

扣件的 應力失效

文：Guy Avellon
著作權：惠達所有



扣件失效的形式有很多種，最常見的是金屬疲勞，但許多種應力的失效都和環境的影響有關。這些應力失效都屬於提前發生的失效，是受到拉伸應力或某種化學性或損壞性環境的影響。[失效預警的機制是取決於螺栓的材質、環境、腐蝕性介質，取決於螺栓與接合部位。](#)

應力腐蝕龜裂

[應力腐蝕龜裂](#)是扣件上與接合部位上發生的一種失效形式，直到發生災難性失效之前，都不會注意到裂痕已在傳播。這種現象正如其名，是在同時有「拉伸應力」和「腐蝕性環境」這兩種條件下才會發生。

※在同時有「**拉伸應力**」和「**腐蝕性環境**」這兩種條件下才會發生。

環境因素是最至關重要的，因為只需要非常少量的高活性化學元素來形成龜裂處。這些化學元素包括硝酸鹽、鹼（氫氧化物）、硫化物或氨。在應力腐蝕龜裂作動時，扣件產品材料的外部表面相對之下往往不受影響。腐蝕性介質會攻擊應力發生的位置以及任何穿孔腐蝕的位置。應力腐蝕龜裂基本上是一種陽極龜裂的機制。

冷加工會產生高拉伸應力或殘留的內部應力，因此應力的集中化會使縫隙承受荷載。晶間的細縫或穿晶的細縫傳播方向會垂直於施加應力的方向。

脆性破裂不需經過塑性變形就會發生，在一般情況下，具延展性的材料遇到應力腐蝕龜裂時，若引發脆性破裂的應力強度低的話，是可以撐得過去的。體心立方結構的金屬尤其是如此，其密度比面心立方結構的金屬還要小。

通常體心立方結構的金屬包肥粒鐵系鋼、肥粒鐵、鉻和鎢。面心立方結構、銅構常見的金屬包括鋁、銅與奧氏體鋼材。合金鋼比起卑金屬更容易發生應力腐蝕龜裂，更容易傳播裂縫，因為這種材質的扣件通常會被施加應力到比較高的上限。

其他例子還包括銅合金和青銅，它們容易與氨發生有害的作用。許多管線的接頭和水閥都採用這種材質，所以最好避免用於含有氨的水槽或農具。

過去曾發現水泥攪拌車上強度等級8的扣件失效了。水泥車一般是用氫氯酸成分為70%的鹽酸來清洗，然後以清水沖洗掉卡車上的鹽酸，但卡車上的扣件所處的位置並沒有完全淋到具有中和作用的清水，該位置會殘留某些液體，導致發生孔蝕，然後導致失效。

熱交換器等等升溫的作業也可能會發現應力腐蝕龜裂。熱能與某些熱氣會使許多種鋼材發生應力腐蝕龜裂。



奧氏體不銹鋼相當容易發生氯化物引起的應力腐蝕龜裂。其中一例是某家水上樂園使用了304材質的扣件來組裝遊樂設施和貯水槽。基於健康安全，水中添加了氯化物，因此氯化物引起的應力腐蝕龜裂使扣件失效了。這些扣件還殘留冷加工（線材冷抽與成形）時形成的應力。解決方式是使用316不銹鋼。

氫脆

※氫脆又稱為氫致應力開裂，是因為氫離子的出現使鋼材變脆，而容易在應力的作用下形成次臨界的裂縫。這通常會影響高強度鋼材和合金鋼，其硬度會超過36RC，材料強度會在150 ksi以上。

氫元素會在使用溼電極的鋼材化學加工或鍛造過程中被扣件吸收。典型的化學加工方式包括鹼清洗、酸洗、磷酸化，以及搭配鉻酸後處理的電鍍。

這些化學加工都會在化學反應過程中產生氫，使氫脆變成一種陰極的龜裂。數十年前，氰化鋅和鍍鋅被更有效率的酸鍍或鹼鍍取代，減緩工件上的氫進一步演進，但還是建議對鋼強度合金採用烘烤。

扣件必須要被拉伸，才會發生氫脆。安裝過程中因為拉緊而發生的斷裂，原因並不是因為氫脆。取決於氫被吸收的量、材料的硬度和拉伸荷載，氫元素在晶界中擴散時，低應力強度因子會增加裂縫形成的速度，直到最終於24小時內斷裂。

扣件的斷裂位置通常會在頸下部位，也就是扣件頭部與本體的交接處，這個區域的單一應力集中度最高。牙底形成的裂縫通常是金屬疲勞造成的，然而如果接觸帶有微腐蝕性的溶液時承受著靜態應力或固有應力的話，就會產生氫，裂痕會出現在晶界。

硫化氫應力開裂是另一種氫脆現象，這種失效主要發生在油管線或天然氣管線。

液態金屬脆化

液態金屬脆化或固態金屬脆化，是指金屬在高溫運作下承受應力時，逼近熔點的狀態。以某些金屬而言，在低溫運作下，脆化的發生會取決於時間。應力越大，裂縫成核或裂縫擴展所花費的時間越短。

鍍鎳的金屬製鎖固式扣件（等級為B或C）非常容易受到升溫的影響。雖然EPA與RoHS已經禁止鍍鎳，軍方仍有在使用鍍鎳以及某些進口產品。由於鋅和鎳的外觀看起來都是銀色，習慣上都會對鍍鎳的零件做表面處理施加重鉻酸鉀，以區別兩者。

鍍鎳的鎖固式螺帽問題是，若暴露於攝氏400度以上的高溫環境，即使鎳的熔點有到攝氏321度，鎳仍會擴散進鋼材的晶界，造成晶間斷裂，可能會從螺栓或螺帽開始斷裂，在某些情況下，螺栓和螺帽可能都會發生斷裂。

其中一個典型例子，是在學校公車上使用鍍鎳的鎖固式螺帽來修理排煙管的消音器。公車離開維修廠時，車上的管線和法蘭已經被加熱，溫度足以使螺栓失效。

大的晶粒脆化的嚴重度更高，晶粒的直徑越大，破裂應力的變化就越小。晶粒的尺寸變大，脆延相變的溫度也會增加。為避免高強度扣件發生任何金屬導致的脆化，須確保熱處理作業會產生細緻的晶粒結構。

溫度低於每種金屬各自的熔點時，鋅、鉛、鎳和錫會使鋼材脆化。鋅在攝氏343度以上會造成液態金屬脆化。事實上，許多種鋼材在熱浸鍍鋅過程中會失去延展性，也會出現龜裂。

腐蝕疲勞

腐蝕疲勞意指處於腐蝕性環境中的金屬疲勞。這是一種扣件遇到腐蝕與循環荷載共同作用時，在力學上發生的退化。應力腐蝕龜裂下的腐蝕性穿孔會形成脆化的裂縫。與其不同的是，腐蝕疲勞只需要在材料承受拉伸應力時就可以發生。

※腐蝕疲勞意指處於腐蝕性環境中的金屬疲勞。這是一種扣件遇到腐蝕與循環荷載共同作用時，在力學上發生的退化。

我們可以透過添加合金或施予陰極防蝕、滲氮、電鍍和珠擊處理來緩解腐蝕疲勞。

結語

我們要對作業的環境以及適配材料的選擇有所警覺，高應力很可能會使裂縫在腐蝕性的環境中成核。

