

冶金实用知識丛书

# 铸铁知识



姚家猷 編著

上海科学技术出版社

22  
8

# 鑛 鉄 知 識

姚家猷 編 著

•

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2001号)

上海市书刊出版业营业许可证出 073 号

大东集成联合厂印刷 新华书店上海发行所总经售

•

开本 787×1092 1/32 印张 2 1/8 字数 45,000

1959年3月第1版第1次印刷

印数 1—15,000

统一书号15119·1221

定价(十) 0.22 元

## 緒 言

在工業生產中，鑄鐵是一種基本的結構材料，在機器製造、冶金、建築和國防等工業部門中，鑄鐵都有着廣泛的用途。在機器製造業中，鑄鐵件的重量約為機器總重量的50%，而在某些機器如：金屬切削機床、內燃機、壓縮機和水泵等機器中，鑄鐵件的重量約為整個機器重量的70—90%。從這裡可以看出鑄鐵生產在工業部門，特別是在機器製造業中的重要地位。從鑄鐵件的应用範圍來看，許多重要的機器零件是用鑄鐵制成的，如：金屬切削機床的床身和工作台，內燃機、蒸汽機和壓縮機的汽缸體、汽缸蓋、內套和活塞環，汽輪機的隔板和低壓汽缸，以及水輪機的壳体 and 轉子等。此外，一般機械的機身、機座和一些不重要的機件也大多採用鑄鐵制成的。消耗量較大的鑄鐵件還有冶金工業中的鋼錠模和軋輥以及城市建設用的鑄鐵管等。

鑄鐵不僅現在已經獲得廣泛的应用，而且具有很大的發展前途。鐵鑄性能的提高、鑄造技術的進步和应用了現代化的鑄件質量檢查方法，使鑄鐵件能夠勝任更重要和更高的要求的工作，因而可以部分地代替鑄鋼、鍛鋼和有色金屬來制造某些重要的機件。例如：原來用碳素鋼和合金鋼鍛制的柴油機曲軸，現在已經可以部分地用鑄鐵曲軸來代替了。

鑄鐵所以能被廣泛应用的主要原因是：

1. 鑄鐵的原料價格和加工費用都較低廉，所以它的成本比其他任何金屬為低。

2. 鑄鐵件是用液体金属澆鑄而成，而且鑄鐵的流动性很高，所以能够澆鑄成形状复杂和薄壁的机件，如柴油机的汽缸头等。此外，鑄鐵也能用来鑄造很大很厚的巨型鑄件。鑄鐵件单件重量最大可达250吨。

3. 鑄鐵具有較高的抗压强度和抗弯强度、优良的耐磨性和减振性，还有良好的机械加工性，这些都是鑄鐵作为结构材料的有利性能。在抗拉强度和塑性方面，几种高强度鑄鐵和特种鑄鐵也能与鋼相比。

4. 鑄鐵生产一般采用冲天炉作为熔化设备。因为冲天炉构造简单、操作方便而生产率高，所以投資較少，生产費用低廉，而且由于冲天炉連續地供給鉄水，使鑄鐵件的生产比鑄鋼件更适合于大量生产。

因为鑄鐵具有上述显著优点，特別因为鑄鐵的原材料容易取得，生产设备和操作技术都較简单，在遍地开花、全民办工业的建設方針下，任何地方、任何工厂企业或人民公社都能利用当地生产出来的生鉄以及焦炭或白煤等原材料，依靠企业或公社的力量，以較少的資金建造冲天炉或三节炉等必要的设备，经过短时间的准备就能生产鑄鐵件，可以迅速解决本企业生产急切的需要。因此，在我国現在的工业建設中，鉄鑄可以說是一种多快好省的工程材料。

在我国社会主义建設大跃进中，虽然1958年鋼产量已經翻了一番，但仍赶不上各种工业全面跃进的需要，鋼材、鍛鋼件和鑄鋼件的供不应求，仍然是大跃进中的一个主要矛盾。为了解决这个矛盾，为了克服鍛压设备和大型鑄鋼设备不足所造成的毛坯供应不及的困难，因而在机械工业中提出了“以鉄代鋼，以鑄代鍛”的方針，这使鑄鐵获得了更广泛的应用，它

在机械工业中的地位也将更加重要。

“以铁代钢，以铸代锻”的方针和机器结构的发展，都要求铸铁具备更高的和特殊的性能，同时还要求铸件质量得到可靠的保证。解放几年来，我国在高强度铸铁——球墨铸铁的研究和生产方面已经取得了辉煌的成就，球墨铸铁的强度已与钢接近甚至超过了钢，它的应用范围也大大扩大了。虽然如此，我们还要强中加强，更进一步的提高和改善它的性能。此外，为了保证铸件质量，我们还须研究和掌握含硫、磷较高的土铁铸造灰口铁铸件和高强度的土球墨铸铁件的技术，使铸造生产在大量应用土铁的条件下仍能做出高质量的铸铁件。

为了保证铸铁的性能能够达到要求，为了提高铸铁件的质量，使铸铁能够更好地用作结构材料，我们必须了解铸铁的性能，以及决定铸铁性能的基本因素，从而掌握这些因素来提高铸铁的质量。这本小册子概要地介绍了关于铸铁的基本知识，通过这些内容可以使读者对铸铁有一个系统的了解。

# 目 录

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 第一章 | 鑄鉄与鋼的区别          | 1  |
| 第二章 | 鑄鉄的組織            | 5  |
| 第三章 | 鑄鉄組織与机械性能的关系     | 12 |
| 第四章 | 鑄鉄的性能            | 16 |
| 第五章 | 鑄鉄的分类            | 18 |
| 第六章 | 各种鑄鉄的特性、用途及其制造方法 | 21 |
|     | 白口鑄鉄             | 21 |
|     | 冷硬鑄鉄             | 22 |
|     | 普通灰口鑄鉄           | 24 |
|     | 孕育鑄鉄             | 27 |
|     | 馬鉄               | 32 |
|     | 球墨鑄鉄             | 37 |
|     | 高硫球墨鑄鉄           | 46 |
|     | 合金鑄鉄             | 49 |
| 第七章 | 結語               | 51 |
| 附表: | 鑄鉄的化学成分、性能和用途    |    |

## 第一章 鑄鐵與鋼的區別

鑄鐵和鋼同屬於黑色金屬，都是以鐵為基礎的鐵碳合金，除了鐵和碳這兩種主要元素以外，鑄鐵和鋼都還包含一些其他的元素，其中主要的是矽、錳、磷、硫，這些雜質是原料中早就存在，或者是在製造過程中摻入到金屬中去的。鑄鐵和鋼雖然由同樣的幾種元素組成，然而成分卻不相同。在鑄鐵中，純鐵的數量比鋼少，而碳和雜質等其他元素的量則較多。鑄鐵與鋼是以含碳量的多少來區別的，一般以1.7%為分界，含碳量低於1.7%的鐵碳合金為鋼，高於1.7%的就是鑄鐵。下面列出的是普通碳素鋼和工業上常用鑄鐵的化學成分比較。

|   | 碳 素 鋼      | 鑄 鐵      |
|---|------------|----------|
| 碳 | 0.10—0.60% | 2.5—4.0% |
| 矽 | 0.17—0.37% | 1.1—3.0% |
| 錳 | 0.35—0.80% | 0.5—1.2% |

鑄鐵與鋼的區別也表現在有害雜質——磷和硫的含量上。優質碳素鋼中磷、硫含量一般都不超過0.05%；普通鑄鐵的含磷量不超過0.65%，含硫量不超過0.15%；高級鑄鐵的含磷量不超過0.20%，含硫量不超過0.12%。

從以上數據可以看出：鑄鐵除了含錳量與鋼接近外，其他碳矽兩種主要元素和磷硫兩種有害雜質的含量都比鋼大得多。鑄鐵與鋼在化學成分上的這種差別，是由於鋼鐵的生產

过程不同而形成的。

## 生鉄是怎样得到的

先从鑄鉄和鋼的原料——生鉄来談。在自然界中没有天然的金屬形态的鉄存在，鉄主要是成为氧化鉄而与其他氧化物共同存在于地层中，如常用的磁鉄矿和赤鉄矿即为以四氧化三鉄 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 和三氧化二鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 为主要成分的矿石。优质鉄矿的含鉄量可达70%以上。为了从鉄矿石中得到金屬形态的鉄，就必须使氧化鉄还原，这种炼鉄过程是在高炉（又名鼓风炉）中进行的。高炉炼鉄的基本原理是这样的：鉄矿石、焦炭和熔剂等炉料分批装入炉中，焦炭与自风口鼓入的空气燃烧而成一氧化碳，这种气体是有还原性的，当它在炉膛中上升时就不斷使鉄矿石中的氧化鉄还原。此外，当鉄矿石在高温下与焦炭接触时，焦炭中的碳素也能直接使氧化鉄还原，鉄矿中的氧化鉄被彻底还原以后就变成了金屬鉄，它在炉中熔化为鉄水，鉄矿中的其他氧化物則大部分与熔剂起作用而形成熔点較低的比重小的熔渣，由出渣口排出。从高炉中出来的鉄水可以澆鑄成錠块或者直接送往炼鋼厂作为炼鋼的原料。

这样炼得的金屬鉄并不是純鉄，因为在高炉中鉄与熾热的焦炭及一氧化碳气体相接触，从中吸收了一部分碳素，所以得到的是含碳量較高的鉄碳合金，称为生鉄。生鉄中除了有碳素以外，还含有矽、錳、磷、硫等元素，这些元素也是在高炉熔炼过程中进入生鉄的。矽和錳是由它們的氧化物还原得到的。二氧化矽在鉄矿中原已存在；氧化錳則通常是在炉料中加进去的。当高炉熔炼温度較高时，氧化矽和氧化錳就

被較多地还原而进入生鉄中，炼成生鉄的矽錳含量是根据它的用途，控制高炉熔炼过程和炉料成分来調节的。生鉄中的磷也是由鉄矿中的杂质还原而成的，硫則主要是从焦炭中吸收来的。

## 鋼是怎样炼成的

鋼与生鉄的差別是鋼中碳素和杂质的含量較低，所以要把生鉄熔炼成鋼，就必须使其中的碳素和杂质的含量减少到一定限度以內。在大型冶金企业中，炼鋼一般是在平炉（又名馬丁炉）內进行的。高炉生鉄与鉄矿石等炉料加入平炉中，燃烧着的气体和过量的空气不断流过炉床上方，使炉料加热熔化，同时空气中的氧气使鉄水表面氧化而产生氧化鉄，它和鉄矿中的氧化鉄又把鉄水中的碳、矽、錳、磷、硫等元素氧化而形成这些元素的氧化物。碳和硫的氧化物是气体，穿过金属液而逸出；矽、錳和磷的氧化物或为固体或为液体，都上浮而进入熔渣。鉄水經此氧化过程以后，各种元素的含量都已很低，但却含有相当数量的氧，这将严重地影响鋼的质量，所以在出鋼以前，必须进行一次还原过程，来去除鋼中的氧。此外，还要根据化学成分在金属液中加入一定量的碳素和矽鉄、錳鉄等合金，来調整鋼的碳、矽和錳的含量，使它符合要求。鋼就是这样用生鉄炼成的。

炼鋼过程也有是在轉炉（又名貝氏炉）中进行的，采用轉炉炼鋼法时，必须先是在熔鉄炉中把生鉄熔化，再把鉄水倒入轉炉，轉炉装料后从底部或側面风口吹入空气，空气中的氧很快地就把碳素和其他杂质燒掉，使生鉄变成了鋼，这样得到的鋼中含有較多的氧，所以必须加入矽鉄、錳鉄和鋁来除氧，同时

进行钢水成分的调整。转炉炼钢与平炉不同，它不需要任何燃料，在转炉中铁水温度提高所需的热量是由铁、碳、硅、锰等元素的燃烧产生的。转炉炼钢法所需设备简单，适合于中小型炼钢企业。

## 铸铁和生铁有什么不同

铸铁的原料主要也是生铁，生铁经重熔后浇铸成成形的铸件就称为铸铁，所以铸铁与生铁实际上是相同的，不过生铁是原材料而铸铁则是制造铸件的一种结构材料。

铸铁的熔化通常是在冲天炉中进行的，它与高炉炼铁的区别主要是：在冲天炉中没有铁矿石的还原而只是生铁和其他金属炉料的重新熔化，在这里焦炭不是起还原作用而只作为熔化金属的燃料。在冲天炉中熔化生铁炉料得到的铸铁仍然是含碳量较高的，它的硅含量因为氧化损失而稍有减少，磷的含量则基本不变，硫的含量因为铸铁吸收了焦炭中的硫分，所以反而增加很多。在熔化某些高级铸铁时，冲天炉炉料中加入数量很多的废钢，有时高达70%，在这种情况下，炉料中碳和磷硫的含量都很低，但是在熔化过程中铁水不可避免地要从焦炭中吸收一部分碳和硫，所以得到的铸铁仍含有2.5%以上的碳和0.1%左右的硫。这个例子说明冲天炉炉料的成分不能决定铸铁的成分。在实际生产中，铸铁的化学成分与很多因素有关，金属炉料和焦炭的化学成分、物理性能和形态，以及冲天炉的结构和操作条件等因素对于铸铁的化学成分都有一定的影响。因此铸铁化学成分的控制，必须注意每个有关的因素，而对它的要求不能象钢的化学成分那样严格。

## 第二章 鑄鐵的組織

### 为什么要研究鑄鐵的組織

鋼的性能在热处理以前主要决定于它的化学成分。含碳量高的碳素鋼强度①高而塑性②低，含碳量低者則强度低而塑性高；磷硫杂质和有害气体在鋼中的含量愈多，鋼的性能就愈差。因为化学成分影响鋼的性能的程度很大，所以在炼鋼过程中必須严格控制鋼的化学成分。

鑄鐵与鋼的情况不同，化学成分对鑄鐵的性能不象它对于鋼那样起着决定性的作用，有时鑄鐵性能甚至完全与化学成分无关。如果用同一个包子的鉄水，在两个不同的鑄型内——一个是金属型，另一个是砂型，澆鑄两个同样的鑄件，这样得到的两个鑄鐵件虽然化学成分完全相同，但是它們的性能却是截然不同的：用金属型澆鑄的那个鑄件断面呈光亮的白色，硬度很高，但很脆弱；另一个用砂型澆鑄的鑄件則断面呈灰色，硬度不高而具有較大的强度。这个例子說明不同的鑄造条件可以使相同成分的鑄鐵性能具有很大的差别。另外也有一种情况，虽然化学成分不同，但得到鑄鐵的性能却是相同的，例如，用两种化学成分不同的鉄水澆鑄两根直徑不

① 鋼鉄的强度通常以抗拉强度来表示，即試棒被拉断时单位面积所受的力（拉伸应力），它的单位是公斤/公厘<sup>2</sup>。

② 塑性通常以延伸率来表示，即試棒受拉而伸长的最大长度与原长度之比，它的单位是%。

同的試棒，粗的試棒用碳矽含量低的鉄水，細的試棒用碳矽含量高的鉄水，这样澆鑄的兩根試棒的斷面和強度可能非常接近。

从以上两个例子可以看出，鑄鉄的性能不能主要依靠調节化学成分来控制。那末，鑄鉄的性能究竟决定于什么因素呢？决定鑄鉄性能的主要因素是它的金相組織。上面談到的例子中，相同成分的鑄鉄正是由于組織的不同（这由断面呈白色和灰色显示出来）而使性能有很大的差別，而不同成分的鑄鉄却由于組織相同而性能也相接近。这就是为什么我們在生产重要的鑄鉄件时总是控制鑄鉄的組織的原因。

## 什么是金相組織

金相組織就是金属的内部結構，有經驗的人用肉眼观察金属的断面就能大概判断出組織的情况，但是它的詳細情形必須在顯微鏡下放大数百倍后才能看到，所以金相組織又称顯微組織。

需要观察金相組織的金属試样，在观察以前必須預先进行加工和处理，試样先要經過几次磨光和拋光，直到表面完全光滑、沒有磨痕时为止，然后用适当的腐蝕剂（对于鑄鉄試样通常采用硝酸酒精溶液）腐蝕一定時間。經過这样处理的試样表面是凹凸不平的，因为一般金属材料都不是單純由一种基体組織所組成，往往包括几种不同的組織成分，各种組織成分的性質不同，它們对腐蝕剂的抵抗能力也有差別，因此被腐蝕的深度也就各不相同。根据这个特点，就能观察金属的組織。

用来研究金属組織的顯微鏡不是医学或生物学上应用的

普通顯微鏡，而是一種利用反光原理的金相顯微鏡，它的放大倍數從幾十倍到 1,500 倍，甚至更高，一般常用的放大倍數為 100 倍到 500 倍(圖1)。從光源來的光線，經稜鏡和物鏡射到

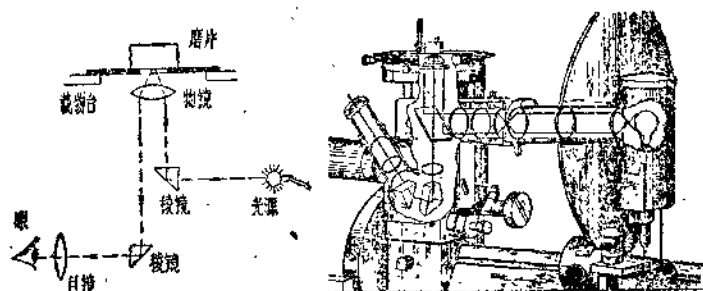


圖 1. 金相顯微鏡示意圖

試樣表面上再反射出來，經過物鏡和稜鏡後穿過目鏡，觀察者就能從目鏡中看到試樣表面的情況。在顯微鏡上加設特殊的裝置後還能對試樣表面進行攝影。試樣表面由於組織不同而深淺不一，所以光線的反射情況也不同，在顯微鏡下看到的試樣表面有些部分較亮，有些部分較暗，這樣觀察者就能根據明暗的情況決定金屬的組織。

### 鑄鐵的金相組織

鑄鐵組織中的一個重要組織成分是石墨，這是鋼的組織中所沒有的。在鑄鐵中約有 2.5—4.0% 的碳素，這些碳素以兩種不同的狀態存在於鑄鐵中：一種是碳素與鐵化合成碳化鐵，另一種就是碳素從金屬中析出成為游離石墨的狀態存在

于金属基体之中，它与鑄鉄的性能有很大的关系。鑄鉄組織中除石墨和其他夹杂物以外的部分称为金属基体，或簡称基体，它与石墨的性质完全不同。我們在研究鑄鉄的組織时把它分成两部分来研究——石墨部分和金属基体部分。

鑄鉄金相組織中的主要組織成分有：

1. 石墨 即游离碳素。鑄鉄組織中的石墨主要有三种形状：片状、球状和棉团状(图 2)。这三种石墨本身的物理性质基本上没有区别，但是石墨形状与鑄鉄性能的关系却很大。鑄鉄試样經拋光后不須侵蝕就可在金相显微镜下观察到石墨的形状和分布情形，在明亮的底子上看到暗灰色的东西就是石墨。

2. 鉄素体 鉄素体几乎就是純粹的鉄，所以又称純粹鉄体，它的含碳量不超过0.01%。在显微镜下看到的鉄素体組織是許多明亮的結晶顆粒，相互之間隔有較暗的分界綫(图 3)。

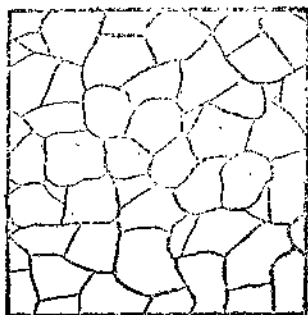
3. 渗碳体 即碳化鉄( $\text{Fe}_3\text{C}$ )，是鉄与碳化合而成的化合物，它的含碳量为 6.67%，在显微镜下看到的渗碳体組織是特別光亮的片状或粒状組織。

4. 珠光体 珠光体是鉄素体与渗碳体的机械混合組織，它的含碳量約为 0.8%。珠光体組織在普通放大倍数 300 倍的显微镜下看来是較暗的晶粒組織(图 4)。因为珠光体中的渗碳体在試样受侵蝕时，腐蝕較鉄素体少，所以渗碳体就比它周圍的鉄素体高出一些，因此把从鉄素体上反射出来的光綫遮住，使鉄素体变暗。此外，因为鉄素体和渗碳体的层状混合組織是很細密的，所以在普通的放大倍数下不能辨别出渗碳体和鉄素体的单独組織，而只看到一致的暗的結晶顆粒。在放大倍数較高的金相显微镜下观察珠光体組織时，可以清楚



图 3. 铁素体组织 →

← 图 2. 片状石墨



← 图 4. 珠光体组织

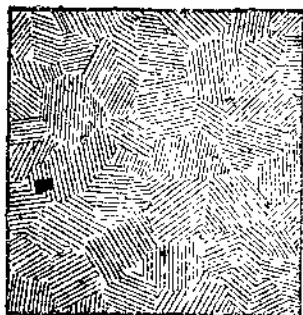
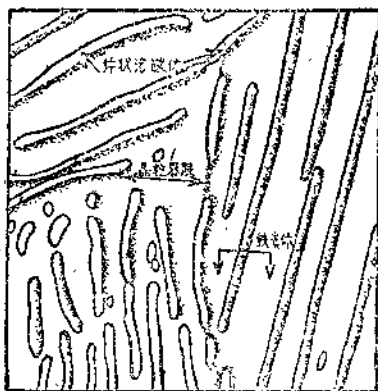


图 5. 珠光体结构 →



地看到在明亮的鉄素体基体上散布着更光亮的片状渗碳体結晶(图5)。

## 影响鑄鉄組織的因素

鑄鉄中的碳素是以两种不同的状态存在着——游离石墨和碳化鉄，这两种不同状态的碳素的数量决定着鑄鉄的金属基体組織，如果碳素絕大部分以游离石墨状态存在，則鑄鉄金属基体主要是鉄素体組織；如果有0.8%左右的碳素以碳化鉄状态存在(其余碳素仍为游离石墨)則金属基体将为珠光体組織；如果以碳化鉄状态存在的碳素超过0.8%，那末在鑄鉄組織中就产生自由渗碳体。

影响鑄鉄組織的因素很多，主要的是鑄鉄化学成分和鑄件冷却速度。

1. 鑄鉄化学成分的影响 鑄鉄中的各种元素可以分成两类，一类是石墨化元素，另一类是阻止石墨化的元素。所謂石墨化就是使碳素在鑄鉄凝固冷却时析出为游离石墨的趋向。石墨化元素就是能够促进碳化鉄分解成为游离石墨，使鑄鉄中較多的碳素以石墨状态存在的元素。在所有的石墨化元素中，碳和矽具有最大的作用，所以碳矽含量高的鑄鉄，它的組織主要是鉄素体的基体和粗大的片状石墨，反之則在鑄鉄組織中就会有珠光体存在，而且石墨也会变細。当碳和矽的含量減少到一定限度时，鑄鉄就会变成白口。除了碳和矽以外，促使石墨化的元素还有鎳和銅等。与石墨化元素相反，鑄鉄中某些元素如錳、硫、鉻、鎂等能够阻止化合碳的分解，阻止珠光体分解为鉄素体和石墨，所以在鑄鉄中如果这类元素含量較多，金属基体就主要是珠光体組織，甚至有自由渗碳体出

現。

2. 鑄件冷卻速度的影响 鑄件冷卻速度与金相組織有很大关系，这是因为鑄鉄中的部分游离石墨是由碳化鉄分解而成的，这种分解过程必須在高温下經過一定時間以后才能完成，假使鑄件冷卻太快，就沒有足够的時間使碳化鉄全部分解为游离石墨和鉄素体，这样，沒有分解的碳化鉄就存在于珠光体組織中或以自由渗碳体出現。

前面講过的两个例子都能用以上原理来解釋。第一个例子是因为在金属型中鑄鉄冷卻很快，碳化鉄不及分解，就全部成为自由渗碳体而使鑄鉄成为白口。而在砂型中，因为鑄鉄冷卻緩慢，所以化学成分虽然与前者相同，但是由于碳化鉄分解的时间充分，因而得到的鑄件中沒有自由渗碳体存在，断面呈灰色。在第二个例子中，粗的試棒冷卻較慢，碳化鉄容易分解为石墨，但是因为鑄鉄中碳砂含量較低，石墨化作用較差，所以得到的鑄鉄組織就可能与用碳砂含量較高的鉄水澆鑄的較細的試棒相接近。

除了鑄鉄化学成分和鑄件冷卻速度影响鑄件組織以外，較高的鉄水过热温度和較长的保持時間能够阻碍鑄鉄的石墨化过程，而在鉄水內加入所謂“孕育剂”的物质，則能使原来将为白口的鑄件变成灰口，这些因素在談到孕育鑄鉄时将詳細討論。