

第二章 鐵金屬的生產

一、前言

鐵金屬的前景：

- 鐵及鋼佔金屬製品總重量的 95%；
- 存量多，煉鐵方法簡單且可大量生產，因此鐵金屬及其合金的價格，較其他金屬低廉；
- 因工業設計朝向輕薄短小，因此，鐵金屬的需求量並無顯著增加，但總噸數仍超過其他的金屬的總和。

鐵金屬的生產過程：

□ 生鐵的生產

鼓風爐法

直接還原法

□ 生鐵精煉

鹼性氧氣爐

電弧爐

平爐

□ 再精煉

氫氧脫碳法

感應爐

真空或特殊蒙氣熔化

二、生鐵的生產

各種鐵製品的主要原料為生鐵（pig iron）或直接鐵（direct iron），係由鐵礦、焦炭及石灰石熔化冶煉而成，其化學成分主要視礦石種類、添加原料及處理情形而定。

（一）鼓風爐（Blast Furnace）

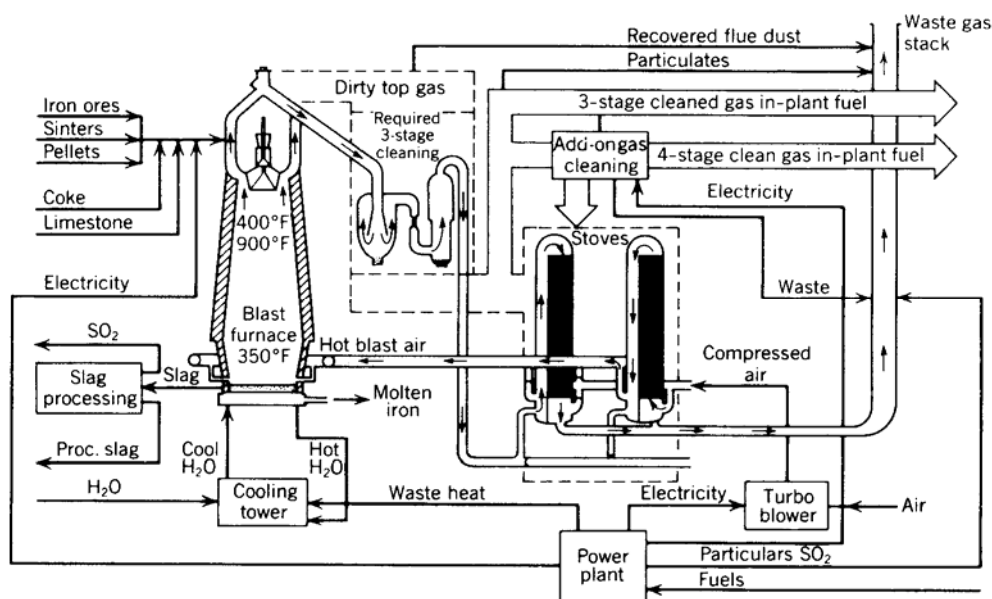
圖示為鼓風爐的簡圖。鼓風爐是目前世界上生產生鐵最常用的方法，其生產過程為將鐵礦、焦炭和石灰石等，用吊斗吊車運至直徑約 25 呎的爐頂，然後倒入雙鐘式的漏斗內，再加熱至高

溫而成。一般而言，每生產 1000 噸的鐵，需要 2000 噸的礦石，800 噸的焦炭，500 噸的石灰石及 4000 噸的熱空氣。

其中，熱空氣的目的為：

- 提高燃燒效率；
- 熱空氣 + 焦炭 → CO；CO 與鐵礦作用，產生 CO₂ 與鐵。

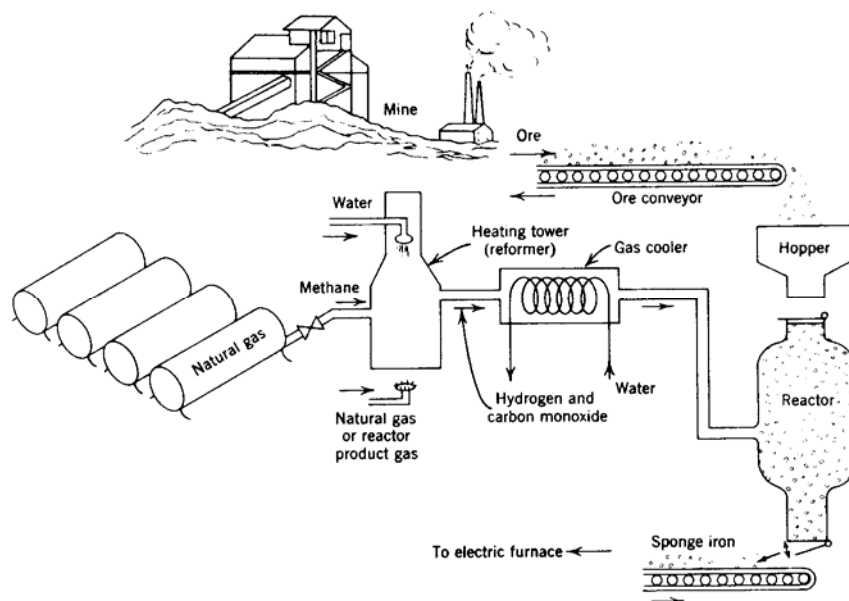
至於，石灰石與鐵礦中的雜質在高溫熔融所產生的熔渣，可用於鐵路的鋪底墊石及公路使用。



(二) 直接還原法 (Direct-Reduction Process)

此法是使用固體或氣體的還原劑，使鐵礦還原產生海棉狀的鐵。其中，還原劑可以是焦炭、天然氣、燃料油、一氧化碳、氫氣或石墨等。此種分法係在鼓風爐發明前即已使用，但當前利用此種方法生產生鐵的產量尚不及總重量的 2%。

圖示用直接還原法產生海棉鐵的過程。其產品呈海綿狀、粒狀熔渣狀 (clinkerlike)，可用來製造金屬粉末或放在電弧爐中煉製成純鐵或鋼；另外，此種方法對氧和硫的還原甚為有效，可以使用較低級的礦砂。



三、生鐵精煉

生鐵液由鼓風爐流出後，或澆注於永久模內鑄成鐵錠，以備重新熔化作為鑄造用，或注入鐵斗車中運到另一爐中精煉，以製成熟鐵、鋼、鑄鐵和展延性鑄鐵。

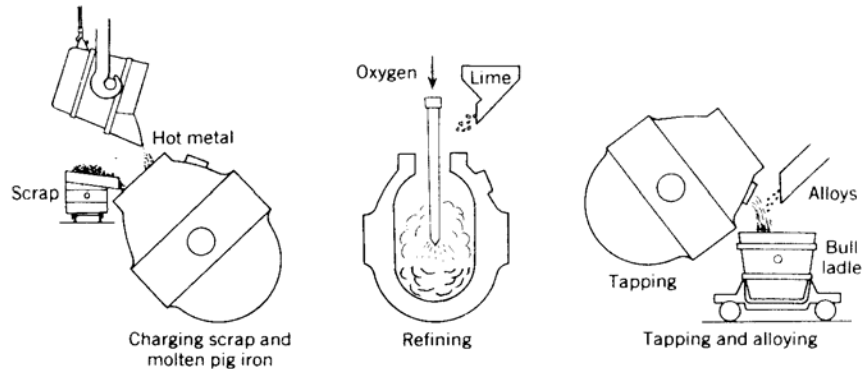
生鐵精煉用爐及其產品如下表所示：

熔爐種類	主要燃料	主要加料	蒙氣控制	產品
空氣爐 或反射爐	粉煤或油	熔融或固體生鐵、廢鐵		灰口鑄鐵 白口鑄鐵
鹼性氧氣爐	氧氣	熔融生鐵及廢鐵		鋼
轉爐	空氣	熔融生鐵或廢鐵爐熔鐵		熟鐵及鋼原料
坩堝	煤氣、焦炭、油	經過選擇的廢鐵		少量的鑄鐵 及鑄鐵塊
熔鐵爐	焦炭	生鐵塊及廢鐵		灰口鑄鐵 石墨鑄鐵
電弧爐	電	廢鐵	真空或鈍性氣體	鋼、灰鑄鐵
感應爐	電	經過選擇的廢鐵	真空或鈍性氣體	鋼
平爐	焦炭、爐氣、粉煤、油、天然氣	熔融生鐵		鋼

其中，鹼性氧氣爐（佔 45%）、電弧爐（佔 40%）與平爐（佔 15%）是三種最為廣用的精煉爐。這三種爐不能交換使用，因為每一種爐子系統所需要的能源及原料均不同。

(一) 鹼性氧氣爐 (Basic Oxygen Furnace)

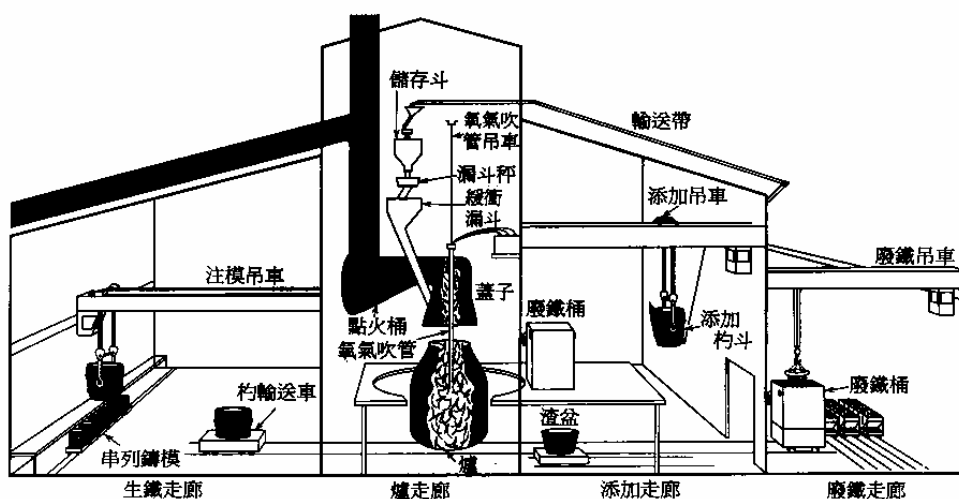
由鼓風爐生產的生鐵液，據估計約有 65~80% 是送到鹼性氧氣爐中精煉。圖示為鹼性氧氣爐的作業過程：



- 將 30% 的廢鐵加入鹼性耐火材料襯裏的容器內，再加入其餘 70% 熔融的鐵液；
- 以水冷的噴管在液面 1.2~2.4m 處噴入純氧，使鐵液燃燒沸騰翻滾；
- 加入適量的石灰石與螢石，以收集不純物（硫、磷等）而成渣，並漂浮在液面；
- 傾斜轉爐，倒出鋼液於斗子內，鑄成鋼錠。

其中，每一循環可生產 300 噸的鋼，約需 45 分鐘，而每生產 1 噸的鋼，大約需要 45 立方公尺的氧氣。

此法易產生廢氣與高溫，並帶有大量的火星，因此，必須嚴加控制排氣，以減少公害；另外，熟練的操作者，可以由火焰降低的程度、聲音的高低及火焰顏色的變化等，來判斷鋼液的煉製情形。下圖為鹼性氧氣法煉鋼廠示意圖。



(二) 電弧爐 (ElectricArcFurnace)

圖示為一電弧爐的切面圖。所加的原料一部份為熔融的生鐵或鋼，但主要的成份還是為經過選擇的廢鐵塊。此法除可煉製不鏽鋼、工具鋼、耐熱鋼外，亦可藉由嚴格控制進料以及加入必要的合金材料，以煉製出若干種合金鋼；此外，此法具有易於控制產品成份、低污染的優點，因此，廣泛的用於鑄鐵的熔化。

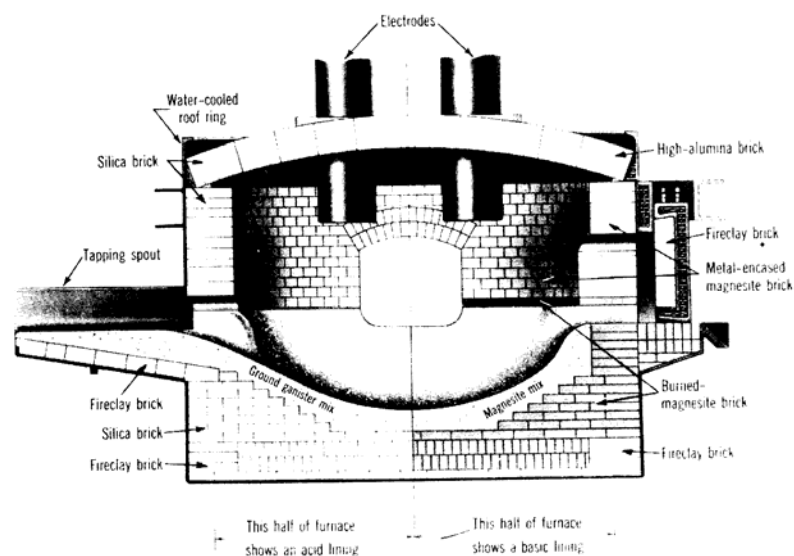
電弧爐的型式可依金屬吸收熱量的方式區分為：

- 間接電弧爐：電極置於金屬面的上方，使金屬受電弧熱量的輻射而熔化，較耗能源，已遭淘汰。
- 直接電弧爐：電弧在電極與金屬間產生，由金屬直接吸收熱量而熔化，具有節省能源的優點，為現今唯一使用者。

此外，電弧爐又可依襯底的不同區分為：

- 酸性爐：爐底襯上黏土矽岩 (Ganister)，週邊砌矽磚，用於低硫、低磷的原料，以煉製低碳合金鋼。
- 鹼性爐：爐底襯上菱鎂礦 (Magnesite)，週邊砌菱鎂礦 (Magnesite) 及鋁氧 (Alumina) 磚，可用於煉製任何等級的碳鋼及合金鋼。

其中，鹼性爐可以去硫，並控制磷的含量，且溫度及成份的控制亦較精密，因此用途頗廣。以 125 噸容量的電弧爐為例，其每一循環時間約需 3 小時，及 50,000kWh 的能量，但如能在過程中，噴射高純度的氧氣，則可以減少循環時間。



(三) 平爐 (Open-Hearth Furnace)

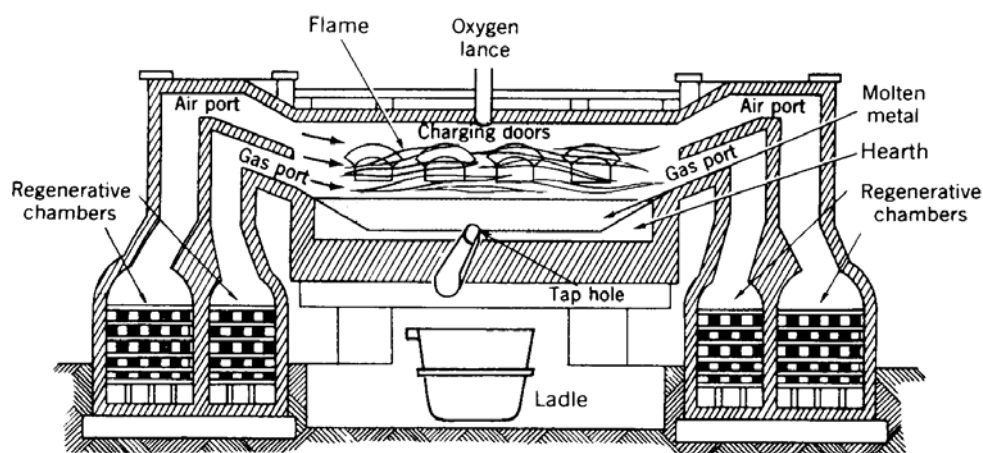
圖示為典型的平爐構造，曾為最普遍的煉鋼方法，其係使用煤氣或重油為燃料，火焰自加料的上面通過，使金屬吸熱而熔化；另外，由於爐頂頗低，反射熱量於長形的爐床上，又稱之為反射爐 (Reverberatory Furnace)。圖中顯示：爐的兩端各有一再生室 (Regenerative Chambers)，室內砌有磚牆，左右兩室交互加熱，使空氣及燃料得到預熱，除可節省燃料外，也可以提高爐內溫度。

平爐可依爐床襯底材料不同分成：

- 酸性爐：用酸性磚或矽砂為襯料，僅能除去鋼中的矽、錳及碳，但無法去除硫及磷。
- 鹼性爐：用菱鎂礦為襯料，能除去鋼中的矽、錳、碳、硫及磷。

其中，鹼性爐床的數量超過 90%。

至於平爐的加料，則可以包括熔化的生鐵、固體廢鋼或固體或熔體生鐵及廢鋼的混合體，但大多數則為生鐵及廢鋼塊及熔融的生鐵液，煉製時先將固體材料 (廢料及任何固體生鐵) 放在爐床上，待熔化二至三小時後，加入熔化的鐵液，直到沸騰 (約需 6~7 小時)，再加入熔劑，以利清渣，並除去鋼液中的不純物；此外，亦可由爐頂通入氧氣，以減少煉鋼時間 (約可省 25%) 及燃料成本 (約可省 30%)。



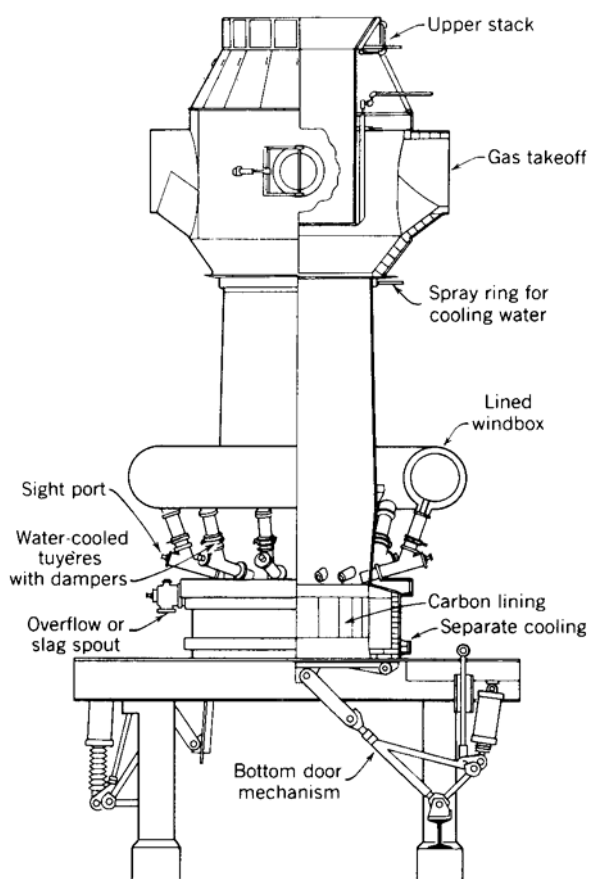
(四) 熔鐵爐 (Cupola)

「熔鐵爐」係藉由爐子將廢料與生鐵再熔化而製成鑄鐵件。

熔鐵爐的構造簡單，操作起來很經濟，能將鐵連續熔化，但由於其係將燃料與金屬直接接觸，因此，最後的產品成分變得不易控制。

圖示為一水冷式熔鐵爐。其中，引導空氣進入焦炭床開口的部分稱為風口 (tuyeres)，每一風口有一用雲母片覆蓋的小窗，可用來觀察熔鐵爐內部的情形。風口處有一環繞熔鐵爐的風箱 (windbox) 或外套，可用來供應空氣；此外，金屬流入槽中的開口稱為出鐵口 (Tap hole)，其上方也有一孔，作為出渣使用。其中，生鐵口低於進風口，以免進風口被熔渣封閉，阻塞鼓風。

另此爐於操作時，點燃焦炭床，交替裝入焦炭及鐵，使其重量比成為 1：8，此外，此爐常加入石灰石、螢石或蘇打灰等助熔材料來保護鐵，使其不致於氧化，並且可使熔渣易於流動。

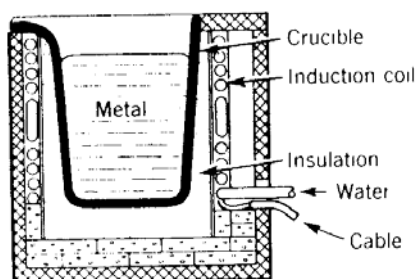


四、精煉及設備

為了提高粗鋼的品質或煉製成其他特殊合金鋼，常使用各種爐子、盛桶或其他容器，加以精煉之。

(一) 感應爐 (Induction Furnace)

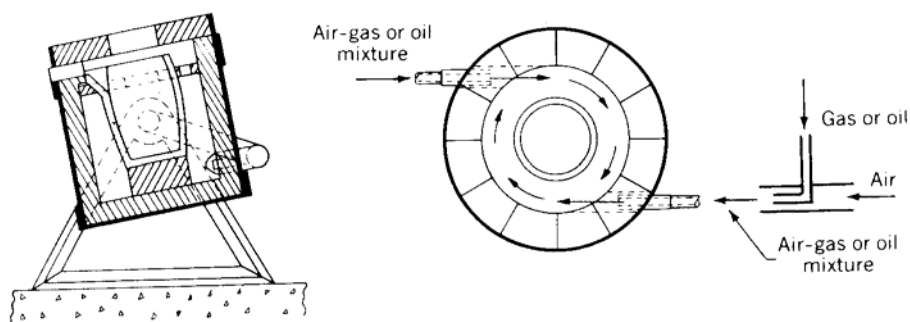
圖示的感應爐是利用金屬材料本身的感應電流來熔化，而爐外所環繞的水冷線圈，則以銅管製成；當線圈輸入交流電時，坩堝內所裝的塊料金屬，即因感應而產生相同週波的電流；由於電阻甚小，所產生的電流頗大，熱量也極為集中。以容量高達 4 噸的坩鍋為例，約在 50-90 分鐘內，就可以使進料熔化。



此法因構造簡單，工作場所清潔，噪音少，不至於造成公害，加上熱量係由金屬本身所感應的電流而來，因此，熱效率甚高，對於元素成份的控制也極佳，挺適用於高級合金鋼的冶煉。

(二) 坩堝法 (Crucible)

坩堝法是製造鋼鑄件最古老的方法，主要用於非鐵鑄造工廠中。圖示為利用石墨與黏土混合物製成的坩堝，其在冷的時候很脆弱，必須小心搬運。



(三) 氬—氧脫碳法 (Argon-Oxygen-Decarburization:AOD)

此法為 UnionCarbide 公司的專利，其係將已在電熔爐熔化的鋼液注入類似轉爐構造的茶壺 (Teapot) 容器內，然後自容器的底部吹入氬、氧及氮氣，以精煉容器內的鋼液。精煉後的鋼液，澆入斗子中，以備澆注成錠；至於茶壺的內部，則以菱鎂鉻耐火材料作為襯底。

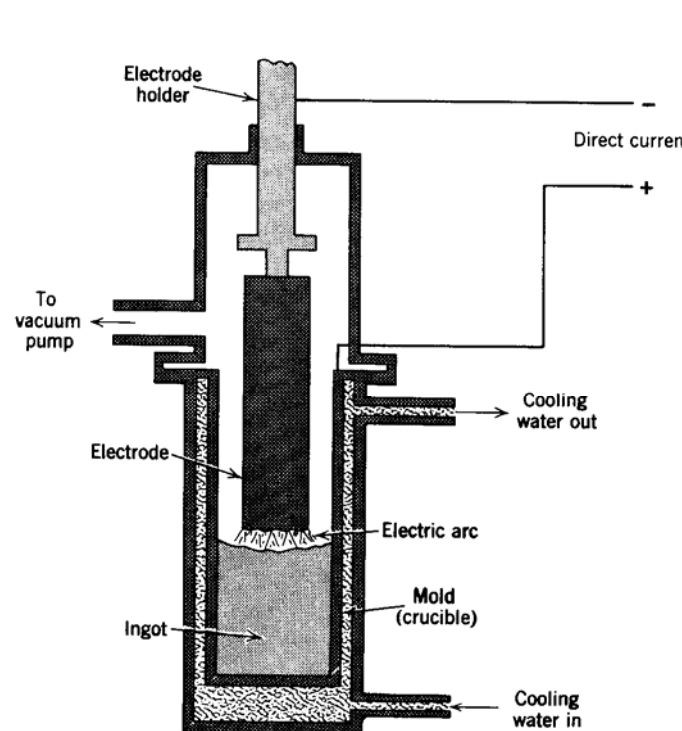
由於此法可用價廉的金屬原料煉製成高韌性、高強度且易於切削加工的鋼，是一種最常使用的不鏽鋼煉製法。

(四) 真空或特殊蒙氣熔化

由於精煉爐中、盛桶中及空氣中皆含有若干水份，而裝料本身也會吸收若干碳水化合物，因此，熔融的金屬有吸收氣體的可能，加上金屬在熔化時的氧化速度會隨著溫度的提高而增加；為避免金屬在熔化時，發生氧化或吸收氣體之害，可以：

- 允許一層熔渣或灰燼浮在熔融金屬的表面；
- 在真空或特殊蒙氣中熔化。

圖示為一高真空消耗性電極的電弧爐切面圖。其以鋼錠作為電極，用來再熔化與純化鋼，且位於電極與爐子間的電弧，係以漸進方式熔化鑄錠。



五、鐵金屬材料

(一) 熟鐵

熟鐵是一種含碳量少於 0.1% 的鐵金屬，通常含有 1~3% 極細且均勻分布的溶渣，通常以攪煉法 (pudding processes) 或艾士通法 (Aston process) (主要生產方法) 生產。其中，攪煉法係將生鐵及廢鐵放入容量約 500 磅的小型反射爐 (以鹼性耐火材料作為爐襯) 中熔化，並以碳、油或氣體當作燃料。而艾士通法則是先將生鐵放在熔爐中熔化，再送入柏塞麥爐中精煉 (參考 BOF，一種由底部吹氣的轉爐，並以空氣代替氧氣)。

(二) 鋼

鋼是鐵、碳及若干金屬元素的結晶合金，在臨界溫度以上淬火時會硬化；由於鋼中不含熔渣，可用於鑄造、滾軋或鍛造。

鋼是依據所含合金成分來分類的，但由於碳是最重要的元素，因此，所有的鋼都是已含碳量來分類，以普通碳鋼為例，它們的分類為 10XX 鋼，其中，前兩個數字表示普通碳鋼 (plain carbon steel)，後兩位數字表示含碳量的多寡。以 1035 鋼為例，即為含碳量 0.35% 的碳鋼。至於其他的合金鋼則已由汽車工程師協會 (SAE) 及美國鋼鐵協會 (AISI) 予以分類，如下表。

其中，碳鋼可廣泛的分類為「低碳鋼 (含碳量少於 0.3%)」、「中碳鋼 (含碳量 0.3%~0.7%)」、「高碳鋼 (含碳量 0.7%~2.0%)」。合金鋼則可廣泛的分類為「低合金 (特別合金元素之和少於 8.0%)」與「高合金 (特別合金元素之和高於 8.0%)」。

(三) 不銹鋼

三種被歸類為不銹鋼的合金鋼類型：

- 肥粒鐵 (Ferrite)：這些鋼被命名為 405、430、430F 及 446，因碳對鉻的比例低，不能以熱處理硬化，有良好的抗蝕性。
- 麻田散鐵 (Martensite)：這些鋼被命名為 410、414、416、431 及 440A、440B、440C，因碳對鉻的比例高，可以熱處理硬化，有很高的強度及良好的抗蝕性，可用於鍛造或熱加工。
- 沃斯田鐵 (Austenitic)：這些鋼被命名為 301、302、303、304、310、310S 及 384，不能以熱處理硬化，有良好的抗蝕性，可冷作成形。當冷加工時，會硬化及變得較強及易於熔接。

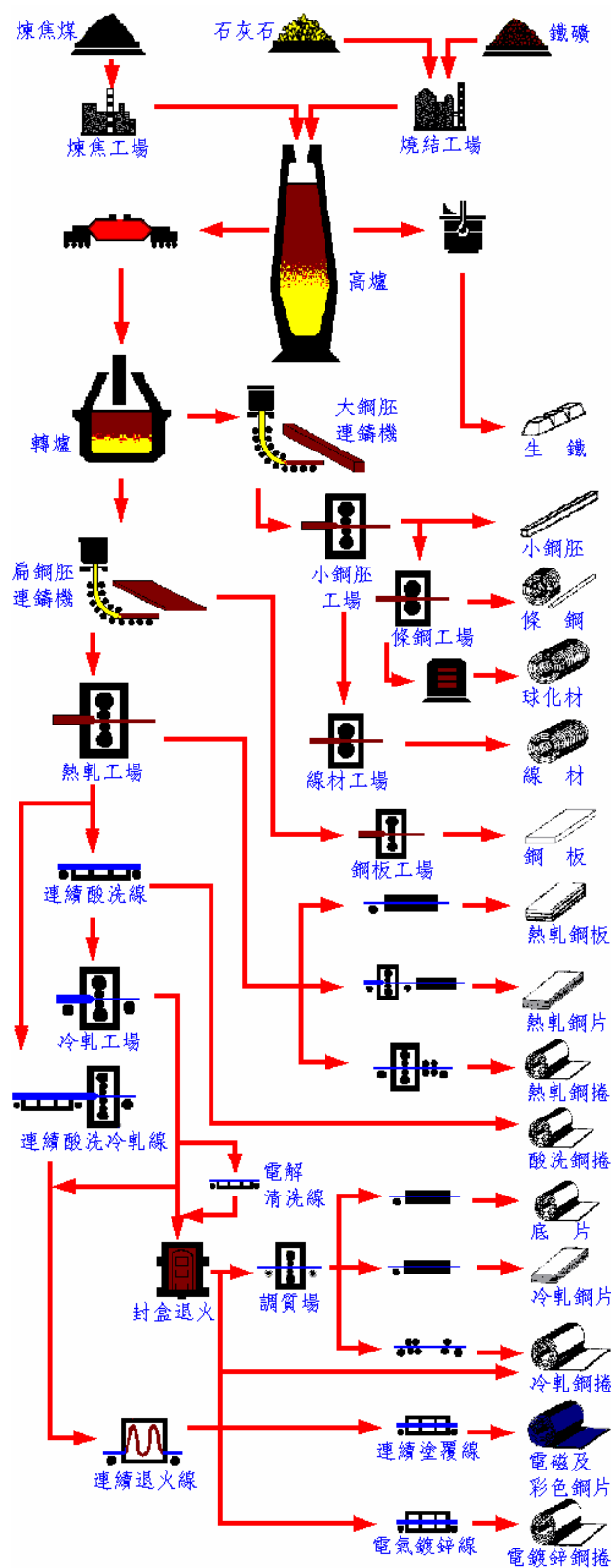
(四) 鑄鐵 (cast iron)

鑄鐵是包括較廣的鐵—碳—矽合金，並結合其他幾種百分比較少的元素而得的通稱，因其含碳或其他相等物較多，所以沒有展延性。

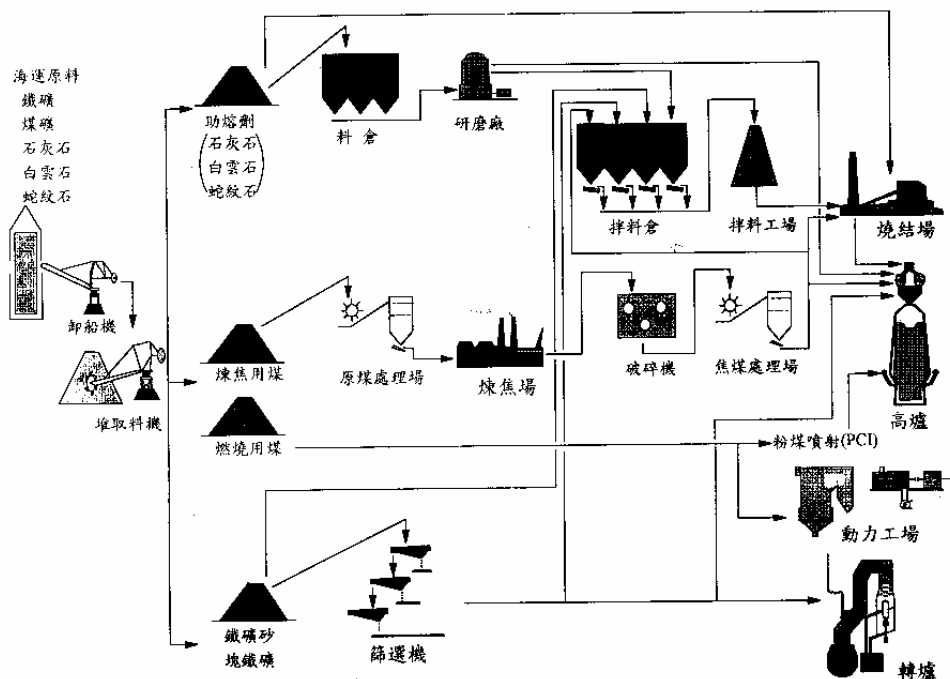
- 灰鑄鐵 (gray iron)：其斷面呈現灰色，碳與矽含量分別介於 2.5wt% 和 4.0wt% 之間以及 1.0wt% 和 3.0wt% 之間，抗壓强度高，易於切削。
- 白鑄鐵 (white cast iron)：其斷面呈現白色，含碳量高，能被研磨，但不能車削加工。
- 斑鑄鐵 (mottled cast iron)：介於灰鑄鐵及白鑄鐵間的中間產品。
- 展性鑄鐵 (malleable cast iron)：由白鑄鐵製成，具有良好的抗震性及切削性，用於鐵路、汽車、水管工程及農具。
- 延性鐵 (ductile iron) 或球狀鐵 (nodular iron)：將少量的含鎂劑加入熔融的灰鐵中可得到延性鐵。

類別及大約成分	號碼	號碼範圍
A. 碳鋼		
碳鋼 SAE-AISI	1XXX	
普通碳鋼	10XX	1006-1095
易削鋼 (再硫化)	11XX	1108-1151
再硫化, 再磷化鋼	12XX	1211-1214
B. 合金鋼		
錳 (1.5%~2.0%)	13XX	1320-1340
鋁	4XXX	
C-Mo (0.25% Mo)	40XX	4024-4068
CR-Mo (0.70% Cr; 0.15% Mo)	41XX	4130-4150
Ni-Cr-Mo (1.8% Ni; 0.65% CR)	43XX	4317-4340
Ni-Mo (1.75% Ni)	46XX	4608-4640
Ni-Cr (0.45% Ni, 0.2% Mo)	47XX	
Ni-Mo (3.5%Ni, 0.25% Mo)	48XX	4812-4820
鉻	5XXX	
0.5% Cr	50XX	
1.0% Cr	51XX	5120-5152
1.5% Cr	52XXX	52095-52101
抗腐蝕耐熱	514XX	(AISI 400 系列)
鉻 - 釩	6XXX	
1% Cr, 0.12% V	61XX	6120-6152
矽錳		
0.85% Mn, 2% Si	92XX	9255-9262
三合金鋼		
0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo	86XX	8615-8660
0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo	87XX	8720-8750
3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo	93XX	9310-9317
0.45% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Mo	94XX	9437-9445
0.45% Ni, 0.15% Cr, 0.20% Mo	97XX	9747-9763
1.00% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo	98XX	9840-9850
硼 (~0.005% Mn)	XXBXX	
<p>硼是由加 B 表示。硼 - 釩是由 BV 表示。例如：14BXX, 50BXX, 80BXX, 43BV14。出現在數字前的字母指示如下：A. 合金鹼性平爐；B. 碳酸性柏思麥；C. 碳鹼性平爐；D. 碳酸性平爐；E. 電爐。</p> <p>不銹鋼和耐熱鋼：</p> <p> 2XX 鉻 - 鎳 - 錳型 3XX 鉻 - 鎳型</p> <p> 4XX 直鉻型 5XX 低鉻型</p> <p>所有的不銹鋼均以電爐煉製。</p>		

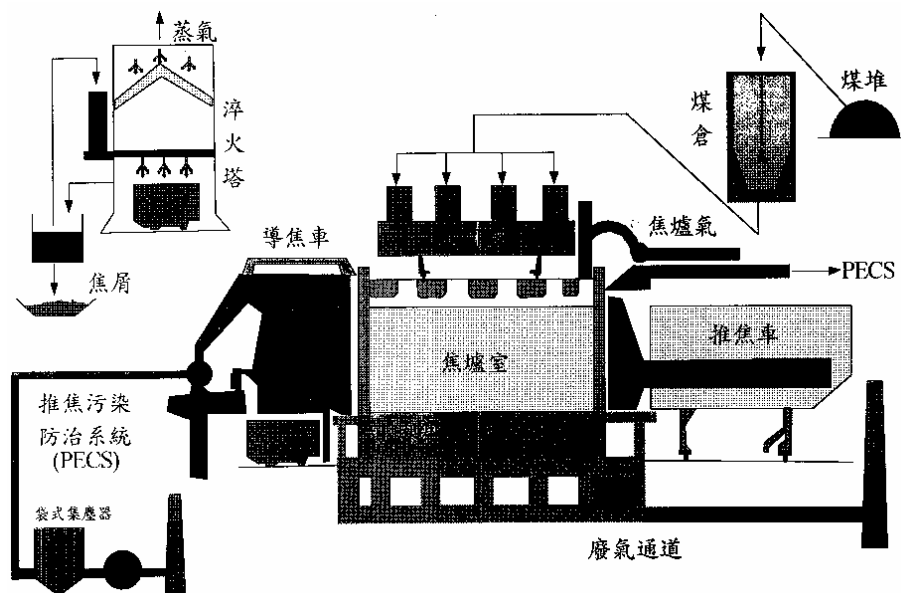
六、鋼鐵生產流程與產品介紹 (資料來源：中鋼公司)



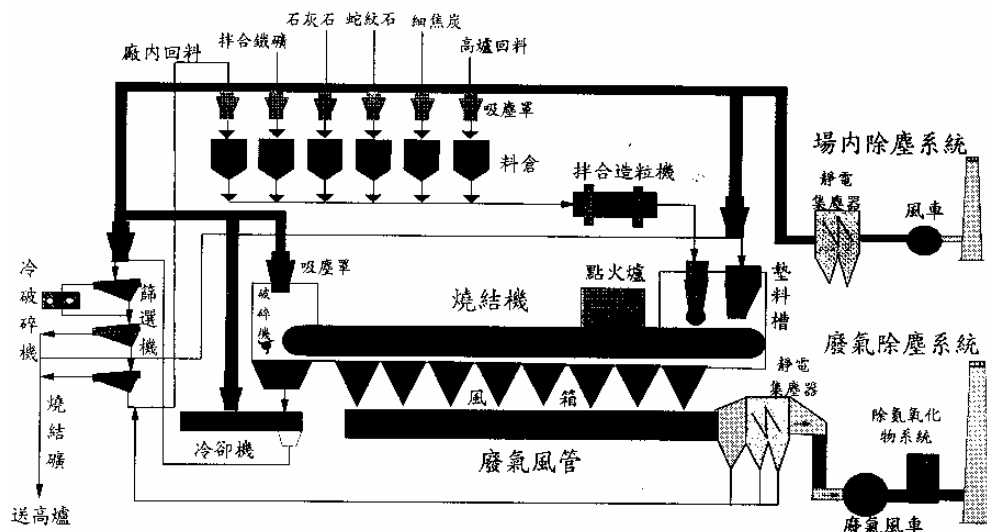
原料輸送流程 (資料來源：聯鼎公司)



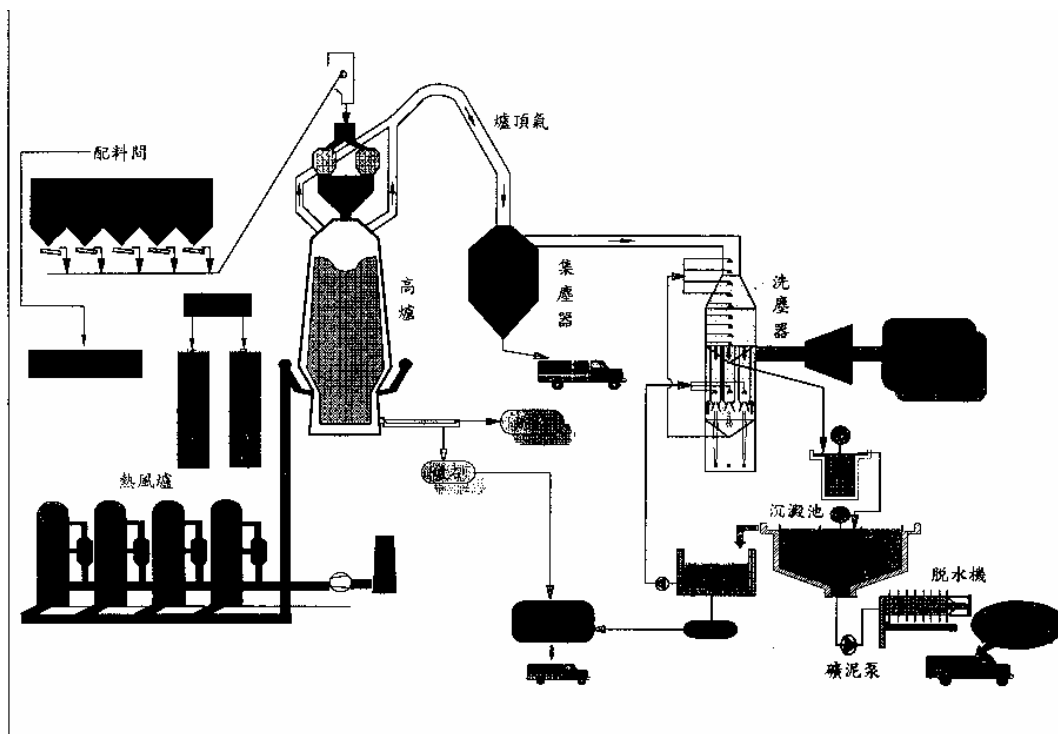
煉焦工場生產流程 (資料來源：聯鼎公司)



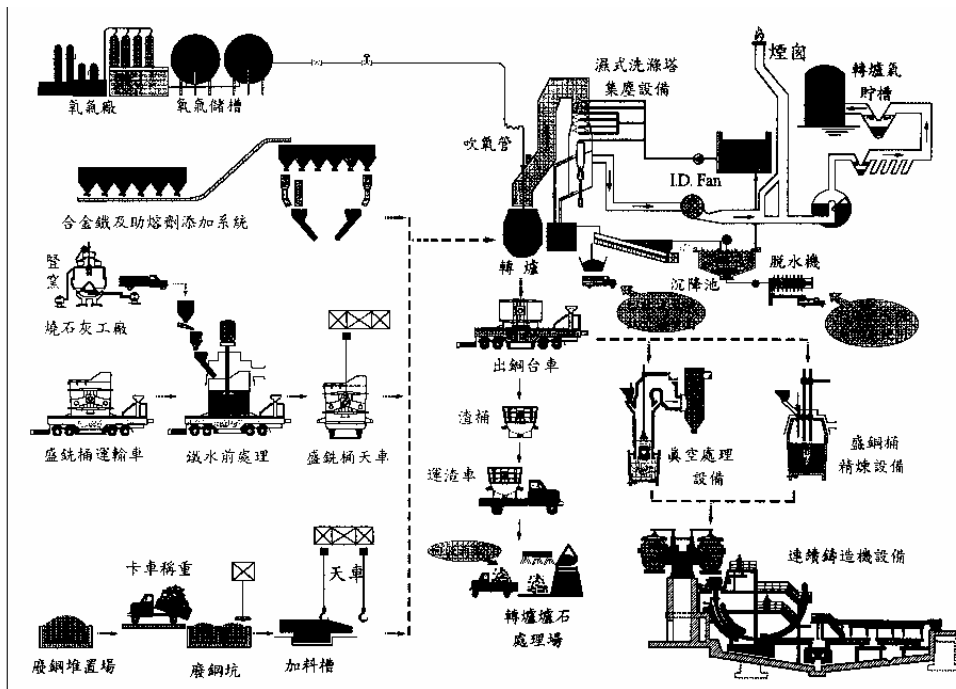
燒結工場生產流程 (資料來源：聯鼎公司)



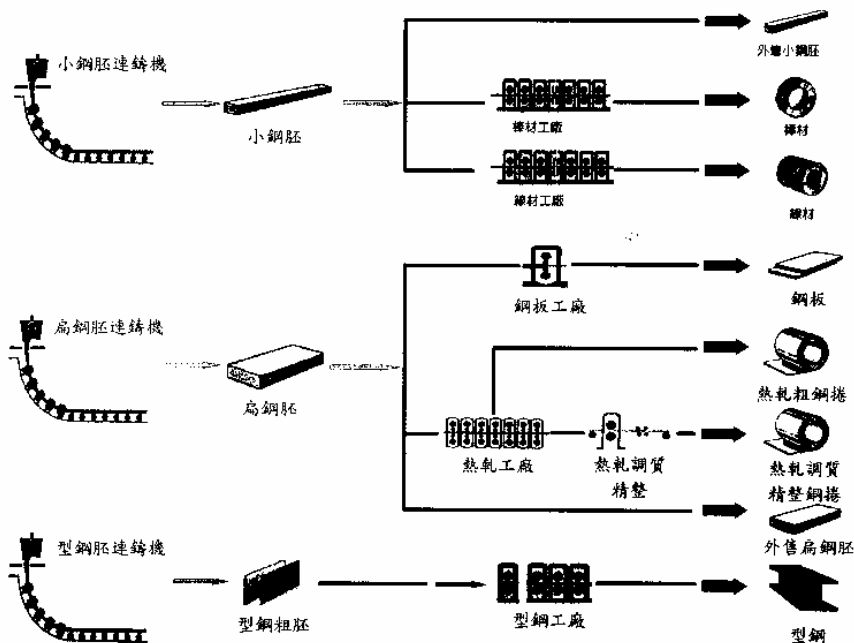
煉鐵工場生產流程 (資料來源：聯鼎公司)



煉鋼工場生產流程 (資料來源：聯鼎公司)



連鑄及軋鋼工場生產流程 (資料來源：聯鼎公司)



（一）鋼板

鋼板是以連續鑄造扁鋼胚為原料，經加熱後軋延而成。由於具有強度高、韌性佳及易加工等特性，因此用途極廣。就材質與用途而言，可分為結構用鋼板、船用鋼板、鍋爐及壓力容器用鋼板、耐候性鋼板、管路用鋼板及機械構造用鋼板。

（二）線材及條（棒）鋼

線材及條（棒）鋼是以加熱後的小鋼胚軋延而成。棒鋼依外形可區分為直棒鋼及捲狀條鋼兩類，其中直棒鋼直徑為 14—100mm；捲狀條鋼直徑為 14—55mm，線材直徑為 5.5—13mm，全部盤成捲狀，又稱為盤元。線材及條（棒）鋼依用途言，大致可分為一般結構用、機械構造用、冷打加工用、硬鋼線用、及焊條心線用等。主要供應螺絲螺帽、鋼線鋼纜、手工具、焊條心線及汽車零件等行業。

（三）熱軋鋼品

熱軋鋼品是以加熱後扁鋼胚為原料，經粗軋機及精軋機軋延而成。當其離開最後一座精軋機並通過輸出台時，層流冷卻系統即予以噴水，將其冷卻至適當溫度，再由盤捲機捲成粗鋼捲，並送至熱軋精整工場，經必要的調質、剪切、檢驗、稱重、包裝、標記等作業後，即為成品。

由於熱軋鋼品具有多種優越性，諸如強度足、韌性佳、容易加工成各種形狀複雜的零組件，且其焊接性良好，易與其他金屬構架組合，因此，廣泛應用於車架、橋樑、建築、道路護欄、鋼管、壓力容器及園藝工具等產品。

以中鋼公司為例，可供應的尺寸：鋼片厚度 1.50-5.99mm，鋼板厚度 6.00-12.7mm，一般鋼捲厚度 1.50-6.50mm，粗鋼捲厚度 2.00-12.7mm。另軋邊寬度除酸洗鋼捲為 860-1,540mm 外，其餘均為 890-1,575mm。

（四）冷軋鋼品

冷軋鋼品是以酸洗後的熱軋鋼捲，於冷軋工場常溫軋延至 0.30—3.20mm 後，經電解清洗、退火及調質等過程製造而成。冷軋鋼品因厚度薄、尺寸精確、表面粗糙度分級多，容易塗漆及電鍍、且機械性質及加工性良好，易於衝壓製成各種產品，故用途非常廣泛，舉凡汽車車體、電子零件、家電用品、鋼製傢俱、容器等，均需大量使用冷軋鋼品做為加工材料。

該產品依用途別可區分為下列三類：

- 一般品質：適用於加工程度較低的產品，例如供作彎曲、淺度衝壓成型及焊接等加工的

零組件、冰箱、櫥櫃、鋼製傢俱及鐵筒等，即以該品級作為加工原料。

- 衝壓品質：具較佳加工成型性，適用於一般品質無法勝任的衝壓及高度成型之零組件，如汽車底盤、車頂等。
- 深衝品質：具有更佳的加工成型性，適用於衝壓品質無法勝任，須高度成型或具時效性要求的特殊零組件加工。

以中鋼公司為例，其可供應的尺寸：碳鋼厚度為 0.30-3.20mm，寬度為 850-1,650mm；高強度低合金鋼厚度為 0.55-1.60mm，寬度為 850-1,260mm。

（五）電磁鋼捲

電磁鋼捲是以 0.50mm 或 0.65mm 低碳低矽的冷軋鋼捲經連續塗覆線塗膜產製而成。主要規格為 JISC255250A1300，適合衝製成各種馬達的轉子、靜子、變壓器與安定器等使用的 E.I. 片，是電工產品的主要原料。隨著高級產品需求的日益殷切，將促使電磁鋼捲必然朝高精密度及高磁氣性質方面發展。以中鋼為例，其可供應的尺寸：厚度為 0.50mm，寬度為 1,000mm 及 1,200mm。

（六）彩色鋼片

彩色鋼片是以 0.15-1.20mm 的冷軋或鍍鋅鋼片為底材，表面經磷酸鹽皮膜處理後，再以合成樹脂作雙層精密烤漆製作而成。由於製程嚴密，不但具有耐酸、耐熱、抗腐蝕、耐污染及耐候等多項功能，且強度高、韌性佳，故適合一般成型加工。彩色鋼片有彩色預塗覆鋼片、薄膜貼皮烤漆鋼片、壓花浮雕烤漆鋼片及印刷花紋烤漆鋼片等。主要用於建築物的屋頂及牆板、家電製品、室內裝潢等，用途極為廣泛。

以中鋼為例，其可供應的尺寸厚度為 0.15-1.20mm，寬度為 610-1,300mm；顏色有中鋼藍、深藍、銅綠、白、米黃及磚紅等數種。