

不銹鋼材料之簡易選用法

吳覺宇

工業技術研究院、工業材料研究所 腐蝕防治計劃研究員

1.前言：

近年來不銹鋼的使用愈來愈普遍，大到房屋外殼、廚房器具，小到小圓釘、別針等等，但是不銹鋼的林林總總各有各的產異性，也各有各的適用性，却少有人知道，使用不當，輕則浪費金錢，重則機件損壞，不一而足，造成問題，因此不銹鋼如何適當的選擇確實是一個嚴重的問題。

一般來講，典型的不銹鋼都含有 12 % 以上的鉻，以提高其抗蝕能力，這種含鉻 12 % 以上的鋼材，在一般大氣中或乾淨水中都不易生銹，因此就被稱為“不銹鋼”，有時候甚至在較惡劣的環境使用時，鉻的含量可以高達 15-17% 或 20-27% 以上這種“不銹”的鋼材由於自己能生成防蝕的保護膜，所以不在乎表面上有刮痕或紙屑、有機物所引起的腐蝕作用。除此之外，不銹鋼也再添加了其他合金元素來提高它的機械性質或加工性質，例如：鎳、鉬、銅、鈦、矽、鋁以及硫等，其中最重要的是鎳，適量的鎳添加在不銹鋼裡面，可以有效的改進不銹鋼的耐蝕性及機械性質。另外在不銹鋼內大都儘量降低其碳含量，以減少不良的碳化鉻析出以致破壞耐蝕及機械強度。由於常見的不銹鋼之分類及成份特性及發展史，如圖 1.及圖 2. 所示。

2.不銹鋼使用選擇的通則：

不銹鋼的使用選擇通則中所考慮的因素，一般分為下列 5 點重點，分別說明如下：

- A、耐蝕性—因為選擇使用不銹鋼的第一目的就是它的抗蝕性優良，因此耐蝕性為第一考慮。
- B、機械性質—在機械性質首先注意的是強度及韌性。
- C、加工性—鋼材在使用時，都必須要再經過加工，因此不銹鋼加工的難易程度也是必要考慮的因素。
- D、成本—不銹鋼比一般鋼材為貴，並且各種不銹鋼的價格差異也大，因此如何適材適用在各種不同腐蝕環境下，可以節省大量成本。
- E、市場及生產性—材料選擇必先考慮在國內或市場價錢，是否可有代用品，及取得難易與時間效益。

雖然以上的幾個選擇通則也是其他材料的選擇通則，但是其考慮的優先次序並不完全相同，這是必須要注意的。

在不銹鋼選用的特性比較中，我們把各種不銹鋼分類成如圖 3.的排列關係，如縱軸愈向上，表示耐蝕性愈強，橫軸則愈靠右邊，愈有好的機械性質。

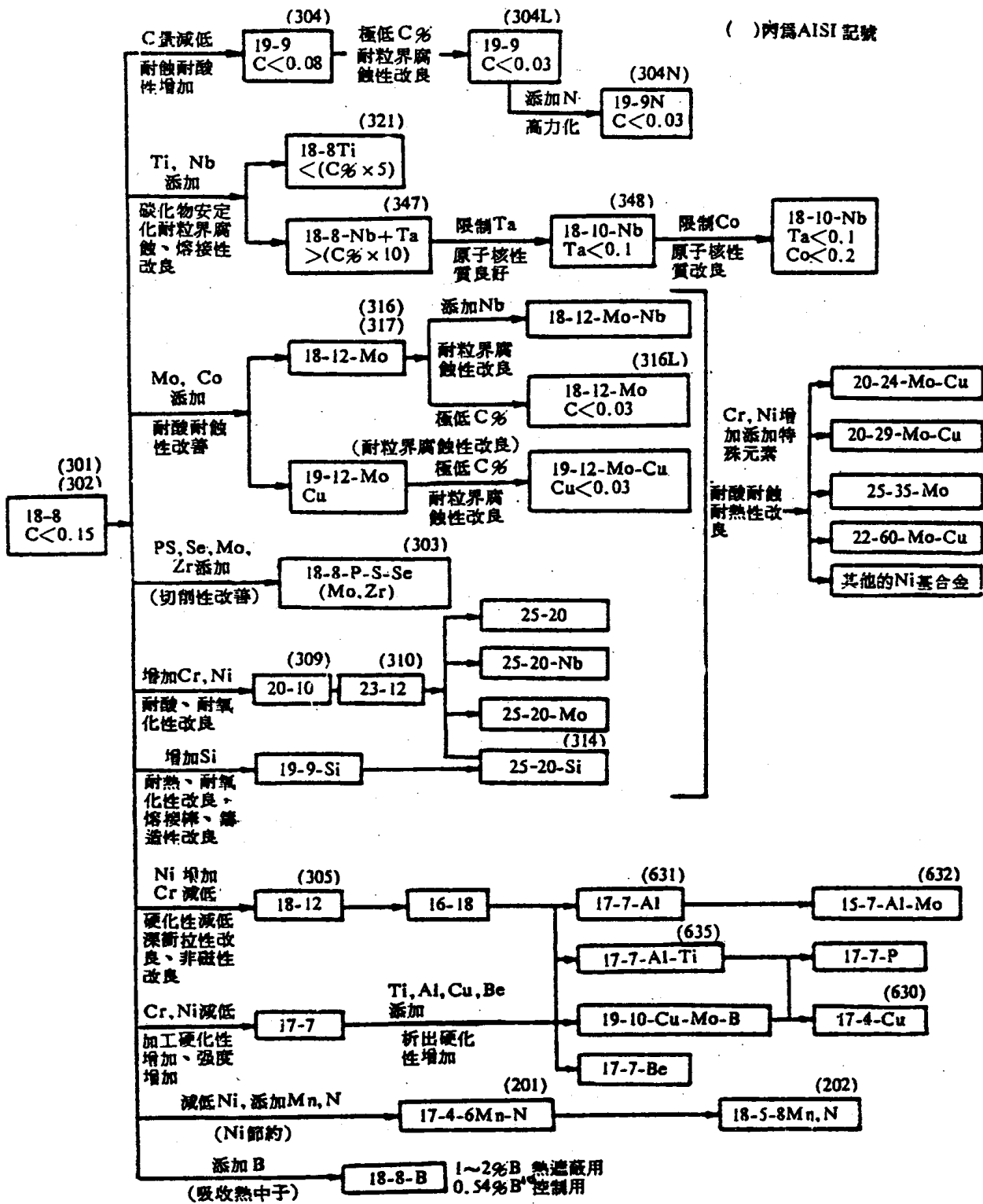


圖 Cr-Ni 沃斯田鐵不銹鋼的發展過程

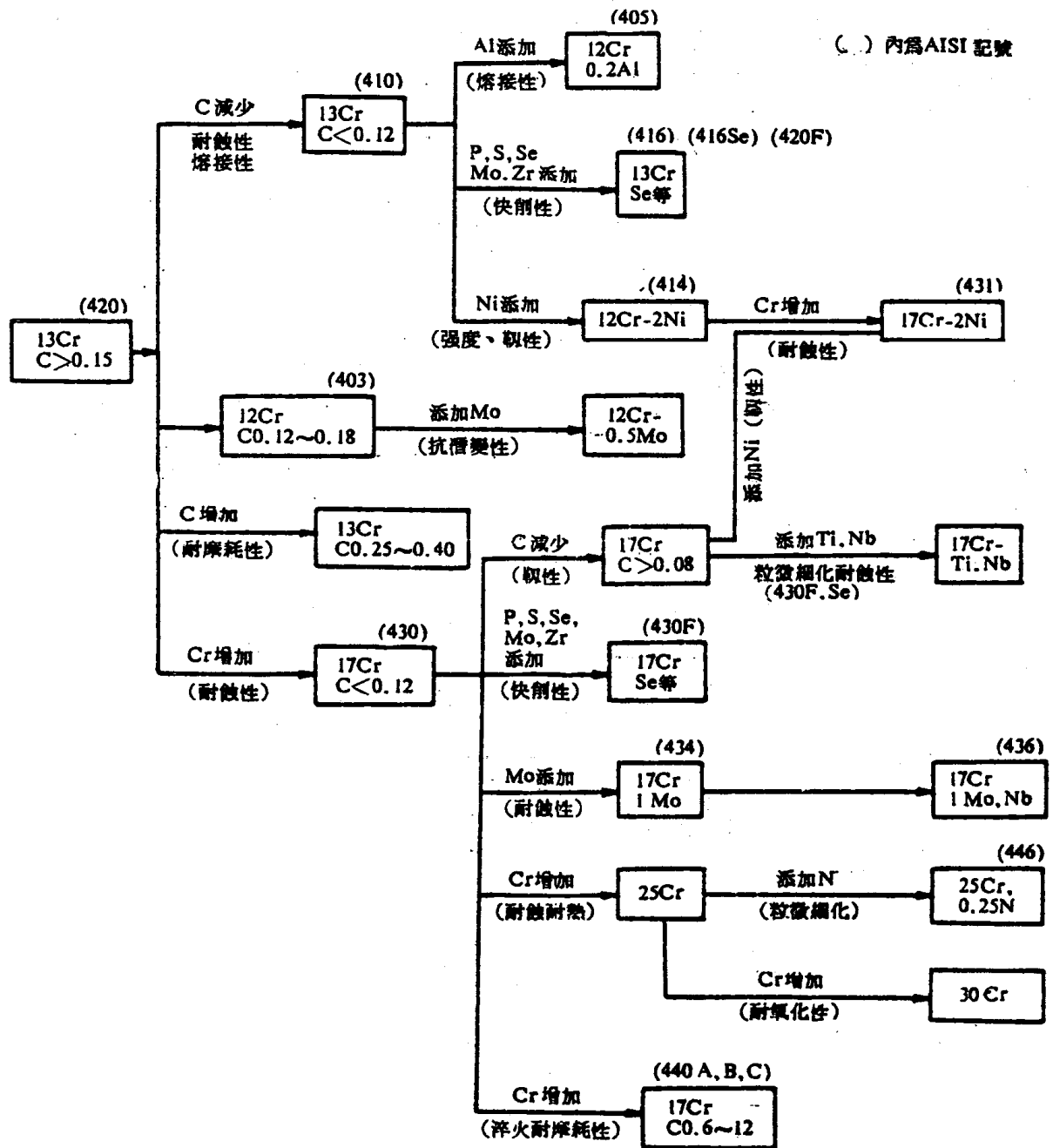


圖 2 麻田鐵及肥粒鐵系不銹鋼的發展過程

3.耐蝕性質的選擇：

(a)中度抗蝕性不銹鋼—由圖 1.中我們知道不銹鋼最基本而且是最早發展出來的是 304 不銹鋼或稱 18-8 不銹鋼（因其化學成分中有 18 % 的鉻及 8 % 的鎳），其化學成分如下表。

304 不銹鋼

C	0.08 % Max	Si	1.00 %Max
Mn	2.00 % Max	Cr	18.0/ 20.0 %
P	0.045 % Max	Ni	8.0/ 10.5 %
S	0.030 % Max		

其耐蝕性主要來自於 18 % 的鉻合金成本，而利用 8 % 的鎳來控制其機械性質，使其材料顯微結構成為沃斯田鐵狀態，鎳的添加同時可以改進不銹鋼在還原性酸內的抗蝕性。

304 不銹鋼一般來講在不太嚴重的氧化性酸類中都有相當程度的耐蝕性，例如食品酸內或無機酸內。因此 304 不銹鋼可以大量的被使用在廚具、刀叉、桌板、水槽、鍋、盤等。304 不銹鋼在乾性環境中，幾乎有百分之百的抗蝕性，因此也適用在牛奶容器或火、汽車車廂，或水閘等等。

(b)較耐蝕的不銹鋼—當然，不銹鋼的另一個最主要的功用是用在化學工業中，因此不銹鋼的發展而往往向高層次的耐蝕能力上突破。在市面上最常見而且是化學工業中最常用的不銹鋼，就是 316 不銹鋼，其化學成分中，主要是在 304 中再添加鉬成分，並提高鎳含量，如下表：

316 不銹鋼

C	0.08 % Max	Si	1.00 % Max
Mn	2.00 % Max	Cr	16.0/18.0 %
P	0.045 % Max	Ni	10.0/14.0 %
S	0.030 % Max	Mo	2.00/3.00 %

316 不銹鋼與 304 不銹鋼同樣屬於沃斯田鐵系的不銹鋼，沒有磁性，因此可以用磁鐵簡易試驗出來。在不銹鋼中添加鉬合金成分，可以有效提高不銹鋼的抗蝕性，尤其是在工業環境內較為嚴苛的腐蝕條件下，特別是有硫酸根離子或氯離子的狀況，316 不銹鋼能比 304 不銹鋼有數倍的抗蝕能力。因此 316 不銹鋼常常被使用在苛性鹼類、氫氧化鈉、氫氧化鈣、硫酸溶液中，或者是紙漿工廠、石化工廠中的反應設備之中。

在比上述腐蝕條件更嚴苛的環境中，316 有時候亦不足以抵抗腐蝕作用時，20 Cb-3 (Carpenter Co) 是一種更高級的不銹鋼，在這種不銹鋼合金中，鉻含量提高到 20 % 以上，鎳含量更大量提高到 34 % 左右，以及 2-3 % 的鉍，其化

學成分如下表：

圖 3. 不銹鋼簡易選用表：

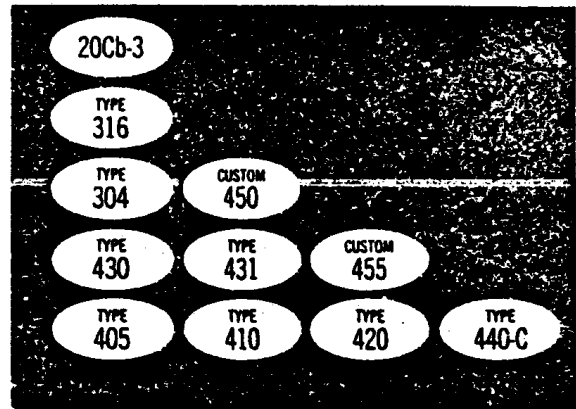
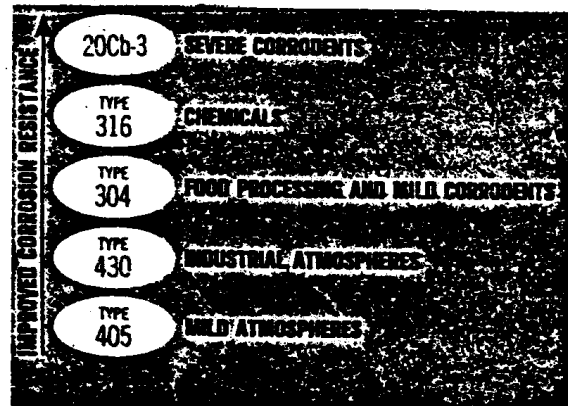


圖 4. 不銹鋼之一般適用環境：

LEVELS OF CORROSION RESISTANCE



20 Cb-3 不銹鋼

C	0.06 %Max	Si	1.00 % Max
Mn	2.0 %Max	Cr	19.0 /21.0 %
P	0.035 %Max	Ni	32.00/38.00 %
S	0.035 %Max	Mo	2.00/ 3.00 %
		Cu	3.00/ 4.00 %

Nb+Ta 8 × Cmin/1.00 % Max

20 Cb-3 不銹鋼是一種特殊高抗蝕性的不銹鋼，在最嚴苛環境仍能使用，甚至在 10-40 % 的硫酸環境都仍然保有很好的抗蝕性，因此在化學工廠中的適用性非常廣泛，但價錢相當貴。

(c)一般低腐蝕性環境的不銹鋼：

一般低腐蝕性環境是指在一般大氣中或自來水，沒有污染的水溶中的環境，由於在這種環境下的腐蝕性很低，因此所要求的不銹鋼就比較便宜了，通常常見的是 430 不銹鋼，或更便宜的 405 不銹鋼，這一系列的不銹鋼發展可以見如圖 2 中所表示的。

在這種不銹鋼中（4字頭的）的合金成分中不含鎳，因此沒有磁性，因此可以利用磁鐵來分辨這種不銹鋼與3字頭比較高級的不銹鋼。其主要成分如下表：

430 不銹鋼

C	0.12 % Max	S	0.03 % Max
Mn	1.0 % Max	Si	1.00 % Max
P	0.04 % Max	Cr	16.0/18.0 %

405 不銹鋼

C	0.08 % Max	Si	1.00 % Max
Mn	1.00 % Max	Cr	11.50/14.50 %
P	0.04 % Max	Al	0.10/0.30 %
S	0.03 % Max		

405, 430 不銹鋼屬於肥粒鐵系不銹鋼，一般使用於建築物、電梯、及無污染環境下，有時候也可做車體、窗戶等。其 405 不銹鋼由於其焊接優良特性，因此在焊接後不需要再經過退火熱處理，因此在必須焊接而又低污染的條件下是最好的不銹鋼材料。

因此總結以上的幾種常見的不銹鋼材料，其耐蝕性比較如圖4，我們可歸納出來在不銹鋼選用關於耐蝕性考慮項目，必須要考慮到下列幾個參考因素：

- ①腐蝕因子的特性，(Cl⁻, or SO₄²⁻)
- ②腐蝕因子的濃度，(%)
- ③腐蝕環境的溫度，(°C)
- ④可接受的腐蝕速率，(MPY)

圖5. 即為上述幾種不銹鋼在 Acetic Acid 中的腐蝕速率比較之例子。

Corrosion	Carpenter 20Cb-3	Type 316 16-8 Mo	Type 304 18-8	Type 430 17% Cr.	Type 410 12% Cr.
Acetic Acid Aerated	0	24	24	24	24
7.12					

圖5. 腐蝕速率簡易比較圖。橫軸為濃度，縱軸為溫度。 : ok , O: not bad , X: bad

4. 機械性質的選擇：

圖6. 為在上述討論過的幾種不銹鋼的機械性質比較等級。

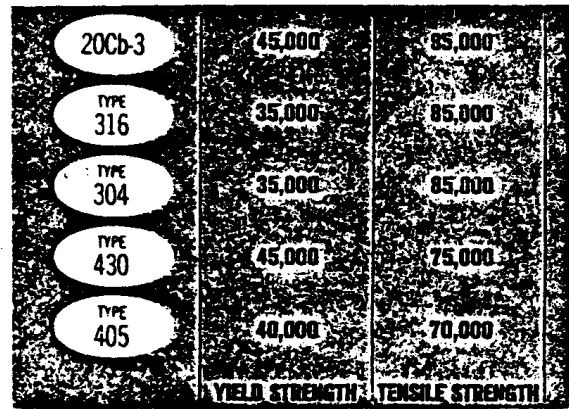
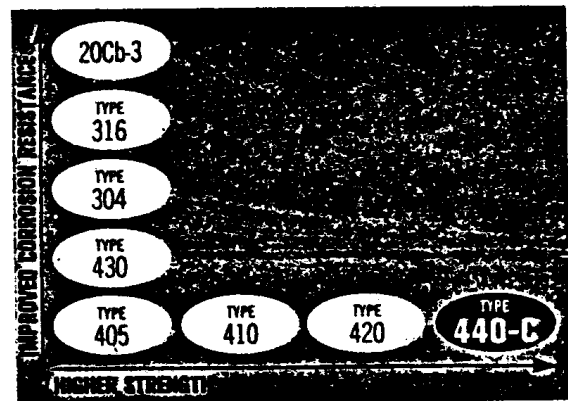


圖6. 退火後不銹鋼機械性質。

在這個圖中我們可以發現合金添加愈多則其機械強度 (Tensile Strength) 愈大，而降服強度 (Yield Strength) 就不見得了。例如：405 就有相當不錯的機械降服強度。在由圖7中，將不銹鋼種類沿橫軸向右看，首先看到的是 410 不銹鋼及 420 不銹鋼，其耐腐蝕等級則與 405 不銹鋼相接近。但是由於 410 及 420 不銹鋼是麻田散鐵系不銹鋼，因此其機械強度都有大大的改進了。這兩種不銹鋼的化學成份如下表：

圖7.



410 不銹鋼

C	0.15 % Max	S	0.03 % Max
Mn	1.00 % Max	Si	1.00 % Max
P	0.04 % Max	Cr	11.50/13.50 Max

420 不銹鋼

C	0.15 % Max	S	0.03 % Max
Mn	1.00 % Max	Si	1.00 % Max
P	0.04 % Max	Cr	12.0/14.00 %

而機械性質及強度或硬度變化如下表：

TYPE 410 MECHANICAL PROPERTIES (Room Temperature): (Oil Quenched 1800°F, Tempered One Hour at 500°F)	
Yield Strength, 0.2% offset, psi	142,000
Tensile Strength, psi	185,000
Elongation in 2", %	15
Reduction of Area, %	55
Brinell Hardness	375

TYPE 420 MECHANICAL PROPERTIES (Room Temperature): (Oil Quenched 1900°F, Tempered at 400°F)	
Yield Strength, 0.2% offset, psi	215,000
Tensile Strength, psi	250,000
Elongation in 2", %	8.0
Reduction of Area, %	25.0
Brinell Hardness	512

另外一種超強度（硬度）的 440-C 不銹鋼，這種不銹鋼碳含量奇高，可以利用熱處理方式加以強度。其化學成份如下表：

440-C 不銹鋼

C 0.95/1.20 %	Si 1.00 % Max
Mn 1.00 % Max	Cr 16.00/18.00 %
P 0.04 % Max	Mo 0.75 % Max
S 0.03 % Max	

其機械強度及硬度與溫度變化之關係如下表及圖 8。

TYPE 440-C MECHANICAL PROPERTIES (Room Temperature): (Oil Quenched 1900°F, Tempered at 600°F)	
Yield Strength, 0.2% offset, psi	275,000
Tensile Strength, psi	285,000
Elongation in 2", %	2.0
Reduction of Area, %	10.0
Brinell Hardness	580

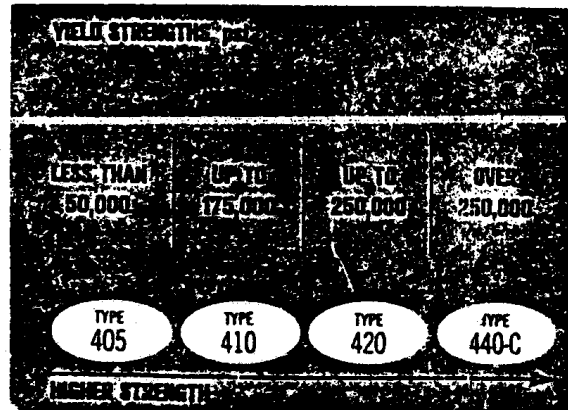
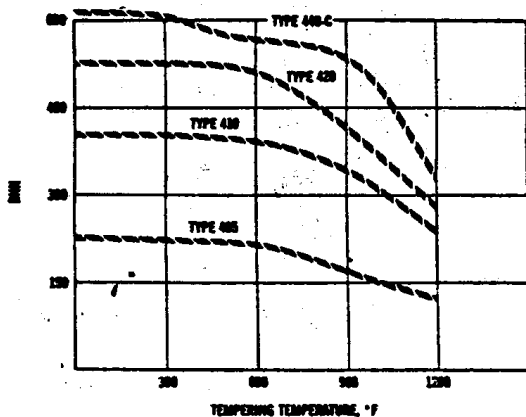
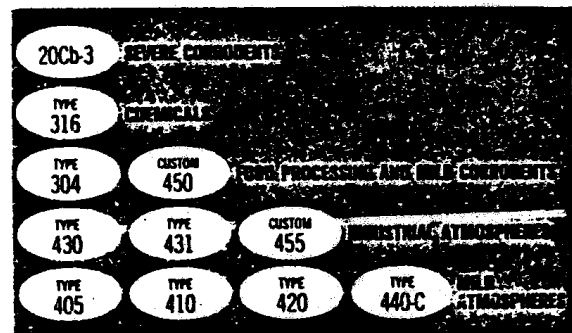


圖 8. 405, 410, 420, 440-C 之機械強度（硬度）與溫度之關係。

在以上的討論中，幾種不銹鋼只要求機械強度及一般耐蝕能力，接着我們將繼續討論兼具有好的耐蝕能力及機械性質的不銹鋼。如圖 9 所示：



其中包括 431, 455 及 450 等幾種不銹鋼，其化學成分如下列表示：

431 不銹鋼

C 0.2 % Max	Si 1.00 % Max
Mn 1.0 % Max	Cr 15.00/17.00 %
P 0.04 % Max	Ni 1.25/2.50 %
S 0.03 % Max	

455 (Carpenter Co.)

C 0.05 % Max	Ni 7.50/9.50 %
Mn 0.50 % Max	Ti 0.80/1.40 %
P 0.04 % Max	Nb+Ta 0.10/0.50 %
S 0.03 % Max	Cu 1.50/2.50 %
Si 0.50 % Max	Mo 0.50 % Max
Cr 11.0/12.5 %	

450 (Carpenter Co.)

C	0.05 % Max	Cr	14.00/16.00 %
Mn	1.00 % Max	Ni	5.0 / 7.0 %
Si	1.00 % Max	Mo	0.5 / 1.00 %
P	0.03 % Max	Cu	1.25 / 1.75 %
S	0.03 % Max	Nb	8x Cmin

在這幾種不銹鋼中 431 為麻田散鐵系不銹鋼，適用為飛機組件、海洋結構物等，而 455 不銹鋼也是麻田散鐵型，但可以利用析出強化的處理來達到強化的效果。其機械性質比較與同等級耐蝕性的 430 不銹鋼，如圖 10 表示：

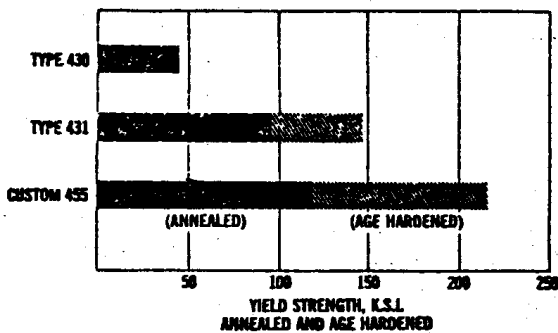
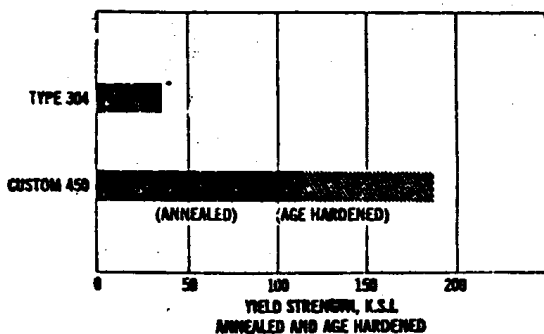


圖 10. 430, 431, 455 不銹鋼強度比較。

另外一種 450 不銹鋼也是麻田散鐵系不銹鋼，與 455 一樣也可以利用時效的析出強化的效果，來達到強化的目的，其機械性質與同等級耐蝕性的 304 不銹鋼，可如圖 11 之表示：



Note: Type 304 can be cold worked to higher strength levels, but only in small sections.

圖 11. 304 及 450 不銹鋼的強度比較。

5. 加工性的選擇：

在決定了耐蝕性質與機械性質強度之後，最後還必須決定其加工性是否優良，關於加工性是否優良，可以分為兩個部份來看，一者為其切削性質

，再者為其冷加工性質。在圖 12 中是 304 不銹鋼同一等級耐蝕性及機械強度的切削性比較，愈向右上方移動的表示其切削性改進的效果。主要的有 304 易削型 (project 70) 303 Se (加 Se)，303 以及 303 (project 70)，其化學成份如下列表示：

303 不銹鋼 (project 70)

C	0.12 % Max	Si	1.00 % Max
Mn	2.00 % Max	Cr	17.00/19.00 %
P	0.04 % Max	Ni	8.00/10.00 %
S	0.18/0.40 %		

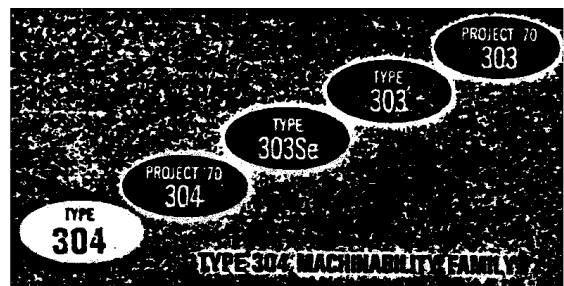


圖 12 304 族不銹鋼切削性比較。

而圖 13 為 304 不銹鋼同等級耐蝕性與強度的冷加工性比較，同樣的愈向右上方移動時，冷加工性愈佳，其主要的 304 不銹鋼種為 305, 302 HQ, 及 No. 10 (Carpenter Co.) 其中各不銹鋼種之化學成份如下表，其特徵是錳含量高：

305 不銹鋼

C	0.12 % Max	Si	1.0 % Max
Mn	2.00 % Max	Cr	17.0 19.0 %
P	0.045 % Max	Ni	10.5/13.0 %
S	1.00 % Max		

302 不銹鋼

C	0.15 % Max	Si	1.0 % Max
Mn	2.0 % Max	Cr	17.0/18.0 % Max
P	0.045 % Max	Ni	8.0/10.0 % Max
S	0.03 % Max		

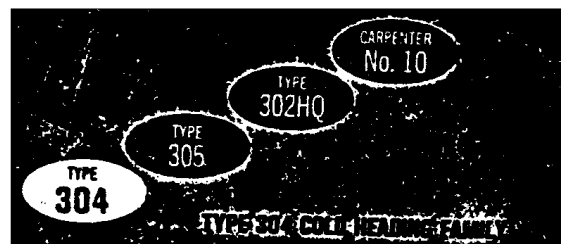


圖 13 304 不銹鋼族的冷加工性比較。

在另外一族的不銹鋼 410 型，其相同等級之不銹鋼的切削性比較如圖 14 所示，主要鋼種為 416 及 416 (project 70) 及 Type 5-F 等三種，化學成份如下表所示，其特徵同樣是提高錳含量。

416 不銹鋼

C	0.15 % Max	Si	1.00 % Max
Mn	1.25 % Max	Cr	12.0/14.0 %
P	0.06 % Max		
S	0.15 % Max		

及

No. 5-F

C	0.10 % Max	Si	1.00 % Max
Mn	1.00 % Max	Cr	13.00/14.00 %
P	0.06 % Max	Ni	0.50 % Max
S	0.30 % Max	Mo	0.40/0.60 %

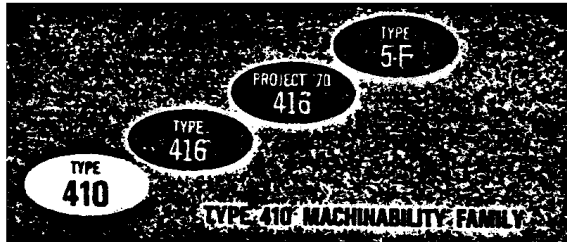


圖 14. 410 不銹鋼族之切削性比較。

結言：

根據以上的討論，我們知道不銹鋼不是只有一種，也不是只有一種單一使用方法，每一種不銹鋼都有其特徵，使用範圍以加工特性，因此為了更有效的能夠發揮不銹鋼的耐蝕及機械強度的要求，使用者應確切的了解不銹鋼的性質，如何是適當的選擇，又如何是節省成本的方法，能夠依照本文中的簡易方法來選用的話，相信將不致於發生太大的錯誤了，當然特殊環境的選用還是請教專家才行的。

本文取材自① Carpenter Stainless steels working plate 及 ② 材料手冊 vol. 1 鋼鐵材料之 ch. 8。