

鑄鐵的材質與熔解

劉 俊 男 編著

三泰出版社（經銷）

鑄鐵的材質與熔解

劉 俊 男 編著



版權所有 請別盜印

編著兼：劉 俊 男
發行人

通訊處：桃園市郵政信箱 204 號

總經銷：三泰出版社

信箱 中壢市郵政 380 信箱

電話 (034) 586696

郵撥 01582896 號 徐阿來帳戶

2 版 76 年 4 月

定價 130 元正

印刷者：天懋彩色印刷有限公司

台北市興寧街 66 巷 2 弄 20 號

林 序

鑄鐵爲製造機械的材料中，最常用又用量最多，雖然它的強度、韌性不如鋼，然而它的鑄造溫度比鋼低，耐蝕性比鋼強，切削性好，鑄造設備簡單，價錢便宜。這些優點已不能使人們由鋼的進步發展，而把它忘掉了。相反的，鑄鐵的，鑄鐵的研究和熔解技術的進步，使鑄鐵的缺陷大爲改善，只要不必用鋼，而鑄鐵能夠勝任，其設備簡單，價錢便宜，何樂不爲。

劉俊男君，畢業於台北工專礦冶科，旋又赴日本，入早稻田大學金屬科進修，該校有專門研究鑄造的「鑄物研究所」，聞名於世。劉君在該校深造，承 加山延太郎教授等之調教，頗有心得。

余執教於台北工專機械科，雖科系不同，誼屬師生之情，又余主持黎明工專，劉君欣然應聘，材料實驗室學生之實驗，親自一一指導，其熱心教學之情，確可欽佩。

今，著有「鑄鐵的材質與熔解」一書，全書內容以冲天爐之熔解法較多，熔解物的配料、氧化熔解、確保鑄件健全性、冲天爐構造、實際操作、熔解爐的進步、爐前試驗與鐵水改善處理，等等都有獨特之見解和敘述，可供該方面工作及研究之用。

謹以爲序

黎明工業專科學校校長

林 松 林

自序

民國五十四年留日歸國後，曾入三陽工業股份有限公司任職，當時正值新機種之開發、改用低周波爐之新鑄造場籌建、經濟部要求自製率提高……等時期。

此時職員新工場之建廠，並協助生產部門安定氣缸的品管與開發工作，並將往常賴以熔解的冲天爐轉移為台灣第一基的低周波爐單爐冷材熔解。有鑒於員工對於熔解觀念的不清，而將所學以及經尚在校中之中江學長等提供之資料，利用工閒時間予以講授，有感予教材之貧乏而自行編集，是為本書之著作動機。歷一年，三陽月刊開始創刊，首四期曾連載本書第一章之一部份，因離職，而中斷。

編著之初，以現場職工為對象，是故理論部份儘量予以俗化，當時材料學並不受重視，CNS也未制訂，因此採用JIS規格以及市面上常用之術語，編著極為困難，為此而深入各地現場，也因此而獲得較深入的瞭解。

按，鑄造工業為基礎工業，關係到整體社會的生活環境，其歷史遠溯自先民由石器時代邁入銅器時代，在中華民族的整部歷史中，佔據著最為光輝燦爛的領先角色。但在數千年後，美譽為原子時代的今天，却因籠罩在神密氣氛下固步自封，再幾經戰亂而落伍了。從鑄件的外觀，我們只能瞻仰故宮博物館先民巧奪天工、鬼斧神匠的精美遺作而羨慕！而嫉妒！而自傲？從鑄件的品質，我們却只能感到先進國內鑄件，其機械性質的要求恰好為鑄件之所要求，而訝異！而興嘆！

真不知何去何從了。

本書之編著，目的在於使讀者對下賤的鑄鐵予以高貴的認識，並依正確的、可把握住的操作下熔解出恰到好處的鐵液，並可因此對已在使用中的冲天爐加以更進一步的認識與愛用。

本書中之專門術語，俱皆依循教育部頒訂之標準名詞，遇有特殊難尋者，則以一般通俗而能被接受者，並望經賢達長輩之指正洗鍊，而於再版時修正。

著者謹識

於中華民國七十二年三月

目 錄

第一章 鑄鐵的材質

第一節 鑄鐵的概念

A. 鑄鐵的成分.....	1
B. 鑄鐵的特徵.....	2
C. 鑄鐵的種類.....	4
D. 灰口鑄鐵的種類.....	8

第二節 鑄鐵的生成過程

A. 金屬的結晶構造.....	11
B. 金屬的相.....	13
C. 顯現在鑄鐵中的相.....	15
D. 鐵—碳系平衡（狀態）圖及其組織.....	17

第三節 鑄鐵的顯微鏡組織

A. 顯微鏡組織的檢鏡法.....	21
B. 各相的形狀與性質.....	22
C. 片狀石墨的形態.....	28

第四節 灰口鑄鐵的性質

A. JIS 或 CNS 中所規定的機械性質	35
B. 抗拉強度.....	41

2 鑄鐵的材質與熔解

C. 抗彎強度與彎曲度.....	44
D. 硬度.....	46
E. 其他性質.....	48

第五節 球狀石墨鑄鐵性質 52

第二章 冲天爐的熔解法

第一節 熔解物的配料

A. 熔解物的配料方針.....	57
B. 成分變動的原因.....	62

第二節 氧化熔解

A. 基於氧化熔解導致的鑄件不良.....	68
B. 鐵水氧化的理論推據.....	71
C. 因氧化熔解以致收縮巢生成的實驗結果.....	76

第三節 如何確保鑄件的健全性

A. 冲天爐的氛圍氣.....	79
B. 爐內氛圍氣與鐵水氧化的關係.....	82
C. 焦比與送風量.....	85
D. 送風量的求法.....	88
E. 過剩送風之害.....	95

第四節 冲天爐的構造

A. 冲天爐構造的概要.....	100
B. 有效高度.....	103
C. 送風口.....	104
D. 出鐵口與出渣口.....	107
E. 前爐.....	109
F. 主要部份的標準尺寸.....	111

第五節 實際操作的要點

A. 爐壁的侵蝕與內襯.....	112
B. 實際的熔解.....	116
C. 爐前作業.....	121

第六節 鑄鐵熔解法的進步與展望

A. 水冷式冲天爐.....	123
B. 熱風式冲天爐.....	127
C. 脫濕送風.....	129
D. 利用焦炭以外的燃料.....	133

第七節 爐前試驗與鐵水改善處理

A. 爐前處理.....	136
B. 接種.....	139
C. 脫硫以及石墨的球狀化處理.....	146

第一章 鑄鐵的材質

第一節 鑄鐵的概念

前言

鑄鐵是所有鑄件中產量最多的金屬材料，不僅生產成本低，最主要的還是因其本身的性質能夠充分地滿足種種使用上的需要。

本章針對鑄鐵之為何具有多重可用性而加以說明。

A. 鑄鐵的成分

鑄鐵所具有的性質從基本而言，是因為它本身含有各種化學成分。從「鑄鐵」這兩個字看來，毫無疑問地其主要的成分是鐵(Fe)，此外還含有碳(C)、矽(Si)、錳(Mn)、磷(P)、硫(S)等五種成分。這些成分的由來是原料的銑鐵（銑鐵一詞通常是指剛由鐵礦砂煉成的鐵而言，它的用途一方面做為煉鋼用，另一方面用於鑄造。用於鑄造的稱為鑄鐵，目前台灣一般工廠在習慣上，兩種名稱混合使用，本書中所稱之鑄鐵則一律以“已用於鑄造而成鑄件者”稱之），以往這些元素的配合方法尚未被瞭解的時候，是直接將銑鐵錠熔化，澆注於模子中做成鑄件。但是隨着科技的進步，發現上記五成分間相互比率的變化，可導致鑄鐵性質上的基本變化，於是隨後的熔解作業就開始着眼於成分的調整。

五種成分在鑄鐵中含量有多少，對於整體性質均有影響。其含有

2 鑄鐵的材質與熔解

量大致為以下的範圍。

C	2.50 ~ 4.00%	Si	0.50 ~ 3.50%
Mn	0.20 ~ 1.00%	P	0.03 ~ 0.80%
S	0.01 ~ 0.12%		

通常的含有量皆在以上的範圍內，各元素對鑄鐵賦有以下的性質：

(1) C與Si相關連地改變鑄鐵的性質，Si約在1%以上。而C量增加時，強度與硬度減低，流動性增加（通常的情況下）。Si少而增加C量時，硬度增加（後述之白口鑄鐵）。

(2) Si增加時，強度與硬度減低，但是可以提高鐵水的流動性。

(3) Mn可以增加硬度，也可以減低S的壞影響。

(4) P可以增加硬度，也可提高流動性。

(5) S含量多時將使材質變脆，對於鑄件的健全性有害。

以上所述及的各種作用，如依照各式的組合，則可以產生許多微妙的變化，是故調整成分的時候，必需事先考慮鑄件的機械性質。譬如，機械零件的鑄件用的是灰口鑄鐵（一種鑄鐵，其衝擊破断面呈現灰色），所注重的首推強度，因此在不致於使流動性變惡劣的可能容許範圍內，儘量減低C與Si的含量，通常抑制在C 3.0~3.3%，Si 1.5~2.3%的範圍。這樣依照各種不同用途，再進而相應地去決定目標的成分才是熔解作業上的確實根基。

B. 鑄鐵的特徵

將鑄鐵與其他鑄件所使用的金屬材料（諸如銅、鋁……等）做一比較，可以獲得下述的各項特徵。鑄鐵的種類繁多，因此也各自顯現不同的性質。此處則以最常用而能代表所有鑄鐵的灰口鑄鐵的特徵作

爲本文所要探討的對象。

首先談到的是容易“形成鑄件”，這是因爲合乎鑄鐵成分的熔鐵（鐵水或稱鐵液）流動性好，凝固時的收縮變形不大的緣故。其他的鑄件，如鋼鑄件流動性不良，凝固時的收縮也大，容易發生收縮集（爲鑄件缺陷的一種，即凝固時生成的小孔），因此鑄模中對於流道系統的設計相當麻煩，然而鑄鐵雖然不能說全無以上的困難，但設計上到底要比鑄鋼輕鬆得多。至於流動性如果好的話，即使厚度很薄的鑄件也可能澆鑄成爲鑄件，雖然鑄鐵的主要用途是做爲機械零件，但仍然可以利用上述的特性鑄造出厚度很薄的鑄件，諸如炒鍋之類的日常用品。

鑄鐵大多用於機械零件的原因，最主要的是具有相當大的強度與硬度。尤以具有甚大的耐壓強度，而極適於做機械之基座。除此之外，還有一項比鋼更了不起的性質，就是深具耐磨性，因此在汽缸的製造或其他加工機械的組件上，幾乎處處都少不得。

其次的性質是具有良好的切削性，不僅可以車削，且亦可以在其表面實施光滑的研磨，因此極適於組合成爲一整部的機器。

此外，對水的耐蝕性甚佳可鑄成輸水用鐵管。並因具有耐反復急熱的性質，而應用於澆鑄鋼錠用的鋼錠鑄模……等種種用途。

然而相反的，它也有不少的缺點。即缺乏韌性、不耐衝擊、容易被酸腐蝕、抗拉強度稍感不足……等。如果遇有特別要求的情況，就得捨棄而改用它項材料。慶幸近年來盛行在鑄鐵中添加特殊元素，或實施熱處理以獲取特殊性能，使得鑄鐵的用途更趨廣泛。

鑄鐵的通性最值得注意的，莫過於“厚薄感度”的問題。一般鑄件中，厚部位因爲冷却速度較爲緩慢，因此內部組織較粗，強度降低。鑄鐵在這方面的傾向較爲顯著，是故薄鑄件或鑄件的隅角部位由於

4 鑄鐵的材質與熔解

冷速較快而變得很硬。因此，假使在同一個鑄件之中，如遇有厚薄程度相差懸殊，則將難予鑄造成形。

上述之特性，歸納而言不過是它的內部組織（顯微鏡可以看得到）的問題吧了。雖然鑄鐵與鋼同樣是屬於鐵系統的組織，然而相互之間仍然具有很多的不同，這方面的問題容後再予討論。

C. 鑄鐵的種類

鑄鐵的性質隨着成分多寡以及製造方式之不同而有差異，因此具有很多種類。雖然沒有一項公認的方法可加以妥善的分類，但基於整理上的方便，大致可依以下之分類法而包括其他依不同立場所加予之分類。

(1)灰口鑄鐵（又稱片狀石墨鑄鐵或一般鑄鐵）。

(2)白口鑄鐵。

(3)冷硬鑄鐵（又稱冷剛鑄鐵）。

(4)斑鑄鐵。

(5)球狀石墨鑄鐵（延性鑄鐵）。

(6)可鍛鑄鐵（展性鑄鐵）。

(7)合金鑄鐵。

以上之中以灰口鑄鐵的產量最多，通常如單獨稱“鑄鐵”，多半指的是灰口鑄鐵。這種鑄鐵的破斷面顏色為灰色故因而稱之。其成分之特徵是含 Si 量較多，通常在 1.0% 以上。

白口鑄鐵的破斷面呈現白色，組織與灰口鑄鐵不同，性質非常堅硬。通常 Si 的含量少於 1% 時，很容易變成白口組織。如再予增加 Si 的含量，也很容易再變成灰口鑄鐵。而鑄件厚度較薄的位置，往往因冷卻較快易變成白口鑄鐵。在現場工作中，常可聽到“鑄件成為 Chill

”就是指這一回事，吾人似乎可以將之譯為“白銹化”。這種白口鑄鐵既硬且脆，甚難予以加工，實際上的用途不大，鑄造時應儘量設法避免發生。但在爾後將予介紹的可鍛鑄鐵，却是極為重要的母材。

冷硬鑄鐵是利用鑄鐵急冷時，容易白銹化的特性，採用金屬鑄模（傳熱性佳）使鑄鐵表面成為很硬的組織。因此用於需要表面堅硬的滾軸或車軸等最為恰當，又因中心部位仍然屬於較軟的灰口鑄鐵，是故整個鑄件對於脆性的缺陷，正因此而獲取補償。

斑鑄鐵是灰口與白口鑄鐵的混合物，毫無實用價值，只不過在組織學上，予以分類而提出來的名稱而已。

球狀石墨鑄鐵是近年來發明的，具有優良的機械性質，它有充分的韌性，尚且各方面的機械強度皆比灰口鑄鐵強。

於此不妨對石墨一詞先做個說明，石墨也稱黑鉛（日文漢字以黑鉛稱石墨，所謂鉛筆的鉛即指石墨），它是成為結晶形狀的碳（結晶的意義容後再予說明）。對灰口鑄鐵，炭元素自熔融狀況的液態凝固後，顯現出彎曲的板狀石墨，稱之為片狀石墨。至於白口鑄鐵，則沒有這種石墨出現，碳元素與鐵化合而形成白色的碳化鐵（ Fe_3C ），因此所謂的破面顏色亦即指石墨單獨存在之有無而言。

球狀石墨鑄鐵正如其名，石墨的形狀是圓球形的，這是由於添加少量的鎂（ Mg ）、鈰（ Ce ）、鈣（ Ca ）等元素於鑄鐵的熔液中促成的。儘管如此，石墨原先仍舊屬於片狀，只不過因添加少量上述的特殊元素，使得石墨彎曲以迄球形的，以致具有強韌的性質。此種鑄鐵的製造技術並不怎麼簡單，但很可能隨着將來實用上的需要而逐漸被開發到普遍的程度。

可鍛鑄鐵是白口鑄鐵經熱處理得到的。以熱處理的方法將碳從鐵碳化物中分解出來，成為塊狀的石墨組織。整體材料的基地（ Ma-

6 鑄鐵的材質與熔解

trix) 變軟而具韌性，片狀石墨也消失而成為塊狀，因此比灰口鑄鐵更強韌，很早以前就有這種製造方法，只可惜需要實施長時間的熱處理工作，在時間上極為浪費。

合金鑄鐵是針對耐蝕、耐熱、耐磨等特殊性質的要求為目的，添加鉻 (Cr)、鎳 (Ni)、銅 (Cu)、鉬 (Mo) 等特殊合金元素於鑄鐵中。也有特別增加普通成分中的 Si 元素。從組織上而言，有屬於灰口



圖 1-1 灰口鑄鐵的組織 ($\times 400$)

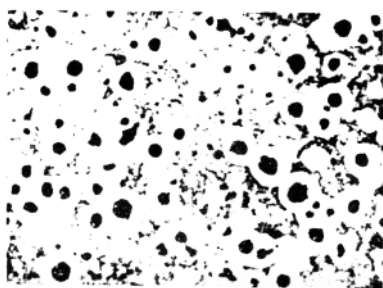


圖 1-2 球狀石墨鑄鐵的組織 ($\times 80$)

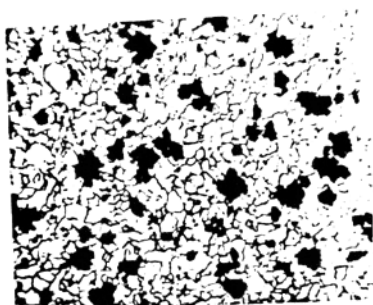


圖 1-3 可鍛鑄鐵的組織 ($\times 100$)



圖 1-4 白口鑄鐵的組織 ($\times 300$)

鑄鐵，也有屬於白口鑄鐵的。

以上所述各種鑄鐵的顯微鏡組織，圖 1-1 ~ 1-4 爲其典型代表，有關組織這個名稱與其內容，容後再做更詳細的說明，這裏只需暫時對其間的差別予以做區別上的認識就夠了。

8 鑄鐵的材質與熔解

D. 灰口鑄鐵的種類

所有各個種類的鑄鐵，根本上可說皆以灰口鑄鐵為基礎所演變而來的，是故不妨對灰口鑄鐵的詳細種類，予以進一步的探討。此種鑄鐵也是依照成分比率的不同、熔解方法……等而支配其本身的性質，因此使用時務必選擇適於用途的品種為宜，這方面的分類，我國於近年來才陸續訂定，而以 CNS 為其代號，但仍未臻完整，工業上通常採用的有美國的材料規格 (ASTM)、日本工業規格 (JIS)、以及中華民國國家標準 (CNS) 等，本書因考慮到現行國內的度量衡制度以及本省大部分工廠使用上之習慣，一律採用 JIS 與 CNS 為主而加以介紹。表 1-1 表示灰口鑄鐵的六個種類。

表 1-1 灰口鑄鐵件的種類

種 類	記 號	抗拉強度 (kg/mm ²)
JIS 灰口鑄鐵品第一種 CNS 灰口一號	FC 10 GC 10	10 以上
JIS 灰口鑄鐵品第二種 CNS 灰口二號	FC 15 GC 15	15 以上
JIS 灰口鑄鐵品第三種 CNS 灰口三號	FC 20 GC 20	20 以上
JIS 灰口鑄鐵品第四種 CNS 灰口四號	FC 25 GC 25	25 以上
JIS 灰口鑄鐵品第五種 CNS 灰口五號	FC 30 GC 30	30 以上
JIS 灰口鑄鐵品第六種 CNS 灰口六號	FC 35 GC 35	35 以上