

馬 鐵

蔣 承 蔭 編 譯

華 豐 鋼 鐵 廠 出 版

馬 鐵

蔣 承 蔭 編 譯

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

華 豐 鋼 鐵 廠 出 版

前 言

鋼鐵工業，是一切工業的基礎，一個國家，沒有鋼鐵工業，就根本談不到工業化，目前，我國的鋼鐵工業，已迅速地發展起來，將來一定有更多的同志，要來參加這一項工作，但是要搞好一件工作，參攷資料是很重要的，我國有關鋼鐵工業的書籍，以前很少，近來雖然有許多書籍出版，但還覺不夠，尤其是專門一點的書籍，更覺缺乏，單以馬鐵而言，除了外文資料以外，中文的可以說極少，所以本廠計劃編譯這本書，一方面供給已從事鋼鐵工業的同志，一些有系統的參攷資料，另一方面，供給準備參加鋼鐵工業的同志，一些學習的資料。

本書主要參攷下列幾本書籍：

Schuz & Stotz: La FonteMalléable

Leroyer: La Malléable

American Malléable Iron, a Handbook

內容注重馬鐵的金相理論及其製造過程，我國目前對冶金及金相方面的名詞還沒有一定的標準，本書所用的各種專門名詞，只能採用習慣上常用的名詞，並且本書因在急忙中抽暇編譯，草率之處，在所難免，希望各位給與指正。

現在有一種新的金屬發明，這便是球墨鑄鐵，所以簡述於附錄中作為參攷。

本書由潘仲飴君發起編譯，由嚴國泰經理主持，並蒙本廠總工程師嚴開鎬老師及諸位工程師幫助校訂，特此誌謝，

目 錄

緒論	1
----------	---

第一編 馬鐵的科學原理

第一章	馬鐵生坯的金相組織	8
第二章	馬鐵在熱處理時的變態	15
第三章	各種元素的影響	29
	一、碳 二、矽 三、錳 四、磷 五、硫	
	六、銅 七、鉻 八、鉻 九、鎳 十、鈮	
	十一、鉬 十二、鎢 十三、鋁 十四、鈦 十五、鈾鉛	
	十六、硼 十七、氫 十八、氧 十九、氮	
第四章	馬鐵製品的金相組織	44

第二編 馬鐵的製造過程

第五章	熔鐵工場	77
第一節	原 料	77
第二節	熔 爐	79
	一、坩堝爐	79
	二、熔鐵爐或冲天爐	85
	三、反射焰爐	95
	甲、燃油迴轉反射爐	100
	乙、煤粉反射爐	104
	四、平爐	111
	五、電爐	117
	六、混合熔鍊法	119
	甲、熔鐵爐與轉爐	119
	乙、熔鐵爐與燃油迴轉反射爐	123
	丙、熔鐵爐與電爐	124
	丁、熔鐵爐，轉爐，電爐三重熔鍊法	124

第六章	翻砂工場	127
第一節	模砂的製備	127
第二節	泥心的製造	128
第三節	翻砂的技術	132
第四節	澆鑄的技術	137
第五節	鑄品的設計	140
第七章	生坯整理工場	154
第八章	退火爐工場	155
第一節	退火箱	155
第二節	充填物	159
第三節	溫度的控制	162
第四節	退火爐的種類及式樣	165
第五節	退火過程	185
第六節	退火不良的缺點	192
第九章	成品整理工場	199

第三編 馬鐵的性質

第十章	馬鐵的物理性質	200
第十一章	馬鐵的機械性質及其規格	210
第十二章	馬鐵的工程性質	220
第十三章	鋼性馬鐵合金馬鐵與熔鐵爐馬鐵	225

第四編 馬鐵的用途

附錄一	馬鐵參攷資料	243
附錄二	球墨鑄鐵	245

馬 鐵

緒 論

馬鐵一名可鍛性鑄鐵 (Malleable Iron)，也叫做韌鐵，其主要成份，是一種鐵與碳的合金，可以像一般普通生鐵澆鑄成物件，澆鑄所得生坯性質硬而脆，但生坯經過熱處理以後，便變成軟而韌的物件。馬鐵因為具有一定的金相組織，以及有價值的性質，可以使用在各種不同的地方，他主要的特性是：強大的柔韌性，極高的耐震性，可以抵抗強烈及連續的衝擊，延長性及抵抗腐蝕的能力也很好，車鉋容易，而且鑄造的時候，流動性甚佳，所得鑄品，不論大小及形狀，與模型比較，決不走樣。今簡單地介紹馬鐵由來的歷史，可知馬鐵的性質，亦並非一日或一年所造成的。

在有歷史的記載以來，鐵器已普遍地使用於歐洲、亞洲、非洲各地；無疑的，在歷史的記載以前，上古時代的人類，已經發現了鐵，而且用鐵製造了許多簡單的工具及武器。他們知道，將某種紅色的泥土加熱至赤熱，所得的東西，可以隨心所欲，鍛打成各種物件，這便是“冶鐵”的開始，他們所沒有知道的，就是此種紅色的泥土，便是鐵礦石（氧化鐵），而他們所用的木炭，使鐵礦還原。就是說，鐵礦石中的氧氣，被木炭奪去，殘留下的便是純鐵，他們也沒有知道，他們用以加熱的木炭，便是一種良好的還原劑。

在“冶鐵”的初期，因為溫度不夠高，只能產生一種赤熱海綿狀鬆質的鐵。這種鐵的成份很純粹，差不多是純鐵，因為那時候所能得到的溫度，尚在鐵與其他元素（尤其是碳）化合所需的溫度之下。但是因為這種鐵的形狀是漿狀，還有許多渣滓與鐵混合在一起。

後來熔爐被漸漸改進，溫度漸高，但冶鐵工作者，反而覺得所得的鐵，比以前更難處理，並且冷後容易碎裂，他們便根據自己的經驗，設法克服這不歡迎的性質，他們將鐵重行熱至赤熱，結果發現這些鐵一部份可以回覆到以前柔韌的性質。

因為冶金學那時尚未發達，他們並未知道鐵中究竟起了何種變化，他們的工作，完全依據着自己的經驗，但他們已準確地使用了最新的化學定律：“在適當的高溫時，碳素在鐵中可以自由移動”。

在鐵與其周圍物件之間，如果後者含碳較多，那末碳素將漸漸進入鐵中，如果鐵含碳太多，那末鐵中的碳也會漸漸地移向表面而脫離。第一種吸收碳素的變化，叫做“吸碳作用”。第二種排除碳素的變化，叫做“脫碳作用”。吸碳作用時，碳與鐵化合成為碳化鐵，這是一種比純鐵硬而脆的東西，脫碳作用使碳素自碳化鐵分離，使鐵回復到質軟的純鐵狀態。

在起初，由直接還原鐵礦而得到的鐵，可以鍛鍊，因為這時的溫度，尚不足發生吸碳作用。但自熔爐改良而溫度增高以後，碳使鐵硬化的作用，便漸漸地明顯起來，因此冶鐵工作者不得不採取間接的二次工作法，就是先將鐵礦還原，產生一種含碳較多質硬而脆的鐵，然後加熱處理，使鐵脫碳成為可鍛的熟鐵，在還原鐵礦時，大量木炭與其燃燒的氣

體，使鐵的周圍含有過量的碳素，於是產生吸碳作用，使鐵漿變硬而不易加工。在重行加熱鐵漿時，只需要少量的燃料，於是碳化鐵便分解了，分離後的碳，漸漸向表面移動而脫離，於是鐵漿便轉化為純鐵。

由於那時的工作者覺得，在某種限度內，產生大量熱量所需的人工，並不較小量熱量為高，而建築大熔爐的費用，並不與建築小熔爐的費用成正比，因此熔爐的容量愈造愈大，加入的礦石及木炭也隨之而增加，同時礦石與木炭接觸的時間也漸漸加長，所以溫度增高，吸碳作用也加強，這些條件都是所希望的，使有一天所得的鐵，可以如其他一般金屬熔化而澆鑄。

在十四世紀的初期，這一天終於來到，鐵中含碳量的增加，已使其熔點降低至爐溫左右，於是在某些熔爐內，鐵真真地熔化了。當打開熔爐以取出鐵漿時，見到鐵水聚集在熔爐底部，而輕質的渣滓却浮在鐵水的上面，液鐵凝固後，所得的鐵，含有多量質硬的碳化鐵，但含渣滓甚少，因此加熱鎚擊以排除渣滓，幾乎成為不必需的工作，這證明間接方法較直接還原法更為經濟。因為直接還原法中，使用較低的溫度，以避免吸碳作用，因此需要較長的還原時期，而且又需長時期的鍛鍊工作，以排除鐵中的渣滓，故間接法在十四世紀成為最常使用的冶鐵方法。

依靠着其他金屬的簡單翻砂知識與技術，鐵的翻砂工業不久也開始了，但是因為所得的物件硬而脆，用途受到巨大的限制。

這時候雛形的鐵的翻砂工業，因為用途的限制，只需要少量鐵水。製造鐵水的方法有二種，一種是將礦石還原，另一法是將生鐵塊(Pig iron)熔化，自然第二法比較便利，因此至今生鐵為現在鐵的翻砂工業中主要

的原料，並且除生鐵塊以外，灰口生鐵，馬鐵或澆鋼，都不用礦石直接還元製造。

現在回覆到鐵能夠熔化的時候，這時候二種性質相反的東西已開始對立了；一件是熟鐵，因為他含碳極少，力強，延性極好，但是需要笨重的工具去鍛鍊它，只能用以製造形狀簡單的東西。第二件是鑄鐵，含碳極高，質硬而脆，但却能澆鑄各種大小及形狀複雜的東西，於是欲設法製造一種具有熟鐵與鑄鐵中間性質的金屬，便成為一件重要的工作。

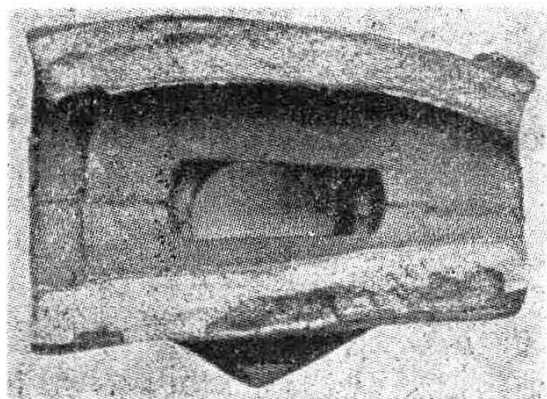
1722 年法國科學家雷何梅氏(Réaumur)求得一方法，將鐵礦砂充填於鑄件四周，而在赤熱溫度，保持數日，鑄件中的碳化鐵，經過如此熱處理以後，部份或全部分解，而使鑄件脫碳。

因為高溫時，氧氣對於碳的化合力較鐵為高，在雷氏的方法中，鐵中的碳化鐵分解所放出的碳素，與鐵礦砂中的氧起了作用，化成一氧化碳或二氧化碳而逸去，此充填物有三種任務，第一，他供給氧氣以燃去碳素，第二，他支持鑄件，不使因熱而變形，第三，他使熱空氣不與鑄件直接接觸，因為熱空氣的氧化作用，能使鑄件生壳消毀。

適當地控制溫度與時間，雷氏終於能設法減低物體的硬度及脆性，而增加其柔韌性，這便是製造馬鐵的開始。

這方法在歐洲立刻普遍地被使用起來，所得的東西名為歐洲馬鐵或白心馬鐵(White heart Malleable Iron)，因為在這種鑄品中，原有的碳化鐵大部分已分解為碳與鐵，而碳素又燃燒除去，故熱處理以後的鑄品的成份，為純鐵與少量之碳鐵合金，其斷面為白色或淺灰色，故名白心馬鐵。

在 1820 年，美國人波愛德氏 (Seth Boyden) 見到馬鐵的重要性，在美國開始建立一馬鐵工廠，以製造白心馬鐵，並設法改進其性質。自 1826 年 7 月 4 日至 1832 年 9 月 1 日，雖然他仍沿用雷氏的方法，但是他覺得他的製品的斷面，



第一圖 白心馬鐵的折斷面

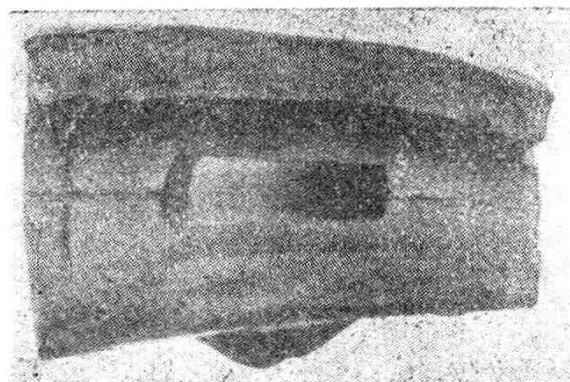
比普通白心馬鐵灰而黑，他的製品的白口鐵生坯中，含有多量碳化鐵，硬度及脆性極高，斷面白亮與鋼相似，其成份，因為所用原料不同，比雷氏所製者含硫較少，含錳較多，而含矽更多。

矽能加速碳化鐵分解為鐵與碳，若此碳留在鐵中，此分解稱為石墨化或黑鉛化 (Graphitization)。若此碳素分離後，再如以前雷氏的方法中氧化除去，這作用名稱脫碳作用，在波氏的馬鐵中，熱處理時，時間不足以將碳素完全氧化，所以他所製成的馬鐵，較雷氏方法所製者含有多量粒狀遊離碳素。

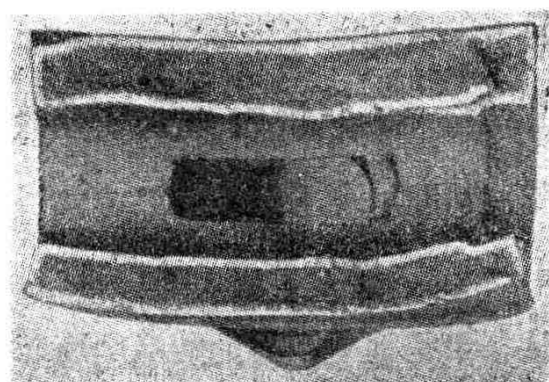
經過多量的試驗，波氏所製造的馬鐵，已達到所需的機械性質，但是其斷面却不是所要求的白色。這時候波氏已不預備製造白心馬鐵，他已求得一全新的方法——利用石墨化來製造馬鐵，在鐵系金屬中發明了一種新的東西，就是黑心馬鐵 (Black heart Malleable Iron) 或美國式可鍛性鑄鐵。

波氏以為製造白心馬鐵時的熱處理時間太長了，在他製造的馬鐵時，也曾充分的延長熱處理的時間，至數星期之久，結果也可將他的馬

鐵中的碳素也全部燃去，不過製造黑心馬鐵的條件却比較這一個方法有利多了。



第二圖 全黑馬鐵的折斷面



第三圖 黑心馬鐵的折斷面

在製造黑心馬鐵時，普通表面有脫碳作用，製品折斷面黑心而白邊，有時表面沒有脫碳作用發生，則折斷面就成全黑色。

自從馬鐵發明以後，因為它具有優良的性質，立刻被各界採用，用以代替普通鑄鐵，製造形態複雜而性質柔韌的物件，又可以代替熟鐵，鍛鋼，省去困難的鍛打工作，並且也可以代替鑄鋼，製造鑄鋼所不易製的細小另件。現在國外馬鐵的使用範圍日趨增加品質也改進得很高，可是在我國，馬鐵工業還在雛形時代，將來的進步，還待科技界同志共同努力。

第一編 馬鐵的科學原理

製造馬鐵鑄品，並不是一件困難的事情，每一個冶金工作者都有怎樣製造馬鐵的智識，但是另一方面，製造馬鐵鑄品也不是一件十分容易的事情，因為製造馬鐵需要高深的理論與純熟的技術。要研究製造馬鐵，第一得先研究金相學 (Metallography)，金相學參透以後，對於製造馬鐵過程中的一切，便瞭如指掌，本書因為避免重複，對於金相學的初步理論及鋼鐵的金相組織，不再加以討論，請讀者參考：“鋼鐵之金相組織”及其他金相學書籍。

製造馬鐵鑄品，先以白口鐵澆鑄成馬鐵生坯，然後將生坯熱處理，就可以得到馬鐵鑄品，但過程中困難的地方很多，第一是配料方面，馬鐵生坯的白口程度，如果過度與不足，都不能製得優良的馬鐵，所以馬鐵工廠應該有優良的化驗設備。第二是翻砂及熔煉方面，因為馬鐵生坯是白口鐵 (White cast iron)，在液態時的性質與普通生鐵不同，鑄品的設計及翻砂工作，也應特別注意，第三是退火或熱處理方面，退火不足或過度，也絕對應該避免，並且對於火焰的均勻度要十分注意。

現在先來討論馬鐵在金相方面的組織，然後再來討論製造過程中各種要點。

第一章 馬鐵生坯的金相組織

馬鐵生坯是一種亞共晶白口鐵，含碳量2.3-3.5%，其碳分皆在化合狀態的雪門鐵(Cementite)中，所以馬鐵生坯，由波來鐵(Pearlite)及雪門鐵的混合結晶與白口鐵共晶(Ledeburite)所組成，經800-1000°C的高溫處理後，生坯中的雪門鐵被分解為地鐵(Ferrite)及粒狀石墨(Graphite)便成為馬鐵。

因此馬鐵的製造可以分為二個過程

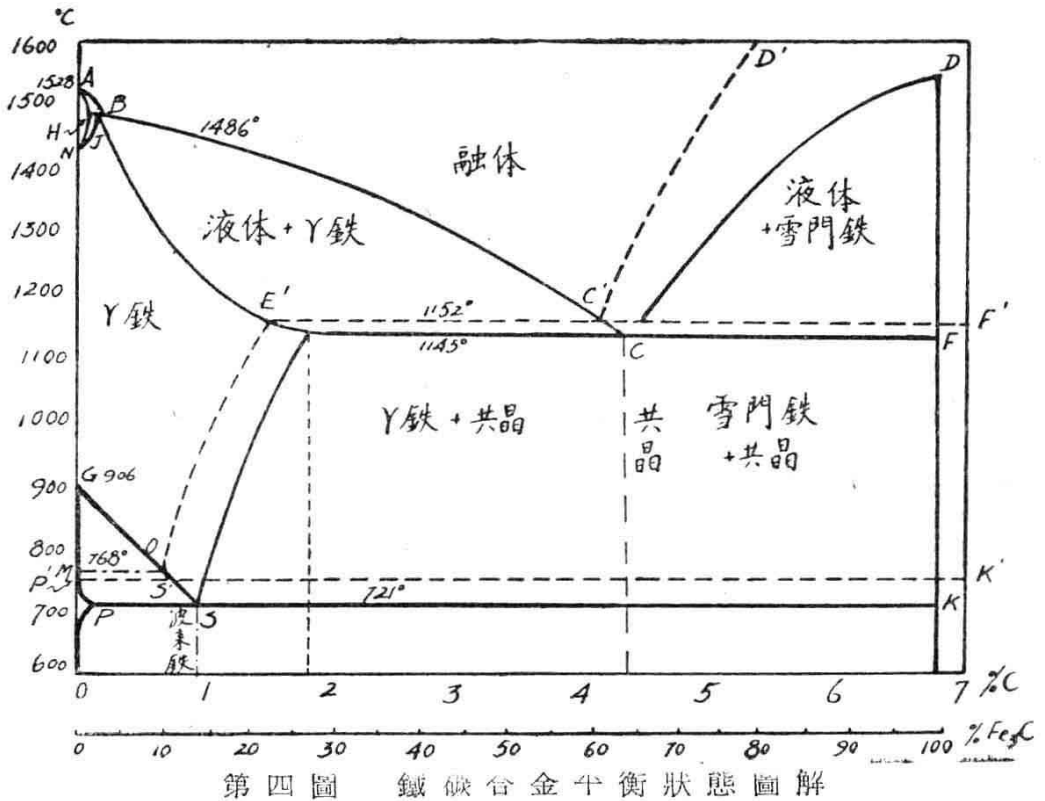
(一)以白口鐵鑄成生坯物件。

(二)將該生坯經過熱處理，使石墨析出，或使脫碳而成為馬鐵。此項工作係將物件放置於密閉的鐵箱中，保持溫度800-1000°C 40至90小時而成。

在討論馬鐵生坯如何由熱處理轉化成為馬鐵，必須先了解“鐵碳合金平衡狀態圖解” Iron-Carbon Equilibrium Diagram (見第四圖)

什麼叫做“鐵碳合金平衡狀態圖解”呢？本書當然不能詳細地解釋。現在只能簡單地解釋如下：

將常溫時的純鐵，用X光分析法觀察，可見其結晶組織是體心立方體，我們叫他 α 鐵，若將溫度漸漸提高，至906°C時，其結晶組織發生了變化，變為面心立方體的組織，我們叫他 γ 鐵，至1400°C時，其結晶組織又重新變為體心立方體，我們叫他 δ 鐵，而至1528°C純鐵便熔化成為鐵水。以上這些溫度，我們叫他變態點。



若鐵中含有碳素，我們再來觀察他的組織，可以見到這時變態點溫度，並不與純鐵的變態點相同，若用鐵的含碳量作為橫軸，溫度作為縱軸，而連接各變態點，就可以得到一個圖解，這個圖解就叫做“鐵碳合金平衡狀態圖解”。由這個圖解，可以得到各種含碳量的鐵在各溫度的狀態。

鐵與碳能夠化合成為碳化鐵，金相學上叫他雪門鐵 (Cementite)，含碳量 6.67%，所以鐵中的化合碳量，只能到 6.67% 為止。第四圖中實線便表示碳在化合狀態鐵碳合金的狀態，也叫做穩定系鐵與雪門鐵的平衡狀態圖解。第四圖中虛線是表示碳在不化合狀態的石墨時的鐵碳合金狀態。

例如 $ABCD$ 線是連接各含碳量鐵的熔化點的線，在此線以上，如

1300°C 含碳量 4% 的鐵，是液體，所以此線名液相線。 BEF 是各含碳量的鐵凝固點的連接線，故名固相線，在此以下，鐵在固體狀態。在 $ABCE$ 之間，熔化的鐵與未熔化的 γ 鐵同時存在，在 CDF 之間熔化的鐵與未熔化的雪門鐵同時存在，詳細的解釋，請參考“鋼鐵之金相組織”及各金相學書籍。

關於金相學方面各種術語，至今尚無統一的譯名，為使讀者便於了解，現在將本書所用簡單的金相學名詞，解釋於下：

地鐵 (Ferrite) —— 是幾乎不含碳的純鐵，熟鐵的組織大部份是地鐵，性質柔韌。有人譯作鐵素質，肥粒鐵。

石墨 (Graphite) —— 又叫做黑鉛，是純粹碳素，灰口生鐵中含有多量呈片狀的石墨，所以使鐵的機械強度減弱。

遊離石墨或遊離碳素 (Temper Carbon) —— 這是馬鐵所僅有的組織，也是碳素，但與片狀石墨不同，呈圓形，所以並不分離馬鐵的基地。

雪門鐵 (Cementite) —— 其成份是碳化鐵，分子式為 Fe_3C ，大量雪門鐵在一處，質硬而脆。

波來鐵 (Pearlite) —— 也有人叫做寶粒鐵，珠粒體，是地鐵與雪門鐵機械狀的混合交錯結晶。

沃司鐵 (Austenite) —— 是碳化鐵在鐵中的固溶體，在常溫不能存在。

α 鐵 —— 或稱地鐵，是純鐵在低溫的組織，無溶解碳的能力。

γ 鐵 —— 純鐵在 900°C 以上的組織，有溶解碳的能力。

了解“鐵碳合金平衡狀態圖解”以後，現在可以來觀察馬鐵生坯由

