此項研究結果。結合炭素低或高於0.7~0.9%時，組織中便發生鐵素體或碳化鐵體，均能降低鑄鐵的機械性質。結合炭素量對各項機械性質的作用，與炭在鋼內的作用相似。

鋼中炭素量及鑄鐵內結合炭素量的增加，均能提高強度(σ_b'' 抗張強度、 σ_b' 抗壓強度、 σ_b 抗彎曲強度)及硬度，減低延伸性及韌性(鋼中為延伸率 δ 及截面收縮率 ψ ，鐵中則為衝擊值 α_K)。鐵中所含結合

① Notch effect

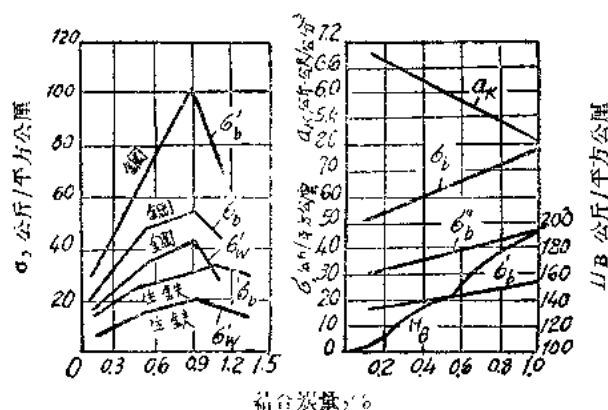


圖 2 基體組織(結合炭量)與鑄鐵、鋼的強度間的關係

炭素量,能決定鐵中珠光體的含量;但不能顯示出炭化鐵的微細化程度及形狀,後者對鑄鐵的硬度及機械性質有極大影響。

鑄鐵內金屬基體的組織	鐵素體+珠光體	珠光體	少別體	亞羅體	馬丁體
硬度 HB	163	207	255	315	495
抗張強度 σ_b , 公斤/平方公厘	20	24	35	38	45
曼那及氏衝擊值 α_K , 公斤·公尺/平方公分	0.36	0.30	0.27	0.20	0.14

爲了增加強度,須縮小滑動平面及增加結晶粒間的接觸強度。珠光體的微細化,便有上述效果。但使珠光體球狀化,作用便完全相反,能使鑄鐵的強度降低,延伸性 δ 增加,衝擊強度 (α_K) 亦增加。

研究基體組織對鑄鐵品質的作用,主要根據鑄鐵熱處理後的變化情形,此時石墨的形狀與數量並無變化。圖 3 爲 H. T. 季爾吉未起氏的研究結果。表 2 示文獻上的結果。上述二種結果,均顯示施行淬火處理後,組織便微細化,鑄鐵的強度增加,延伸性及衝擊強度則均有減低。反之,珠光體經 500°C 的配火處理後,其強度比微細化處理的珠光體小不少。此時延伸性、彎曲量及衝擊強度,均有增加。組織中存有鐵

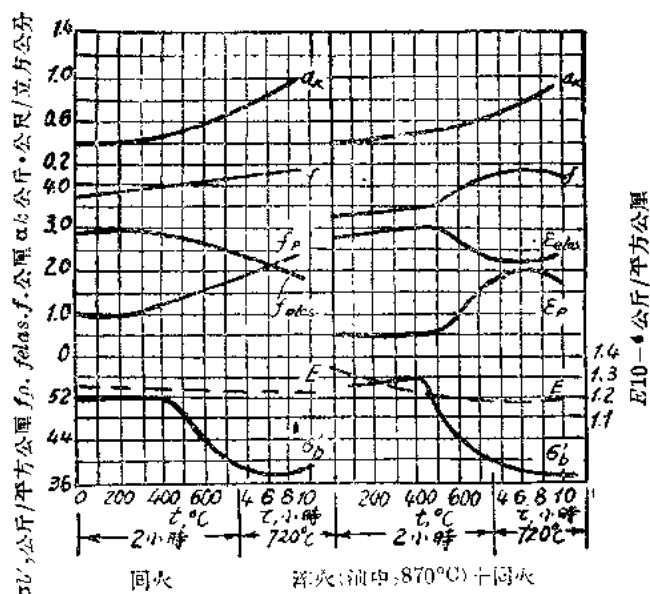


圖3 熱處理方式及基本組織對灰鐵的彈性及塑性的影響

索體時，強度大為降低，但延伸性則大為增加。

組織微細化及珠光體的分解，均不能改變鑄鐵的彈性係數，此等性質似與組織構成物的性質，並無多大關係。

上述情況，在可鍛鑄鐵中亦屬相同。據研究結果，可鍛鑄鐵內結合炭量增加時，強度亦必增加，同時硬度亦有增加。如圖4所示，此時，其延伸性(δ)則降低，衝擊強度亦同樣降低。

常珠光體含量增加而結晶又微細化時，不僅靜力強度增加，疲勞限度亦有增加(圖2及表1)。震動中的韌性則有減低，

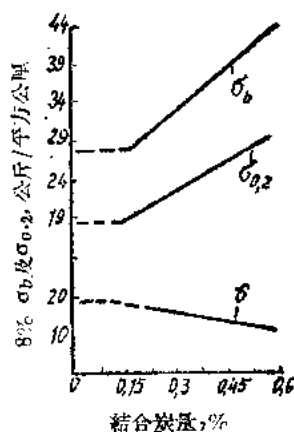


圖4 結合炭量與機械性質間的關係(可鍛鑄鐵)

表 2：石墨含量及組織構成物對纖維機械性質的影響

	C, %	Si, %	石墨量 C _{TP} %	白氏硬度 H _B 公斤/平方公厘	抗張強度 σ _b 公斤/平方公厘	彎曲量 δ (440×30φ) 公厘	抗張強度 σ _b 公斤/平方公厘	扭轉角度 α
纖維素組織	3.27 2.44 1.91 1.60	1.42 2.44 2.80 3.32	3.05 2.35 1.78 1.42	99 132 154 182	17.2 26.6 29.1 21.4	7.0 6.9 4.0 3.3	15.7 19.4 20.3 20.9	124° 127° 38° 7°
珠光體組織	3.29 2.46 2.00 1.60	1.53 2.64 3.00 3.58	2.27 1.63 1.01 0.77	186 226 256 265	29 40.6 37.6 26.7	6.6 6.05 3.46 3.03	26.2 30.3 29.0 23.7	54 37 20 8
	抗張係數 Q 公斤/平方公厘	抗彎強度 σ _b ' 公斤/平方公厘	彎曲極限 σ _{bw} /F 公斤/平方公厘	衝擊強度的 公斤·公厘/平方公分	有切缺時 無切缺時	抗 震 性 (τ=6公斤/平方公厘) ψ, %		
纖維素組織	4900 5800 5950 6050	35.4 47.6 46.2 41.3	11.0 13.5 15.1 17.9	0.95 0.90 0.79 0.60	0.55 0.51 0.40 0.40	20 12 17 7		
珠光體組織	5120 5900 6500 6800	50.5 62.5 49.7 49.0	15.5 21.1 21.9 23.0	0.99 0.87 0.78 0.73	0.56 0.46 0.45 0.46	14 8.5 6.5 4.6		

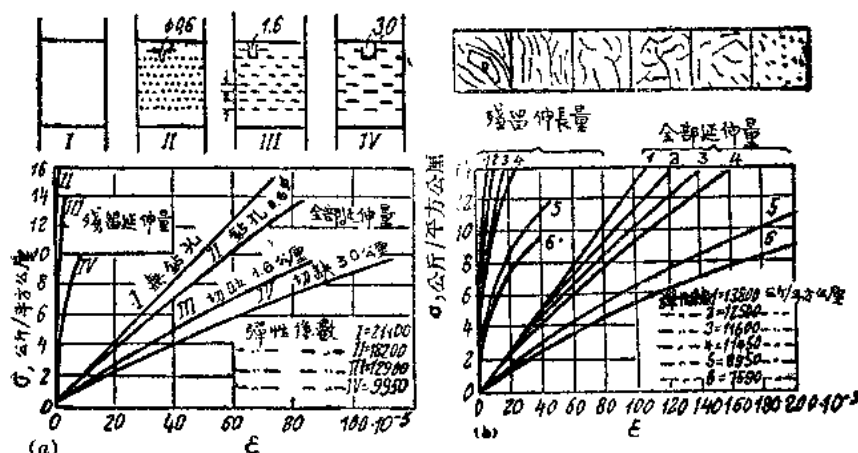
此時不均勻性逐漸增加，珠光體含量達 50% 時，不均勻性最大。

(二) 石墨的影響：石墨結晶為鑄鐵組織中的特殊組成物，其特性為：(1) 減低彈性係數，(2) 降低彈性極限與比例極限，殘留應變因石墨之存在而提早發生，(3) 降低鑄鐵的延伸性能，(4) 降低強度，(5) 增加震動中的強度，(6) 降低對切缺的敏感性。石墨對鑄鐵的強度有二種作用：一方面減少鑄鐵基體組織的有效截面積(石墨對鐵所生的截面縮小作用)，這樣實際應力便有增加；另一方面石墨又成為切缺部份，使應力分佈不均勻，容積一應力狀態亦成不均勻狀(石墨的切缺作用)。

石墨的作用，由其含量、析出時的大小、形狀及其分佈地位而定。以機械性能而論，則以平均分佈的圓形而又片片分離的石墨最佳(即球狀石墨)。較劣的形態為片狀或樹枝間結晶狀的石墨，成網狀時最劣。

(三) 石墨對彈性的影響：鋼中設置人工刻痕時，彈性係數降低，同

刻痕分佈情形



(a) 鋼中鑽孔時的情形

(b) 灰鐵中石墨結晶的影響

圖 5 刻痕使彈性係數降低及產生塑性變形的情形

時早期發生變形。圖5示刻痕大小對彈性係數的影響，刻痕愈大則作用愈強。鑄鐵中的石墨，亦有同樣作用，使彈性係數 E 自鋼之21,000公斤/平方公厘降低至6,000~17,000公斤/平方公厘（鑄鐵）。鑄鐵內石墨含量愈大，石墨形狀愈成銳角狀，彈性係數必愈低。球墨鑄鐵及可鍛鑄鐵的彈性係數最大約在15,000~17,000公斤/平方公厘之間。

事實上鑄鐵基體的彈性係數大致相同，而各種鑄鐵彈性係數的區別，主要由於石墨的截面縮小作用而起。石墨的影響，須分兩方面看：一方面是石墨量，亦即石墨所佔的截面積；另一方面是石墨的形狀，即石墨片愈尖銳和愈長時，則鑄鐵中的受力線亦愈屈曲和愈接近。如圖6所示。這樣鑄鐵中的無效部份亦愈多，該部並無受力線，對強度不起作用。

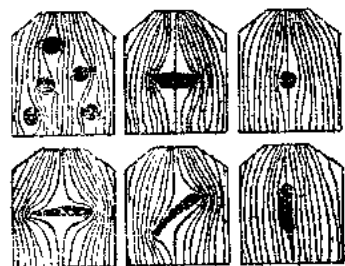


圖6 各種形式的“切缺”對受力線分佈的影響

發生上述效果時，平均應力 σ_{av} 便上昇，因而使彈性變形 ϵ_{elas}

增加，以致降低其彈性係數。由此可知鑄鐵的彈性係數，可用下述公式計算

$$\alpha r = \frac{E_{st}}{Ec} \quad (1.1)$$

上式內 α = 因石墨形狀而產生的截面收縮係數。

r = 因石墨結晶量的多少而產生的截面收縮係數。

E_{st} = 組織與鑄鐵相同時鋼的彈性係數。

Ec = 鑄鐵的彈性係數。

r 之值可根據鑄鐵的顯微鏡組織圖內石墨所佔面積而測定。亦可用化學分析法測定。全部石墨在組織檢查圖上所佔的面積約為8~15%，而由此項因素所發生的彈性係數降低率與上述數值相同。

例如 $E_{st} = 21,000$ 公斤/平方公厘, $E_c = 6,000 \sim 17,000$ 公斤/平方公厘,

$r = 1.08 \sim 1.15$, 則 α 之值, 可用公式 (1.1) 計算

$$\alpha = \frac{21,000}{17,000 \times 1.08} - \frac{21,000}{1.15 \times 6,000} = 1.15 \sim 3.0$$

上述係數, 與石墨形狀及其分佈情形有關, 此等因素, 能決定石墨結晶對截面收縮的影響, 根據上述, 可知情況最佳時, 石墨結晶宜片片分離而成圓形, 退火時所生成的石墨, 大都具有此種形狀。可鍛鑄鐵的彈性係數較大, 而 α 之值較小, 即由此項原因而起。可鍛鑄鐵的性質, 大致如下:

σ_b , 公斤/平方公厘	30	30	33	35	37
δ , %	3	6	8	10	12
E , 公斤/平方公厘	15000	15500	16000	16600	17000
G , 公斤/平方公厘	6200	6300	6400	6500	6700
α , (鐵內含 2.5% 退火石墨)	1.3	1.25	1.2	1.16	1.15

退火時析出石墨愈小、形狀愈圓, 則石墨的截面收縮作用愈小, 結果可鍛鑄鐵的彈性係數 ($E \cdot G$) 便愈大。

灰鐵內石墨的截面收縮作用甚大, 因而彈性係數大為降低 ($E = 6,000 \sim 17,000$ 公斤/平方公厘)。尤以受到拉力時為然, 應力愈大, 彈性係數愈低, 石墨結晶愈細, 結晶粒片片分離而金屬基體組織的強度愈大, 則垂直及切線方向的彈性係數亦必愈大。通常灰鐵的 α 係數, 常在 1.3~3.0 的範圍內。

鑄鐵所析出的碳化物、磷化物及其他雜質, 對彈性係數的影響, 與石墨相似。在白口鐵中, 雖碳化物的含量甚高; 但彈性係數並無顯著的減低 ($E = 17,000$ 公斤/平方公厘), 其原因在於碳化物為連續結晶, 且

能負擔荷重。

(四) 石墨對延伸性及強度的作用：如前面所述，石墨非但縮小鑄鐵的有效截面積，且能造成切缺，產生應力集中作用，使之超過極限。根據試驗結果；可知石墨能降低切線方向應力，阻止塑性應變的發生。在片狀石墨的灰鑄鐵中，延伸率甚小，簡直可說是零，通常必小於1%。石墨逐漸球狀化，可鍛性逐漸增加，延伸率亦增至2~20%。經退火後灰鑄鐵內石墨成球狀時延伸率最大，約在10%以上。

切線方面應力的被阻止，主要由於灰鑄鐵的抗剪強度較大，當垂直方向的應力已足以拉斷試棒時，切線方向的剪應力遠在抗剪強度 t_{sh} 之下，試棒便生脆性斷裂。試棒表面先發生裂紋，此裂紋加強切缺作用，以致應力更為集中，使切缺部鑄鐵所受應力增加，裂紋逐漸發展，終於使鑄件斷裂。由此可知石墨對強度的影響，除截面收縮作用外，尚須計及其切缺作用。此項作用，可用下述公式計算：

$$\beta = \frac{S_c}{\alpha_f \sigma_b} \quad (1.2)$$

上式內 β = 石墨的切缺作用係數

α_f = 石墨的截面收縮係數

σ_b = 鑄鐵的抗張強度

S_c = 組織與鐵相同時鋼的抗張強度

總之，片狀石墨能大量降低鑄鐵的靜力強度及疲勞強度，即抗張強度 σ_t 、抗彎強度 σ_b' 、抗扭強度 σ_b 及疲勞限度 $\sigma_b'_{uF}$ 均減小。如表2及3所示：石墨量愈多、石墨愈粗大、形狀愈尖銳、強度的降低率亦愈大。

由此可得結論如下：減少炭素含量及使石墨微細化，均有增加鑄鐵強度之效。但使石墨微細化及減少炭量，以組織內不生樹枝間石墨結晶為限，否則雖炭素減少而組織又微細化，強度反而降低，如表2所示。

表 3 石墨量及石墨形狀對鑄鐵強度的影響

全炭素 $C, \%$	結合炭 ($C, \%$)	石墨炭 ($CG, \%$)	粗 大 石 墨			細小石墨(熱處理後製得)		
			σ_b 公斤/平方公厘	σ_s 公斤/平方公厘	f , 公厘	σ_b 公斤/平方公厘	σ_s 公斤/平方公厘	f 公厘
3.69	0.33	3.31	13.9	25	7.2	19.2	54.4	16.4
3.36	0.36	3.0	18.9	30.3	10.1	23.8	52.2	22.0
3.27	0.43	2.84	20.9	35.2	10.2	30.1	60.0	52.6
2.79	0.48	2.31	33.1	45.1	8.4	43.2	74.5	167.8

根據表 2 可知樹枝間石墨結晶的惡劣作用，對鑄鐵的延伸性及韌性最為明顯。因此炭素含量低於 2.5% 時，彎曲量 f 、扭轉角度及衝擊強度均有顯著降低，尤以耐受重複負荷時的抵抗力 (N_K)，降低量最大。反之，石墨成球狀的灰鑄鐵，不僅強度大 ($\sigma_b = 40 \sim 80$ 公斤/平方公厘)，且延伸率與衝擊強度亦大 (無切缺時 α_K 達到 4 公斤·公尺/平方公分)；但抗震強度則降低。

	σ_b , 公斤/平方公厘	σ_b , 公斤/平方公厘	f , 公厘	N_K
片狀石墨 (砂 鑄 模)	38	65	24	75
樹枝間狀石墨 (硬 模)	30	71	16	20

析出石墨量愈多，石墨結晶愈大，鑄鐵的硬度亦會降低。決定鑄鐵硬度的主要因素，為基體組織、石墨的含量、大小及地位。基質內含有石墨時，能減低鑄鐵對白氏硬度計內圓球的阻力，待鐵內所有疏鬆小孔為壓力所壓合後，始能顯出基體組織的硬度。石墨量較大而結晶又粗時，

試硬度時初期的圓球壓下量亦較大。

(五)可鍛鑄鐵的退火石墨對機械性質的影響：退火石墨^⑤對可鍛鑄鐵的影響，完全與石墨對灰鑄鐵的影響相同，圖7示此種情況。退火石墨量減少而其形狀又縮小時，可鍛鑄鐵的強度與延伸性均增加。在此種情況下，減低炭量對機械性能的效果甚大。

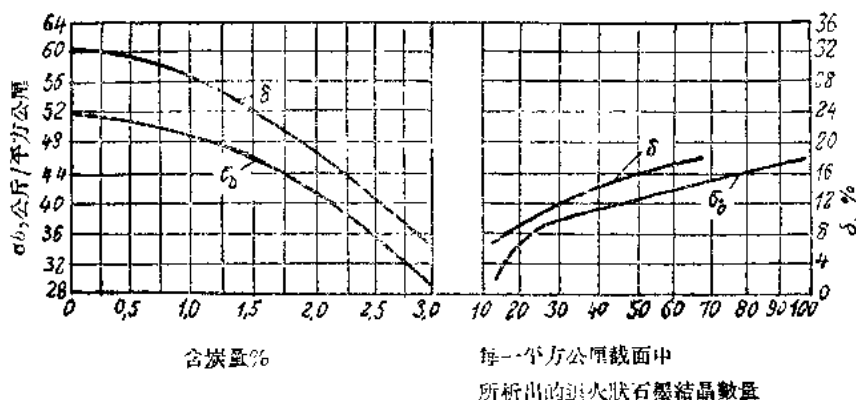


圖7 石墨結晶數量及大小對可鍛鑄鐵機械性質的影響

可鍛鑄鐵的延伸性能，不但與石墨結晶的微細化有關，析出石墨結晶的堅實化與球狀化，作用更為顯著，據許華爾茲氏的研究，降低退火處理溫度，雖析出石墨粗大化；但延伸性反而提高。表4示此種情況。

表4 退火處理方法對石墨析出及機械性質的影響

退火處理方法	每一平方公厘內 所析出的石墨數	σ_b 公斤/平方公厘	δ , %	ψ , %
950°C 前淬火處理	40686	36	16.5	14.2
同前，溫度改為825°C	28456	36.7	11.9	9.7
925°C 退火處理	135	35	21.7	19.4
在臨界點下作退火處理	30	37.5	21.3	20.8

⑤tempered carbon

減少石墨量而又同時改善其形狀，有增加其耐疲勞性之效。下述為各種可鍛鑄鐵疲勞限度的比較：

σ_b , 公斤/平方公厘	30	30	33	35	37
δ , %	3	6	9	10	12
彎曲時的疲勞極限 σ_{b-1} , 公斤/平方公厘	12	12	13	14	14

(六)根據基體組織及石墨估計性質法：有的機械性質，如強度延伸性等與基體組織、石墨數量、形狀及分佈有關。有的機械性質如彈性係數等則僅與石墨量及石墨形狀有關。表5示鑄鐵各種組織與機械性質的關係。

表5 基體組織與機械性質的關係

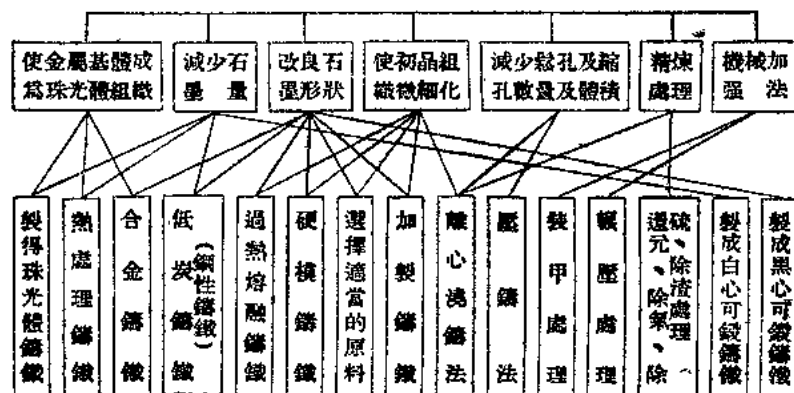
基本機械性質	與鑄鐵基本機械性質的關係		
	基體金屬組織	石墨的截面收縮作用 (縮小基體金屬的截面積)	石墨的剝蝕作用 (應力分佈的不均勻性)
彈性係數	甚弱	中等	強
彈性極限、比例極限、屈服點	中等	中等	強
強度	強	中等	強
延伸性	強	中等	強
震動強度及對剝蝕作用的敏感性	弱	中等	強
硬度	強	中等	強

(1.2) 高強度鑄鐵的製造方法

高強度鑄鐵係指強度在一般鑄鐵之上的鑄鐵。不久以前，高強度鑄鐵的最低抗張強度為 20 公斤/平方公厘，現在技術進步，高強度鑄鐵的強度已提升至 24 公斤/平方公厘。此種鑄鐵，必須具有高度的均勻性。

圖表 6 示製造高強度鑄鐵法的分類。高強度鑄鐵在工業上的用途甚大，可減少鑄件的重量。

表 6 高強度鑄鐵的製造方法



(一) 珠光體鑄鐵的製造法：高強度鑄鐵的基體組織，大部份為珠光體。最簡便的製法，為選定適當的化學成份，主要根據鑄件厚度調整炭與矽的含量，使組織成珠光體。此時必須注意，使鑄件各部份均為珠光體，即鑄鐵需非常均勻。達到此項目的，計有下述各種方法：降低炭與矽的含量、採用熱處理法、加合金法及加製處理法。

選定化學成份時，須根據組織圖，如圖 8 內的 II 部份。或根據公式 $C(Si + \log R) = 6 \sim 10$ 而試行計算炭及矽的含量。R 為鑄件計算厚度的公厘數，亦即鑄件主要部份的截面積與周圍長度的比率，炭與矽量減