

二、鋁合金鉚釘種類

鋁合金鉚釘 種類與特性

文/金屬中心產業研究組 劉文海

一、前言

鉚釘 (Rivet) 是一種機械緊固件，是用來永久固定工件，工件固定後，需要破壞鉚釘或工件才能將已固定的工件分離，這一點和釘子及螺絲/螺栓等扣件不同。鉚釘未安裝時為一端有一凸起的圓柱，在固定時會選用比工件長的鉚釘，固定時由鉚釘尾部插入工件事先加工的洞中，由於鉚釘較長，尾部會突出工件一小段，最後再用工具將尾部突出部份錘平，大約會膨脹到鉚釘原直徑的1.5倍，此時鉚釘二側都有凸起的頭部，可以固定工件。鉚釘固定後二側都有凸起的部份，因此可以承受和鉚釘平行的拉力負載，但其剪切強度更高，更適合承受與其垂直的剪力負載，而螺絲及螺栓則較適合用在有拉力負載的場合。

鉚釘材料有鋁合金、不銹鋼、耐熱合金、軟鋼、Monel合金(63Ni31Cu)、鈦及銅等，1936年美國Cherry Aerospace及英國Aviation Developments(現為Avdel)首次將鋁合金鉚釘使用於飛機構造，目前大多數鉚釘主要用於鋁合金、鈦合金、複合材料等較薄結構的連接，使用直徑一般在 $\Phi 4\text{mm}$ 以下，為了滿足飛機結構較高壽命要求，大都採用自動鑽鉚機和柔性裝配系統進行裝配。

傳統鉚釘有五種主要類型(見圖1)：開口或開叉(bifurcated or split)、束口(compression)、空心(full tubular)、實心(solid)及半空心(semi-tubular)。除了束口鉚釘之外，所有的這些鉚釘都必須接近接合處的兩側，它們需要用到頂鐵(bucking bar)，頂鐵是一個形狀特殊的金屬工具，在錘擊頭部(敲平或端壓)時，讓尾部延展及硬化。束口鉚釘有兩個頭部，它們透過徑向壓縮應力及變形形成接合處。

1. 實心鉚釘 (Solid/round head rivets)

實心鉚釘有一個桿身及半圓型的頭，可以用錘子或鉚釘槍撞擊使其變形，一般應用在強調可靠度及安全的應用中，例如飛機的結構件。現在飛機的外殼約需要數十萬個鉚釘，這類鉚釘可能是半圓頭(universal)或是 100° 埋頭(countersunk head)。飛機用鉚釘的材質一般會是鋁合金(2017, 2024, 2117, 7050, 5056, 55000, V-65)、鈦合金或鎳合金(像Monel)。有些鋁合金材質太硬，在加工前需要再退火處理。鋼鉚釘則常用在靜止或慢速移動的結構中，例如橋樑、起重機或是建築物的結構。鉚接需要可以接觸到工件的正面及反面，一般會使用電動、氣動或是液壓驅動的工具，或是使用錘子手動固定。若只能接觸到一個面，則會改用盲鉚釘(blind rivet)固定。圖2為使用實心鋁合金鉚釘之飛機蒙皮外觀，圖3為飛機駕駛艙之實心鉚釘施工情形。

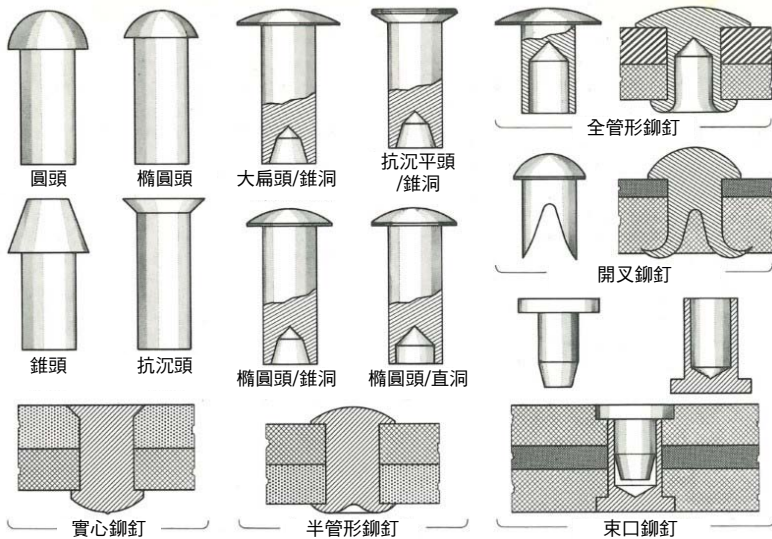


圖1 鉚釘之主要類型



圖2 使用鋁合金實心鉚釘之飛機蒙皮



圖3 飛機駕駛艙鉚釘施工情形-
左方女生使用氣動槍，右方男生使用頂鐵

2. 半空心鉚釘 (Semi-tubular rivets)

半空心鉚釘也稱為空心鉚釘，其外形類似實心鉚釘，兩者皆須事前開孔。半空心鉚釘桿身的末端有盲孔，其目的是減少鉚接時的施力，其施力約只有用實心鉚釘的四分之一。半空心鉚釘最常用在照明、剎車、梯子、捆束機、HVAC管道施工、機械製品及電子產品。半空心鉚釘一般會打蠟以便於裝配，已鉚接的半空心鉚釘會在一側有鉚釘的頭，另一側則有翻邊的淺盲孔，半空心鉚釘是最快可以大量鉚接的鉚釘，但需要較高投資購買設備。



3. 自攻鉚釘 (Self-Pierce Rivet)

自攻鉚釘乃冷鍛成半管狀，並在頭部的另一端帶有一個局部孔。鉚釘的末端幾何形狀具有尖銳倒角，可幫助鉚釘刺穿要連接的材料。自攻鉚釘有不須事前開孔的優點，其鉚接原理見圖4，可分為以下二類：

A. 半空心自攻 (自沖) 鉚釘-- 是利用半空心鉚釘刺穿上層板，並與下層板之間藉由塑性大變形形成機械自鎖來實現。自攻鉚釘接合要求以下3個要件：(1) 鉚釘貫穿上層板；(2) 在下板內鉚釘擴大而形成互扣；(3) 鉚釘不貫穿下板，以保證接頭具有良好的氣密性和抗腐蝕能力。

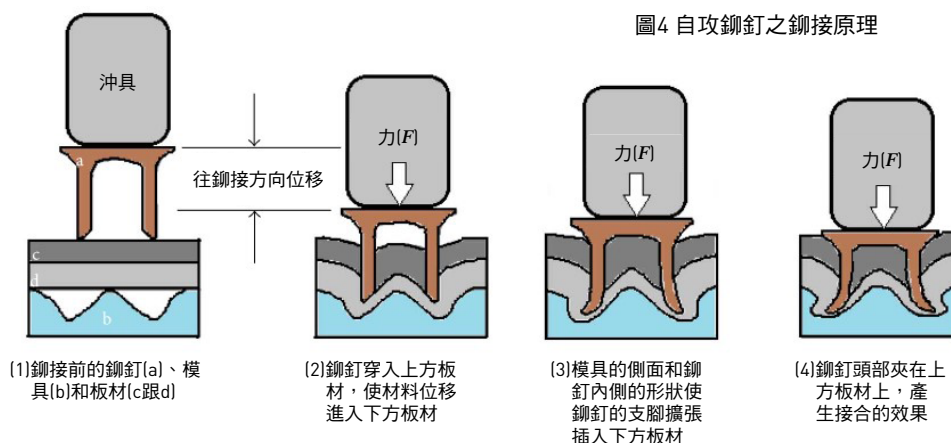


圖4 自攻鉚釘之鉚接原理

B. 實心自攻鉚釘 (Solid punch riveting) -- 亦稱Kerb-Konus riveting，乃使用鋁或塗層不銹鋼實心鉚釘。與半空心自攻鉚釘不同之處為實心自攻鉚釘須貫穿兩片待接合之金屬，但實心自攻鉚釘之接頭強度比半空心自攻鉚釘遜色。

三、鋁合金鉚釘識別代碼

鋁合金鉚釘依照其頭部形狀、製造材料及其尺寸進行分類，其頭部形狀及其識別代碼編號如圖5所示，圖6為各類材料之實心鉚釘頭部形狀比較。代碼以MS (military standards) 開頭標識出符合軍用標準的規格，代碼以AN開頭標識在空軍及海軍的聯合授權下所制定及公告的規格。圖5所示的鉚釘代碼僅足以識別鉚釘的頭部形狀，為了有意義且精確地識別鉚釘，將某些其他資訊編碼並加入基本代碼中。頭部形狀代碼後面的一個或數個字母標識出鉚釘的製作材料或合金，表1為常見的鋁合金鉚釘材料代碼。合金代碼後面接著是以一個破折號隔開的兩個數字，第一個數字是分數的分子，定義桿部直徑，以1/32英寸為計量單位。第二個數字是分數的分子，以1/16英寸為計量單位，標識鉚釘的長度，鉚釘編碼範例如圖7所示。

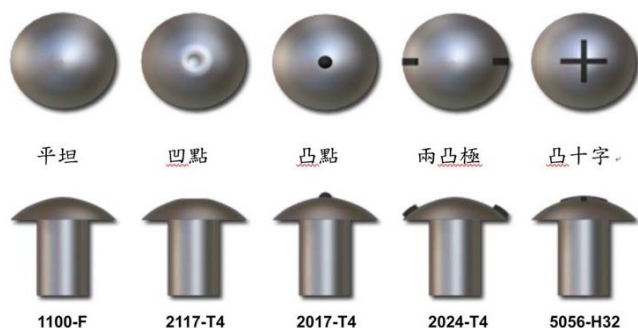


圖5 鋁合金鉚釘頭部形狀及代碼編號

| Material | 1100 | 2117T | 2017T | 2017T-HD | 2024T | 5056T | 7075-T73 |
|--------------|-------------------|---------------------------|------------|------------|---------------------------|--------------|------------------------------|
| Head Marking | Plain | Dimpled | Raised Dot | Raised Dot | Raised Double Dash | Raised Cross | Three Raised Dashes |
| Material | Carbon Steel | Corrosion-Resistant Steel | Copper | Monel | Monel Nickel-Copper Alloy | Brass | Titanium |
| Head Marking | Recessed Triangle | Recessed Dash | Plain | Plain | Recessed Double Dots | Plain | Recessed Large and Small Dot |

圖6 各類鉚釘頭部形狀比較 (上視圖)

表1 常用鋁合金鉚釘材料代碼識別

| 材料或合金 | 代碼字母 | 鉚釘上的頭部標記 |
|----------|-------------------|----------|
| 1100-F | A | 平坦 |
| 2117-T4 | AD | 內凹點 |
| 2017-T4 | D | 凸點 |
| 2024-T4 | DD | 兩凸極 |
| 5056-H32 | B | 凸十字 |
| 7075-T73 | E (or KE per NAS) | 三凸極 |

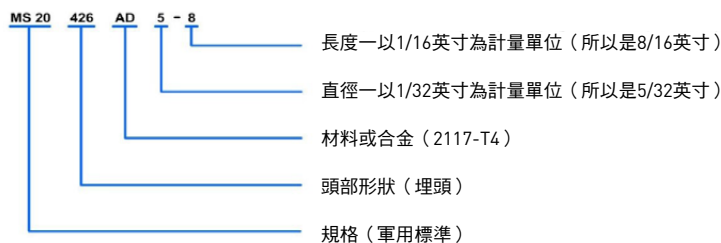


圖7 鋁合金鉚釘編碼範例



四、鋁合金鉚釘材料特性

航空扣件鋁合金材料計分兩類:1.直棒材:主要是7075及2024,用來製作大型6mm以上結構用螺栓/螺帽;2.盤元:包含1100,2117,2017,2024,5056,7075,直徑自2mm-25.4mm,用來製作較小尺寸之鉚釘/盲鉚釘;鉚釘之關鍵要求特性為剪切強度及抗拉強度,表2顯示常用鋁合金航太鉚釘的部分機械特性。

表2：航太鉚釘中常用鋁合金的機械性質

| 鋁合金 | 時態 | 抗拉強度 (MPa) | 降伏強度 (MPa) | 剪切強度 (MPa) | 疲勞強度 (MPa) |
|------|-------|------------|------------|------------|------------|
| 1100 | O | 90 | 34 | 62 | 34 |
| | H14 | 124 | 117 | 76 | 48 |
| | H18 | 165 | 152 | 90 | 62 |
| 2017 | T4 | 427 | 276 | 262 | 124 |
| 2024 | T3 | 483 | 345 | 283 | 138 |
| 2117 | T4 | 296 | 165 | 193 | 97 |
| 2219 | T851 | 455 | 352 | 285 | 103 |
| 5056 | O | 290 | 152 | 179 | 138 |
| | H18 | 434 | 407 | 234 | 152 |
| | H38 | 414 | 345 | 221 | 152 |
| 7050 | T7451 | 524 | 469 | 303 | 240 |
| 7075 | T6 | 572 | 503 | 331 | 159 |

註：H14（應變硬化，1/2硬化），H18（應變硬化，完全硬化），H38（應變硬化+安定化，完全硬化）

1. 1100—1100鉚釘是以加工時態 (F) 提供，並在此狀態下鉚合。在使用前不需要對鉚釘進行進一步的處理，而且鉚釘的特性不會隨著長時間存放而改變。它們相對柔軟，易於鉚合，鉚合產生的冷加工會略微增加它們的強度。1100-F鉚釘只用於鉚接非結構性部件，這些鉚釘是透過其平坦的頭部來識別。

2. 2117—和1100-F鉚釘一樣，這些鉚釘在使用前不需要進一步的處理，可以無限期存放。它們以固溶熱處理+自然時效 (T4) 供應，但是在鉚合後會變成固溶熱處理及冷加工 (T3) 時態。2117-T4鉚釘普遍使用於飛機結構，是目前為止最廣泛使用的鉚釘，特別是在維修工作中。在大部分的狀況下，2117-T4鉚釘可以使用次一級較大直徑的鉚釘來替代2017-T4及2024-T4鉚釘進行維修工作。這是合乎方便性的，因為2017-T4及2024-T4鉚釘在使用前必須存放於低溫，2117-T4鉚釘是透過頭部上的一個凹點來識別。

3. 2017及2024—這兩種鉚釘都是以T4提供，這些鉚釘必須在淬火後20分鐘內進行鉚合或≤32° F冷藏以延後時效時間24小時。若超過任一時間，必須重新進行熱處理。只要不超過適當的固溶熱處理溫度，這些鉚釘可以依需求多次重新進行熱處理。2024-T4鉚釘比2017-T4強固，因此較難鉚合。2017-T4鉚釘是透過頭部上的凸點來識別，2024-T4則是在頭部上有兩個凸極。

4. 5056鋁合金—這些鉚釘因為其耐腐蝕性質，主要用於接合鎂合金結構。它們是以H32時態（應變硬化+安定化，1/4硬化）供應。這些鉚釘是透過頭部上的凸十字來識別，5056-H32鉚釘可以無限期存放而不改變其鉚合特性。

5. 7075-這種高強度鉚釘一般以固溶熱處理+過時效 (T73) 或固溶熱處理+人工時效 (T6) 提供，T73通常用於7000系合金，是低溫人工時效後再高溫人工過時效以得更安定態，其強度低於T6處理，但抗應力腐蝕性遠高於T6。

五、結語

以Boeing 787為例，一架飛機約使用240萬支扣件，其中22%為結構螺栓（含鈦合金、超合金、合金鋼、不銹鋼等），其餘78%為鋁合金扣件，其中以鋁鉚釘使用量最大。由於飛機與太空船的設計者對重量極度敏感，輕量材料的比強度大，自然使其別具吸引力。鋁合金鉚釘在航太構造中的使用已相當成熟，此優異性能可應用在需要耐腐蝕及機械穩定性方面。然而，在較為傳統的車輛、機械及結構應用上，鋁合金航太鉚釘的使用仍然非常有限，可能是因為不熟悉及較高的成本。

