

扣件腐蝕防護

文/Laurence Claus

第一部分：腐蝕與防護機制基礎

某人走到工具箱選擇正確尺寸的六角扳手後回到他試著要修復的機器旁。他端詳著試著要轉開的螺帽一會兒。該螺帽腐蝕很嚴重，不過在此之前他已經做過很多次了。小心地把六角扳手完全套上螺帽然後開始施加壓力。一開始沒有事發生，但接著他感到些微的阻力變化，激起他的鬥志要繼續推動扳手。就在他認為已經使出全力時，一聲響亮的折斷聲後他以及手上的工具猛然往前，然後剛剛原本轉不太動的部分已經完全沒有阻力，成為斷裂的螺栓和螺帽。他摔到地上並痛苦地喊著然後詛咒著他的不幸。

對我們很多人來說，這個不幸技工的故事可能也會發生在我們身上。我們多數遇過因為時間和使用而腐蝕轉不開的螺栓、螺帽或螺絲。因為這個原因，扣件設計師在考慮其產品的應用環境和選擇扣件材料、電鍍或塗層時就會非常小心地，藉此來避免品質惡化或使用壽命縮短。

在這次扣件表面保護處理系列連載文章的第一部分，我們將介紹各式可能發生在扣件上的腐蝕情況，以及保護塗層和電鍍用以保護扣件的機制。



圖 1

什麼是腐蝕？

腐蝕是金屬因為對環境產生化學或電化反應所產生的破壞性變化。當金屬扣件接觸腐蝕中的化學物時就會直接產生化學攻擊反應，像是偶發在置於或靠近洩漏汽車電池的汽車電池五金。不過更常見的是因為更間接的電化反應而發生扣件腐蝕。鋼鐵銹蝕和伽凡尼腐蝕就是這個機制的案例。

扣件腐蝕有點像蛀牙。開始可能很輕微但常常會惡化然後以一些方式產生讓接合機械整體性減少的效應。最常見的情形是，扣件零組件開始腐蝕，慢慢地減少扣件的機械完整性，直至再也無法維持能夠抵抗荷重的必要強度，到最終失效。雖然這是最常見的扣件腐蝕進程，電鍍作用也會對周邊接合材料產生腐蝕。另外兩種因為腐蝕所導致的失效包括應力腐蝕(像是氫脆)和腐蝕處產生會導致疲乏失效的裂隙的腐蝕疲乏。

雖然很罕見，但沒有根據使用環境所適當挑選出的扣件材料可能會造成直接化學性攻擊。當扣件材料可溶於腐蝕中的介質就會發生，例如當普通鋼螺栓接觸到鹽酸。一些設計師必須時刻牢記的極度惡劣環境案例包括石化廠、濕冷的天然氣油井、紙漿廠和特定食品加工廠。當大家知道或預期會有這樣的環境，設計師選擇不受溶劑影響的扣件材料(可能是不鏽鋼或鍍合金)就很重要。另一種策略可能是選擇不受影響且可以忍受與溶劑接觸的塗層。

更常見的是，腐蝕起源自電化機制。因為受微小自發電流所催化的精微化學反應影響產生腐蝕。為了讓這些過程發生，必須要有一個含正極(正電區)和陰極(負電區)的電極、電解質(電導液/質)和電位差來刺激電流產生然後開始起反應。

鋼鐵生鏽：

鋼鐵生鏽或許是最簡單的電化腐蝕反應之一。當一滴水落在裸露的鋼鐵上，電極介面(裸露鋼)所產生的電位和電解質(水滴)會產生差異。這種差異會激發會讓整個過程發生的電流。在鏽蝕鋼的例子中，氧化反應發生在陽極區並且釋放出鐵離子進入電解質中。同樣的，陰極區的還原反應則會在圍繞水滴的氧氣形成氫氧化離子。目前三分之一的反應發生在水滴裡(電解質)，然後鐵和氫氧化離子結合形成氧化鐵或鏽。鏽析出零件表面。如果零件維持濕潤，這個過程會持續然後零件會快速被鏽蝕掉。這個過程被允許發生越久，零件就會惡化得更多。圖一顯示一支鏽蝕極度嚴重的扣件。

伽凡尼腐蝕的程度取決於三件事：

- **電位差異的強度** – 兩種金屬在電化學序列表的距離越遠，可以預期會發生更大的伽凡尼腐蝕。舉例來說，鋁零件搭配316不鏽鋼預期會遇到比相同鋼鋁零件耦合更多伽凡尼腐蝕效應。
- **電解液的強度** – 電解液中越多礦物離子，導電力越佳。因此，鹽水相較於去離子水是更強的電解液。電解液越強，伽凡尼腐蝕發生的越快。
- **接觸區的相對尺寸** – 陰極相對於陽極的尺寸越大，伽凡尼腐蝕就會越快越嚴重。在大片不鏽鋼板上放一顆小的鋁製扣件就是一例。顯然這兩種材料在電化學序列表上距離很遠。鋁扣件是陽極，相對於陰極不鏽鋼板尺寸小。這種情形下，在電解液中鋁扣件預期會快速產生腐蝕。現在把條件整個顛倒過來，小支的扣件是不鏽鋼，原本的板材變鋁製。仍然存在會產生伽凡尼腐蝕的異金屬耦合，但陰極相對於陽極的尺寸相對較小，所以我們可能可以預期腐蝕的地方應該就只有扣件與板材接觸的邊緣處。



磨擦腐蝕:

一些偶爾會影響本質上不具化學性或電化性扣件的腐蝕機制之一就是磨擦腐蝕。當高度荷載的接觸表面相互刮動而磨掉保護層時，以及在仰賴保護氧化膜的材料使其再生受限時，磨擦腐蝕就會發生。不鏽鋼、鋁和鈦製扣件因為仰賴氧化物的保護，特別會發生磨擦腐蝕。這些可能會受到關注的區域位於配對的螺紋和螺帽或螺栓頭部下的承力面。

間隙腐蝕:

或許最狡猾的腐蝕形式之一就是間隙腐蝕了。間隙腐蝕是局部的電化腐蝕形式，當金屬的不同部分暴露於相同電解液中不同的濃度而產生。這好發於間隙、內部轉角、低點、起始處或任何濕氣、塵埃或外物會累積的地方。因為腐蝕可能會發生在扣件非常局部的部分，產生的環境可能是非常嚴苛，也可能產生極端和常被忽略的傷害。此外，這些局部腐蝕區會產生非常明顯會被吸收入零件和導致氫所導致應力腐蝕失效的氫原子量。

記得幾年前做過一個把扣件鎖入機軸末端的案子。製造商在組裝前清潔了機軸。在一個生產循環中，他們沒有好好地將清潔油從螺紋孔萃取出來。當扣件被鎖入，清潔油的存在和強力電解液產生間隙腐蝕的情況。

孔蝕:

孔蝕是高度局部的腐蝕，也就是在金屬表面產生細微的孔洞，並在之後的侵蝕持續越挖越深到更讓人注意到的缺陷。好消息是雖然孔蝕很難看，但很少會像其他腐蝕樣式一樣會威脅到零件的機械完整性。這機制有一點複雜，但當非常小部分的區域變得缺氧以及轉成陽極就會發生。電化程序被激化，形成凹孔，然後進一步攻擊發生後，凹孔常常會變更深。

保護機制:

既然我們已經探討過扣件最主要的腐蝕機制，扣件保護機制又是怎麼運作來保護零件免於腐蝕侵襲呢？本質上，有四種可以被單獨或合併使用的保護機制。

- **阻絕**- 阻絕是一種如字面上所描述的機制之一。它創造出一個可以保護基底金屬不受腐蝕物質侵襲的護罩(或屏障)。只要屏障完好無缺，這個機制就很管用。一旦屏障被磨除或受損，腐蝕就會開始並露出下方物質。或許最常見的屏障塗層案例是塗漆表面。
- **自體犧牲(伽凡尼)**- 自體犧牲是一種在讓基底金屬被攻擊前會先自體犧牲的機制。如同屏障機制，這些都只在保護層還在時才有作用。一旦被用盡且基底金屬裸露出來，腐蝕就會開始。鋅電鍍是自體犧牲機制的一種常見案例。
- **鈍化**- 外層因是惰性所以可以保護表面免於腐蝕反應。不鏽鋼就是一種仰賴氧化保護層來保護零件的絕佳案例。
- **自我修復**- 也許保護性表面處理的最棒特徵就是具有自我修復的特性。簡單來說就是保護層若是受損可以自己修復。因為不常見，所以這個機制格外被重視，但它的存在非常有用。再說一次，奧斯田鐵不鏽鋼就是自我修復表面處理的案例之一。

結論:

扣件會遇到各種不同的腐蝕機制。因此設計師必須了解他們的產品可能會經歷哪一種腐蝕環境，然後採取保護措施去延緩必然發生的情況，或完全避免發生。下一次(螺絲世界雙月刊2022年一月號)我們將延續電鍍主題，繼續探討如何避免扣件發生腐蝕。 ■

圖 2
電鍍序列表

陽極 (被腐蝕端)
鎂
鎂合金
鋅
鋁
銅
鋼鐵
鑄鐵
鉛
錫
鎳
鉻鎳鐵合金
哈氏合金
黃銅
紅銅
青銅
蒙耐合金
304不鏽鋼 (鈍化)
316 不鏽鋼 (鈍化)
銀
鈦
石墨
黃金
鉑
陰極 (受保護端)

