

中等专业学校教学用书

鑄工學

下 册

阿克簫諾夫著



机械工业出版社

中等專業學校教學用書



鑄工學

下 冊

哈爾濱工業大學鑄工教研室研究生合譯

蘇聯汽車及拖拉機工業部教育司審定爲
機器製造中等專業學校教科書

機械工業出版社

出版者的話

本书系根据苏联国立机器制造书籍出版社(Машгиз)出版的阿克蕭諾夫(П. Н. Аксенов)所著的‘鑄工学’(Литейное производство) 1950年第三版譯出。原书經苏联汽車及拖拉机工业部教育司审定为机器制造中等专业学校的教科书。

本书为中等专业学校‘鑄工学’一課具有系统的教本。在本书內講述了有关制造鑄型的工艺, 鑄造合金及其熔化过程, 以及澆注, 落砂, 清理等获得鑄件的操作过程。最后并介紹了特种鑄造的方法。

本书的材料部分, 也可供生产技术人员及高等技术学校的学生参考。

本书由哈尔滨工业大学鑄工教研室研究生李庆春、宮克强、張澤仁、曹文龙、熊国庆等人譯出, 由大連工学院机械系赵国华、邓肇豪等校对, 在翻譯中并得到了康斯坦丁諾夫(Л. С. Константинов)和秋納也夫(М. В. Чунаев)二位苏联专家的指导。

NO. 0878

1955年11月第一版 1959年11月第一版第六次印刷

787×1092 1/18 字数 241 千字 印張 10⁵/9 19,901—22,430册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业許可証出字第 008 号

定价(10)1.30 元

下 冊 目 次

第二篇 準備液體金屬

第一章 鑄鐵的性質	183
1 鑄鐵鑄件按照組織和機械強度的分類	183
2 得到高級鑄鐵的基本原理	190
3 鑄鐵在高溫時的性質	200
4 鑄鐵的鑄造性質	201
流動性(201)——收縮(203)——偏析(210)	
參考文獻	211
第二章 鑄鐵鑄件的熔化材料和配料	212
1 熔化材料	212
2 各種鑄件的鑄鐵成分	216
3 配料的計算	217
4 配料倉庫及配料之組織	224
參考文獻	225
第三章 熔煉爐及熔煉	226
1 化鐵爐	226
化鐵爐的操作原理(226)——化鐵爐的結構和類型(227)——化鐵爐的熔化過程(235)——化鐵爐的主要尺寸(240)——應用鑄造無煙煤的熔化(241)——用泥煤熔化(242)——用木炭熔化(243)——用礫灰霞石礦石來熔化(244)——化鐵爐的熱平衡(244)——化鐵爐的操作(245)	
2 坩堝爐	248
3 火焰爐或反射爐	250
4 轉爐(吹煉爐)	252
5 馬丁爐	254
6 電爐	257
參考文獻	260
第四章 控制熔化和爐子工作的儀表	261
1 高溫的測量	261
2 控制爐風	266
3 測定爐氣成分	267
參考文獻	268

第三篇 鑄件的獲得

第一章 澆注	269
參考文獻	273
第二章 鑄件的落砂和清理	274
1 鑄件與泥芯的落砂過程	274
2 澆口的去除	276

3 鑄件的清理	277
4 清理工段的設備及其工作	281
參考文獻	282
第三章 鑄造廢品與鑄件的設計	283
1 廢品的分類	283
2 鑄件缺陷的修補	286
3 鑄件的設計	288
參考文獻	292

第四篇 各種合金鑄件和特種鑄造的生產特徵

第一章 可鍛鑄鐵	293
1 可鍛鑄鐵的獲得及其性質	293
白口鑄鐵零件的鑄造(293)——鐵素體可鍛鑄鐵的退火過程(296)——珠光體可鍛鑄鐵的退火過程(297)——可鍛鑄鐵的快速退火(298)——可鍛鑄鐵的性質(301)——可鍛鑄鐵的退火爐	
2 可鍛鑄鐵鑄件的澆注系統的特徵	307
參考文獻	312
第二章 鑄鋼	313
1 熔煉設備的選擇	313
2 碳鋼鑄件的主要機械性質及其熱處理	314
3 獲得健全鑄件的主要條件	317
4 合金鋼鑄件	321
參考文獻	323
第三章 有色金屬鑄造	324
1 銅合金	324
2 銅合金鑄造生產工藝上的特點	329
3 輕合金	332
4 輕合金鑄件生產工藝上的特點	335
5 軸承合金	340
參考文獻	341
第四章 特種鑄件	342
1 水管	342
2 軋輥	345
3 貨車用冷鑄車輪	348
參考文獻	352
第五章 特種鑄造法	353
1 金屬型鑄造(硬模鑄造)	353
2 壓鑄	360
3 離心鑄造	363
4 熔模精密鑄造	365
參考文獻	368

第二篇 準備液體金屬

第一章 鑄鐵的性質

機械製造的發展，新式構造的機床、聯動機及發動機在工業上的運用，工作壓力、速度及允許強度的增加，以及減輕機器重量的努力等——所有這一切都向鑄鐵鑄件提出了較高的並且常常是一些特殊的要求。

在第一個斯大林五年計劃以前，我們機器製造業中令人滿意的鑄鐵鑄件總共只有二、三種牌號。但是現在牌號的數目已很多了。此外，還具有了一些有特殊性質的鑄鐵鑄件的牌號——耐蝕的、耐熱的、無磁性的、高磁感性的及高電阻的鑄件等。

由於最近 25~30 年來，鑄鐵已成為編製科學研究計劃的對象，使鑄鐵鑄件的質量的提高和品種的增添，以及在很多情況下用以代替價格較貴的鋼鑄件和鍛件已經成為可能了。

1 鑄鐵鑄件按照組織和機械強度的分類

鑄鐵是一種鐵和碳的合金，碳的含量在實用上在 2.0~4.5% 範圍以內。含碳量 1.7% 為鋼和鑄鐵的分界線。

在鑄鐵中常含有下列雜質：0.5~3.5% 矽，0.3~1.5% 錳，磷至 1%，硫至 0.15%。

為了改善鑄鐵的性質，在其中加入不同數量的各種特殊元素或合金，例如鎳、鉻、銅、鉬等，加入量由千分之幾到 15~20% 的特種鑄鐵。

鑄件中鑄鐵的性質，與其顯微組織（它由在顯微鏡下觀察磨片的金相所決定）和化學成分有關。

由於鑄鐵的顯微組織對於說明和預測鑄鐵的性質非常重要，因此鑄鐵鑄件的基本分類必須建立在它的組織種類上。

圖 241 為鐵碳合金的平衡圖，從金相學中我們知道實線是屬於鐵——碳化鐵（ Fe_3C ）系，而虛線則屬於鐵——石墨系。第一系稱為不穩定系，而第二系稱為穩定

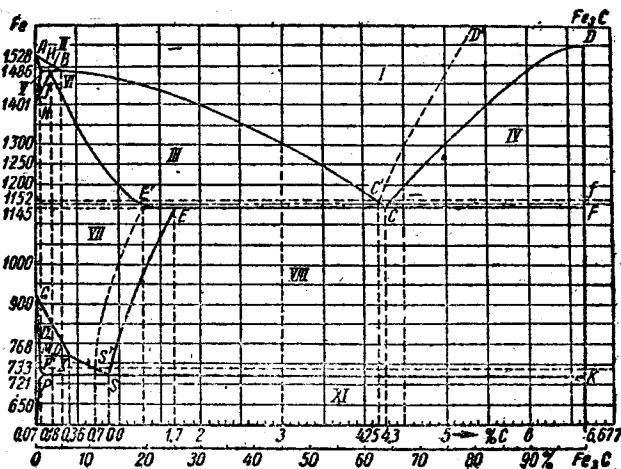


圖 241 鐵碳合金平衡圖

系,因为在緩慢凝固中,碳化鉄或滲碳体是不稳定的,并分解而形成稳定的呈純碳状态的石墨。

鑄鉄組織与鑄件的化学成分和結晶及冷却条件有关。鑄鉄的組織結構可以分为下列几种:

- 1) 純碳(片状石墨,球状石墨和退火碳);
- 2) 所含的碳与鉄呈化合物状态的組織(自由滲碳体,萊氏体,珠光体,磷鉄共晶体);
- 3) 所含的碳呈固溶液状态的組織(鉄素体,特种鑄鉄中的奧氏体,和奧氏体的不完全分解的产物——馬丁体,屈氏体和索氏体);
- 4) 非碳体(硫化錳)。

1. 片状石墨——灰口鑄鉄的特有組織結構——元素碳,析出为各种不同大小和形状的片状(圖242~244)。在鑄鉄破坏时,石墨成粉状散布在断面各处,使断面呈灰色。在白口鑄鉄中沒有石墨,所以断面不是灰色,而是像鋼的断面一样的帶有光澤的白色。

鑄鉄中的石墨夹杂物,大小形状不一,可能是很大的(圖242),細小的(圖243)和非常細小的(圖244),而在形状上可能是直綫的,旋窩状的和点状的。

灰口鑄鉄中石墨形成的理論有两种。

第一种理論認為:石墨的形成仅可能通过使在高溫时最初形成的不稳定組織的分解而得到,因此,灰口鑄鉄的形成过程要經過白口鑄鉄的阶段。另一种理論是以两个平衡圖为依据(这个理論大体上比較接近于实际情况),認為在灰口鑄鉄的冷却和凝固



圖242 大片状石墨:
a) $\times 125$; b) $\times 130$ 。

过程中,有一部分石墨可直接由液体金屬中形成,而另一部分石墨則由不稳定組織的分解而形成——(与鑄鉄的化学成分和冷却速度有关)。直接由液体金屬中結晶形成的石墨是粗大的片状,而由不稳定系在固体状态下分解的石墨則比較細小,并常常是分布在初生枝晶的周界上。因此,大的片状石墨,如圖242所示,是完全可能由液体金屬中直接生成。而由不稳定組織分解形成的石墨,如圖244所示,表明了石墨的沿枝晶周界分布的特征。这种性質的石墨,今后我們將称之为分解石墨。

石墨合并現象,改变了鑄鉄中石墨的理論分布情况,大石墨的成長是有賴于合并細小的石墨而逐漸長大的。

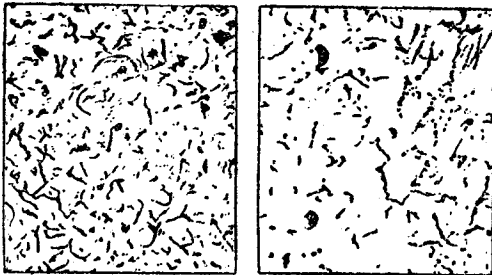


圖243 小片状石墨 $\times 130$

球状石墨(圖245)存在于現代超級灰口鑄鉄的鑄态組織中,这种鑄鉄是在液态灰口鑄鉄中加鎂处理得到的(詳見后)。石墨夹杂物的形状对于鑄鉄的性質有着很大的影响。例如由于球状石墨的形状紧凑,因此这种鑄鉄虽然仍屬於灰口鑄鉄的一种,但具有很高的强度和韌

性。關於這個問題將在以後詳細討論。

退火碳是可鍛鑄鐵的特有的組織結構，這種鑄鐵是由白口鑄鐵的熱處理得到的。析出的退火碳具有緊密的窠狀或斑點狀的特有外形，如圖 246 所示。退火碳和片狀及球狀石墨一樣，是碳元素的一種形式，這些碳的物理性質是略有不同的，但是這種不同並沒有實際意義。析出的退火碳呈緊湊的斑點狀，這同樣的對於可鍛鑄鐵的強度和高韌性有很大的好處。

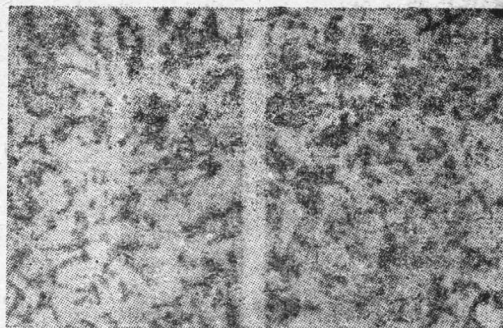


圖244 分解石墨×100

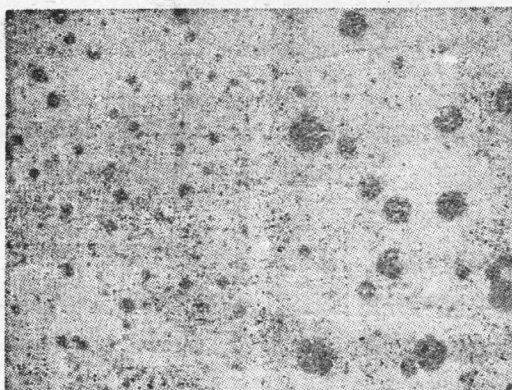


圖245 鑄成的超級鑄鐵組織中的球狀石墨：
a—試品直徑 30 公厘；b—試品直徑 150 公厘。

2. 自由碳化鐵體是大的碳化鐵 (Fe_3C) 夾雜物，含 6.67% C，是最硬和最脆的組織成分之一。因此含有自由滲碳體的鑄鐵硬度很高，並且很脆，很難切削加工。

滲碳體是鑄鐵按不穩定系結晶時形成的。在一定的條件下，例如在冷卻較慢或含矽量較高時，滲碳體是不穩固的，即有分解自己的組成成分——鐵和碳——的趨向。但滲碳體也可能保留在鑄件中不分解，例如白口鑄鐵。

初晶滲碳體是從液體過共晶鑄鐵沿平衡圖中 CD 線析出，具有大針的形狀（圖 247）。次晶滲碳體是固溶液沿平衡圖中 ES 線分解形成的，形狀細小，並常常和先析出的滲碳體混合在一起。

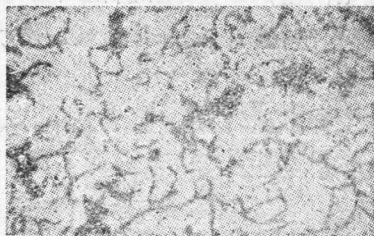


圖246 可鍛鑄鐵中的退火碳×100

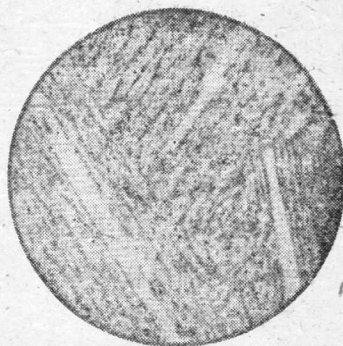


圖247 萊氏體中的初晶滲碳體×50

萊氏體是鐵-滲碳體系的共晶體，在平衡圖中 C 點凝固。它是由交替生成的奧氏體和滲碳體組成（圖 248）。由於萊氏體中的奧氏體，在以後分解成珠光體和次晶滲碳體，所以在冷凝狀態下，萊氏體是由滲碳體（白色）和珠光體（黑色）所組成。圖 248 為

接近共晶的白口鑄鐵的組織，除含有萊氏體外，尚有很少量的初晶滲碳體。圖 249 為亞共晶白口鑄鐵組織，其中萊氏體含量較少，同時除萊氏體外，還有相當數量的奧氏體，分解為珠光體（黑色區域）。

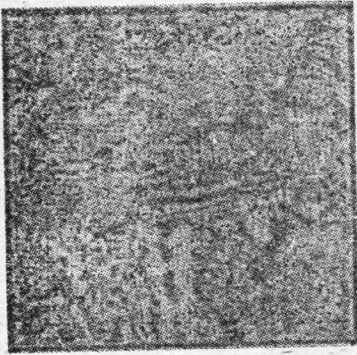


圖248 萊氏體×100

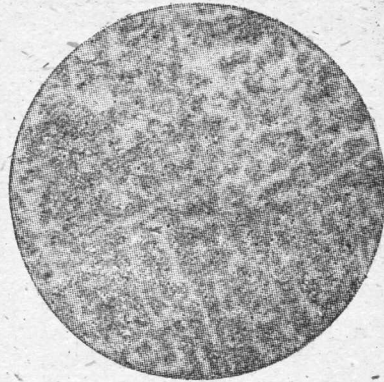


圖249 亞共晶白口鑄鐵×100

萊氏體中的碳含量，在純鐵碳合金系中等於 4.3%，凝固溫度為 1145°C。鑄鐵中的雜質，不僅改變了萊氏體中的含碳量，而且也改變了它的凝固溫度。例如，矽能使平衡圖中的共晶點向上和向左移動。

萊氏體是硬的組織結構，它使鑄鐵具有硬性、脆性和壞的加工性。

珠光體是鐵-碳化鐵系中的共析體。珠光體可分為片狀珠光體（圖 250）和顆粒狀珠光體，前者的滲碳體在鐵素體中（幾乎是純軟的鐵）呈片狀，而後者的滲碳體則呈小而圓的顆粒狀。顆粒狀珠光體是在熱處理鑄鐵和鋼時獲得。

珠光體具有很大的強度、適中的硬度（布氏硬度 200~230）和由於存在於其中的滲碳體細密而具有很好的機械加工性。珠光體組織愈細，鑄鐵的強度便愈高。

珠光體的含碳量及其形成的溫度（平衡圖中 S 點的位置），隨鑄鐵中所含的雜質而變化。在純鐵碳合金中，珠光體的含碳量為 0.9%，形成溫度 721°C。矽降低珠光體的含碳量並提高珠光體的形成溫度。

磷鐵共晶體具有很高的硬度。三元磷鐵共晶體是由鐵，碳化鐵和磷化鐵（ Fe_3P ）所組成，含碳 1.96%，磷 6.89%。二元磷鐵共晶體不含碳化鐵，是在鑄鐵緩慢冷卻和含矽量較高時形成的。

磷鐵共晶體在鑄鐵中分佈為不規則小島狀，具有點狀的特有組織（參閱圖 257）。磷鐵共晶體是鑄鐵中最易熔化的部分，最後在 953°C 凝固，位於金屬顆粒的周界上。在鑄鐵中增加含磷量（高於 0.6%），則生成的磷鐵共晶體呈幾乎連續不斷的網狀物，這對於鑄鐵的強度有極有害的影響。

3. 鐵素體是 α -鐵中含碳極少的碳化鐵固溶體。在室溫下，純鐵體的含碳量不超過 0.01%，因此鐵素體在實際上可看成不含碳的 α -鐵。

用侵蝕的磨片在顯微鏡下觀察時，鐵素體呈明顯的顆粒狀（圖 251）。鐵素體非常軟，易於切削加工，並且具有很大的韌性。



圖250 片狀珠光體×3000

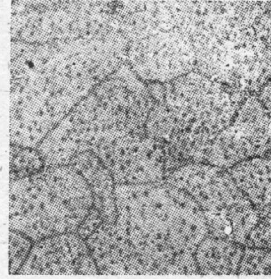


圖251 鐵素體×500

奧氏體及其不完全分解產物——馬丁體，屈氏體和索氏體——可以在鑄鐵中用特殊的熱處理方法或在高合金鑄鐵的不經熱處理的鑄件中得到。

4. 硫化錳或亞硫酸錳，在鑄鐵組織中呈單獨的細小的灰色顆粒狀或多面體狀。硫化錳很難溶化（在鑄鐵中最先凝固）並具有很大的硬度。由於硫化錳形狀很小很緊湊，對於鑄鐵的機械性質沒有什麼大的影響。

上述的直接鑄出的鑄鐵組織成分（不經過熱處理），主要的組織是片狀和球狀石墨，自由滲碳體（和萊氏體）、珠光體和鐵素體等。鑄鐵鑄件的最後組織就是以上各種組織的組合。

根據金屬的組織，非合金鑄鐵鑄件可分成下列五種。

1. 白口鑄鐵（圖 247～249）由珠光體和自由滲碳體所組成。超共晶白口鑄鐵的近似組織（滲碳體+萊氏體）如圖 247 所示。僅由萊氏體所組成的共晶白口鑄鐵的組織如圖 248 所示，次共晶白口鑄鐵（萊氏體+珠光體）的組織如圖 249 所示。白口鑄鐵的一般組織可看作為珠光體和滲碳體（ $\Pi + \text{II}$ ），所謂滲碳體是指自由一初晶滲碳體，次晶滲碳體和萊氏體中的滲碳體而言。在白口鑄鐵的組織中，除主要組成珠光體和滲碳體外，還有硫化錳和可能存在的磷鐵共晶體。

白口鑄鐵是一種完全未石墨化的鑄鐵。其中所有的碳都和鐵呈化合物狀。白口鑄鐵具有很高的硬度，性脆，不適於切削加工。因此它在機械製造業中除耐磨的零件外，（例如碎石機的爪板，吊車輥，軋輥，車輪等）很少應用。在以上情況中，為了保證零件能有很大的強度，僅使其工作表面得到白口鑄鐵，而零件的斷面內部則仍得到強度較大的灰口鑄鐵。這種鑄鐵鑄造叫做硬面鑄造。

白口鑄鐵還應用在可鍛鑄鐵的生產中。為了得到可鍛鑄鐵的零件，首先鑄造白口鑄鐵零件，然後再進行特殊的熱處理（退火或均熱）。

灰口鑄鐵鑄件在鑄造狀態下一般具有片狀石墨，但如在鐵水中加鎂處理，則在鑄造狀態下也可以得到球狀石墨。根據金屬基體組織的特性，灰口鑄鐵鑄件可分成下列四種。

2. 珠光體-滲碳體灰口鑄鐵（圖252）是由珠光體和呈孤島狀的自由滲碳體以及片

狀的石墨夾雜物等所組成。

含有珠光體、自由滲碳體和石墨($\Pi + \text{II} + \Gamma_p$)等組織的鑄鐵硬度很高，很難用車刀進行切削加工。因此除特殊情況外，機械製造的鑄件很少應用；並通常都看作生產上的廢品(用退火來矯正)。



圖252 片狀石墨的珠光體-滲碳體灰口鑄鐵×250；
白色夾雜物—滲碳鐵，深灰色片狀物—石墨。



圖253 片狀石墨的珠光體灰口鑄鐵×300

3. 珠光體灰口鑄鐵(珠光體和石墨)由珠光體和片狀或者球狀石墨所組成(圖253和圖254)。在一定的石墨化程度下，珠光體灰口鑄鐵中的片狀石墨，呈細分散狀。此種鑄鐵具有適當的硬度，容易切削加工。在所有的灰口鑄鐵中，它具有最高的強度，因此常常叫做高級鑄鐵。至於球狀石墨的珠光體灰口鑄鐵，則具有更高的機械強度，叫做超級鑄鐵。

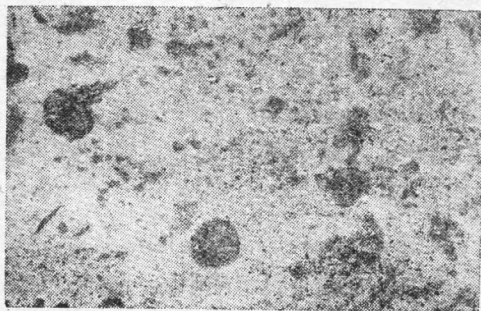


圖254 球狀石墨的珠光體灰口鑄鐵。試棒直徑為
16公厘×400

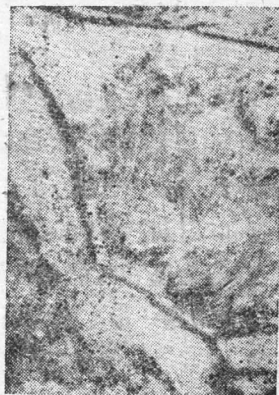


圖255 片狀石墨的珠光體-鐵素體灰口鑄
鐵×500

4. 珠光體-鐵素體灰口鑄鐵，由珠光體、鐵素體所組成。石墨的形狀可能是片狀(圖255)和球狀(圖256)。這種灰口鑄鐵中的片狀石墨比珠光體灰口鑄鐵中的大。因此片狀石墨的珠光體-鐵素體灰口鑄鐵的強度也比珠光體灰口鑄鐵小。它很軟，容易切削加工。鐵素體通常呈島狀分佈在石墨夾雜物的周圍。珠光體+鐵素體和石墨($\Pi + \Phi + \Gamma_p$)組織的灰口鑄鐵常常在普通機械製造鑄件中遇到。球狀石墨的珠光體-鐵素體灰口鑄鐵也是屬於超級鑄鐵的一種。

5. 鐵素體灰口鑄鐵，是由鐵素體和石墨(通常是片狀的)所組成。在這種完全石墨

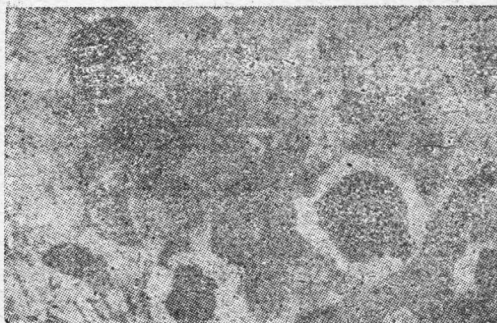


圖256 球狀石墨的珠光體-純鐵體灰口鑄鐵。試棒
直徑30公厘×400



圖257 片狀石墨的鐵素體灰口鑄鐵×250

化的灰口鑄鐵中，析出的石墨很大。鐵素體+石墨($\Phi + \Gamma_p$)組織的鑄鐵強度不大，很軟，容易磨損和很容易進行切削加工。由於它的強度太小機械製造的鑄件不用它。這種鑄鐵的組織如圖257所示。在該顯微照相中，除了主要的組織成分(鐵素體和石墨)外，還可以看到大量的磷鐵共晶體(磷鐵共晶體和硫化錳在上述各種的灰口鑄鐵中一般都存在着)。

根據ГОСТ 1412-42，鑄鐵鑄件還可以按強度分類。這個標準適用於必須具備一定機械強度的片狀石墨的灰口鑄鐵鑄件。但不適用於必須具備特殊的性質(耐酸性，非磁性等)的灰口鑄鐵。

根據上述的ГОСТ分類，灰口鑄鐵鑄件按機械強度可分為七種牌號。它們的特性列於表27中。

表27 灰口鑄鐵鑄件的分類

(根據ГОСТ 1412-42)

牌 號	抗張強度不少於 (公斤/公厘 ²)	彎曲強度不少於 (公斤/公厘 ²)	撓度(公厘) 當試棒兩端支柱的距離		抗壓強度不少於 (公斤/公厘 ²)	布氏硬度① (公斤/公厘 ²)
			600 公厘	300 公厘		
CЧ 00	不 試 驗	不 試 驗	—	—	—	—
CЧ 12-28	12	28	6	2	50	143~229
CЧ 15-32	15	32	7	2	60	163~229
CЧ 18-36	18	36	8	2	67	170~229
CЧ 21-40	21	40	8	2	75	170~241
CЧ 24-44	24	44	9	3	83	170~241
CЧ 28-48	28	48	9	3	90	170~241
CЧ 32-52	32	52	9	3	100	170~241

① 在需要機械加工的地方。

用於彎曲試驗的標準鑄造試棒是不加工的毛樣。試棒直徑為30公厘，在任何斷面的直徑誤差不應超過±1公厘。試棒的長度建議鑄造成680公厘和彎曲試驗在相隔600公厘的支柱上進行。也允許用長度為340公厘的試棒，在相隔300公厘的支柱

上試驗。

對於片狀石墨的灰口鑄鐵，在靜負荷下進行彎曲試驗，並測定撓度是測定強度的最靈敏同時也是最簡單的方法。張力試驗不常用。鑄鐵試棒的抗張強度的大小不僅與金屬本身的強度有關，而且也與試棒裝置在張力試驗機夾頭上時的精確性有關，因為灰口鑄鐵性脆，因此在加負荷時，它對於錯動和偏心非常敏感。所以在進行鑄鐵試棒的張力試驗時，應特別細心。

張力試驗的試棒是單獨鑄成並車光，計算部分的直徑應根據鑄件的平均厚度決定為 10, 15, 20 或者 25 公厘。試棒的計算長度不應小於和大於其直徑的 2.5 倍。試棒計算部分到端頭的圓角半徑等於試棒計算部分的直徑。

牌號 CЧ 28-48 和 CЧ 32-52 的鑄鐵為高級鑄鐵；它們的組織為珠光體和細的旋窩狀片狀石墨。

牌號為 MCЧ 的灰口鑄鐵的機械性質的特徵列於表 28 中，此種鑄鐵是用變質的方法得到的，即在鐵水中加入矽化鈣或者矽鐵處理。變質的方法將在下面詳細討論。變質鑄鐵 MCЧ 在組織上也是屬於細的旋窩狀片狀石墨的珠光體灰口鑄鐵的一類，但在機械性質和耐磨性方面都較高級鑄鐵 CЧ 高得多。

表28 變質灰口鑄鐵鑄件的分類

(根據 ГОСТ 2611-44)

牌 號	抗張強度不少於 (公斤/公厘 ²)	彎曲強度不少於 (公斤/公厘 ²)	撓度(公厘) 當試棒兩端支柱的距離		抗壓強度不少於 (公斤/公厘 ²)	布氏硬度 (公斤/公厘 ²)
			600 公厘	300 公厘		
MCЧ 28-48	28	48	9	3	90	170~241
MCЧ 32-52	32	52	9	3	100	170~241
MCЧ 35-56	35	56	9	3	110	197~248
MCЧ 38-60	38	60	9	3	120	197~262

牌號 CЧ 和 MCЧ 的鑄鐵都是屬於片狀石墨的灰口鑄鐵。球狀石墨的超級灰口鑄鐵是用加鎂變質(在液態時處理)得到的，因為目前還在研究階段，所以還沒有 ГОСТ。這種鑄鐵在強度上為上述各種牌號的片狀石墨的灰口鑄鐵的 1.5~2 倍。在生產條件下，根據各種厚薄不同的鑄件，球墨鑄鐵的強度可以得到下列的一些指標：抗張強度 45~65 公斤/公厘²，延伸率 1.5~3%；彎曲強度 70~120 公斤/公厘²，撓度可至 7 公厘；抗壓強度可至 200 公斤/公厘²；布氏硬度為 210~280 公斤/公厘²；衝擊韌性 1.5~3 公斤公尺/公分²。這樣高的機械性質可使超級鑄鐵在很多機構中代替鑄鋼、可鍛鑄鐵和鍛件。

2 得到高級鑄鐵的基本原理

鑄鐵的機械強度決定於：

- 1) 石墨夾雜物的大小、形狀和分佈情況。
- 2) 金屬基體的強度。

石墨夾雜物的大小、形狀和分佈情況是決定性的因素。石墨在實際上是沒有任何

強度的，存在於鑄鐵中的石墨祇是會削弱鑄鐵的強度，和分離金屬的基體，如同顯微裂縫一樣。

在試棒或零件的金屬基體中，如存在有切口、裂痕或者石墨夾雜物，當承受負荷時，就會發生局部的超應力，並在這些地方開始破壞。因此石墨片愈細而呈旋窩狀，則鑄鐵就愈強固。

因此，高級灰口鑄鐵的主要特徵就是它具有細小的旋窩狀和分佈均勻的片狀石墨。球墨鑄鐵之所以具有極高的機械性質，尤其是在韌性和耐衝擊性方面，就是因為它具有緊湊的圓形的石墨的緣故。同樣地，可鍛鑄鐵的高耐衝擊性和韌性也是由於其中的石墨存在為緊湊的退火碳的緣故。

第二個影響鑄鐵強度的因素就是金屬基體的強度。在評定上述的各種不同的金屬組織時，首先除去自由滲碳體和萊氏體，因為它們的硬度極高，性脆和加工性壞。然後再除去奧氏體及其不完全的分解產物，因為這些組織在未經熱處理的普通非合金鑄鐵中是不可能得到的。因此，留下來當作金屬基體組織來比較的就是鐵素體和珠光體（以及它們兩者之間的鐵素體+珠光體組織）。

根據近代的金屬強度理論對於上述的組織可作以下的評定。

純金屬的絕對聯結，即理論上的強度，比試驗時實際上所得到的強度要大得多。由於金屬顆粒中具有不牢固的聯結平面，所以在承受負荷時破壞較早；在小於理論數值很多的負荷作用下毀壞時，這些顆粒的各個部分就沿着那些不牢固的聯結平面發生滑動。金屬顆粒好像是一副相互間黏合得不牢固的紙牌，它們在承受負荷而毀壞時，不是因為每張紙牌不牢固，而是由於它們之間黏合得不牢固，相互間可以互相滑動的緣故。

任何的阻礙在不牢固聯結面上滑動的組織條件都能增加金屬的強度。這個原理叫做阻礙法則。例如細小顆粒的金屬，由於相鄰顆粒的滑動面的方面不相同，在顆粒周界上造成了阻礙滑動的條件，使強度顯著增加。

存在於金屬組織中的細小的硬質夾雜物，對於滑動面有制動的作用，因此，這種金屬在較大的負荷時才毀壞。這些硬質分子愈細小，在塑性金屬基體中分佈愈均勻，則被制動的滑動面便愈多，實用的強度也愈大。

鐵素體實際上是一種純金屬，它具有強度低，硬度低和韌性高的特點，這是因為它是均質的，沒有制止滑動平面滑動的硬質分子。

珠光體同樣也有鐵素體，但它還含有大量小刺狀的片狀滲碳體。因此珠光體比鐵素體強度大，滲碳體愈細（薄），則珠光體的強度愈大。珠光體的硬度較鐵素體高，但同時珠光體有足夠好的切削加工性。珠光體的韌性雖比鐵素體小，但實用上却完全够用，而耐磨性很高。

因此，細小的珠光體組織是高級鑄鐵最理想的金屬基體組織。鐵素體及鐵素體和珠光體基體的鑄鐵，在所有一切相同的條件下，強度比珠光體鑄鐵低。

珠光體的強度不僅與它層次的細度有關，而且也與化學成分有關。例如 Cr—Ni

鑄鐵比非合金鑄鐵的强度高。

用普通鑄造方法不再進行熱處理而得到的非合金高級灰口鑄鐵，基本上應由層次細小的珠光體和細小的片狀石墨——最好是球狀石墨所組成。

為了得到這種組織就必須要創造必要的條件，使鑄鐵在冷卻到生成共析以前全部結晶應按照穩定系進行，即達到完全石墨化和使已形成的滲碳體分解，而共析結晶則按照不穩定系進行，以便得到珠光體。

在鑄鐵冷卻和凝固時，影響石墨化過程的主要因素為：

1) 在鑄鐵凝固時石墨化中心核的存在、特性和分布情況，這與鑄鐵熔煉時的過熱程度和液態的處理有關。

2) 與化學成分有關的鑄鐵石墨化趨向與凝固時的冷卻速度間的關係。

熔煉時未溶解的剩餘石墨和外界的夾雜物，例如氧化物、硅酸鹽等都可作為鑄鐵的石墨化中心核。

假若鑄鐵在結晶時，這種石墨化晶核不多，那就是在它們近旁較早地開始生成石墨，這些石墨便來得及長的很大，結果便得到有粗大石墨的不堅固的鑄鐵。

假若鑄鐵在凝固時，完全沒有石墨化晶核，那麼就是因石墨的形成和凝固過程開始得比較晚，即鑄鐵已經稍微地過冷到低於正常的結晶溫度時才開始。在這種過冷的情況下，鑄鐵便立即自發地產生出大量的結晶中心核。圍繞着它們所形成的石墨便來不及成長到很大的尺寸，這樣便得到大量細小的石墨組織，換言之，就是得到高級鑄鐵。

假使在鐵水未澆注到鑄型前，在其中人為地加入或者在其中生成大量的極細小的外物非金屬夾雜物，它們將起石墨化晶核的作用，這樣也能同樣地得到高級鑄鐵。這種鑄鐵當凝固時也可以得到具有大量細小石墨夾雜質的組織。以上使我們了解了熔煉時的過熱和液態時的各種處理方法對鑄鐵影響的本質。

假若鐵水在高於熔化溫度下過熱得大，然後冷卻到普通澆注溫度下澆注時，所得到的石墨夾雜物要比過熱很小的鑄鐵細小得多。圖258表示同一種鑄鐵的三種顯微照相，它們都是在 1250° 下澆注，但在澆注前的過熱溫度不同（圖258a），鐵水過熱到 1250° ，（圖258b）為 1425° （圖258c）為 1600° 。由這三種顯微照相的比較可以看出，鑄鐵過熱能促進石墨細化，即得到機械強度較高的鑄件。同時在過熱鑄鐵中，化合碳量（呈 Fe_3C 狀）會稍有增加，而石墨量則相應地減少。因此，在一定的化學成分下，過熱減少了鑄鐵的石墨化趨向。

在鑄鐵熔化時石墨夾雜物溶解很慢，因此在過熱不夠時，在鑄鐵中有未溶解的石墨晶核。在鑄鐵凝固時這些晶核便起石墨結晶中心的作用，這些很早析出的小片能夠

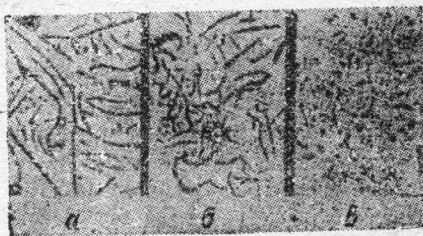


圖258 鑄鐵過熱對其石墨化的影響。 $\times 100$ ：
過熱溫度：a— 1250° ；b— 1425° ；c— 1600° ；澆鑄溫度 1250° 。

生長很大。在過熱到在 $1450\sim 1500^{\circ}$ 的高溫時，石墨晶核完全溶解於鐵水中；在鑄鐵冷卻時，由於沒有現成的結晶中心，石墨析出較晚，溫度較低，因此得到了大量細小的石墨。

在熔化鐵水時，高度過熱是得到高級鑄鐵的主要條件之一。鑄鐵中含碳和含矽愈多，過熱應愈高。在熔化時過熱到高於 1400° ，約在 $1450\sim 1500^{\circ}$ 內，能提高鑄鐵的強度。過高的過熱，至溫度高於 $1600\sim 1650^{\circ}$ ，如試驗所證明；由於石墨在鑄鐵晶界上分佈的不好，導致強度降低。

除在高溫 1500° 過熱外，在適當的溫度下將鐵水保持一定的時間也可以得到石墨的細化。這種方法如同過熱一樣，可使石墨晶核完全溶解。保溫時間與溫度有關，一般的鑄鐵應在 $20\sim 30$ 分鐘左右。

近代研究的結果證明了：化學成分相同而來源不同（熔煉所用的高爐不同，高爐熔煉過程的程序不同，和所用的礦石不同）的高爐生鐵塊，具有某些獨有的特性。例如，某些工廠和某次熔煉的生鐵具有粗大的片狀石墨，而另外化學成分相同和冷卻條件相同的生鐵塊却具有較細小的石墨。生鐵塊的這些獨有的特性，在重熔時如不過熱，則仍保留在由這種鑄鐵塊鑄成的鑄件中（雖然在程度上稍差）。生鐵的這種遺傳性特別是表現在粗大的石墨上。由粗大石墨的生鐵塊所鑄成的鑄件，在熔化時如果過熱不夠（或者保溫時間不夠），則仍含有粗大的石墨。

熔化時的高度過熱（或者在液態適當的溫度下長時間的保溫）可以消除粗大石墨結晶方面的不良遺傳性。原生鐵塊中石墨愈大，則過熱溫度也應愈高（或者保溫時間應愈長）。

在配料中應用帶細小石墨的生鐵塊可以得到良好的結果。如果要在煉鐵工廠裏生產特別細小的石墨生鐵塊，便要將普通的鑄鐵高度過熱和在混鐵爐中保溫一段時間。

白口鐵配料的熔化方法，即這種配料由完全不含石墨的白口生鐵塊所組成；以後再在熔化的金屬中加入矽鐵以補足缺少的矽量，能得到較高強度的鑄件。在這種情況下，鐵水內不含有石墨晶核。

溶解在金屬中的氧不是石墨化劑，相反的使鑄鐵成為白口。但氧化的鑄鐵在還原時所形成的細小分散的矽酸鹽夾雜物的還原產物，却起着石墨化中心核的作用。因此鑄鐵還原所產生的細小分散的還原產物導致鑄鐵的石墨化和得到細小分散狀的石墨。

這種使鐵水還原並形成作為石墨化晶核的細小分散的矽酸鹽夾雜物的處理，叫做鑄鐵的變質過程，用這種處理過程得到的鑄鐵叫做變質鑄鐵。鐵水變質的方法是把打碎了的矽化鈣，重量為鑄鐵的 $0.1\sim 0.4\%$ ，加到化鐵爐的出鐵槽或者鐵水包中。變質導致了石墨的細化，鑄鐵的機械性質和密度的增高以及均勻了鑄件厚斷面和薄斷面的組織。用矽化鈣處理在化鐵爐中使用廢鋼配料熔化和過熱的低碳（約 3% 碳）低矽鑄鐵，有最大的效果。這種鑄鐵如不用矽化鈣處理將凝固為白口鑄鐵，而在用矽化鈣

處理後却得到細小旋窩狀的片狀石墨的珠光體組織。這種鑄鐵具有高的機械性質，密度，硬度和耐磨性，以及良好的機械加工性，這些優點可使這種鑄鐵和普通合金鑄鐵相比美。此外，它的製作方法簡單，價格低廉，在任何生產規模中都能應用。改變每一鐵水包中矽化鈣的加入量可以得到不同性質的金屬。加入的矽化鈣要打碎至顆粒大小約為5公厘左右。電爐製造的矽化鈣，含鈣量到25%，含矽量為55~58%。

正如鑄鐵變質過程的研究所指出，這個過程的實質具有比較複雜的性質，而不僅是單純由於鑄鐵的還原和還原產物對石墨化的影響的緣故。除了還原作用和還原產物影響外，在這個變質過程中，正如看到的一樣，在成長的石墨晶粒上形成了由變質劑所組成的特殊薄膜，也起了很大的作用。上述的薄膜（鈣，矽等）妨礙了石墨夾雜物的自由成長，由於這個緣故，在凝固時便得到細小的石墨，使金屬的機械強度增高。

在配料中加入2~5%的一種特殊木炭鑄鐵（含鈦0.8~1.2%，鋁0.2~0.5%，和約0.2%鈳）是有很大的好處的。將它和天然合金鑄鐵一同熔煉可以得到特別良好的效果。在這種鑄鐵中，鈦和鋁是還原劑，而雜質鈳有增進金屬機械性質的作用。

用高矽矽鐵代替昂貴和稀少的矽化鈣，是很成功的。變質劑（矽鐵）的用量為0.2~0.5%。化鐵爐中變質鑄鐵的含碳量建議用2.9~3.4%。 $C+Si$ 的總量由下列方程式決定：

$$C+Si=5.4-\lg\delta.$$

式中 δ ——鑄件壁厚（公厘）。

在化鐵爐熔化時的配料中的鋼料量應為15~20%。用矽鐵使鑄鐵變質的方法是科學技術博士華新柯（К.И.Ващенко）在基也輔〔布爾什維克〕工廠裏研究出來的，這個方法現在已為我們很多的工廠所掌握。

蘇聯在戰時曾使用兩個化鐵爐的熔化方法以使鑄鐵變質。在一個爐子中熔化 $C+Si$ 含量小的（3.6~3.8%）基本鑄鐵，在正常的冷卻下，得到的將是白口鑄鐵。為了使鑄鐵變質，將在另外的一個爐子中熔化的 $C+Si$ 含量大的（5~5.3%）灰口鑄鐵加入到前者中，加入量為10~15%。因此，這裏使用熔化的灰口鑄鐵作為變質劑。沙爾達金柯（В.И.Солдатенко）和葉諾亨（Ерохин）在我們的一個鑄鐵車間裏的試驗證明用這種方法進行工作是可能的。

所有上述的鑄鐵變質的方法都能使鑄件的金屬組織中得到細小的石墨，但是這種石墨仍為片狀的。最近由米里曼（Б.С.Мильман）和其他一些工作人員，在中央工藝和機器製造科學研究所[●]研究出了一種用鎂或者鎂合金使鑄鐵變質的方法，能得到超級球墨鑄鐵，這種方法並在我們的一些工廠中得到證實。

在使用這種方法時，化鐵爐中熔化的鑄鐵溫度不應低於1400°（希望是1450°），化學成分要使鑄件在凝固後得到灰口的斷面。表29為建議採用的原生鐵的化學成分與試棒的直徑的關係。對於厚度為 δ 的平面鑄壁的鑄件可採用下列的關係：

● ЦНИИТМАШ.