

談塑膠應用環境的螺絲鎖固

文 / Laurence Claus

很久之前我曾經做過一個很有趣的計畫。在美國，一台新車被組裝好後，它會被送上卡車或火車運送出去。在這個案例中，我客戶的新車型被送上火車運往全國各地。當它抵達目的地後，這些車卻無法被發動，也不能被卸下。花了很長時間才發現，手套箱門在路途中被開啟，導致手套箱的燈亮了，然後一直亮到沒電。馬上調查這個問題發生的原因後知道，用來固定手套箱門上螺絲的塑膠ABS樹脂飾釘完全碎斷了。所使用的AB型螺絲施加過多的輻射應力在塑膠ABS樹脂飾釘上，造成塑膠脫落，門彈開，所以新車抵達目的地後無法啟動。

這只是眾多螺絲鎖固塑膠案例中的千分之一而已。也許不太像其他常用的材料，塑膠的種類有上百種，且性能特徵又不一樣。這讓它很難有一款可以適用全部應用的緊固策略（這也是大多數緊固接合被設計的模式）。

在常用產品上使用塑膠是近期才發展起來的。雖然有一些塑膠是在二戰期間被首次大量使用，但直到40年前塑膠被使用在日常用品上才開始加速普及。如同任一種技術革命，若要促進某一種基礎技術的發展，其他可以支持其發展的技術就需要被開發出來。這在塑膠緊固上尤其如此。很不幸的，早期緊固塑膠的方法使用的是現有的技術，而這些技術被用在這類型應用上會有缺陷，且會造成性能不足(最好的情況下)或是失效和廢棄(最壞的情況)。基於這些理由，會形成螺紋的扣件要成為緊固塑膠的零部件並流傳開來，還需要很長的時間。

塑膠概要

要了解為什麼塑膠鎖固是非常具挑戰性，就必須對材料科學有一些基本認識。塑膠泛指一系列由重複排列長鏈分子(泛稱聚酯)所組成的材料。這些聚酯材料可細分成三大類：熱塑性、彈性體和熱固性。這三種塑膠都有非常不一樣的特性和性能特徵。熱塑性塑膠是由直列且稍微分岔的分子鏈所組成，因此可以被反覆地重新加熱和使用。熱塑性塑膠比熱固性塑膠強度低但更具彈性。熱固性塑膠則含高度十字交叉排列的分子鏈形成堅固的材料，且不能被重新加熱熔化。

當熱塑性塑膠自熔點狀態冷卻，有些會結晶，有些則不會。冷卻後產生結晶的結構部分並沒有



相當完美且會被視為半結晶熱塑性塑膠。很多常見半結晶熱塑性塑膠的案例有：聚乙烯、聚丙烯和尼龍。沒有形成半結晶結構的熱塑性塑膠被稱為非結晶塑膠，這些材料有時候被稱作聚酯玻璃。不過這些非結晶材料最顯著的特徵是其承受應力的強度有限。換句話說，它們對任何形式的施加應力都非常敏感。很多常見的這類塑膠有聚碳酸酯、ABS樹脂以及PMMA（塑膠玻璃）。

了解非結晶塑膠、半結晶塑膠和熱固型塑膠的差異對扣件工程師來說極度重要，因為它決定了塑膠飾釘在螺絲鎖入後是否會發生開裂、剝落或白斑。

了解塑膠的其它特性或許非常重要。舉例來說，在設計使用於固定螺紋螺絲的塑膠飾釘時，彎曲模量或是塑膠硬度的數值就很重要。在類似的方法中，塑膠分子重量和基底塑膠是否含有玻璃或雲母都會大幅影響塑膠接合是否可以被設計妥當。

總結來說，對設計師或扣件工程師而言，了解和螺紋扣件一起搭配來鎖固塑膠的基本樣式和特性就很重要。不像某些呈現許多共同特徵的金屬材料，任何一種塑膠所呈現的特性都不相同。事實是，一些塑膠因為如此不同，所以若被使用在「沒有特殊尺寸要求」的螺紋扣件鎖固環境下可能會有風險或直接無法使用。

熱塑性塑膠緊固件

第一支被使用於熱塑性塑膠的螺絲非常可能是木螺絲。理由很簡單，在當時也只有它可以選擇。不過問題是木螺絲的設計並非非常精密且螺紋公差頗大。更不用說，它們在這樣的環境下根本不好用。之後才衍生出各式不同的螺絲，然後慢慢範圍縮小至螺紋切削螺絲和螺紋成型螺絲、HiLo®、Plastite®和AB螺絲。

這些選擇都有缺點。螺紋切削螺絲會產生碎屑，組裝後有很大變異性。目前我們知道它們無法提供熱塑性塑膠良好的鎖固效果。HiLo®高低牙螺絲所產生的組裝效果也常常不穩定，且可能也比其

他螺紋樣式的螺絲更容易發生自發性鬆脫。Plastite[®]螺絲是針對軟鋼所設計出瓣型軋紋螺絲的變異型，在這些選擇之中，Plastite[®]螺絲或許是最具風險性的，因為其瓣狀設計會在瓣上形成應力集中。雖然這現象在軟鋼的螺紋成型時具備很多優勢，但在非結晶塑膠上卻是災難的開始。AB（或稱板金）螺絲會創造很大的輻射應力，造成飾釘開裂或需要使用更多塑膠來強化塑膠飾釘的圓周長度。

直到1980年代初期，EJOT Verbingdunstechnik才發表出可以緊固熱塑性塑膠的螺絲產品，也就是第一代的PT[®]螺絲。其導入了類似「刀片」的螺紋設計以減少被施加於飾釘上的輻射應力，可以預防鬆脫且讓材料的流動不受阻礙。在1990年代晚期第二代的PT[®]螺絲，也就是Delta PT[®]螺絲被發表出來，其改良了前一代設計。特別是，調整過後的螺紋設計可以降低材料流動遲滯的風險，並提高刀片狀螺紋的優點。此外，內凹的螺牙根部仍可提供大量的空間讓材料流動其間且增加主要線徑使其可以在較高彎曲模量的材料中可以提供更高的螺絲強度。頭部被設計來盡可能產生最大承受表面，並用全硬化取代表面硬化來減少氫脆風險。

自從PT[®]螺絲在將近40年前被導入後，市場上陸續又有其他可以處理專屬於塑膠特性和特徵問題的設計被發表出來。這些螺絲都遠不及Delta PT[®]螺絲所能達到的效果，但整體來說，還是比早期那些性能較差的設計還要好，也讓使用者有信心認為螺紋成型是可行也是最好的辦法。

螺紋成型如何運作

要被螺紋成型的材料是哪一種並不重要，因為螺紋成型的科學大同小異。圖1顯示典型的螺紋成型應用。當螺紋被鑽入飾釘後，使螺絲可以向前進的扭力量穩定地增加。不過，如圖所示在循環初期扭力最顯著的增加發生在第一道螺紋被成型時的瞬間（點1）。這是大家熟知的螺紋成型扭力。理論上，下一道螺紋以及之後的每道螺紋都會承受相同的螺紋成型扭力。因此，在螺絲鑽入過程中不存在扭力突然攀升的情況。不過與新成型螺紋接觸的摩擦力卻存在且會隨著每道新螺紋的產生和越來越多螺紋與塑膠料的接觸逐漸累積。圖1很明顯地可以看到扭力在初始螺紋成型扭力產生後持續以穩定的線性速率增加。

當螺絲頭部剛與即將被鉗住的材料接觸後，整個過程的鑽入階段就算完成，而點2所量測出的扭力代表常被稱作鑽入扭力的值。在這個時間點，螺絲持續的旋轉會導致接合處開始受擠壓，因為鉗力負荷產生了。這在扭力-時間關係對應表上將近垂直的扭力值上升中可以看見。千萬要記得螺絲的強度遠比塑膠強度大上很多，塑膠材料最後會負荷過大，然後塑膠內螺紋會從飾釘上剝落（點3）。這就是大家常說的「剝離扭矩」或「最終失效扭矩」。

這些數值對扣件工程師來說非常重要。工程師和設計師會執行很多反覆測試來從他們可以推斷出的最大鑽入扭力和最小剝離扭力取得相關統計數據。一旦他們手上有這些數值，他們就可以算出建議的緊固扭力（也就是安裝者用來設定螺絲的參考扭力），以達到更安全和穩定的接合效果。

其他觀點

也許這之中最重要的觀點但也最常被忽略的就是接合處維持住鉗力負載的能力。少了鉗力負載，接合處會變鬆且非常容易產生自發性鬆脫。它也會讓欲鉗住的部件移動，產生不想要的嘎嘎聲、晃動聲或接合失效。因此，了解應力鬆

弛作用就很重要。對塑膠來說，解決這問題常常跟我們先前傳統扣件工程學所學到的知識反其道而行。傳統上關於栓合的想法是我們產生的預負載力（螺絲拉伸量）越大越好。如同預負載力一般會隨著扭力增加而提高一樣，在塑膠接合情況下，較高的扭力也會獲得更高的負載力。不過，我們必須回想一下我們對於塑膠的認識以及我們一般認為塑膠跟應力不一樣。塑膠承受越多應力或是應力越集中，塑膠將更容易鬆脫。因此，較高的鉗力負載實際上可能不如我們所願，因為材料會比其在較低鉗力負載下鬆脫更嚴重。在一些案例中，所有鉗力負載都喪失了也有鬆脫的情況。為了回應這樣的情況，合適的緊固工程常常意味要使用較小的扭力，才能讓鬆脫受監控且鉗力負載也不會完全喪失。

鑽速也是要受到規範的重要數值。鑽速越高，摩擦力和安裝時產生的熱能越多。在一些較不精密的塑膠上，這樣的熱能足以減低塑膠的機械性能並導致較低的最終失效扭力。雖然能盡可能提高鑽速對許多安裝者來說非常誘人，一般來說會建議控制在每分鐘500轉以下。

設計最佳化非常重要。使用正確的導孔尺寸、螺紋嚙合、平底擴孔尺寸和深度對達到最好的接合性能來說相當關鍵。一個很常見且也應當被避免的錯誤是相信針對單一螺絲樣式所想出的接合設計若用另一種螺絲仍會達到相同的性能效果。設計師和末端使用者在各種螺絲樣式相繼被開發出的時候應當特別留心。

結論

也許就跟上述文章所講的一樣明顯，對塑膠飾釘進行螺紋成型絕對不是一件小事。事實上，它需要具備很多關於不同塑膠材料如何作用的專業知識。把所有塑膠都當成一樣的話，就形同問題發生和潛在失效的開始。生產和銷售這類產品的廠商應該有具備螺紋成型和塑膠領域知識的人才，如此一來才能設計出最有可能的最佳設計來提供末端用戶協助。

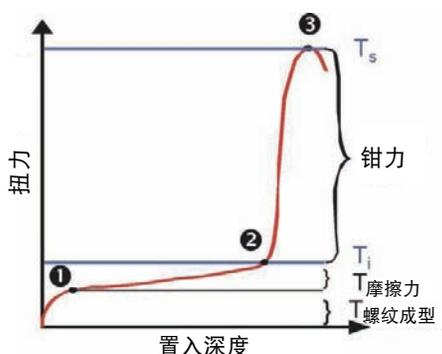


圖1: 螺紋成型螺絲典型扭力與時間進程的對應關係