

# 日本扣件材料發展動向

劉文海

Wen-Hai Liu

## 一、前言

螺栓、螺帽以及螺絲是一種廣泛使用在汽車、產業/建築機械、土木建築、橋梁、家電、OA 機器、航太、醫療、3C、一般機械等所有領域的緊固零件，亦是支撐起整體產業的重要零件，其形狀、強度水準與製程等會依據使用環境、使用目的等而有所改變，且種類繁多。此外，近年來環境議題逐漸受到重視，且面對日益激烈的全球競爭，必須盡可能降低成本，在此一背景下衍生出對新材料的需求。例如為了改善汽車燃油效率，不斷縮小引擎等處使用的螺栓體積，也因此更需要可以提高螺栓強度的材料。而對於可以省略退火及調質等熱處理、減少二氧化碳排放量、降低生產成本的材料，以及毋需添加昂貴合金也可達到高強度的省合金鋼的需求也日漸升高。

## 二、一般螺栓與螺絲使用的鋼材

螺栓與螺絲大部分都是以碳鋼、合金鋼的線材或棒材製成，除了是因為這些材料可以充分確保各種螺栓與螺絲的所需強度及韌性等特性，同時這類材料優異的生產加工性與適合量產的特點則為最主要關鍵因素，在 JIS 的分類裡，已針對應使用的鋼材與熱處理制定明確的規定。螺栓的功能就是穩定接合、固定零組件，因此首先必須注意的特性就是機械性質。在 JIS 中，針對鋼製螺絲的機械性質制定了『碳鋼與合金鋼製接合用部品的機械性質 (JIS B 1051)』之明確規格。

強度 4.8~6.8 的螺栓部分，主要使用以低碳鋼 (大約 0.25mass%C 以下) 為基礎的冷打用線材 (JIS SWRCH)。在這個強度等級中，毋需實施淬火回火 (調質) 處理即可達到指定強度，將以伸線加

工方式調整到適當強度的鋼材施以冷打後製成螺栓。此等級的螺栓，其製程原本就較為簡要，並無顯著的新鋼材或製程改善的技術議題。

強度等級 8.8~9.8 的螺栓，則使用中碳鋼 (大約 0.40mass%C 左右) 的 SWRCH 線材。這個等級的螺栓，在冷打後實施調質處理，以調整及確保強度。材料強度相對而言較高，由於冷打的負荷較大，因此大多會在冷打前實施球狀化退火等的軟化處理。但有時也會使用可以省略這道軟化處理的低碳鋼系含硼冷打線材，除此之外，愈來愈多製造商使用可以省略軟化處理和調質處理的非調質螺栓材料。

強度等級 10.9 的螺栓，主要使用鉻鋼 (SCr)、鉻鉬鋼 (SCM) 等低合金強韌鋼，並實施調質處理來調整強度。近年來，基於降低材料成本及簡化製程的目的，逐漸捨棄價格昂貴的鉻或鉬，改而使用添加硼的硼鋼 (JIS SWRCHB 等)。

強度等級 12.9 的螺栓，主要使用 SCM 鋼，並實施調質處理。在此強度等級中，為避免發生延遲破壞的風險，更加入了滲磷的相關規定 (JIS B 1051)。為了提高冷打螺栓時的加工性，鋼線表面有磷酸鋅皮膜處理，在調質時會引起滲磷，因此在調質處理前會先除去磷酸鋅皮膜，並使用不含磷的石灰皮膜，且目前也正著手開發其他潤滑性更優於石灰皮膜的全新無磷皮膜劑。

而強度種類超過 12.9 的螺栓，如果是一般鋼材，出現延遲破壞的風險將增高。因此，各鋼廠紛紛以獨家化學成分設計或加工製程，提出各種可以改善延遲破壞性的高強度螺栓用鋼材。延遲破壞的相關評估、判定方法以及基準仍有許多課題尚未解決。使用抗拉強度超過 1,300MPa 的高強度鋼案例依然非常少，但近年來採用情形正逐漸增加。

### 三、非航太扣件用鋼開發動向

#### (一) 高強度螺栓用鋼

公螺絲的強度，在「10.9」的這個等級下，最開始的數字代表以  $N/mm^2$  單位標示公稱抗拉強度的數字除以 100 後的數值，第二個數字則代表公稱下降服點（或是 0.2%耐力）與公稱抗拉強度之間比例乘以 10 倍後的數值，因此「10.9」公螺絲的機械性質就是公稱抗拉強度  $1000N/mm^2$ ，公稱 0.2%耐力為  $900N/mm^2$ 。母螺絲的強度，在「10」的等級下，分別以數字標示各種螺絲可以加鎖螺帽後的最大強度等級。如果是不鏽鋼材質的話，則以沃斯田體、麻田散體、肥立體的鋼種分類以及抗拉強度標示的強度分級的組合方式，如「A2-50」。這些標示方法，因為 ISO 與 JIS 規格已經彼此整合之故，已經成為國際統一的強度標示方法。

螺絲算是工業產品中標準化最為成熟的產品，詳細內容只需查詢日本工業規格（JIS）以及國際標準（ISO）即可。螺絲相關的 JIS 規格數量超過 150 件，在 ISO 標準當中，共制定了包括螺絲基礎的 ISO/TC1（螺絲）18 件，螺絲零件的 ISO/TC2（緊固零件）187 件在內的國際規格。螺絲的攻牙形狀、標準尺寸等的螺絲基本規格，雖然經過 JIS=ISO 的國際整合後獲得了保障，但是，六角螺絲、螺帽、自攻螺絲等產品，因為日本國內市場目前依然大量使用以前 JIS 標準的形狀以及尺寸，因此，實際上，目前的狀態還是無法進行國際整合。

在強度等級超過 12.9 的高強度螺絲部分，如何改善延遲破壞性成為目前的課題。延遲破壞是一種存在於鋼中，或是因為環境中的氫侵入而造成的氫脆化現象，最為人知的便是會降低晶界強度引起破壞。對於此點，各鋼材製造商主要以下列方法來試圖改善延遲破壞性。

#### 1. 降低不純物元素含量

除了極力減少不純物 P、S 的含量，並透過減少會促進 P、S 晶界偏析的 Mn 含量，以強化晶界。

#### 2. 晶粒的細微化

添加鈦（Ti）、鉍（Nb）、釩（V）等元素以細化晶粒，除了可強化晶界，並能改善鋼材的韌延性。

#### 3. 細微碳氮化物的析出

添加析出硬化型的 Mo、V、Ti 等元素，實施高溫回火處理，析出細微碳氮化物。這些化合物會捕集擴散性氫，減少有害的氫產生。

#### 4. 活用波來體組織

將具有波來體組織（Pearlite）的高碳鋼實施伸線後，進行冷打。除了可有效抑制晶界破裂，同時組織介面可讓氫捕集機制有效發揮作用，即使是抗拉強度 1,600MPa 的高強度領域，也可以有效抑制延遲破壞發生。

#### (二) 省製程、省合金鋼（免調質鋼）

強度等級超過 8.8 的高強度螺絲，雖然可透過實施調質處理達到指定強度，但非調質螺絲用線材如同強度等級 4.8~6.8 的螺絲，其設計原則是只需實施冷打即可達到指定強度，因此包括調質處理在內，甚至連冷打前的軟化處理都可以省略（參見圖 1），可望大幅降低成本。此外，如長尺寸螺絲等為了除去調質時發生的回火變形，必須進行矯正，非調質螺絲用線材也可省略這道矯正製程。然而，由於相較於以往的冷打線材，非調質鋼冷打時的材料強度較高，因此若是複雜形狀的零件則會出現破裂，也會大幅度降低工具壽命等，這些都是目前面臨的問題。以下概要介紹有助於改善工具壽命的新型非調質線材之品質。

#### 1. 冷打性

目前已知利用適當的加工條件伸線後的鋼線，其冷打時的變形抵抗會比伸線加工前的軋延材料低，可用來改善該非調質線材的冷打性。此外，也可透過減少 Si 與固溶 N 來抑制加工硬化與動態應變時效所造成的強度上升，降低冷打時產生的變形抵抗。

#### 2. 線材強度分散不均

在非調質線材中，軋延後的線材強度會直接影響最終成品的強度，因此必須抑制軋延後線材產生強度不均。關於此點，除了減少化學成分管理的上下限幅度，並透過熱軋時的冷卻控制來抑制強度的分散不均。

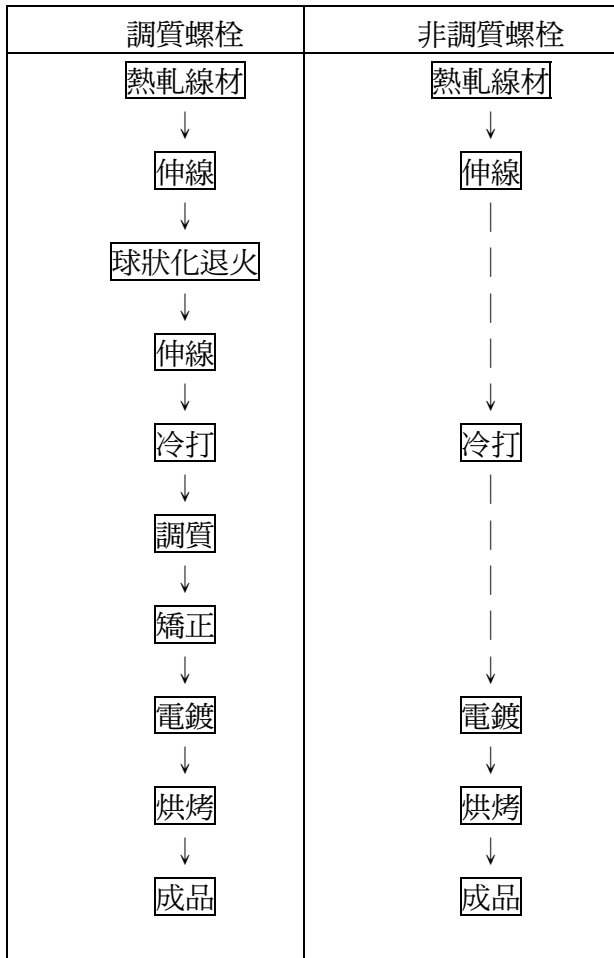


圖 1 調質螺栓與非調質螺栓的製程例  
資料來源：特殊鋼 61 卷 6 號，2012.11

### (三) 10.9 等級螺栓用硼鋼

以往強度等級 10.9 的螺栓，因為延遲破壞的問題，導致硼鋼一直無法普及使用。但目前已開發出可改善延遲破壞性，並大幅省略製程的 10.9 等級螺栓用硼鋼，此硼鋼也已實際投入應用，其成分參見表 1，此款新硼鋼的各種特性如下：

表 1 10.9 等級螺栓用新硼鋼化學成分

鋼種	記號	化學成分(mass%)								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	B
新開發鋼	○	0.25	0.08	1.07	0.009	0.006	0.27	-	添加 (增量)	添加
SCM435	△	0.35	0.24	0.79	0.015	0.022	1.03	0.16	-	-
一般硼鋼	□	0.26	0.20	1.04	0.017	0.010	0.16	-	添加	添加

資料來源：特殊鋼 61 卷 6 號，2012.11

### 1. 冷打性

相對於 SCM435，抑制 C、Si、Cr、Mo 等的添加量，改善了冷打性，並可省略或簡化軟化製程。

### 2. 抗延遲破壞性

以往的硼鋼在螺栓淬火時，沃斯田體晶粒粗大，成為抗延遲破壞性變差的原因。而該鋼材透過細微鈦化合物之析出，除了可防止淬火時晶粒粗大的問題，同時藉由減少 C、P、S 含量，並添加 Ti 的效果，以期改善抗延遲破壞性。從圖 2 可以看出該鋼種比起以前的硼鋼與 SCM435，具有更優異的抗延遲破壞性。

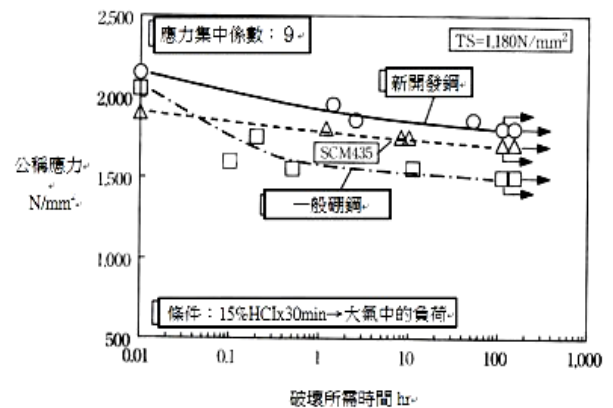


圖 2 新開發硼鋼的延遲破壞特性  
資料來源：特殊鋼 61 卷 6 號，2012.11

### (四) 不鏽鋼、耐熱鋼

不鏽鋼、耐熱鋼的螺栓與螺絲被使用於必須具有抗腐蝕性以及耐熱性的零件接合，由於會暴露於各種不同環境，故依據不同需求特性，開發出各種不同的材料。近年來，基於環保對策的技術開發與免維修化等觀點，這些接合零件皆迅速擴大不鏽鋼的採用。這些接合零件大部分都是採用線材，頭部以冷打製作，螺紋部位則以轉造（搓牙、攻牙）製作，除了強度、抗腐蝕性以外，還要求材料必須具有高度的冷間加工性。另一方面，受到合金元素價格高漲的影響，部分需求從含鎳的沃斯田體系不鏽鋼，轉到節鎳型的肥粒體系不鏽鋼，且此需求正持續增加。

螺絲用的不鏽鋼主要使用低加工硬化程度的肥粒體系不鏽鋼 (SUS430)、冷打性良好且具有淬火硬化性的 13Cr 系麻田散體系不鏽鋼 (SUS410)、低

加工硬化程度的高鎳或高銅沃斯田體系不鏽鋼（SUS305、SUSXM7）等。圖3為螺栓與螺絲用不鏽鋼的強度與抗腐蝕性的定性定位圖，代表成分則如表3所示，這些不鏽鋼會依照使用環境區分使用。

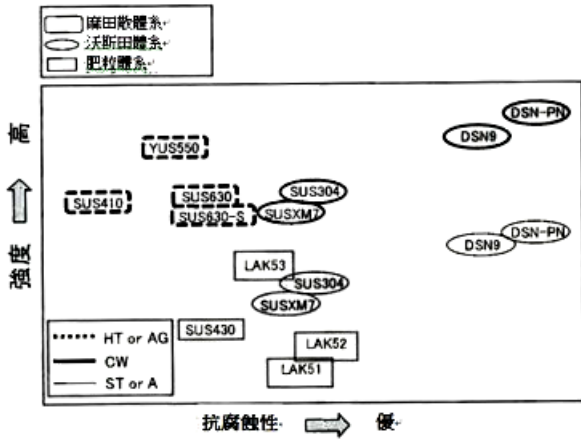


圖3 螺栓與螺絲用不鏽鋼的特性定位圖

資料來源：特殊鋼 61 卷 6 號，2012.11

表3 日本螺栓與螺絲用不鏽鋼的主要成分(wt%)

鋼種	C	Ni	Cr	Mo	N	其他
SUS410	0.1	0.1	13			
YUS550	0.15	2	13	2	0.1	
SUS630-S	0.01	4.5	16			3Cu
SUSXM7	0.01	9.5	18		0.02	3Cu
DSN9	0.03	10	23	2	0.5	6Mn
DSN-PN	0.02		21	2.4	0.8	10Mn
LAK51	0.01		19			Nb
LAK52	0.01		20	1		Nb
LAK53	0.08		19			1.5Mn

資料來源：特殊鋼 61 卷 6 號，2012.11

### 1. 麻田散體系不鏽鋼

如果是濕潤實驗評估等級為辦公室或家庭等環境，適用高硬度取向的 SUS410 等麻田散體系不鏽鋼。若需要更高的硬度，可選用添加 N、Mo 所開發出的抗腐蝕性更高的 YUS550 等鋼種，此鋼種除了具有等同於 SUS304 的抗腐蝕性之外，還可透過熱處理將維氏硬度提高至約 550Hv，可用於自攻螺絲、高強度釘等。

### 2. 肥粒體系不鏽鋼

當室內環境也必須達到高信賴性的情況，可使用以 SUS430 為代表的肥粒體系不鏽鋼，由於此鋼

種在其他用途中具有合宜的成型性與抗腐蝕性，也被用來製造汽車等的螺絲。但是 SUS430 比起沃斯田體系不鏽鋼，強度稍嫌不足，抗腐蝕性亦較低，因此又針對抗腐蝕性開發出改善後的新鋼種。LAK51、LAK52 兩種鋼材都是藉由降低 C、N 的含量來減低變形抵抗，並且透過添加穩定化元素 Nb 並提高 Mo、Cr 的含量來改善抗腐蝕性，而且具有與 SUSXM7 相同等級的抗腐蝕性，更確保了高度的冷間加工性，可用來製作基礎螺栓（anchor bolt）以及汽車外裝小螺絲等。另外，利用肥粒體+麻田散體的雙相組織來改善強度，開發出抗腐蝕性接近 SUSXM7 的 LAK53 鋼材，目前正評估應用於製造螺絲等用途。肥粒體系不鏽鋼由於不會受到鎳等合金元素價格的影響，未來可望擴大適用範圍。

### 3. 沃斯田體系不鏽鋼

一般最常用來製作螺絲的沃斯田體系不鏽鋼，會依據抗腐蝕性與成型性需求，分別使用 SUS304、SUS316 及 SUSXM7。冷打用的 SUSXM7，透過極度降低 C 及 N 的含量來減少變形抵抗，延長模具壽命等，以期降低加工成本。此外，還透過添加 Cu 並增加 Ni 含量開發出低加工硬化性、可降低變形抵抗的鋼種。最近更開發出可長時間耐海水環境的超高氮含量的沃斯田體系不鏽鋼 DSN9 與 DSN-PN，其抗腐蝕性等級等同於超級不鏽鋼，還可以透過冷加工達到高強度，未來可望用來製作螺栓及螺絲。

### 4. 析出硬化系不鏽鋼

即使為室內環境，仍須具有高信賴性與強度的情況，可使用析出硬化系不鏽鋼 SUS630。以固溶化處理後尖峰時效來說，由於 1,000MPa 以上的抗拉強度，對於無韌性且包含延遲破壞在內的應力腐蝕感受性更強，故一般會在過時效狀態下使用。雖然建築構造用途逐漸採用 10T 高強度螺栓，但是 10T 高強度螺栓是以熱鍛生產，生產成本很高，因此又另外開發出冷鍛用的 SUS630-S 鋼種。本鋼種在固溶化熱處理後的狀態下，不僅冷間加工性高，且時效後強度與抗腐蝕性皆等同於 SUS630。

### 5. 耐熱鋼

SUS410 等的麻田散體系耐熱鋼，因受限於變態點，使用極限為 500~600°C。若是超過此範圍，則可使用 SUS310 等的沃斯田體系耐熱鋼或

SUH660 等。SUH660 向來被用於生產汽車引擎周邊排氣歧管、渦輪增壓器的固定用耐熱螺栓。SUH660 也針對低成本化之目的，開發出降低鎳含量的 DHN660L 與 ASL116，並已實際投入運用。另一方面，為了解決與肥粒體系不鏽鋼間的熱膨脹差所引起的鎖固力降低問題，以及因應使用溫度的上升，開發出 DHN660H 與 HRA261S 以供使用。

#### 四、航太扣件用材料發展動向

航太產業所使用的螺栓與汽車或建築等其他產業大不相同，非常特殊。因其使用目的為「搭載人員翱翔天際」，故使用的產品必須在機體安全面上具有極高信賴度，比起嘗試新技術，仍會優先使用確實而可信賴的技術。作為關鍵零件，在許多部位及用途中扮演重要角色的螺栓，品質要求當然非常嚴格。基於如此的要求，螺栓在製作材料的多樣性與特殊性，以及嚴格的品質管理體制這兩點上，具有其他產業所沒有的特色。

##### （一）航太螺栓生產的特徵

日本目前的飛航產業從戰後復興期開始，一直以海外航機的授權生產為主，即便今日仍擺脫不了如此的鮮明特點。例如螺栓尺寸至今依然使用英寸尺寸就是一個代表例子。此外，目前也仍大量使用 AN (Airforce Navy Aeronautical Standard) 或是 MS (Military Standard) 的美規標準螺栓。

航太螺栓生產上的最大特點就是依據海外制定的 Specification (規格) 實施嚴格生產、品質管理體制。以 Procurement Specification (採購規格) 來說，除了 MIL (Military Specification) 及 NAS (National Aerospace Specification) 等所謂公共規格之外，還有各機體、引擎製造商獨家制定的顧客規格，根據這些規格鉅細靡遺地規定適合各種材料的生產方法及實驗評估方法。特別是在品質管理上，重要的熱處理、表面處理、非破壞檢查等特殊製程中，規定了更為嚴謹的設備規格及作業方法等，同時要求必須取得各顧客及國際審查機關 (Nadcap) 的製程認證，通過認證後方可生產，圖 1 為航太專用螺栓外觀。



圖 1 航太專用螺栓外觀

資料來源：特殊鋼，61 卷 6 號，2012.11

至於材料方面，同樣必須依循 AMS (Aerospace Material Specification) 以及 MIL 等的材料規格。相關內容包括了化學成分與生產方法，此外還規定配合材料特徵實施熱處理後的機械特性等 (抗拉強度、硬度、高溫強度、抗潛變強度等)，甚至也可能根據顧客規格指定製造商。但是無論開發出何等優異的材料，倘若經過長時間重複試驗與檢證後，依舊無法取得這些規格的認證，仍無法實際使用。尤其是螺栓本身的功能特別重視高度信賴性，必須具有相當的實績。因此，會從通過相關規格保證、具有信賴性的材料中，視其必要的性能來挑選使用的材料。

航太所使用的螺栓受限於規格的嚴格管理，比起一般產業使用的螺栓，生產上的自由度較低，變化也較少。因此螺栓的新技術、新產品大部分都是源自材料的進化。

##### （二）螺栓材料

###### 1. 低合金鋼

Ni-Cr-Mo (鎳鉻鉬) 鋼等的低合金鋼自古以來就常被使用於機體上要求高強度的部位。代表性的材料有 8740 鋼、4340 鋼等。這些材料的抗拉強度從 125ksi (862MPa) 到 180ksi (1,241MPa)，強度範圍很廣，可以應用在各種部位與用途。此外，對於機體輕量化的需求，隨著材料、熱處理技術的進步更加提升了強度，製作出 4330M、H-11、300M 等應用於 220ksi (1,517MPa) 到 260ksi (1,793MPa) 的高強度螺栓。但是考慮到氫脆化的危險性，故大多使用於叉銷 (Pin) 之類的剪斷用途上。

此類低合金鋼螺栓必須實施以抗腐蝕為目的的表面處理，並且大多會根據要求的抗腐蝕性高低實施鍍鎳處理。當螺栓強度愈高時，氫脆化的問題愈明顯，因此，會配合強度水準實施一般的鍍鎳、鍍氟硼酸鎳、鍍低氫脆性鎳處理，如果是更高強度的螺栓，則會實施真空蒸鍍鎳或是鍍鎳鈦合金處理。另外，在鍍鋁處理上也有實績，預期可具有抗電位腐蝕的效果。

## 2. 抗腐蝕及耐熱鋼

具有抗腐蝕性要求的螺栓，除了少數使用 300 系、400 系的不鏽鋼螺栓以外，大多使用析出硬化型不鏽鋼。析出硬化型不鏽鋼有 17-4H (SUS630)、15-5PH，如果是必須具有更高強度與韌性的部位，則使用 PH13-8Mo。

另外，兼具優異耐熱性的沃斯田體系耐熱鋼—A286 (SUH660) 使用範圍非常廣泛。A286 利用不同的固溶溫度，可以製成 130ksi (896MPa) 與 140ksi (965MPa) 兩種不同強度水準，如果重視高溫強度，也可選擇 130ksi。此外，若在素材或產品時進行冷加工 (冷鍛)，並實施適當的時效處理，則可以透過加工硬化的方式提高強度。根據這樣的特性，可以透過伸線加工依序製造出 160ksi (1,103MPa)、200ksi (1,379MPa) 以及高強度的材料，再對應不同的強度要求區分使用。由於降低了隨著強度增加而出現的氫脆化危險性，加上屬於鐵基合金，可壓低成本，預期未來高強度螺栓將會擴大採用 A286。

此外以鈷 (Co) 基超合金的 MP35N 為例，其常溫強度為 260ksi，疲勞強度、韌性也很高，同時具有優異的抗腐蝕性，雖然僅為少量，但可以使用於條件極為嚴苛的部位。

## 3. 超耐熱合金

飛機引擎內為高溫環境，故使用了大量的超耐熱合金。螺栓所使用的超耐熱合金以鎳基超合金為主，大多採用 Waspaloy 或 Inconel718 等，特別是 Inconel718 所佔比例最高。

Inconel718 一般是以固溶化、時效處理製成 185ksi (1,276MPa) 的強度水準使用。這項材料與前述的 A286 同樣屬於沃斯田體系，可以透過冷加工以及時效處理提高強度，因此近年來在 220ksi 用

途方面，愈來愈多採用伸線加工後材料製成的螺栓。雖然至今主要是發揮其高溫強度特性使用於引擎上，但近來作為機體高強度螺栓使用的情形也慢慢增加。

再舉其他很具特色的材料鈷基超合金的 MP159 為例，MP159 是改善先前介紹的 MP35N 耐熱特性後所得到的材料，其常溫強度為 260ksi，疲勞強度、韌性也很高，並具有高溫應力鬆弛特性，因此適用於使用條件嚴苛的引擎部位。此 MP159 也可利用伸線加工來實加工硬化，然而，這些富含鈷元素的 MP159 與 Waspaloy 等材料雖具有優異性能，但材料成本非常昂貴、加工性差等問題仍待解決。

## 4. 鈦合金

鈦合金具有高比強度，抗腐蝕性及耐熱性也很好，另外，鈦合金疲勞强度高、應力集中敏感性低、無磁、低導熱性及低熱膨脹係數，對防止緊固螺栓的鬆動，和防磁場干擾也具有非常重要的作用，因此使用範疇橫跨機體到引擎。即便鈦合金有著材料成本高、加工性差的缺點，但針對重視運動機能的軍用機以及要求改善燃油效率的民航機輕量化需求，依然一步步穩健地擴大適用範圍。特別是近幾年來，複合材料在機體上的應用快速發展，因為鈦與碳纖維複合材料的電極電位相近，具有抗電位腐蝕的優異性能，鈦合金又成為與複合材料惟一的可接合材料，因此更進一步提高使用比率。

適合螺栓使用的鈦合金大部分為  $\alpha$ - $\beta$  合金的 Ti-6Al-4V，經過固溶化、時效處理後，以 160ksi 強度使用的狀況占壓倒性多數。至於其他實用材料，則有比 Ti-6Al-4V 強度略強的 Ti-6Al-6V-2Sn，以及日本的開發材料、熱加工性佳的 SP-700 等  $\alpha$ - $\beta$  合金，但使用案例甚少。然而，由於機體製造商希望可以更進一步減輕機體，因此強烈希望可以採用強度超越 Ti-6Al-4V 的高強度鈦合金螺栓，但受限於成型性及疲勞強度難以兩全，故目前尚無法稱為有競爭力之扣件材料。

## 六、結語

本文站在螺栓與螺絲的機械特性以及對其相關製程設計的影響觀點，論述材料所扮演的角色。正

因為這是一個微小不良就會引起大事故的重要零件，因此不但格外重視選擇適合鋼種，能否穩定維持高品質水準也非常重要。由於全球需求正持續成長，未來不鏽鋼、耐熱鋼的螺栓與螺絲的適用領域將以建築、土木、汽車以及機械產業為主更加擴大。不鏽鋼及耐熱鋼的使用方法會依不同的使用環境而大相逕庭，因此必須確實掌握使用環境資訊，並進行充分的事前評估。

航太螺栓方面，因為必須達到輕量化，故以具有抗氫脆性的高強度耐蝕鋼以及高強度化的鈦合金備受期待。然而，在以塑性加工為主的螺栓生產上，材料的高強度化並不表示一定能提高螺栓的性能，因此，材料製造商與螺栓製造商應緊密合作、共同推動開發，以期累積實績。

## 參考資料

- 1.「JIS ハンドブック」，2011
- 2.特殊鋼，61卷6號，(2012.11)p.18-20，21-26，27-30
- 3.新日鐵技報，Vol381、(2004)、p.57.
- 4.R&D神戸製鋼所技報，Vol.54、No3 (2004)、p.16.
- 5.Journal of Materials Processing Technology, 210 (2010)、p.1870.
- 6.<http://www.specialmetals.com>