

船舶小叢書

船 舶 材 料

蕭才勵編著

10

人民交通出版社

船舶小叢書

船舶材料

蕭才勵編著

人民交通出版社

71341

本書介紹鋼、鑄鐵、銅合金和軸承合金等一些主要船舶材料的知識，說明它們的種類、成分、結構、性質和應用。要使船舶具有優越的營運性能，在建造和修理時必須選用適合的材料，本書可以幫助船員、船廠技工、材料管理人員及航運機關工作人員掌握船用金屬材料的一些基礎知識。

01128/22

書號：15044·6075

船 舶 材 料

蕭才勵編著

人 民 交 通 出 版 社 出 版

北 京 安 定 門 外 和 平 里

新 華 書 店 發 行

中 科 藝 文 聯 合 印 刷 廠

1956年8月上海第一版 1956年8月上海第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 2 $\frac{3}{16}$ 插頁 1

全書 51,000字 印數 1—4100冊

定價(9)：0.26元

上海市書刊出版業營業許可証出字第零陸號

緒 言

現代船舶的特点是馬力大、載重多、速度快和航行安全。要讓它們具有這些優越的性能，除了在修造船舶的時候應有良好的設計和正確的施工以外，同樣重要地還必須選用適當的材料。

蘇聯船舶登記局在“造船造機材料與制品試驗規範”中，對於船舶材料的使用作了詳細的規定。1955年我國船舶登記局籌備處也頒布了“海船材料與制品試驗規範試行草案”規定了修造海船使用材料的試行標準。

為了很好地掌握上述這些標準，必須熟悉各種船舶材料的種類、成分、結構、性質和應用。

決定每一個船舶零件應該用那一種材料來製造，首先要研究這個零件的工作條件，然後根據這些條件選擇性質合適的材料。由於材料的性質取決於它們的成分和結構，那麼我們所選用的材料就必須具有一定的化學成分和適當的組織結構。例如，船用柴油機活塞漲圈的工作條件和要求是：

1. 漲圈應該經常地緊貼在汽缸套壁上，以密封活塞與汽缸套的間隙而使氣體不致由此逸出，同時將活塞頂部的熱傳導給汽缸套及其外面的冷卻水，因此它必須具有適當的彈力；

2. 由於活塞的往復運動，漲圈不斷地與汽缸套相互摩擦，為了不致迅速磨損，它必須具有優良的耐磨性質；

3. 為了維持柴油機的正常運行，漲圈和汽缸套之間必須不會咬死，因此必須具有自行滑潤的性能；

4. 漲圈的平均工作溫度約為 350°C ，因此它必須具有適當

的热稳定性，也就是說，長期处在工作溫度下也不会失去上述的各种性能；

5. 柴油在汽缸內燃燒后將產生一些二氧化碳和二氧化硫等气体，漲圈的材料須能抵抗这些酸性物質的侵蝕；

6. 漲圈裝到活塞上或从活塞上卸下的时候，必須將漲圈撐大到一定程度以越过活塞頂部，这时它必須不会折断或变形，因此需要一定的强度。

根据上述，我們決定采用 MC4 28~48 或 MC4 32~52 牌号的灰鑄鉄來制造它（球墨鑄鉄也是一种極好的漲圈材料，但在采用时宜修正漲圈的設計使其彈力不致过大而免汽缸受到劇烈的磨損）。这种鑄鉄具有28公斤/平方公厘以上的抗拉强度和較高的彈性系数，而且含有適量的石墨，因而具有良好的潤滑性能。为了提高它的耐磨性，我們可以在其中加入 0.5% 以上的磷。为了提高它的耐酸、耐热和热穩定方面的性質，还应该加入一些鎳、鉻和鉬等合金元素。最重要的是为了使它的性能符合上述的要求，它的基体結構和石墨結構必須加以控制，使含有細致的珠光体和一些不連續的二元斯氏体，以及細小的、呈无定向分布的片狀石墨。滲碳体和較多的鉄素体組織不允許在它的結構中存在。掌握了这一些，我們就能制造出品質优良的活塞漲圈。

由此可見，材料的適當選擇要靠我們对于材料性質的熟悉。

这本小冊子介紹了几种主要的船舶材料——鋼、鑄鉄、銅合金和軸承合金——的一些知識，希望能供选用船舶材料时的參考。

目 錄

諸言

第一章 鋼..... 1

鋼的种类——鋼和熟鐵、鑄鐵的區別——鋼的成分、結構
和性質——合金鋼——鋼的牌號——鋼材在船舶修造中
的應用

第二章 鑄鐵.....29

鑄鐵的种类——灰鑄鐵——球墨鑄鐵——可鍛鑄鐵——
合金鑄鐵——鑄鐵在船舶修造中的應用

第三章 銅合金.....48

銅合金的种类——紫銅——黃銅——青銅——銅合金的
牌號——銅合金在船舶修造中的應用

第四章 軸承合金.....59

軸承合金的种类——軸承合金在船舶修造中的應用

附錄.....62

第一章 鋼

鋼是一種含有碳和一些其他元素的鐵合金。它具有很高的強度、韌性和塑性，而且不論在靜力的、變動的或衝擊的負荷下都有着很好的機械性質。因此，在工業上，鋼的用途很廣，而且也最重要。它是修造船舶的最主要的材料之一。

鋼 的 種 類

鋼有很多種類，分類的方法有幾種：

1. 依照化學成分分類 依照鋼的化學成分的不同，可以分為**碳素鋼**和**合金鋼**兩大類。

碳素鋼含有鐵、碳、矽、錳、硫、磷等元素和極少量的其他雜質。合金鋼則除了上列諸元素外還含有特意加入的鉻、鎳、鎢、鉬、鈮、鋁等合金元素。鋼中所含的矽、錳超過了一定數量（矽超過0.5%或錳超過1%）的時候也叫做合金鋼。

碳素鋼在船舶修造工業中應用得最廣泛；一般所用的鋼板、角鐵、鋼管、鉚釘和普通的鑄鋼和鍛鋼材料都屬於這一類。合金鋼具有較高的機械性質，適用於要求較高的和最重要的結構方面，並可用來製造不銹的、耐熱的、耐磨的和耐酸的各种零件。

合金鋼中，合金元素總含量不超過3%的叫做**低合金鋼**，介於3%~5.5%之間的叫做**中合金鋼**，等於或超過5.5%的叫做**高合金鋼**。

2. 依照含碳量分類 碳是鋼中最主要的成分。鋼的含碳量不同，它們的性質和用途也不同。

含碳量在 0.3% 以下的叫做**低碳鋼**，含碳量在 0.3~0.5% 的叫做**中碳鋼**，含碳量在 0.5 以上的叫做**高碳鋼**。

3. 依照制煉方法分类 依照制煉方法的不同，鋼可分为**滲碳鋼**、**坩堝鋼**、**轉爐鋼**、**平爐鋼**和**電爐鋼**五大类。其中轉爐鋼、平爐鋼和電爐鋼又有酸性和碱性的区别。

滲碳鋼因为制煉费时，成本过高，近來已不制造。坩堝鋼的含碳量较高，只适于做工具用。其余三类鋼以電爐鋼品質最好，平爐鋼次之，轉爐鋼最差。

造船所用的鋼材大都限用電爐或平爐制煉出來的鋼。

4. 依照脫氧程度分类 鋼在制煉过程中由于去氧程度的不同，又可分为**鎮靜鋼**和**沸騰鋼**兩类。前者經過充分脫氧，后者則未經充分脫氧。

鎮靜鋼的質量較好，成分均匀，但在制成的鋼錠中有較大的軸向縮松，鋼錠的上部必須割去不用，成本較高。沸騰鋼則軸向縮松較少，但含有一定数量的分散气孔，这些气孔可以經過軋压而消除。不过，这种鋼具有較嚴重的偏析現象，即在鋼錠四周有一圈成分較純的铁，而在中央部分則含有較多的碳、硫、磷等。

修造船舶所用的鋼材中有一些限用鎮靜鋼的鋼錠制成，如鍋爐鋼板和管子以及若干鍛件等是。

5. 依照用途分类 依照鋼的用途，可以分为以下三类：

1) **結構鋼**——用來制造各种結構及机器零件的鋼。它又可以根据較窄的用途分为船用鋼、鍋爐鋼、軸心鋼、鉚釘鋼、彈簧鋼、鍵用鋼等等。

2) **工具鋼**——用來制造各种工具的鋼。

3) **特殊鋼**——用來制造各种耐热、耐酸、耐磨、不銹等零件的鋼。

6. 依照品質分类 依照鋼的品質，可以分为普通鋼、優質

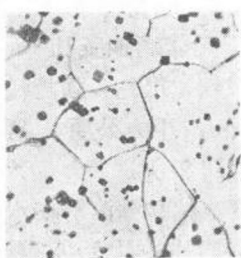
鋼和高優質鋼三類。

普通鋼分為 AB 兩族，A 族只保證一定的機械性質，不保證化學成分；B 族只保證化學成分不保證機械性質。優質鋼既保證化學成分又保證機械性質。高優質鋼則除了保證化學成分及機械性質外，其屈服強度、沖擊韌性和延伸率等都較高。

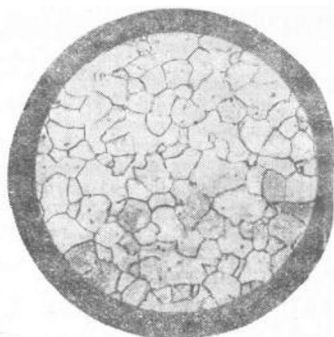
7. 依照外形與尺寸獲得的方法分類 依照鋼的外形與尺寸獲得的方法可以分為鑄鋼、鍛鋼和軋壓鋼三類。

鋼和熟鐵、鑄鐵的區別

鋼和熟鐵都是鐵和碳的合金，但它們是有區別的。如果拿一塊熟鐵，把它的表面磨光，再拿到顯微鏡下去查看，可以發現有許多長條狀或點狀的渣滓——熔渣。至於鋼料，就不會含有這樣多的熔渣，因此它們是很容易區分的（圖 1）。熟鐵的含碳量都很低微，但卻不能說含碳量低微的都是熟鐵。熟鐵和低碳鋼可能有同樣少的含碳量，但由於製造方法的不同，前者含有大量熔渣，而後者就沒有或含得極少。有些人把含碳量極低的軟鋼叫做熟鐵，乃是一種訛稱。實際上，真正的熟鐵晚近已經不再生產了。



熟鐵



低碳鋼

圖 1 熟鐵和低碳鋼的顯微結構

鑄鐵也是鐵和碳的合金，但它的性質和鋼顯然不同。這是由於它們的含碳量不同的緣故。嚴格來講，含碳量在 2.0% 以下的叫做鋼，含碳量在 2.0% 以上的叫做鑄鐵。

鋼的成分、結構和性質

金屬和合金的性質決定於它們的化學成分和結構。

為了說明鋼的性質，茲將它所含有的幾種主要成分對於其結構和性質的影響敘述如下：

1. 碳的影響

在常溫下，鐵合金中所含的碳一般呈三種形態：一種是碳和鐵的固溶體；一種是碳和鐵的化合物，稱為滲碳體；另一種是游離的碳素，稱為石墨碳。最後一種形態的碳在鋼中很罕見，但在灰鑄鐵中則大量存在。這個我們在以後將要談到。

我們都知道，一種（或多種）固體（或液體）可以溶解在另一種液體里形成溶液，例如白糖就可以溶解在水裡形成糖的水溶液。同樣地，在適當條件下，一種（或多種）固體也可以溶解在另一種固體里形成固溶體。碳在鐵中，由於溫度和其他條件的不同，可以成為 α, γ, δ 三種結構不同的固溶體。在常溫下，未經過淬火或其他特殊處理並且未含有過量合金元素的鋼所具有的是 α 固溶體，又稱為鐵素體。鐵素體的性質很軟，很韌，強度較低，富於塑性（布氏硬度 80，抗拉強度 28 公斤/平方公厘，延伸率 50%），在顯微鏡下看起來是白色的結晶（圖 2）。

鐵素體中所含碳的數量有一定的限度，就和糖溶解在水裡的數量具有一定的限度一樣。在常溫下，鐵素體的最大含碳量為 0.008%，超過這個數量的碳就以其他形態存在。

滲碳體是一種鐵和碳的化合物——碳化三鐵 (Fe_3C)。它的性

質極為硬、脆，強度很高(布氏硬度700以上，抗拉強度約 245 公斤/平方公厘，延伸率無)，在顯微鏡下看起來也是白色的結晶，不過在色澤方面和鐵素體略有區別(圖 2)。

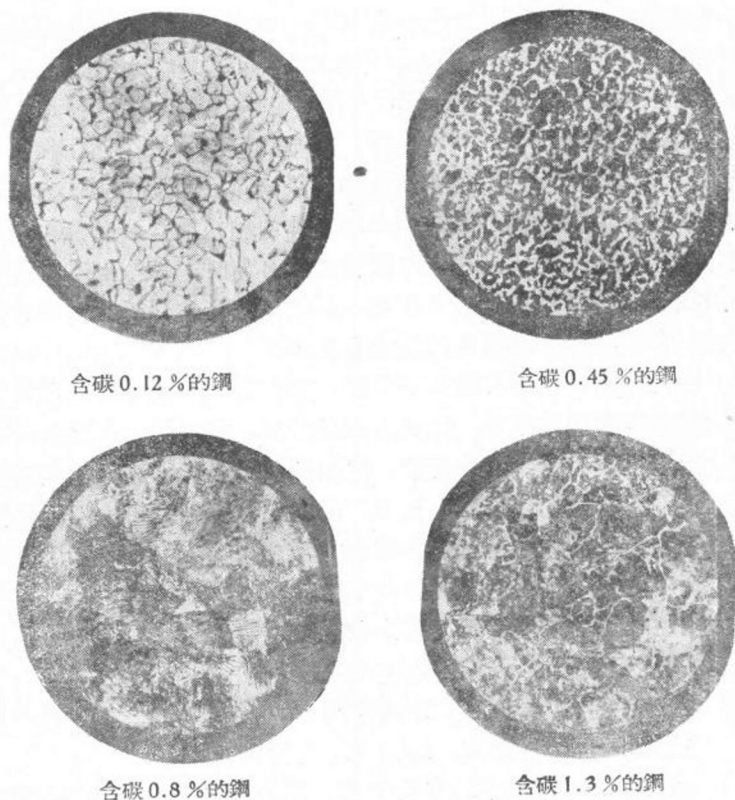


圖 2 鋼的顯微結構

含碳 0.8 % 的鋼從高溫冷卻下來的時候，其中鐵素體和滲碳體同時生成，形成一種混合得極為均勻和細致的共析體，叫做

珠光体。它的性質介于鉄素体和滲碳体之間，既不过軟，又不十分硬脆，而且具有相当高的强度（布氏硬度約 200，抗拉强度約 80 公斤/平方公厘，延伸率 10 %）。在顯微鏡下看起來，它是一种黑白相間的条紋結構。黑色条紋是鉄素体，白色条紋是滲碳体。所以从結構方面來講，珠光体并不是一种單独的形态，而是鉄素体和滲碳体的混合物，但因为它們混合得很均匀，故在机械性質方面可以当做一个整体來看待。

鋼的含碳量小于 0.008 % 时，其中的碳可以完全溶解在鉄里成为鉄素体，所以它的結構就全部是鉄素体。含碳量为 0.008 ~ 0.8 % 时，它的結構是鉄素体和珠光体两种組織；含碳愈多，珠光体所占的比例也愈大，当含碳量为 0.8 % 时，即全部是珠光体的組織了。含碳量若超过 0.8 %，則除了珠光体以外且有滲碳体存在；含碳愈多，滲碳体的数量也較多。

由此可見，鋼的含碳量不同时，它們的結構也不同，因此机械性質也有顯著的差异。鋼的含碳量低时，其結構大部分是鉄素体，所以性質較軟，强度較低，但韧性和延展性很好。含碳量較高时，鋼中的珠光体組織也較多，硬度和强度都較高，但延展性則有所降低。含碳量超过 0.8 % 时，游离的滲碳体开始出現，所以硬度更高，脆性更大，但由于滲碳体和珠光体間的結合 force 較小，故这时鋼的强度反而比完全是珠光体結構的鋼的强度低。

根据以上所述，可以得到下列的結論：

- 1) 鋼的含碳量愈高，硬度愈高。
- 2) 鋼的含碳量愈高，韧性和延展性愈低。
- 3) 鋼的含碳量愈高，强度愈高；当含碳量为 0.8 ~ 0.9 % 时，强度最高。若再增加含碳量，强度反而降低。

鋼的机械性質与含碳量的关系如圖 3 所示。

鋼的一个特殊的性質就是可以通过淬火來提高它的硬度和强

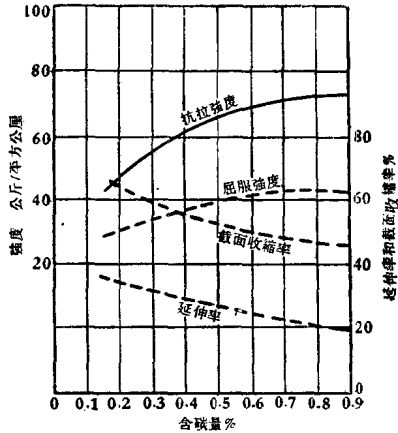


圖 3 鋼的機械性質和含碳量的關係示意圖

度。鋼的含碳量愈高，淬火後得到的硬度和強度也愈高。低碳鋼淬火後硬度很少增加。因此我們可以用淬火和測驗硬度的方法來估計鋼的含碳量。鋼的含碳量和淬火硬度的關係如圖 4 所示。

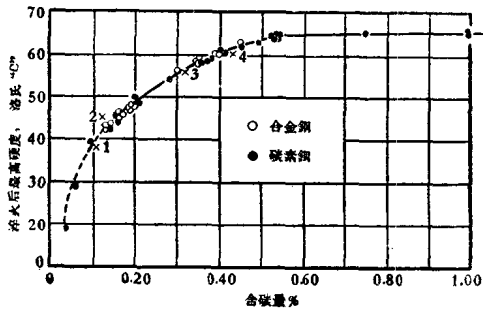


圖 4 鋼淬火後的硬度與含碳量的關係

鋼的含碳量不同時，它們的物理性質也不同。例如，含碳極少(0.10%以下)的鋼或熟鐵有着很高的透磁性和很低的頑磁性，把它們放在電磁線圈里，接通電流，就會產生很大的磁力；電流

割断以后，磁力也就很快的消失。含碳較多的鋼所產生的磁力就較小，磁力消失也較慢。鋼的其他物理性質亦多与含碳量的多寡有关。

2. 矽的影响

鋼的含矽量一般均为 $0.05 \sim 0.3\%$ ，多时也有到 0.5% 的。超过这个数量，就叫做矽鋼，乃屬於合金鋼一类了。

鋼中如此少量的矽可以溶解在鉄素体里，在顯微鏡下看不出它的痕迹。鉄素体里溶解了矽，强度和硬度都有所增加，但韧性和鍛接性則見降低。

矽有去氧的作用，因而可以减少鋼中因氧气而產生的气孔。

此外，矽尚有促使鉄合金中碳素游离的作用，也就是所謂石墨化的作用。但在一般鋼中所含碳、矽的数量都不多，因而并無石墨碳的形成，而在灰鑄鉄中，这种作用就很顯著。

3. 錳的影响

錳和氧也有很大的親和力，因而也能去除鋼中所含的氧，减少气孔。

錳在鋼中很易与硫化合成为硫化錳 (MnS)。它是一种灰色的点状物(圖 5)，在顯微鏡下可以清晰地看到。硫在鋼中是有害的物質，但与錳結合后就减少了它的危害性。因此，在这一方面來講，錳是一种有益的物質。優質鋼的含錳量均不少于 0.25% 。

除了和硫化合以外，多余的錳能够溶解在鉄素体里，增加其强度和硬度。但当錳的含量超过 0.3% 时，就和碳化合成为



圖5 鋼中的雜質—硫化錳

碳化三錳（ Mn_3C ），后者又往往和滲碳体結合成为一種复雜的碳化物。這是一種很堅硬的物質。含錳多時，鋼的韌性降低，硬度增加，而且在淬火的時候容易產生裂紋。

一般碳素鋼含錳均在 1 % 以下。用于焊接的造船鋼板含錳不得超過 0.7 %。

4. 硫的影响

硫在鋼中不是與錳化合成為硫化錳，就是與鐵化合成為硫化鐵（ FeS ）。純淨的硫化錳在顯微鏡下呈灰色，其中含有硫化鐵時即顯黃色；單獨存在的硫化鐵則呈黑色（圖 6）。硫化鐵往往形成在珠光体結晶的邊緣上，由于其熔點低，因而使鋼在赤熱時失去結晶之間的結合力。所以，含有硫化鐵的鋼在加熱鍛打或軋軋時即將產生裂紋。這種性質叫做鋼的熱脆性。

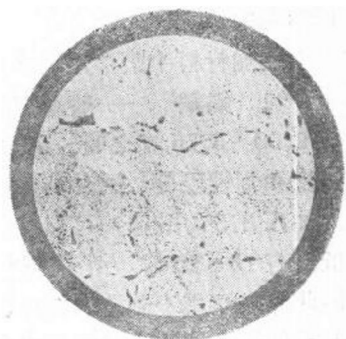


圖 6 鋼中的雜質——硫化鐵

由于這種性質，硫在鋼中的含量一般均加以嚴格的限制。例如，船用鋼板的含硫量規定不得超過 0.05 %，其他鋼材的含硫量亦分別有所限制。優質鋼和高優質鋼含硫均極少。

5. 磷的影响

磷在鋼中也是一種有害的雜質。

當它溶解在鐵素体中時，由于它和鐵的原子結構差異很大，使鐵素体的晶格發生很大的歪扭，性質變得硬脆，韌性顯著降低。這種性質叫做鋼的冷脆性。當磷在鋼中的含量達到 0.1 % 時，冷

脆性已極顯著。

船用鋼板和型鋼等的含磷量規定不得超過 0.05 %，優質鋼和高優質鋼有着更嚴格的規定。

合 金 鋼

前面已經講過，合金鋼的性質比碳素鋼更為優越，適用於要求較高的和重要的結構方面。這是由於它們所含的硫、磷等雜質較少和特地加入了某些合金元素來改善它們的性質的緣故。一般加入的合金元素有鎳、鉻、鉬、矽、錳、鎢、釩等。加了這些元素的鋼就分別叫做鎳鋼、鉻鋼、鉬鋼、矽鋼、錳鋼、鉻鎳鋼和鉻鎳鉬鋼等等。

船舶材料中最常用的合金鋼計有：

1. 鎳鋼——一般鎳鋼的含鎳量約為 1.50~4.50 %，通常均在 2.00~3.75% 之間。鎳鋼勝於碳素鋼的地方在於具有較高的強度和彈性限度，同時其塑性僅有很小程度的減少。例如，在鋼內加入 3.5 % 的鎳，可以提高其彈性限度 50 % 左右，而塑性的降低僅有 15~20 %。由於彈性限度的提高它的耐疲強度也就提高。因此鎳鋼適用於製造活塞杆、連杆、曲軸、地軸等承受變動負荷的機件以及其他承受較嚴重負荷的機件。

2. 鉻鋼——在鋼中加入鉻可以提高它的硬度、耐磨性和淬硬性。碳素鋼在水裡淬火所能得到的硬度，鉻鋼只要在油中淬火就能得到，同時還可以獲得較厚的淬硬層。

鉻鋼可以用來做避彈鋼板。含鉻 1 % 以下的低碳鉻鋼可以用來做表面滲碳加硬的零件。含鉻 1~2 % 的高碳鉻鋼可以用來做滾珠軸承和滾柱軸承。

3. 錳鋼——含錳量超過 1 % 的鋼叫做錳鋼。錳鋼中所含的錳已經超過了脫氧所需的數量，它可以增加鋼的強度、硬度和韌

性。含有珠光体組織的錳鋼叫做低錳鋼，含錳較多以致其結構成為奧氏体組織的叫做高錳鋼。

含碳0.10~0.30%，錳1.0~1.5%的低錳鋼比普通碳鋼堅韌，可用來製造船用鋼板、鍋爐鋼板、型鋼和鉚釘等。含碳0.3~0.5%，錳1.4~1.8%的低錳中碳鋼可以用來製造強韌的機件如曲軸等。含碳0.8~1.4%，錳10~15%的高錳鋼，淬火後非常堅韌，並且具有極好的耐磨性，可以用來製造挖泥船泥水泵的輪葉等。

4. 矽鋼——含矽在0.5%以上的鋼叫做矽鋼。矽可以增加鋼的強度，提高其屈服點。這種性質強韌的矽鋼可以用來代替價格較為高昂的鎳鉻鋼，並可用來製造彈簧。含矽1~4%，碳0.06~0.08%的矽鋼透磁性極好，磁滯損失及渦流損失又小，常用來製造電機和變壓器的鐵心。

5. 鉬鋼——含有鉬的低碳鋼在300~500°C的溫度下其彈性限度比較其他種鋼都高。含鉬很少的鋼在500°C高溫下其彈性限度也比普通碳鋼高70~100%。所以工作溫度在400°C以上的船用鍋爐要採用鉬鋼來製造。這樣，可以減少鋼板厚度30~50%，減輕鍋爐的重量及造價，同時可以改善熱傳導率。

6. 鎳鉻鋼——鎳鉻鋼兼有鉻鋼和鎳鋼的優點：強度大、韌性高、且有極好的淬硬性。在許多方面它可以用來代替鎳鋼而成本則較低。例如含鎳1.5%，鉻0.6%的鎳鉻鋼經過熱處理後和含鎳3.5%的鎳鋼經過熱處理後的強度和塑性幾乎相同。鎳鉻鋼在製造船用內燃機零件方面應用得很廣泛。

含鎳8%鉻18%的鋼是一種有名的不銹鋼，極耐銹蝕。

7. 鉻鎳鋼——含碳0.4~0.55，鉻1.0%，鎳0.15~0.25%的鉻鎳鋼是一種品質極佳的高級彈簧鋼，適用於製造各種柴油機的彈簧。它的優點是強度、彈性限度和耐疲性都很高，而且在相