

扣件墊扣元件之應用及設計

一、前言

扣件使用經常承受強度負荷、振動、磨耗、腐蝕等使用環境條件因素，除考量扣件本體使用耐受程度外，相關配合扣件共同使用之相對應增加安全性的華司、密封、墊片等墊扣元件，更是默默付出貢獻發揮作用，是扣件安全使用提升的重要推手。相對應墊扣元件若無法適合使用環境條件配合扣件本體，往往使扣件提早產生破壞失效，降低扣件壽命年限，甚至直接影響使用安全。

長年以來台灣扣件位居全球的出口大國，配合扣件本體共同使用之相對應墊扣元件亦包含其中。雖然墊扣元件單獨出口比例佔比不高，配合扣件本體以組件方式之墊扣元件，亦為該型態扣件重要的品質影響因子。本文在此簡要探討如何設計選擇配合扣件本體共同使用華司、密封、墊片等墊扣元件材料設計選擇、對扣件實際使用環境負載條件等主要功能影響及風險。

二、墊扣類元件作用

(一) 華司類元件

華司又稱為墊圈，通常是用於直接墊在扣件本體上及/或與連接件與扣合螺帽或螺紋扣合位置之間的零件，其主要用途是：(1) 作為間隔物用來保護被連接件的表面或保護扣合兩方組件，不受摩擦表面損傷。(2) 透過更大的接觸面積來分散扣件扭力，避免扣合位置局部承受劇烈應力傷害扣件。(3) 分散被連接件的壓力，及減少振動帶來扣合的鬆動脫離。示意如圖1。

(二) 密封類墊圈元件

密封墊或密封墊圈是單純用於扣合連接件部位及扣件本體扣合連結位置的密封件，直接墊在扣件本體的法蘭表面、華司表面或扣件使用之華司組件表面。主要用途是防止扣件使用環境之油、水、空氣等進入密封連接區域及保護防止扣合區域滲漏。軟質密封材質依其設計及使用，輕微緩和振動。示意如圖1。

(三) 墊片類元件

墊片也是一種密封零件，墊片使用並非直接接觸扣件本體的法蘭表面、華司表面或扣件使用之華司組件表面接觸。而用於可以填滿二個相配合表面之間的空隙，用扣件機構作用來讓二個工件彼此扣合連接，二個相配合表面之內外使用環境可能不同(溫度、壓力、油、水、空氣等)，但即使在受到內外使用環境溫度、壓力等應力條件時，也不會有洩漏的情形。墊片一般是由片材切割分工而成，可填平表面部份，允許工件的接合表面有些許缺陷。廣泛地用於汽車業、化學製程、航太、半導體等，例如：引擎螺絲用墊片、變速箱扣件用外蓋螺絲墊片、化學製程法蘭對接密封墊片。示意如圖1。

三、分類及選擇

(一) 華司類元件種類及作用區分

具成型加工能力之螺絲螺栓或螺帽，可直接於螺絲螺栓頭部或螺帽本體上，設計一體成型與本體相同材質強度之法蘭或華司尺寸，**避免扣件後續再設計或需要選擇適合之華司種類材質、尺度、強度等**，如圖2。由於一體成型技術性及加工成本限制，大尺寸、特定功能需求或高強度材質等無法於一體成型加工者，仍另行設計應用適當之華司元件。華司扣件型式種類示意圖如圖3，種類有：

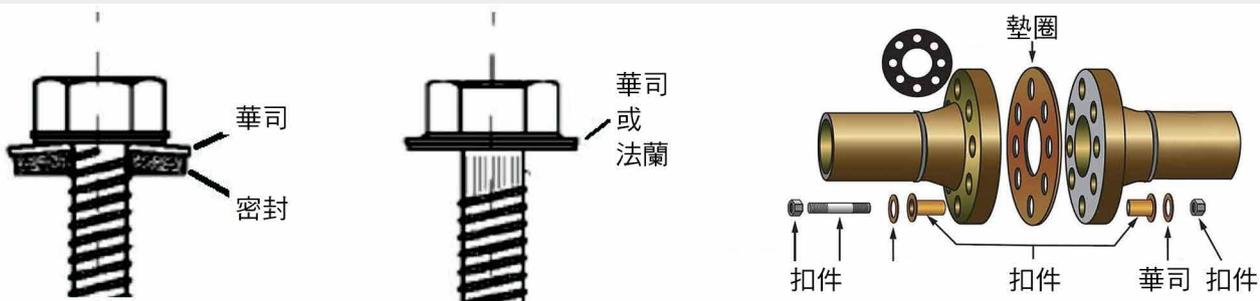


圖1. 華司、密封、墊片示意圖





圖2. 直接於螺絲螺釘頭部或螺帽本體上一體成型之法蘭或華司

1. 平華司類：

帶整體式圓柱套筒的型式。例如：DIN 125, ISO 7089, DIN EN 14399, ASTM F436/F436M。

2. 彈簧型華司類：

- (1) 杯形彈簧華司或錐形華司，也稱碟形彈性彈簧。錐形彈性華司與扣件一起搭配使用可以有效保持扣件的緊扣壓持力，不因為冷縮熱漲或其他原因，使扣件的緊扣壓持力產生太大的變化。在溫度變化環境下，採用杯形彈簧華司與扣件一起搭配會有非常良好的鎖緊固定效果。溫度變化環境下使用之扣件，鬆脫原因往往與忽略保持緊扣壓持力的扣合元件有關。例如：DIN 6796, DIN 6908, DIN 137。
- (2) 彎曲碟形彈簧華司/鞍型彈簧華司，類似於平華司，華司平面呈圓弧方向彎曲，華司緊扣時與平華司不同，具有緊扣壓持力之保持。但接觸點緊扣壓持力分布與杯形彈簧華司緊扣壓持力平均分布不同。例如：DIN 137。
- (3) 開口彈簧華司，一個環型分裂開口在一個端點上，並彎曲成螺旋狀。導致華司在緊固扣件的頭部及底座之間施加彈力，使華司面牢固地抵靠基底，並且螺栓螺紋牢固地抵靠螺帽或基底螺紋，產生更多的摩擦和抵抗旋轉。開口彈簧華司是左手螺旋線，並且只允許線沿右手方向，即順時針方向收緊。當左旋轉運動時，凸起的邊緣咬入螺栓或螺帽的下側和螺栓連接的部分，從而阻止切削。因此，開口彈簧華司在左旋螺紋和硬化表面上無效。不能與彈簧墊圈下方的平墊圈一起使用，因為這將開口彈簧華司咬入到將阻止轉動的部件中。開口彈簧華司的優點在於墊圈的楔形。當被壓縮到接近螺栓的緊扣壓持耐力時，它會扭曲及變平降低螺栓連接的彈性剛度，使其在相同的振動水平下比平華司保持更大的壓持力，可以防止鬆動。例如：DIN 7980, DIN 127, BS 4464, 美國軍用NASM 35338。
- (4) 波浪型華司，亦稱為波浪型彈簧，在軸向上具有「波浪型」的華司，當壓縮時提供彈簧力。大小相當相同材質的波浪型華司不會產生像杯形彈簧華司那樣大的彈簧力量。可吸收軸向間隙振動並給予少許緊扣壓持力量，適

合用於運轉振動之環境，並吸收振動能量降低振動噪音。例如：DIN 137, DIN 935。

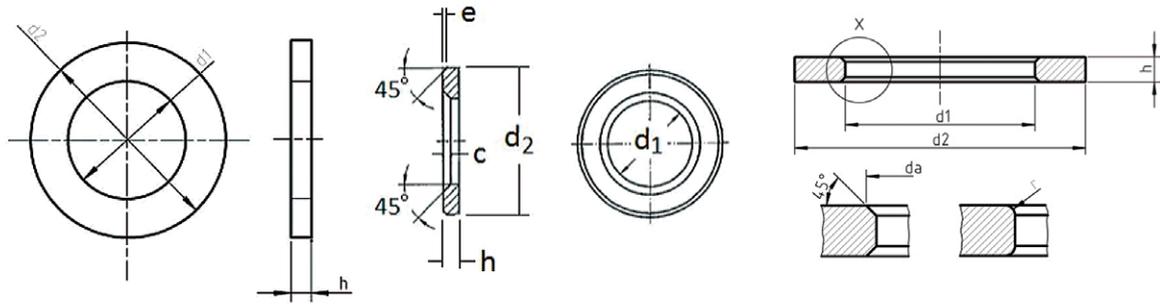
3. 楔形鋸齒面鎖緊華司：類似於平華司帶整體式圓柱套筒的型式，但華司呈鋸齒表面，此類華司與鋁或塑料等軟質基材一起使用時，可以於軟質基材產生的抵抗旋鬆脫鎖緊作用比在表面平整的平華司有效。例如：DIN 25201。
4. 齒形鎖緊華司或星形鎖緊華司：外邊緣或內邊緣具有嵌入齒型或星形設計特徵，類似嵌入卡榫作用可防止滑動鬆脫。可分為內齒型，外齒型，組合齒型和埋頭齒型共四種型態。例如：DIN 6798。
5. 沉頭華司：扣件固定後，扣件頭部於華司埋頭孔眼中，提供平齊表面。沉頭華司之尺度形狀依扣件頭部的形狀而變化，如：90度埋頭、角埋頭等多種形狀。例如：DIN 6319。

(二) 密封類墊圈元件種類及材料區分

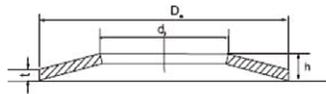
密封件是直接墊在扣件本體的法蘭表面、華司表面或扣件使用之華司組件表面的密封功能元件。以允許一定程度變形的軟彈性材料在扣合連接時形變，填滿對應的空間（包括一些輕微的不規則處），其多數為對稱形狀。多數依據密封材料之環境耐受性及可壓縮性強度考量。扣件常見密封材質性能及應用如下：

1. 天然橡膠(NR)，工作溫度-50~70℃，良好的耐磨性、高彈性、高扯斷強度及伸長率。空氣中易老化，遇熱變黏，礦物油或汽油中易膨脹和溶解，耐鹼但不耐強酸。
2. 丁腈橡膠(NBR)，工作溫度-40~120℃，良好的耐油、耐熱、耐磨、抗溶劑及抗高壓油特性。不適合於極性溶劑之環境中，如酮類、臭氧、硝基烴、氯仿等。
3. 矽橡膠(SIL)，工作溫度-55~250℃，極佳耐熱、耐寒、耐臭氧、耐大氣老化。很好的電絕緣性能。抗拉力強度及耐磨性較一般橡膠差且不具耐油性。矽膠最被廣泛運用的原因在於其無毒環保的特性。因為化學性質穩定，無毒、無臭無味，耐高溫，長期被使用在食品及醫療產業上，潔淨管路中扣件常用的墊圈密封元件。矽膠也有缺點，例如：拉伸強度低，無法耐高強度撕裂及磨耗、對燃料油類的耐受性不佳。
4. 乙烯丙烯二烯單體橡膠(EPDM)，工作溫度-50~150℃，耐電壓電氣特性良好，對極性溶劑(醇、酮)、鹽酸等化學穩定安定性均非常優秀，耐大氣陽光日照老化性，耐臭氧性佳，耐候性適用於戶外環境及水蒸汽鹽霧環境之密封。屬無毒、無害及再生型材料，有益於保護環境，已廣泛用於建築扣件。於歐盟ETA建築扣件認證文件要求

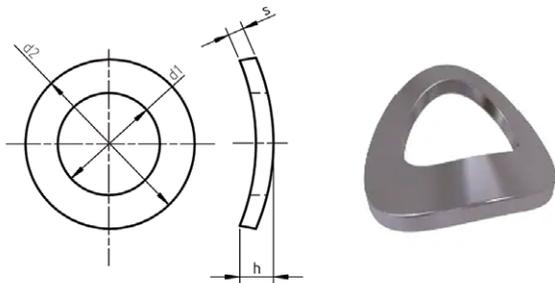




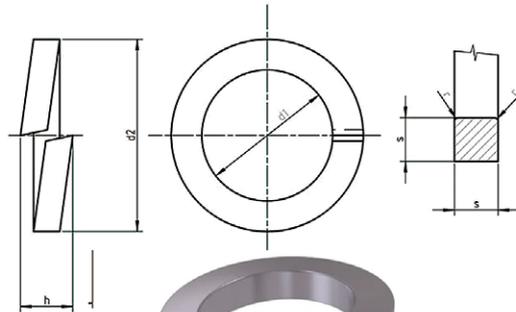
平華司



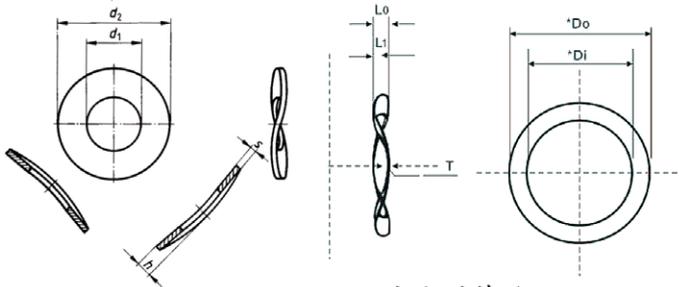
錐形華司/杯形彈簧華司



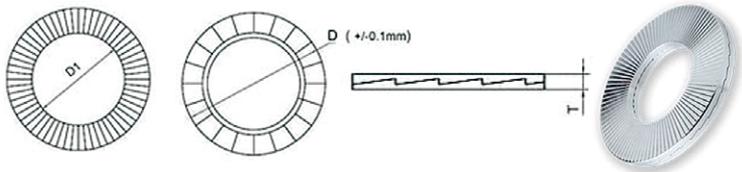
彎曲碟形彈簧華司



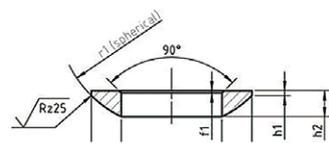
開口彈簧華司



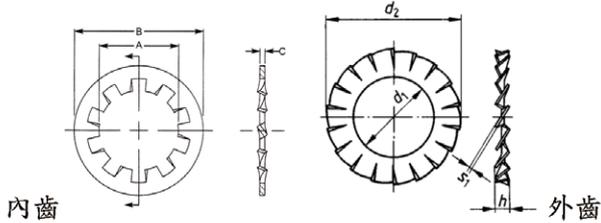
波浪型華司



楔形鋸齒面鎖緊華司



沉頭華司



齒形鎖緊華司或星形鎖緊華司

圖3. 華司類墊圈元件種類示意圖



EPDM之使用。在工業上也廣泛運用，如：密封圈、防塵套、電線電纜、墊圈、皮帶、電氣絕緣、管件接頭、緩衝墊、防震橡皮、O形環...等。

5. 氟橡膠(FKM)/全氟橡膠(FFKM)，工作溫度-20~220°C/-25~320°C，耐高溫性優，極佳的耐化學性、耐大部分油及溶劑(酮、酯類除外)、優異氣密性、抗離子體特性，耐寒性較不良。
6. 聚四氟乙烯(PTFE)，工作溫度-55~260°C，化學穩定性好，耐熱、耐寒、耐油、水、汽、化學藥品等各種介質；機械强度高，耐高壓、耐磨性好；摩擦係數低，自潤滑性好。
7. 聚氨酯(PU)，工作溫度-45~110°C，强度高、耐磨性能優越，耐油耐溶劑性能好，尤其對耐潤滑油和燃料油有良好的抗溶脹性，耐臭氣性能好。不耐高溫。

(三) 墊片類元件種類區分

墊片可以由以下各種材料製成，但不限於以下材料，包括：

1. 金屬類：鋼鐵(碳鋼、彈簧鋼、不銹鋼)、非鐵金屬或合金(銅、黃銅、鋁、鈦、鐵、青銅、鋅、矽青銅、鎳鐵合金、鎳銅合金、鎳基鎳鉬鉻系列、耐蝕耐高溫合金)。
2. 塑膠尼龍類：熱塑性、熱固性聚合物；如聚乙烯、聚四氟乙烯、鐵氟龍；尼龍6、尼龍66、Nylatron。
3. 橡膠類：參閱密封類墊圈元件橡膠種類。
4. 其他類：纖維、陶瓷、皮革、雙金屬片、雲母、紙質等。

塑膠尼龍橡膠類的墊片元件亦以扣合連接時形變填滿對應空間密合。完全金屬製的墊片元件，是以墊座表面完全密合來實現密封，應用到金屬本身的彈性變形特性(應力會接近材料的降伏強度 σ_y ，但不會超過)。

四、墊圈類扣件元件應用設計原則

密封及墊片類墊扣元件，設計選用以使用環境耐受性為優先，主要設計考量環境壓力溫度及對應密封之環境物質種類。尺寸以扣件商用規格尺寸或以實際需求之客製化尺寸設計為主，重點應注意緊迫扣合允許應力下之軸向或正向之可壓縮量及徑向或橫向之可膨脹量。塑膠尼龍橡膠類材質應注意老化及壽命。

華司類元件直接墊在扣件本體上及/或與連接件與扣合位置之間，如非特殊設計要求，應注意降低華司類元件設計之風險，原則重點如下：

1. 華司化學成分以選用與扣件本體相同類別或近似之材質

華司化學成分與扣件本體相同之材質，具相同機械強度性質特性且無電位差效應伽凡尼腐蝕，是最佳的設計選擇。

以不銹鋼扣件為例，不銹鋼扣件分為4大群組：群組A為沃斯田鐵系列、群組F類為肥粒鐵系列、群組C為麻田散鐵系列、群組D為雙相不銹鋼系列。群組中再依據化學成分、耐蝕特性進行區分系列鋼種。系列鋼種再接著區分機械性能等級。(如圖4)

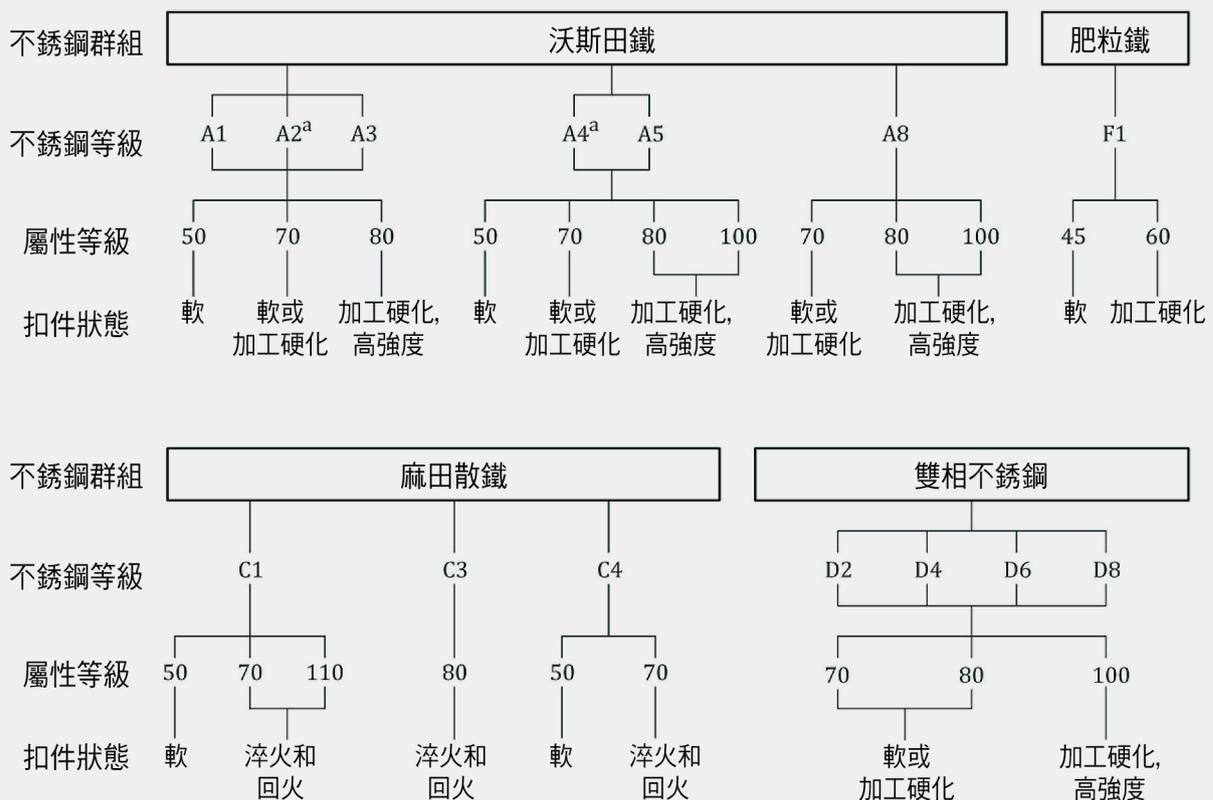


圖4. 不銹鋼扣件沃斯田鐵系機械強度等級 (資料來源：ISO 3506-1)



不銹鋼扣件本體為系列鋼種A1, Class 50時, 華司設計優先順序為:

- (1) 應優先選用相同系列鋼種A1, Class 50之材料;
- (2) 若無相同系列鋼種A1系列, Class 50之華司材料時,
 - 以相同鋼種A1系列Class 70或Class 80為替代材料;或
 - 以化學成分、耐蝕特性近似系列鋼種A2或A3 Class 50之材料為替代材料;
- (3) 若無系列鋼種A1、A2或A3適當材料時, 再考量鋼種A4或A5系列機械性質近似的材料為替代材料。

沃斯田鐵群組系列不銹鋼扣件若誤用肥粒鐵、麻田散鐵、雙相不銹鋼或碳鋼系列華司, 華司銹蝕將造成原沃斯田鐵群組系列扣件之失效破壞或降低使用壽命。

配合用於碳鋼或合金鋼扣件之鋼鐵華司製品, 應以設計選擇近似扣件本體之材料的化學成分為原材料; 或鋼鐵材料經熱處理條件要求後能符合扣件本體強度等級相對應之機械性能要求。以DIN 2903為例, 規範碳鋼合金鋼之扣件華司化學成分如表1。

2. 華司機械性能強度設計應與扣件本體相同之性能強度等級為原則

華司類元件直接墊在扣件本體上及/或與連接件扣合位置之間, 在主要作用分散扣件扭力時, 華司配合扣件使用時, 如同扣件承受應力, 華司機械性能強度低於扣件本體時, 低機械性能區域容易造成鬆脫或破壞失效。華司機械性能強度高於扣件本體時, 可能造成扣件本體之緊扣應力超過安全負荷的風險。因此, 以與扣件本體相同之機械性質等級及同類別鋼種之材料為優先。

彈簧型華司機械性能強度對彈簧型華司而言更為明顯, 強度低於扣件本體時緊扣壓持力降低; 亦相對緊固功能降低。強度高於扣件本體時, 相同緊扣位移量緊扣應力可能造成高於扣件本體正常負荷值, 存在降低疲勞強度的風險。以ISO 898-3, DIN 2903標準為例, 已規範扣件強度等級對應之華司機械性能強度, 如表2。

除以上原則之外, 華司設計特殊材質時, 應該更注意華司生產過程之設計及品質管控流程。彈簧型華司常設計特殊工具鋼或彈簧鋼材料, 加工及熱處理過程更需注意加工順序及熱處理條件不正常之負面作用, 例如: 強度硬度過高、脆性、韌性不足等。工具鋼或彈簧鋼在類似電鍍表面處理過程中, 氫脆化程度均比一般的碳鋼或合金鋼扣件更明顯。華司生產過程之設計及品質管控亦成為華司類元件失效風險的來源。 ■

表1. 碳鋼或合金鋼扣件強度等級之華司化學成分規範 (資料來源: DIN 2903)

屬性等級	原料和熱處理	化學成份限制%				最小回火溫度
		碳		磷	硫	
		最小	最大	最大	最大	
4.6, 4.8, 5.8, 6.8	低或中碳鋼	-	0.55	0.05	0.06	-
8.8	淬回火中碳鋼	0.25	0.55	0.04	0.05	425
9.8	淬回火中碳鋼	0.25	0.55	0.04	0.05	425
10.9	中碳鋼添物 例如: 硼、錳、鉻或合金鋼 - 淬回火	0.20	0.55	0.04	0.05	425
12.9	淬回火合金鋼	0.20	0.50	0.035	0.035	380

表2. 扣件強度等級對應之華司機械性能 (資料來源: ISO 898-3, DIN 2903)

機械屬性		屬性等級								
		4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9
						最高至 M16	M16 以上			
拉力強度	公稱	400	500		600	800		900	1000	1200
	最小	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
維氏強度	最小	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	最大	250				320	336	360	380	435
布氏強度	最小	124	147	152	181	319	242	266	295	353
	最大	238				385	319	342	363	412
洛氏強度	最小 HR	71	79	82	89	-				
	HRC	-	-	-	-	20	23	28	32	39
	HR	95				99				
	最大 HRC	-	-	-	-	32	34	37	39	44
降伏強度ReL	公稱	320	300	400	480	-				
	最小	340	300	420	480	-				
永久變形應力	公稱	-				640		720	900	1080
	最小	-				640	660	720	940	1100