

鑄鋼材料

R. Bertschinger 原著

孫 成 璠 譯

科學技術出版社



內 容 提 要

本書係由原著者集合有關鑄鋼方面的研究結果編寫而成，以較精簡的篇幅，扼要介紹鑄鋼的特殊性能和金屬的結晶組織並包括若干特種合金鑄鋼的實用資料，可供從事實際生產的專業技師作為參考。

本書可供大專學校冶金及鑄造專業系科作為教學參考用書，亦可供工廠人員作為研究之用。

鑄 鋼 材 料

Der Workstoff Stahlguss

原 著 者 R. Bertschinger

原出版者 R. Winter Verlagsbuchhandlung, Zürich, 1948

譯 者 孫 成 瑞

*

科學技術出版社出版

(上海錢園西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可証出〇七九號

錦章印刷所印刷 新華書店上海發行所總經售

*

書 號：85

開本 787×1093 1/32·4 7/16印張·84,000字

一九五六年一月第一版

一九五六年四月第二次印刷·印數1,501—5,510

定價：(16) 六角

原 序

鑄鋼材料在機械製造工業中作為製造原料來看是佔着很重要的地位的，一方面因為用灰鑄鐵及馬鐵來製造機件在性質和特性上都不能符合許多機件的要求而不能應用，另一方面用壓力加工來鍛製的許多鋼機件也因為鍛造技術上的困難問題或經濟上的緣故，不宜採用，所以鑄造製成的鋼機件就十分需要了。

這本書的編寫目的主要是介紹鑄鋼的一些特殊性質，因此就將重點放在特殊性質的相互關係和金屬的結晶組織兩方面。因為主要內容所受的限制就不可避免地將鑄鋼的普通範圍拆散開來，若是設想用來培養青年工程人員和專業技工，那是應當給他們一個全面和最新的關於鑄鋼方面發展概念的。此外就是在擴充的範圍內也不可能將每個問題都詳細地加以介紹，因為這本書並不想用來代替一種較大的鑄鋼專門著作，而是僅僅供獻給讀者一個有一定範圍的讀物。

雖然本書有一些內容上的限制，可是在目前為了專業教學情況的需要下必須有一個精簡的篇幅。從事機械製造的機械設計人員、工程人員及專業技工在這本小冊子裏是可以找出許多有用的資料的。編者認為，若是這本書能够使讀者了解重要的鑄鋼材料及其各種性質以及促進它的正確應用問題，則這個編寫工作已經是達到預期的目的了。

我在此地要感謝 Georg Fischer A.G. 鋼廠從實際中指示給與的幫助,此外還要感謝使本書得以出版的工廠叢書出版社、瑞士電影印製社所作的優良附圖及 H. Börsigs Erben 印刷廠出色的印刷技術。

工程博士 R. 伯爾特新格。

1948. 蘇黎士,瑞士。

目 錄

原 序	1
第 一 章 概說	1
1-1 鑄鋼的定義	1
1-2 鑄鋼的應用	1
1-3 鑄鋼的分類	1
1-4 鑄鋼的生產指數	3
1-5 鑄鋼的發展方向	4
第 二 章 結晶組織和熱處理	6
2-1 純鐵的結晶	6
2-2 碳鋼的結晶	10
(1) 初次結晶組織	14
(2) 二次結晶組織	16
2-3 鑄鋼的熱處理	24
(1) 正常化	27
(2) 調質處理	34
第 三 章 鑄鋼的性質	49
3-1 可硬性	49
3-2 疲勞強度	55
3-3 鑄鋼在高溫及低溫時的性能	57
3-4 磁性	63
3-5 鑄鋼對腐蝕的反應	73
3-6 焊接性	75
3-7 膨脹性、導熱性及比熱	77
3-8 電阻	80
3-9 合金可能性	81
第 四 章 鑄鋼的標準	82
第 五 章 特種合金鑄鋼	85
3-1 低合金鑄鋼	86
(1) 一元合金	86
1. 砂鑄鋼	87
2. 鐵鑄鋼	88

3. 鎳鑄鋼.....	90	(1) 抗磨鑄鋼.....	119
4. 銅鑄鋼.....	96	(2) 耐抗化學侵蝕的鑄鋼	
5. 鉻鑄鋼.....	100	鉻及鎳鉻鑄鋼.....	122
6. 鉬鑄鋼.....	103	1. 含低碳的鉻合金鑄鋼	
7. 鈳鑄鋼.....	105	(含碳量0.2—0.3%)	123
(2) 多元合金.....	106	2. 含中碳的鉻合金鑄鋼	
1. 鎳鉻合金鑄鋼.....	106	(含碳量0.4—0.6%)	124
2. 鎳鉻及其他元素合金		3. 含高碳的鉻合金鑄鋼	
鑄鋼.....	110	(含碳量1—2%)	125
3. 鉻鉬鑄鋼.....	113	4. 高級抗化學侵蝕的鎳	
4. 其他合金鑄鋼.....	117	鉻鑄鋼.....	128
3-2 高合金鑄鋼及其特種		(3) 耐熱鑄鋼.....	132
性質.....	118		

第 一 章

概 說

1-1 鑄鋼的定義 將熔化了的金屬澆鑄在模型中所製成的鋼機件，事後不再用熱壓力去加工的叫作鑄鋼。根據熔鑄所用的鋼料種類以及鋼鑄件所施行的不同熱處理方法，鑄鋼將具有範圍很大的性質區別。

1-2 鑄鋼的應用 機器製造工業中有許多鋼機件，造形比較複雜，用鍛造的方法難以施工或者不經濟，這類機件就最宜用鑄造的方法來製造。關於鋼鑄件的要求；如在工作中低溫及高溫時的機械性質、熱態及冷態時對化學的侵蝕影響、導電及透磁性、耐磨性能等都可以和用壓力加工製成的同類鋼件一般所要求的相符合。

1-3 鑄鋼的分類 為了一般機械製造上的目的，冶煉部門給鋼料使用者規定出可施行熱處理的以及可調質處理的鋼鑄件各種含碳量的原料，這些原料足以使絕大多數設計上的任務不僅在工藝上就是在經濟上都能够得到完滿的解決。

在沒有特殊金屬熔合的鑄鋼即所謂非合金鑄鋼中，所含有的一般金屬雜質量，伸縮在下列的範圍之內：

矽 (Si)	自 0.2 至 0.75%
錳 (Mn)	自 0.5 至 1.0%
硫 (S)	最多至 0.06%
磷 (P)	最多至 0.05%

根據含碳量(C%)可以分爲：

低碳鑄鋼，碳含量至 0.2%

標準鑄鋼，碳含量自 0.2 至 0.4%

高碳鑄鋼，碳含量至自 0.4 至 0.9%

各種不同含炭量的鑄鋼具有下列的機械性質：

含 碳 量	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.9	%
抗 拉 強 度	30~60	40~90	50~100	公斤/公厘 ²
屈服點強度	10~30	20~70	25~85	公斤/公厘 ²
布氏 硬 度	90~140	130~325	150~500	公斤/公厘 ²
伸 長 率	12~35	6~40	1~30	%
收 縮 率	15~65	3~65	0~55	%
衝 擊 韌 性	8~15	3~10	—	公尺公斤/公分 ²

爲了滿足鑄件的特種要求，可以應用價值高的特種合金熔鑄鋼件，即所謂合金鑄鋼。這種情形也常常在試驗着是否可以用普通鑄鋼經過調質來達到鑄件的要求。這樣做法，經實際經驗證明是常常可以成功的，這和以往許多鑄造者所持的看法不同，他們認爲要改善鑄件的機械性質必須適量的加入合金。

合金鑄鋼分爲低合金及高合金鑄鋼。合金的各種成分應有下列的範圍(最大容許的有害物質 $S < 0.06\%$ 及 $P < 0.05\%$ ，特種金屬元素時常有一種以上)：

	低合金鑄鋼	高合金鑄鋼
C	0.1 ~ 1.0	0.05 ~ 1.7 %
Si	0.2 ~ 0.75	1.0 ~ 3.0 %
Ni	0.25 ~ 5.0	6.0 ~ 65.0 %
Cu	0.15 ~ 2.75	0.5 ~ 8.0 %
Mo	0.2 ~ 1.0	0.5 ~ 17.0 %
Mn	0.5 ~ 3.0	10.0 ~ 14.0 %
Cr	0.35 ~ 6.5	8.0 ~ 35.0 %
V	0.15 ~ 0.65	0.2 ~ 4.0 %
W	0.75 ~ 1.5	0.5 ~ 12.0 %
Co	—	0.5 ~ 4.0 %

機械性質的範圍應如下：

	低合金鑄鋼	高合金鑄鋼
屈服點強度	30 ~ 135	18 ~ 125 公斤/公厘 ²
抗拉強度	50 ~ 175	30 ~ 175 公斤/公厘 ²
布氏硬度	140 ~ 500	至 680 公斤/公厘 ²
伸長率	1 ~ 35	0 ~ 75 %
收縮率	3 ~ 70	0 ~ 75 %
衝擊韌性	至 20 以上	至 30 以上 公尺公斤/公分 ³

單獨用合金鑄鋼的化學分析及機械性質來區別鑄鋼的應用可能性是不正確的，因為加入合金物質的影響常常發生了完全不同的性質變化，如關於在熱焰中或承受磨應力或對於化學侵蝕等的反應都與合金物質有關的。因此在高合金鑄鋼的分類中就應當是以鑄鋼的用途不同來決定，而不是以鑄鋼的固定化學成分來區分。

1-4 鑄鋼的生產指數 鑄鋼的可靠生產統計資料不可能

獲得，近幾年來的尤其是不清楚，不過在僅有的幾個國家的生產數字上來看也約略可以得到一個鑄鋼生產的意義。

例如 1934~35 年德國的年產量約為 300,000 噸，其中有 180,000 噸是由 85 個鑄鋼廠在 85 個鹼性西門子馬丁爐(平爐)及 27 個酸性平爐以及 70 個酸性轉爐，此外還在約 40 個電爐內熔煉澆鑄出來的。灰鑄鐵、馬鐵和鑄鋼三者之間的產量比例在 1913 及 1934 年間變化很小，它們的比數為 100:2~4:5~6。在作戰期間是假定鋼鑄件大量增加的(約佔鑄件生產的 30%)。

美國的鑄鋼生產可查考的遠在 1867 年之後，當時因為鐵路上的需要產量逐年增加，根據統計美國在 1900 年約產鑄鋼 200,000 噸，在 1929 年為 1,600,000 噸，到 1936 年又縮減到 800,000 噸，此後在第二次世界大戰中又復猛升起來。在 1944 年的統計產量數字中可分析如下：

美國 1944 年的鑄鋼生產量

爐子型式		操作方法		爐子數目	年產量(噸)
平	爐	鹼	性	60	250,000
平	爐	酸	性	70	300,000
電	爐	鹼	性	85	150,000
電	爐	酸	性	337	1,300,000
轉	爐	酸	性	66	100,000 以上

在其他的統計資料中載有 1944 年的鑄鐵、馬鐵和鑄鋼的比例為 100:1.3:3.7；全部鑄造生產共有 6 千 9 百萬噸，鋼的生產量為 9 千萬噸。

關於瑞士的生產統計，因為不能得到準確的數據此地不能

列舉。

1-5 鑄鋼的發展方向 鑄鋼的自然應用範圍擴大到凡是機件造形用鑄造的方法最適宜和最經濟的都趨向着改用鑄鋼來製成，不但許多原來用鍛造製成的機件，就是某些有色金屬製件都改用鑄鋼來代替了。例如一部福特拖拉機內的機件是由下列的各種方法製成的，由此可以看到鑄造品佔有較大的比例：

鍛壓製成品	425.5 公斤 = 44.6%
灰鑄鐵製成品	225 公斤 = 26.7%
鑄鋼製成品	174 公斤 = 18.2%
馬鐵製成品	78.5 公斤 = 8.2%
有色金屬鑄件	22.0 公斤 = 2.3%
鑄造品總計	529.5 公斤 = 55.4%

在另一方面也有一種趨勢，用焊接的各種結構來代替鑄造品。但是鑄鋼本身就宜於焊接加工，可以算做焊接結構的一類，因之這種趨勢對於鑄鋼並沒有多少衝突的地方。

第二章

結晶組織和熱處理

2-1 純鐵的結晶 純鐵元素(Fe)和其他金屬元素一樣冷卻到它的熔點(約 $1,530^{\circ}\text{C}$)就結晶成為固體,並且在凝結的時候溫度在此處保持不變(停止點)。鐵的原子在空間排列成一定的陣勢**晶格**,並且從結晶的各個中心芽開始向一定的結晶軸向發展開來,慢慢就組成**晶粒**。純鐵的原始晶胞(在 $1,530^{\circ}\text{C}$ 時結成的)是一個很小的立方體,它的邊長只有約 $\frac{2.9}{10,000,000}$ 公厘 =

$2.9\text{\AA}$ (埃^①用來測量晶格常數 a)。圖 1 中所示為**體心立方晶胞**

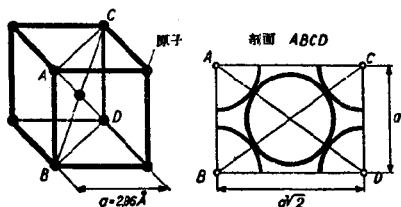


圖 1. 體心立方晶格(純鐵, $\alpha\text{-Fe}$)。

$\alpha\text{-Fe}$ 就屬於這一種。

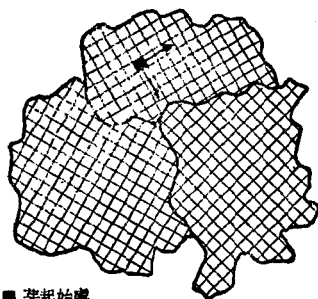
的示意圖,除在立方體每個角上有一個原子之外,中心還有一個原子。金相學中叫它為**體心立方晶格**。具有這種晶格的金屬元素有很多,純鐵體或

金屬熔液中從產生的極小芽開始向各方向結出一個連一個

① Angström

的晶胞，初起時是自由發展着的(圖 2)，等到它和鄰近的晶體相抵觸時生長就被阻停止了。兩個晶粒的邊界是不整齊的，因此造成各式各樣的晶粒形狀。

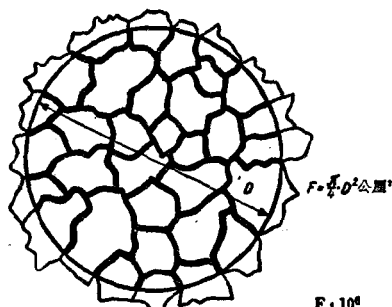
熔液中產生的芽數愈少，晶粒的數目也愈少，晶粒就愈粗大，情形相反時晶粒就細密。我們叫它為粗粒的或細粒的鋼，並且用每立方公分內的晶粒數目來計算。十分準確的晶粒數是很難求得的。鑑定晶粒



■ 芽起始處

圖 2. 結晶晶粒生長示意圖。

數目可以將金屬平面研磨並拋光，再用酸蝕法使晶粒的界限在金相顯微鏡下面可以看出來，在鏡頭下加裝一塊磨砂玻璃，在這上面有一個圓圈，圓的對徑是規定了的。這樣即可將圓圈內的晶粒數目計算出來(圖 3)。



整粒數 = Z_1

不全晶粒數 = Z_2 平均晶粒大小 = $\frac{F \cdot 10^4}{(Z_1 + cZ_2) \sqrt{\pi}}$ 用 μ^2 計 $c \sim 2\%$

圖 3. 晶 粒 大 小 鑑 定。

碳鋼的粒度在美國是照 ASTM^① 標準來計算的，試件須經過八小時 927° 的煨火，計算時以平方吋 (~ 645 公厘²) 及放大 100 倍為準，粒度等級如下：

號 數	晶 粒 數 目
1	至 1.5 個晶粒
2	1.5 至 3 個晶粒
3	3 至 6 個晶粒
4	6 至 12 個晶粒
5	12 至 24 個晶粒
6	24 至 48 個晶粒
7	48 至 96 個晶粒
8	96 以上 個晶粒

純鐵金屬熔液冷卻到它的熔點以下將發生收縮，每個晶格收縮的總和即鐵的收縮量。在 1401°C 時鐵原子陣式又發生重排的工作， α -Fe 的晶格中原子位置除立方體的角上仍舊佔有一個之外，在立方體的每面中間還列有一個，而立方體中心的一個原子則不存在了。這種晶格叫做**面心立方**。晶格的每邊長度比 α -Fe 的大 (約為 3.56 Å)，我們叫這種情況結晶的鐵為“ γ -Fe”或稱為奧斯丁體 (圖 4)。

在 1,401°C 晶格變化的同時還要放出熱量來，因為這個熱量可以使冷卻的溫度停留一會不繼續下降。在溫度——時間曲線上顯出一個平行於底邊的階段，我們叫它為**停止點 A_1** ^② (見圖 5)。與原子重行安排的同時金屬將發生收縮，因為在 γ -Fe 內

① ASTM——美國材料試驗協會

② A 為法文 Arrêt = 停止。

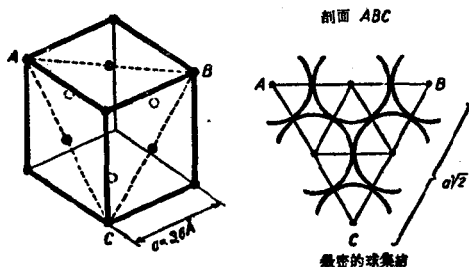
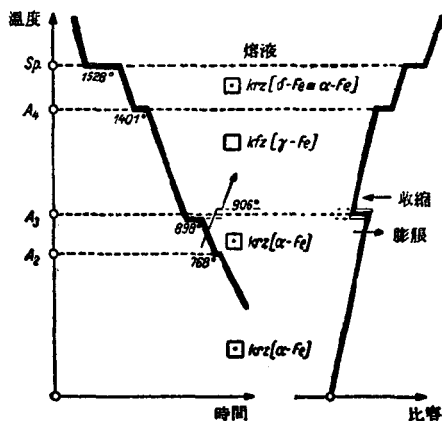
圖 4. 面心立方晶格(γ -Fe, 奧斯丁體)。

圖 5. 純鐵的冷却曲線。

原子之間比 α -Fe 互相靠得緊些。計算出來在一個小的立方體內邊長為 $10 \text{ \AA}$ 時 γ -Fe 有 86 個原子， α -Fe 只有 82 個。

在繼續冷却到 898°C 時又會發生一個相反的變化，同時體積也脹大一些，從 γ -Fe (奧斯丁體) 再變成 α -Fe (純鐵體)。自溫度 898°C 以下晶格原子的變化就不再有。在鐵內含有碳

元素(C)時,奧斯丁體的變化就是使鋼料發生淬硬性的原因,鐵內若是原子結構成為 α -結構不發生變化,則自熔點以至常溫時都不能淬硬或調質處理。用適當的合金配合可以得到這種鐵(純鐵體鋼)。各種鋼若是它的奧斯丁體形態直到常溫還不發生變化,即不由 γ -Fe轉變到 α -Fe時也沒有淬硬性(奧斯丁體鋼)。鋼的淬硬性是和 $\gamma \rightarrow \alpha$ 轉變相聯系的,沒有這種特性存在,鋼鐵就不可能成為重要的製造材料了。

2-2 碳鋼的結晶 若是在鐵內加入適合於鑄鋼通常的碳成分,則自熔液中冷卻時直接變為 γ -Fe(C成分 $>0.36\%$)或者在高溫時由已結成的 α -Fe在 $1,401^\circ\text{C}$ 以上轉變為 γ -Fe(圖6)。碳原子也和鐵原子一樣有一個球形的作用範圍,這個範圍是所謂原子半徑所造成的。碳原子可以安置在 γ -鐵原子晶格立方體的邊上或者在立方體的中心。因為晶格中的空隙不多,有了

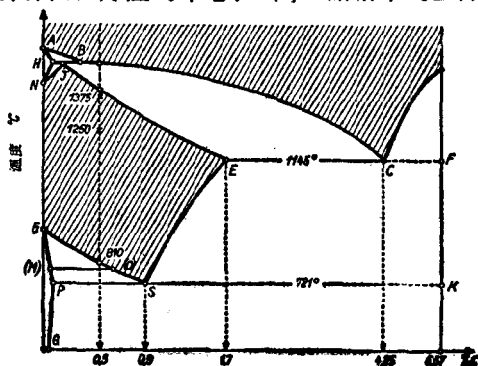


圖 6. 鐵碳合金平衡圖。

