

钢和铸铁的 结构性能和用途

李 惠 忠 著

冶金工业出版社

15.11.7

7.12

鋼和鑄鐵的結構、性能和用途

李惠忠 著

編輯：謝淑蓮 設計：××× 韓晶石 校對：吳研琪

— * —

冶金工業出版社出版(北京市灯市口甲45號)

北京市書刊出版業登記證出字第093號

中央民族印刷廠印 新華書店發行

— * —

1959年6月第一版

1959年6月北京第一次印刷

印數14,220冊

開本787×1052·1/32·54,000字 印張2張

— * —

統一書號 15062·1540 定價 0.24元

內 容 提 要

本書是一本通俗的讀物。書中敘述了我国冶煉鋼鐵的發展簡史和我国古代人民在鋼鐵冶煉史上的貢獻；介紹了什么叫熟鐵、鋼、生鐵及它們之間的區別、金屬的機械性能，以及鋼和鑄鐵的結構、性能及用途。

本書適合煉鐵工人、鑄造(翻砂)工人、鍛造工人、焊接工人、熱處理工人及初級技術人員閱讀。

目 录

一	我国冶煉鋼鐵的發展簡史.....	1
二	什么叫熟鉄、鋼、生鉄.....	5
三	机械性能的簡要介紹.....	9
四	鋼和鑄鉄中的結構.....	19
五	鋼的結構、性能和用途.....	24
六	鑄鉄的結構、性能和用途.....	49

一 我国冶煉鋼鐵的發展簡史

我国是世界上發現金屬和使用金屬最早的国家。大約在四千多年以前，我們国家的祖先已經会用熔化金屬的方法来鑄造銅器，不过現在还没有实物証明。但从現在發掘的实物来看，我国在商代（約在三千多年以前）的确有了銅器和青銅器，如銅制的箭头、矛、刀、盆、鏡和裝飾品等。

冶煉青銅要比冶煉鋼鐵容易得多了，因青銅的熔点（900℃左右）远比鋼鐵的熔点（1300~1500℃左右）为低，因此人們大多是先学会了冶煉銅器。

随着生产的發展，人們对金屬性能的要求就愈来愈高，因为青銅不論在鍛造性能、强度、硬度等都是較低的，所以必須有另一种性能較好的金屬来代替它。当人們学会了从燃燒中得到高溫的技术；从而学会了煉鉄的方法之后，我們的祖先就漸漸地由銅器时代进入了鉄器时代。

近几年来，我国考古工作者發現了公元前五世紀的鉄器，但数量不多；同时又發現了公元前三、四世紀的鉄器，不仅数量較多，并且根据实物的冶鑄条件，可以判断当时已掌握了相当技术水平。但从世界冶鉄技术的發展历史来看，掌握这一技术水平决不能在剛發明冶鉄初期所能达到的，定有其相當的發展时期。因此，可以推断，將近在三千年前的周代时期，中国古代劳动人民已經發現并使用了鉄。

在春秋末年和战国的文献上，如“墨子”、“管子”、“韓非子”等書中，已出現了許多鉄器的名称，如鉄椎、鉄甲、鉄

劍、鐵鎛、針、刀、斧、鋸、錐、鑽等，以及鐵制的農具，如耒、鋤、耜、犁等。同時在1950年在河南輝縣發掘魏國墓葬，發現鐵制生產工具十幾種九十多件，鐵制兵器八十件；1953年在熱河發現戰國時代鐵器六種八十六件。根據上述歷史記載和發掘實物來看，完全可以肯定，在春秋戰國時代所製造的鐵器不僅種類多，而且冶鐵和製造的規模也相當大。值得注意的是這一時期，還發明了與現代冶金科學相符合的技術，即用生鐵炒煉熟鐵和煉鋼的技術，出現了長達一百四十公分的鐵劍，並產生在歷史上最有名聲的刀劍，如“干將”、“莫邪”；其它如“湛盧”、“巨闕”、“魚腸”、“龍淵”、“太阿”、“工布”等等，也都是歷史上有名的寶劍。

在漢唐時代，特別是到了宋代，冶鐵事業已經有了很高的發展。在漢代炒煉熟鐵的技術更加提高，鐵制的兵器、農具的應用更加普遍，用熟鐵鍛制成的鐵工具，特別是手工業工具，已逐漸代替了用生鐵鑄造成的工具。到了唐代，每年產鐵一千多萬斤，而到宋代，已年產三千萬斤以上。後來到元代鐵產量減少到兩千多萬斤，但到明代，又從年產三千萬斤發展到年產九千萬斤以上。

十七世紀初期（明朝末年），宋應星所著的“天工開物”一書中，對煉鐵煉鋼生產操作過程作了詳細的記載，並生動地用圖畫描繪出這一生產過程（圖1）。下面將簡單敘述一下這本書中關於冶煉鋼鐵的記載。

為了製造生鐵、熟鐵和鋼（這些名詞的意義後面再作解釋），必須用一爐子，這個爐子是用鹽和泥土砌成的。在爐旁有一風箱，為的是向爐內鼓入空氣，提高爐內的燃燒溫度。如果將木柴、煤炭或木炭和鐵礦石放在爐子里燃燒，就能產

生很高的溫度并使鐵矿石熔化。熔化后所生成的鉄水就从爐腰間的一孔流出。如果要使鉄具有一定的形狀，只要將鉄水流入一定形狀的模子里就可以了。这一过程所得到的鉄就是生鉄。



圖 1 古代土法煉鉄过程

如果要想得到熟鉄，可將鉄水流入另一槽（方塘）中，并用木棍不断地攪拌鉄水（炒鉄），同时向鉄水撒泥灰。这样就能使鉄水中的碳、硫、磷等杂质通过攪拌和空气接触，跟空气中的氧化合成氧的化合物，这些氧化物和加入的泥灰相互作用后，就跟鉄水分离，最后得到較純的鉄——熟鉄。

如果要制取鋼，可以將熟鉄和生鉄放在一起，在泥制的爐內加热到高溫，使它們熔化并混合，通过錘打挤出其中的

渣，并氧化掉部分的杂质，就制成既韧、又坚硬的鋼。

必須指出，上述这一鋼鉄生产过程，即將煉鉄爐与炒鉄爐串联起来，并减少一步再熔化操作的这一过程是现代冶金技术上一个重要的特色。而在当时的欧洲尚未見到这一冶炼方式；此外，这一生产过程把鉄矿石煉成生鉄，再由生鉄煉成熟鉄，然后由生鉄熟鉄合煉成鋼，这正是今日推行在全世界的鋼鉄生产系統。

值得提出的是，自从我們的祖先在發明鑄鉄术，并使用鉄器以后的一千多年，欧洲才發明鑄鉄术。資本主义国家的学者認為，欧洲的鑄鉄术还是在十一、十二世紀之間由中国傳入的，至今只不过九百多年的历史。

如上所述，在世界冶金史上，我国在鋼鉄冶炼方面，不仅历史悠久，并且在取得光輝的技术成就方面也是最早的国家。远在几千年前或几百年前，我們的祖先已掌握了完全合乎现代科学原理的冶炼技术。近百年来，由于外国帝国主义的侵略，和国内反动政府的統治，使我国鋼鉄工業停滯不进，并落后于世界先进的国家。

解放以来，由于共产党的正确领导和全国人民忘我的劳动，在解放后不到十年的时间里，我們做了前人几十年几百年甚至几千年所沒有做到的事情。在1958年，我国貫徹以鋼为綱發展各項工業的方針，使我国鋼鉄事業的發展速度达到世界上任何国家在任何时期所沒有过的速度，并帶动各工業部門全面躍进。在已取得胜利的基础上，全国人民在党的领导下，为完成今年1800万吨鋼产量的任务而繼續奋斗。

二 什么叫熟鐵、鋼、生鐵

1. 制取鋼和生鐵的簡要原理

在自然界中，除隕石有可能是純鐵外，几乎全部的鐵在鐵矿石中，主要是和氧化合在一起，形成氧化鐵。然而在鐵矿石中除氧化鐵外，还有佔据比重很大的氧化矽及小部分的氧化錳，此外尚有少量的硫、磷等雜質。后二者含量虽少，但却对生鐵及鋼的性能有害，这在以后再作說明。制取生鐵的过程就是要將氧化物中的氧除去，并尽量將雜質含量减少到最低程度。

冶煉生鐵的主要原料除鐵矿石外，尚有焦炭和石灰石等。根据各原料的化学成分，經過配料計算，相互按一定的比例裝入高爐內进行熔煉。

在高爐中，加入焦炭是为了創造很高的溫度（約1700°C左右）；加入石灰石是为了在高溫条件下去除熔融鐵矿石中的雜質，如氧化矽、硫和磷等。在高溫条件下，高爐內进行着复杂的化学反应：矿石中的氧化鐵与焦炭中的碳作用，使碳夺取氧化鐵中的氧（这一去氧过程称为还原），生成一氧化碳和二氧化碳的气体跑出爐外，这样得使鐵和氧分离；焦炭中的碳又繼續和鐵熔合，使生鐵的熔化溫度降低，促使生鐵更容易化成鐵水，并提高鐵水的流动性；石灰石中的氧化鈣与矿石中和焦炭灰分中的氧化矽化合，形成熔化溫度較低并呈熔融状态的爐渣，浮飄于鐵水表面，使鐵水与爐渣分离。

爐渣內除含有氧化鈣和氧化矽外，尚含有少量的氧化鐵、氧化鋁、氧化錳、硫化鈣及磷的氧化物等。然而鐵水除吸收部分碳外，尚含有來自礦石和焦炭中殘存的矽、錳、磷、硫等雜質。前三者大都是在礦石熔化過程中，由於它們的氧化物被焦炭中的碳還原，進入鐵水，而後者主要來自焦炭。鐵水凝固后就所謂生鐵。

在冶金工廠中，使生鐵變成鋼一般是在平爐或轉爐里進行。由於經高爐冶煉後的生鐵，含有大量的碳和雜質，因此煉鋼的目的就在於清除生鐵中的大部分碳和雜質。但是，如果說熔煉生鐵的過程主要是用碳來還原礦石中的氧化物（如氧化鐵、氧化矽等），則煉鋼的過程却與之相反，仍是用氧來化合生鐵中的碳、矽、錳、磷、硫，使它們的氧化物浮入渣中，與鋼水分離。

在平爐里進行煉鋼時，向爐內通入空氣和燃燒氣體（如發生爐煤氣、高爐煤氣與焦爐煤氣的混合氣體等），產生很高的溫度，使金屬熔化。空氣中的氧與熔融的金屬表面接觸，形成鐵的氧化物。這些氧化鐵透過熔渣深入熔融鐵水內部。由於碳、矽、錳、磷和硫與氧親近的能力大於鐵，則它們很容易從鐵的氧化物中奪取氧，並與氧化合，形成它們自己的氧化物。碳和硫與氧形成氣體，經過渣層，逸出爐外；矽、錳和磷與氧化合，形成固態或液態的氧化物浮入渣里。為了加速碳和雜質的氧化過程也可向熔融的鋼液中放入鐵礦石，因鐵礦石中所含的大量氧化鐵，與鋼液中的碳和雜質作用，促使碳去掉得更快，也促使雜質從鋼液中分離出來。

在出鋼前，雖然鋼水里的碳和雜質含量減少到一定程度，然而鋼水中卻又增加了一部分氧，這會使鋼的性能變

坏，在軋制或鍛造过程中使鋼产生裂紋。所以在鋼水出爐前，向鋼水中放入矽鉄、錳鉄合金或鋁，因矽、錳、鋁与鋼水中的氧形成氧化物浮入渣內，最后得到化学成分合乎一定要求的鋼液，并使其鑄入錠模或型模內进行凝固，获得一定形狀的鋼錠或型件。

2. 什么叫熟鉄、鋼、生鉄

了解上述的煉鉄和煉鋼的簡要原理和过程，熟鉄、鋼和生鉄之間的区别就很容易区分开来。簡單地說，可以根据碳和雜質的含量，也可以根据它們能否承受鍛打的能力来区分：

1) 熟鉄

熟鉄是含碳量不超过 0.1%、并且只含極少雜質的鉄碳合金。它的性質柔軟，强度較低，但它可以进行錘鍛，制成各种用品，家用的熟鉄鍋就是一例。但是由于最近几十年来，煉鋼技术的發展，不論在产量、性能、成本等方面都压倒熟鉄，因此熟鉄几乎全部被低碳鋼所代替了。

2) 鋼

鋼是含碳量大于 0.1%、小于 2% 的鉄碳合金。由上述煉鋼过程可以看出，在工業上所用的鋼，除去含不同量的碳外，它們都含有少量的矽、錳、磷和硫等的雜質。鋼和熟鉄一样，是可以进行錘鍛的，不过鋼中含碳量愈多，錘鍛愈感到困难，所以工業用鋼的含碳量很少超过 1.4%，唯有少数的合金鋼种可使鋼中的碳含量增加到 2% 左右。

3) 生鉄

生鉄是含碳量大于 2% 的鉄碳合金。由生鉄的熔煉过程中可看出，除含碳外，尚含有比鋼稍多的矽、錳、磷和硫等

杂质。表1列出在一般情况下钢和生铁中碳和杂质的对比数值。但在实际应用中，生铁的含碳量一般是在2.5~3.5%之间。生铁不能进行任何锤锻，因此用它制成的工件是不能进行锻造的。生铁的制品只能用浇铸的方法（翻砂）制得的，所以生铁又叫铸铁。至于生铁为什么不能进行锤锻，这个问题以后再介绍。

钢和铸铁的成分

表1

金 属	成 分 含 量, %				
	碳	硅	砂	硫	磷
钢	0.1~2.0	0.1~1.2	0.17~0.37	0.02~0.07	0.02~0.9
铸 铁	2.0~4.5	0.2~2.0	0.5~3.5	0.02~0.15	0.02~2.0

这样看来，如果按含碳量的多少来区别钢和铁，那么钢正好在熟铁和生铁之间；熟铁和钢都有不同程度的锻压性能，而生铁是不能进行任何锻压的。

三 机械性能的簡要介紹

在建筑結構和机器零件中的絕大部分材料是由金屬制成的，它們受着不同性質的外力进行工作着。譬如，起重机上的鋼索，在它吊卸物件时，就受着拉伸的力量；混凝土中的鋼筋在受到房屋上層部分重量的作用下，一直受到壓縮的力量；汽車上的彈簧在它們工作时也不断受着冲击的力量；桥梁上的鋼架和鋼軌在数以千吨以上的火車行駛过后，不得留下絲毫能看得出变形的情况，当然还有很多結構和零件在工作时，它們受力的情况更为复杂和繁重。

所有上述金屬抵抗拉伸、壓縮、冲击、弯曲等力量，而形狀不發生显著的改变或不产生破裂折断的性能，通称为金屬的机械性能。

金屬的机械性能是金屬最重要的性能，它是金屬質量的指标，它也能使設計和制造技術人員最合理地選擇材料，發揮材料的潛在力量，減小零件的尺寸，減輕机器的重量。譬如，了解鑄鐵的机械性能，就不会拿它来当作制造彈簧的材料；知道含碳量为 0.4% 鋼的性能，就不会用它来制作刀具或量具；又如，若利用含錳量为 1.5% 的鋼来代替 3 号普通甲类鋼，就可为建造長江大桥節約 8,000 吨鋼材，同时減輕結構重量；掌握球墨鑄鐵的机械性能，就可以用它来代替过去許多用鑄鋼或鍛鋼制成的机架和零件，如軋輥、鉄軌、曲軸等。由此可見，了解金屬的机械性能，不論在經濟价值或安全可靠方面均具有重要的意义。

無論是煉鋼、鍛造、焊接、熱處理或鑄造工作者都力求不斷提高金屬和合金的機械性能。下面只簡要介紹幾種在鋼鐵方面最常用的且最重要的機械性能：強度、塑性、彎曲、硬度和沖擊韌性。

1. 強 度

為了測定金屬的強度，可將金屬材料制成一定形狀和尺寸的試樣（圖2），在拉力試驗機上進行拉力試驗。拉力試樣最重要的兩個尺寸是：試樣的計算部分的長度 l 和直徑 d 。在一般情況下，試樣計算部分的長度為直徑的5倍，例如試樣的直徑 $d=10$ 公厘，則試樣計算部分的長度 $l=50$ 公厘。

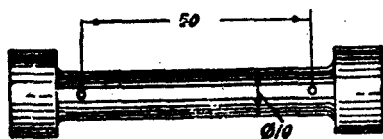


圖2 拉力試驗的試樣

在開始試驗時，將試樣安放在拉力試驗機上，並施以拉伸力量慢慢地增加在試樣上，使試樣逐漸被拉長，即改

變原來的形狀（變形）。但在最初時期，在外力不大的情況下，試樣的變形很小，幾乎達不可覺察的程度。如果這時消除外力，試樣仍能恢復到它原來的形狀和尺寸，我們將這一期間的變形，稱為彈性變形。彈性變形就是將外力除去後，試樣就恢復到原來形狀的變形。

如果繼續增加外力，試樣繼續伸長。當外力增加到一定程度，這時將外力除去後，試樣的長度雖稍有點恢復，但再也不能回到原來長度了，即有一部分的變形被保留下來，這一變形稱為塑性變形。塑性變形與彈性變形不同，當外力停止作用以後，試樣不能恢復到原來的形狀和尺寸。塑性變形

又称为余留变形。

金屬由彈性变形到塑性变形是一很重要的轉变，对于不同的金屬或合金，这一轉变是在不同值的外力下完成。准确地測定这个轉变时的外力是很困难的，一般只能假設把試样的余留伸長增加为試样計算部分長度的 0.2% 时，就作为試样由彈性变形向塑性变形轉变时的外力。具体拿上述的試样 ($l=50$ 公厘) 來說，当余留長度为 0.1 公厘时的外力，就是該試样由彈性变形向塑性变形的过渡时的外力。

記录下余留長度为 0.2% (0.1 公厘) 时的外力，可以計算出金屬材料这时的应力。所謂应力，就是在試样横截面上，單位面积所受的力。显然，力可以用公斤来衡量，面积用平方公厘来衡量。因此应力可用分布在一平方公厘面积上的公斤数来衡量。

上述試样的直徑为 10 公厘，則試样的横截面积 F_0 可按下列公式求出：

$$F_0 = 3.14 \cdot d^2 / 4 = 3.14 \cdot 10^2 / 4 = 3.14 \cdot 100 / 4 = 78.5 \text{ 公厘}^2.$$

假設余留長度为 0.2% (0.1 公厘) 时的外力为 2400 公斤，这时金屬材料的应力为： $2400 \div 78.5 = 30.5$ 公斤/公厘²。这一应力称为屈服点，用字母 σ_r 表示之。所謂屈服点，就是能引起材料余留变形为 0.2% 的应力。

屈服点是金屬材料性質很重要的指标。为了制造并使用輕巧而坚固的机器，設計和制造工作者要想尽可能充分地利用材料强度的依据就是屈服点。他們使制造各种結構、零件的金屬材料承受很大的应力，但又不應發生能覺察的余留变形。屈服点就是使材料的能力既能充分地發揮，同时又不会使材料变形或破坏的重要指标。我們不能想象火車能在有余

留變形的軌道上繼續行駛，彈簧能夠在不恢復原來形狀的條件下繼續承受荷重。由此可見，機器或結構上的零件在工作時所受的應力，決不能大於材料本身的屈服點，材料的變形也只能發生在彈性變形的範圍內。

當對上述試樣繼續增加外力，試樣愈來愈被伸長，並且這時的伸長完全是塑性變形。隨著外力不斷增加，試樣的斷面愈來愈細，並且在試樣上的某部分出現“細頸”，最後就在細頸處斷了（圖3）。

假設試樣在斷裂前最大的外力為4400公斤，這時的應力即為： $4400 \div 78.5 = 56.0$ 公斤/公厘²。這一應力稱為材料的強度極限，用字母 σ_b 表示之。所謂強度極限，就是試樣於斷裂前在橫截面上所出現的最大應力。



圖3 拉斷後的試樣

確定材料是否有缺陷，材料的化學成分是否正確，標誌着金屬材料質量的高低。

強度極限是材料一個很重要的性質。它除去給設計工作者在設計零件時，作為選擇材料的依據外，用它還可以

2. 塑 性

在做上述拉力試驗以測定金屬強度時，就曾提到塑性這一名詞。材料的塑性就表明材料在外力作用下能改變自己的形狀而不致破壞的性能。材料塑性的好壞可用相對伸長率（用字母 δ 表示）和相對面積收縮率（用字母 ψ 表示）來衡量。

我們已知上述試樣的原計算長度 $l=50$ 公厘，在試驗后，斷裂試樣的計算長度 $l_1=64$ 公厘，則試樣的相對伸長率 δ 可按下列式計算：

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\% = \frac{64 - 50}{50} \times 100\% = 28\%.$$

即原試樣的計算長度若為 100 等分，則拉斷后，試樣伸長 28 等分。

材料的相對伸長率愈大，則表明材料的塑性愈好。例如純鐵的相對伸長率幾乎等於 50%，而硬的工具鋼只有百分之几，普通生鐵的相對伸長率更低，小於 1%。

材料的相對面積收縮率也可這樣計算得到：測量拉斷后的試樣在細頸處的直徑 d_1 ，由此計算出細頸處的橫截面積 F_1 ，再根據試樣原來的橫截面積 F_0 ，即可確定相對面積收縮率 ψ 。

已經知道試樣的原橫截面積 $F_0=78.5$ 公厘²，並測得試樣在細頸處的直徑 $d_1=7.5$ 公厘，細頸處的橫截面積 F_1 ：

$$F_1 = \frac{3.14 \cdot d_1^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 7.5^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 56.25}{4} = 44.2 \text{ 公厘}^2.$$

則試樣的相對面積收縮率 ψ 按下式求得：

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% = \frac{78.5 - 44.2}{78.5} \times 100\% = \frac{34.3}{78.5} \times 100\% = 43.7\%.$$

即若原試樣的橫截面積為 100 單位，則拉斷后的試樣，其橫截面積縮小 43.7 單位。

軟鋼的相對面積收縮率可以高達 60%，而硬鋼低於 20%，一般鑄鐵在拉伸時，幾乎沒有細頸，並且相對面積收縮率幾乎等於零。