

## 自鑽自攻螺絲簡介

近年來，與其他材料比起來，不銹鋼和鍍面鋼片因其抗腐蝕性而被更廣泛使用在建築物和汽車上。這些鋼片產品通常是用點焊、螺絲緊固或釘在鋼結構的表面上。由於使用方便，用螺絲把鋼片固定到型鋼上是個普遍的方法。舉例來說，要將外裝鋼片緊固到鋼結構上最常見的步驟：1.在鋼片和鋼結構上鑽預鑽孔，2.把預鑽孔校直，正確的把螺絲鎖進預鑽孔內使鋼片固定在鋼結構上，如圖1(a)所示。

20年前左右，有一種特別的自鑽自攻螺絲（self-drilling and -tapping screw）已實用化，可以直接鑽入外裝鋼片而不用先鑽預鑽孔，該螺絲鑽尾端需先加工成螺旋狀刀刃，在鑽入之同時，螺絲即自攻鎖入外裝鋼片和鋼結構內，如圖1(b)所示。此類螺絲本體最初採用可淬火硬化之高碳鋼線材，鑽尾採用工具鋼等高強度線材，兩者則以電阻鐸方式結合。但由於兩者之耐蝕性皆不足，在鉚接處容易發生銹蝕，故業者亟盼開發具高耐蝕性之自鑽自攻螺絲不銹鋼線材，尤其是在酸雨問題嚴重之歐洲，需求更為殷切。

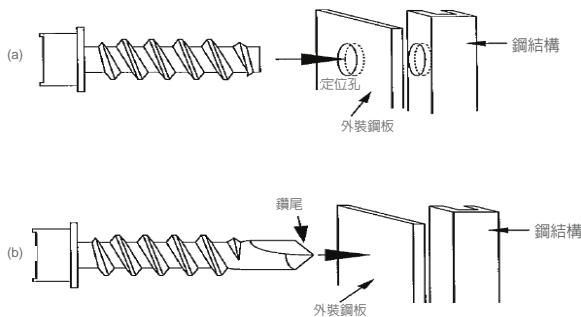


圖1 傳統機械螺絲與自鑽自攻螺絲工作示意圖

資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

## 傳統自鑽自攻螺絲之特性比較

建築用不銹鋼自鑽自攻螺絲的必要特性如表1所示，產品特性方面包括：可鑽入性、耐蝕性；製造加工性方面則有：冷鍛加工性、工具壽命，說明如下：

表1 自鑽自攻螺絲之要求特性

特性	目標特性
硬度 (可鑽入性)	鑽尾硬度Hv $\geq$ 500 (可鑽入5.5mm厚的鋼板)
耐蝕性	等同SUS304 (在鹽霧試驗下(5%NaCl、35°C、240h)不生銹)
冷鍛加工性	等同SUS304或以下之加工硬化特性
工具壽命	工模具在加工5,000根螺絲後也無損傷

資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

### 可鑽入性

若考量到固定外裝鋼片在現有鋼結構等情況，為了確保螺絲通用性，必須至少能鑽入5.5mm厚的鋼板。鑽尾的硬度與可鑽入的鋼板厚度之關係如圖2所示，鑽尾的硬度一般必須要在Hv500以上才能鑽入5.5mm厚的鋼板。

### 耐蝕性

因螺絲頭會露出鍍面鋼板或不銹鋼板的表面，所以要有與鋼板同等或以上的耐蝕性（以通用性等來看，一般需要等同於SUS304或以上），意即在鹽霧試驗下（5%NaCl、35°C、240h）不會生銹。

### 冷鍛加工性

為了使產品容易加工，其加工硬化特性必須等同於SUS304或以下。

### 工具壽命

盡可能要求與現有冷鍛加工同等之工具壽命，但考量到實際的生產情況，至少必須達到加工5,000根螺絲後工具也不會損傷的程度。

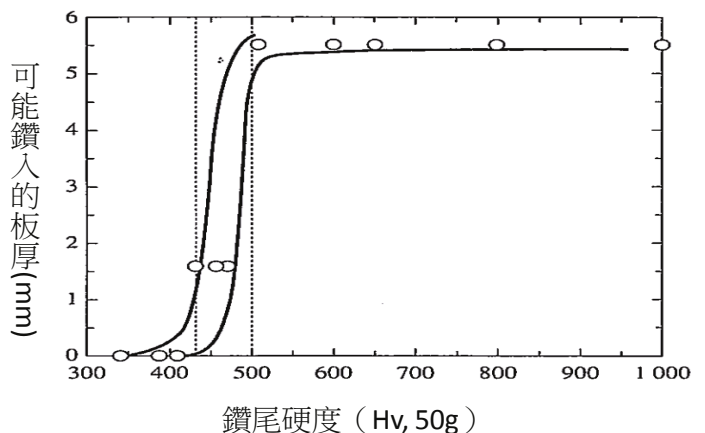


圖2 鑽尾硬度與可鑽入性之關係

資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

首先，比較傳統自鑽自攻螺絲是否滿足上述產品特性（可鑽入性、耐蝕性）其性能評估結果如表2所示。可鑽入性的測量是以日本工業標準規格JIS B 1 125為準，將螺絲鑽入5.5mm厚的鋼板時評估其可鑽入或不可鑽入，可鑽入打○，不可鑽入打X。硬度測量是以維氏微硬度測量儀（Micro Vickers）測量螺絲縱切面位於尖端表層0.1mm處，若有表面硬化層則測量其縱切面硬度。耐蝕性測量是將螺絲以20°角插入發泡的苯乙烯進行鹽水噴霧試驗（5%NaCl、35°C、240h），並評估螺絲頭有無生銹，無生銹打○，生銹打X。

表2 傳統自鑽自攻螺絲的性能比較

強化種類	材料鋼種	螺絲成型後之處理	鑽尾硬度 (Hv)	鑽入性	耐蝕性
表面硬化	SUS304	氮化處理+鍍鋁、鋅	1000	○	X
淬火強化	碳鋼	滲碳氮化淬火+鍍鋅	650	○	X
	SUS304	氮化淬火+回火	600	○	X
加工+時效強化	SUS304系列	時效+鍍鋅	470~490	X	X
銲接	SUS304	銲接碳鋼鑽尾+鍍鋅	650	○	X

資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

傳統自鑽自攻螺絲以強化種類可分為四類：

1. 螺絲成型後透過氮化處理使表面硬化：鑽尾硬度達到Hv1000，具有良好可鑽入性。但由於是在SUS304上實施氮化處理，可發現整體佈滿紅銹。
2. 螺絲成型後實施淬火強化：尖端硬度達到Hv600~650，具有良好可鑽入性。雖實施表面處理以確保耐蝕性，但整體仍佈滿白銹及紅銹。
3. 螺絲加工時施以加工硬化，之後再施以時效硬化。但鑽尾硬度只有Hv470~490，可鑽入性欠佳。另外，為使表面潤滑而鍍一層鋅，導致整體佈滿白銹。
4. 在SUS304的螺絲尾端銲接具備高硬度之碳鋼鑽尾：尖端硬度約為Hv650，具有良好的可鑽入性。但因表面鍍鋅，導致頭部佈滿白銹。

表3 傳統自鑽自攻螺絲的高強度不銹鋼化學成分

種類	鋼	化學成份(質量%)					平衡
		C	Mn	Ni	Cr	N	
奧氏體	SUS 304	0.04	1.2	9.1	18.2	0.02	
	SUS 304N	0.05	1.1	8.1	18.2	0.20	
	SUS 305	0.03	1.1	10.3	18.3	0.04	
	YUS 130M	0.09	9.0	9.5	18.0	0.30	
馬氏體	SUS 410	0.10	0.6	0.2	11.6	0.01	
析出硬化	SUS 630	0.03	0.5	4.7	16.4	0.01	3.5Cu-0.3Nb
	SUS 631J1	0.07	0.7	7.2	16.5	0.02	1.0Al

資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

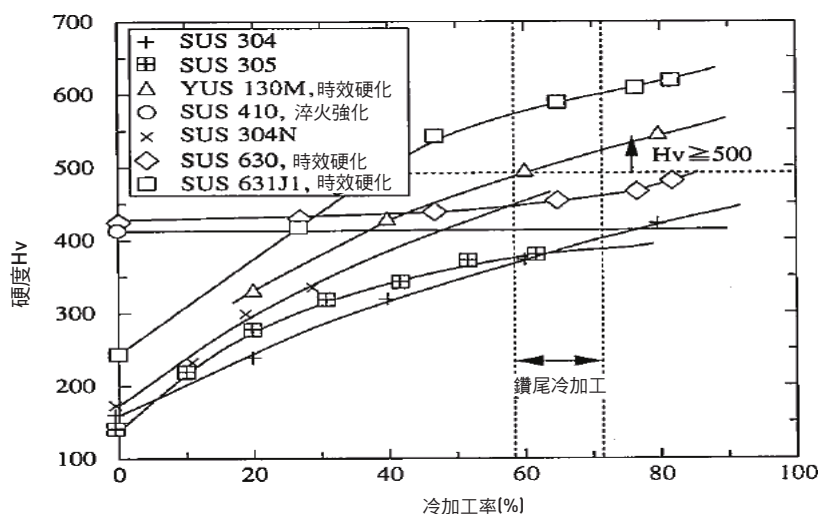


圖3 傳統不銹鋼螺絲冷加工率與硬度之關係

資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

綜合左列結果，可確認以SUS304等不銹鋼為底材，並經過表面硬化處理的傳統產品雖具有良好可鑽入性，但耐蝕性則不佳。

## 傳統高強度不銹鋼之特性評估

若使用傳統高強度不銹鋼試作自鑽自攻螺絲，並評估其包含可製造性在內的各項適用性，結果如下：

### 1. 測試材料與試作、評估方法

在試作前，先依1)硬度、2)耐蝕性、3)冷鍛加工性、4)工具壽命四個觀點整理傳統高強度不銹鋼的性能。適用於傳統自鑽自攻螺絲的高強度不銹鋼化學成分如表3所示。可分為沃斯田體系（ $\gamma$ ）、麻田散鐵系（ $\alpha'$ ）及析出硬化系三大類。硬度方面是評估冷鍛加工後的硬化熱處理材料，從圖3可以看出，藉由相當於SUS631J1及YUS130M鑽尾加工之冷加工率+時效處理可達到目標硬度（ $Hv \geq 500$ ）。

在耐蝕性方面，可利用ARI（Anti Rusting Index）指標來進行適當評估。ARI（ $=Cr+2.4Mo$ ）與發生孔蝕電位的關係如圖4。圖中可看出發生孔蝕的電位與ARI值成正比，因此選擇ARI $\geq 18$ 的鋼種即可確保耐蝕性達到目標（等同於SUS304或以上）。

至於冷鍛加工性及工具壽命則是評估螺絲加工前材料的加工硬化特性，傳統鋼材的加工硬化曲線如圖5所示，SUS305或SUS410在SUS系列中是加工硬化特性較低的材料，因此可推測其具有良好的冷鍛加工性與工具壽命。



綜合以上結果來看，使用YUS130M、SUS305、SUS410等材料做成的自鑽自攻螺絲最有希望符合要求。於是利用上述線材做為測試材料，進行自鑽自攻螺絲試作。試作過程是將線材先進行伸線加工，經中間退火達規定尺寸後，將鋼線冷卻成型為六角頭自鑽自攻螺絲。之後為確保可鑽入性，對SUS305材進行表面硬化處理，對SUS410材進行1000°C的淬火處理，對YUS130M材進行500°C的時效處理。但由於銲接處理並非一般螺絲製造程序，故此處並沒有進行銲接複合螺絲的試作。

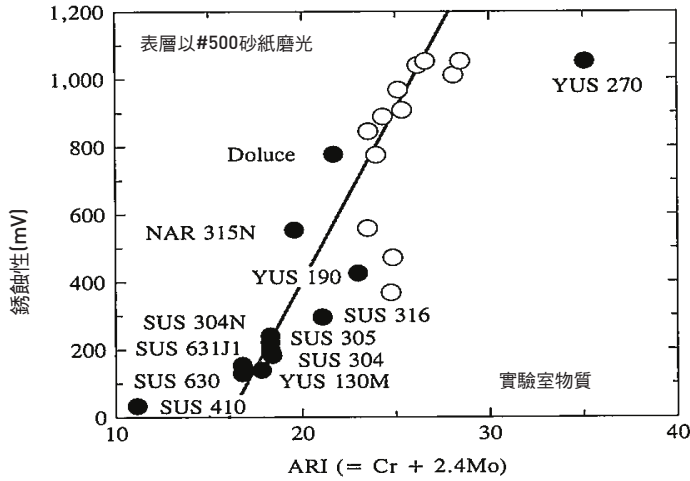


圖4 ARI與耐蝕性的關係  
資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

評估項目分為可鑽入性、耐蝕性、冷鍛加工性及工具壽命，可鑽入性與耐蝕性的評估是利用與現有產品相同的方法進行，而冷鍛加工性是以螺絲成型後有無產生裂痕來評估，無裂痕打○，有裂痕打X。工具壽命則是以5,000根螺絲成型後工具有無損傷來評估，無損傷打○，有損傷打X。評估結果歸納如表4所示，SUS305材在不進行表面處理的情況下，雖然具有優越耐蝕性、加工性與工具壽命，但是鑽尾硬度只有Hv380~400，可鑽入性並不佳。

另一方面，表面硬化處理過的材料雖然鑽尾硬度可達Hv1000，具有優越的可鑽入性，但由於表面會形成氮化處理膜，因此耐蝕性並不佳。此外，表面硬化處理層的厚度與可鑽入的板厚關係如圖6所示。硬化層越厚，可鑽入的板厚也越大。若要鑽入5.5mm厚的鋼板，其硬化層厚度必須為60 μm以上。然而，要在螺絲上平均產生60 μm以上的表面硬化層必須透過特殊製程，就目前工業而言非常困難。

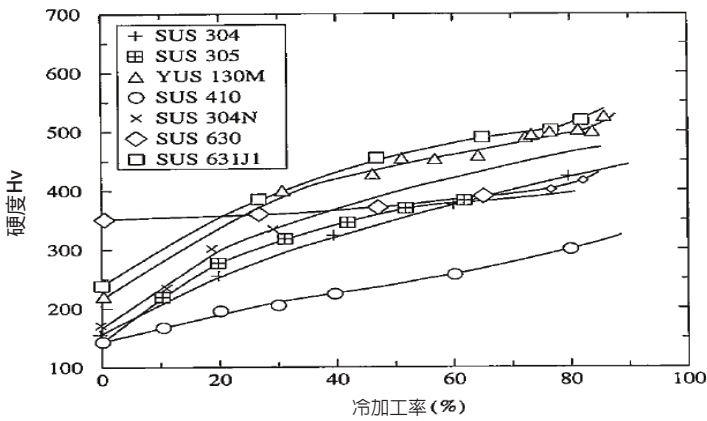


圖5 傳統線材的加工硬化曲線  
資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

SUS410在冷鍛加工性與工具壽命方面表現良好，但淬火後的鑽尾硬度只有Hv420，可鑽入性不佳，且整體佈滿紅銹，耐蝕性也不佳。YUS130M在耐蝕性與冷鍛加工性方面表現良好，但鑽尾硬度不均，差異範圍可達Hv460~550，可鑽入性不佳；且因加工硬化程度大，工具壽命不長。綜合以上結果可以發現，用傳統不銹鋼線材所做成的自鑽自攻螺絲皆無法全面滿足所有要求特性。

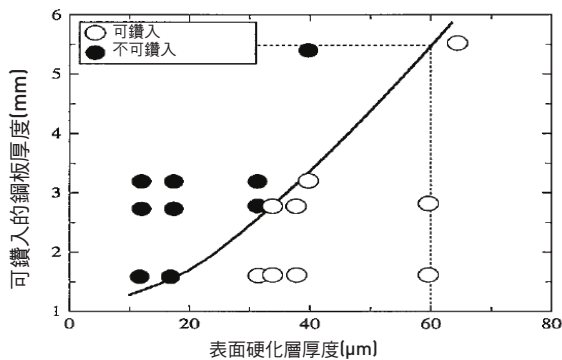
表4 傳統不銹鋼線材試作自鑽自攻螺絲之性能比較

強化種類	材料鋼種	螺絲成型後之處理	鑽尾硬度 (Hv)	可鑽入性	耐蝕性	冷鍛加工性	工具壽命
表面強化	SUS305	未處理	380~400	X	○	○	○
		塔夫鹽浴碳氮共滲處理 (Tufftriding) *1	1000	○	X	○	○
		塔夫鹽浴碳氮共滲處理 + Dacromet處理*2	1000	○	X	○	○
淬火強化	SUS410	1000° C淬火+回火	420	X	X	○	○
加工+時效強化	YUS 130M	時效處理 (500°C)	470~550	X	○	○	X

註\*1：使用約550°C的鹽浴氮化處理，\*2：達克羅 (Dacromet) 是指用含有鋅片、鋁片、鉻酸酐、乙二醇等成分的糊狀處理液塗覆金屬基體，經高溫烘烤後，在金屬基體表面形成一層有極佳耐蝕性的塗膜，可取代電鍍。

資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

圖6 鑽尾表面硬化層(≥1000Hv)的厚度與可鑽入的板厚關係(螺絲底材350-400Hv)



資料來源：新日鐵技報，第361號(1996)

### 自鑽自攻螺絲用新型不銹鋼線材

傳統的不銹鋼線材不論從性能面或製造性皆難以適用於高強度、高耐蝕性的自鑽自攻螺絲，唯有將希望寄託於α'系列不銹鋼的成分改良品，因此，開發新的不銹鋼線材便為當務之急。整理傳統鋼種使用問題，γ系列的SUS305及YUS130M從加工性與工具壽命角度來看，在螺絲加工時硬度較低，必須透過後續處理提高硬度；但透過表面處理或銲接使螺絲具備高強度、高耐蝕性的方法，其製程相當複雜。另一方面，α'系列的SUS410其加工硬化較γ系列為低，在加工與工具壽命方面雖然沒有問題，但如何提高硬度與提高耐蝕性則是一大考驗。

就以上觀點來看，γ系列達到硬化的製程相當複雜，若利用α'系列為底材，藉由控制碳、氮含量來達到高硬度，並透過控制ARI來實現耐蝕性；如此便可能達到自鑽自攻螺絲所要求的目標特性。因此，日本採取的發展方向就是以麻田散鐵系不銹鋼底材作為自鑽自攻螺絲用材料，以下介紹日本開發之相關新材料。

### 日立金屬ASL503

日本MIYAGAWA METAL於1996年首度成功開發採用麻田散鐵系不銹鋼之一體式自鑽自攻螺絲，商標為「Marutex」(圖7)，材質為日立金屬之ASL503。ASL503為含13%Cr之改良式麻田散鐵系不銹鋼，退火後硬度較低，冷加工性佳，且淬火回火後硬度及抗拉强度高，可達HRC50以上，可鑽入12mm厚的鋼板，剪強度約為淬火強化碳鋼螺絲之2倍，其耐蝕性等同SUS304，適用於兼具高硬度及耐蝕性之各種用途，其機械性質及耐蝕性參見表5。



圖7 Marutex一體式自鑽自攻螺絲

資料來源：<http://www.miyagawa21.co.jp>

表5 ASL503之機械性質及耐蝕性

退火後	淬火回火後					鹽霧試驗
硬度(Hv)	硬度(HRC)	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	抗拉強度(N/mm <sup>2</sup> )	伸長率(%)	引伸率(%)	
230	51	1186	1820	14	47	不生銹

註：鹽霧試驗條件：3.5%NaCl、35°C、1000h。

資料來源：特殊鋼，1999年10月

### 大同特殊鋼之DSN9與DSN-PN

DSN9是一種利用冷加工可得到高硬度(高強度)之不銹鋼，其降伏強度接近雙相不銹鋼SUS329J1，對海水具有優良耐蝕性，可在海水中使用。DSN9利用冷加工可獲得HV500的硬度，且可進一步利用析出硬化熱處理提高硬度。在80%冷加工狀態，仍具有低導磁率( $\mu \leq 1.01$ )。其耐熱性比SUS310更好，且接近SUH660，可應用於馬達心軸、VTR導銷、墊片、自鑽自攻螺絲等。

DSN-PN屬於無鎳超高氮之沃斯田體系不銹鋼，是在可加壓之感應爐熔煉，氮含量約1%，且不含易造成人體過敏之鎳，可應用於高強度/高耐蝕線材、緊固件、非磁性零件及與人體接觸製品等，DSN9與DSN-PN之代表成分參見表6。

表6 DSN9與DSN-PN之代表成分

鋼種	化學成份(mass%)					
	C	Mn	N	Ni	Cr	Mo
DSN9	0.03	6.0	--	10.0	23.0	2.0
DSN-PN	不詳	8	1.2	--	21	4

資料來源：[www.daido.co.jp](http://www.daido.co.jp)

### 新日鐵YUS550

YUS550是新日鐵於1996年左右推出之不銹鋼，其化學成份如表7，乃添加少量N、Mo之改良式麻田散鐵系不銹鋼，除了具有等同於SUS304的抗腐蝕性之外，還可透過熱處理將硬度提高至約550Hv，可用於自鑽自攻螺絲、高強度釘、各種叉銷、高強度鏈條及需要高硬度和抗腐蝕等特性的其他應用。

YUS550自鑽自攻螺絲製程如下：熔煉→盤元軋延→退火→抽線→退火→冷鍛加工→淬火回火。

表8~表11分別為YUS550之物理性質、機械性質、鑽尾硬度及耐蝕性比較，其特點如下：

※高強度(Max. 1800 MPa, Hv600)

※高耐蝕(類似304不銹鋼)

※冷加工性佳(等於或優於304不銹鋼)

※韌性佳



表7 YUS550化學成份

(% wt)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
Min.	0.10	-	-	-	-	1.00	12.50	1.80	0.05
Max.	0.20	1.00	1.00	0.040	0.010	2.40	14.00	2.30	0.15

資料來源：www.jicam.com

分析自鑽自攻螺絲用YUS550材料後可得出以下幾點結果：

\*在 $\alpha$ '系列的不銹鋼中，ARI (Cr+2.4Mo)  $\geq 18$ ，且消除 $\delta$ 相鐵後可得到等同於SUS304或更佳的耐蝕性。

\*在 $\alpha$ '系列的不銹鋼中，碳對硬度的效果約為氮的2.5倍，2.5C+N  $\geq 0.28\%$ 的條件下可得到Hv500以上的硬度。

\*在 $\alpha$ '系列的不銹鋼中加入鎳與硼可提高韌性值。

\* YUS550化學成份為13Cr-1.5~2.4Ni-2Mo-0.16C-0.1N-0.003B。

\*以Ac<sub>1</sub>變態點附近的溫度進行2段退火，作為螺絲冷鍛成型前的軟化退火處理，藉此可將硬度調整至Hv260-300，便可實現螺絲加工。

\*此產品在經過1150°C淬火、200°C回火的熱處理後，硬度約可達Hv550，可鑽入5.5mm厚的鋼板。此外，因淬火溫度高，若淬火維持時間過長則會導致結晶粒粗大化而使韌性降低。

## 結語

目前日本新開發之不銹鋼線材不僅可使用於自鑽自攻螺絲，也可運用於叉銷等高強度緊固件。今後，將新鋼材應用於各種緊固件材料是必要的課題，但是目前的退火軟化硬度僅為Hv260~300，尚未用於複雜形狀的加工。今後為求具備通用性，必須進一步降低螺絲成形前的線材硬度，以確保冷鍛加工性。

表8 YUS550物理性質

物理性質	縱彈性係數 (N/mm <sup>2</sup> )	橫彈性係數 (N/mm <sup>2</sup> )	熱膨脹係數 (cm/°C)
	2.05 × 10 <sup>5</sup>	7.94 × 10 <sup>4</sup>	11.5 × 10 <sup>-5</sup>

資料來源：www.jicam.com

表9 YUS550機械性質

項目	抗拉強度 (MPa)	降伏強度 (MPa)	斷面縮率 (%)	硬度 (Hv)
退火線材	620	450	75	190
自鑽自攻螺絲	1750	1150	30	550
螺栓	1000	770	65	350

資料來源：www.jicam.com

表10 YUS550鑽尾硬度比較

螺絲材料	鋼板厚度	鑽尾硬度(Hv)		
		200	400	600
YUS550	> 5.5mm *			■
410型	> 5.5mm			■
碳鋼	> 5.5mm			■
202型	1.6mm		■	
304型	< 1.6mm	■		
304型(氮化)	< 5.5mm			■

\*可鑽入10mm鋼板

資料來源：www.jicam.com

表11 YUS550耐蝕性比較

測試	鹽霧測試後 (5%NaCl, 35°C, 240h)	亞硫酸氣體測試後 (20循環, DIN5008-21)	銹蝕性 (mV, vs Ag/AgCl)
螺絲材料			
YUS550	無腐蝕	無腐蝕	250-350
304型	無腐蝕	無腐蝕	200-300
304型(氮化)	紅銹(整體)	黑銹(整體)	-300
410型	紅銹(部份)	黑銹(整體)	0-50
碳鋼	紅銹(整體)	黑銹(整體)	-300

資料來源：www.jicam.com

## 參考資料

- ◆「建材用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼YUS550の開発」, 新日鐵技報, 第361號(1996.10)
- ◆「日立金屬ねじ用高硬度高耐食ステンレス鋼 ASL503」, 特殊鋼, 1999年10月
- ◆ <http://www.miyagawa21.co.jp>
- ◆ <http://www.trifixx.com.au>
- ◆ <http://www.miyakin.jp>
- ◆ <http://www.jicam.com>
- ◆ <http://www.daido.co.jp>