是，可以被施加更輕柔(更慢)，所以這些有中空特色的零件就不會被壓至變形。

行星式滾牙輪

最後一種軋紋方法，或許也是最不常見的一種就是行星式滾牙輪。在這個方法中，會有一個固定式半圓模圍繞著一個全圓式會移動的中心模(見圖6)。零件從前沿進入並穿越半圓模旋轉，直至從尾端邊緣掉出。跟前述第二種的滾牙輪類似，固定模半圓形的形狀提供更長的模具長度來取得更多旋轉數。這些機器需要最多的專業知識來進行設定，但一旦設定好就可以不須花太多心力去顧就能運作很久。

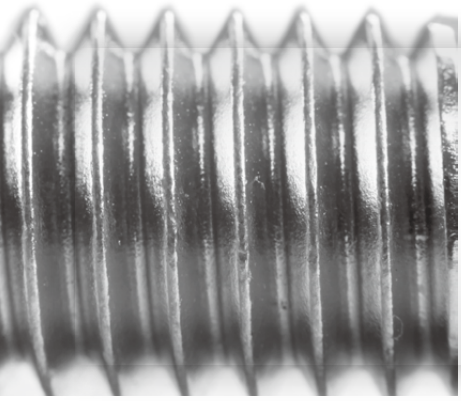
圖6

行星式滾牙輪有這些優勢

- 生產率- 跟牙板或滾牙輪一次衝程只能產出一支零件不同，行星式滾牙輪的設計可以同時在模具內有很多支零件。這些機器通常每分鐘可跑1000支至2000支之間 。因此，生產率高，非常適合用於需要大量生產的零件或類似產品。

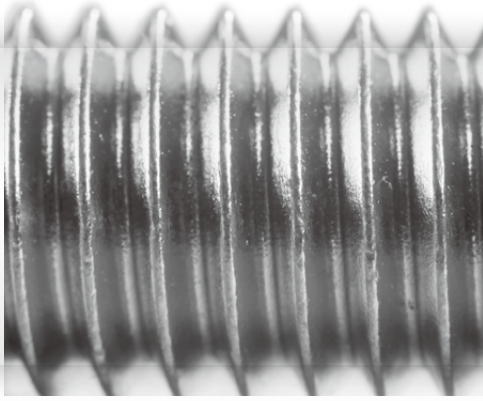
- 壓力設定- 大多數牙板在前沿和尾端通常在壓力設定上有限制。行星式滾牙輪的壓力設定可以沿著整個半圓模長度平均分配。這提供設定操作員在壓力要如何或何時施加上有更大的彈性。例如，這個特性讓這些滾牙機制更加適合可以用來處理更複雜的零件螺牙和溝槽滾軋，像是張力控制螺栓。

軋紋真的是一個很講究的過程。不只能以高速完成，生產出的產品強度也比切割螺紋好。雖然多數扣件製造商因為本身的產品需要偏重使用一個或兩個方法，每一種方法都有各自的優勢，也都可以被用來成功滿足製造商需求。製造商只需要習得這些技術來決定哪一種才是對他們製造過程最好的選擇。■



扣件博士

螺紋與摩擦力



文/ 福岡俊道

問1 螺紋和摩擦力之間存在什麼關係？

答：如圖1所示，公螺紋和母螺紋接觸面的承壓牙側、螺帽的承壓面與螺栓頭部的承壓面，都是摩擦力會發生問題之處，甚至連鎖緊狀態下的被緊固物介面也是如此。每個面都各自存在兩個摩擦係數 μ ，一個是螺帽旋轉方向上的摩擦係數，另一個是垂直於前者的半徑方向摩擦係數。標上 θ 記號的是代表圓周方向的摩擦係數，標上r記號是代表半徑方向的摩擦係數。鎖緊螺紋時，鬆開螺紋時，或者發生鬆脫現象時，會造成問題的是圓周方向的摩擦係數 μ_θ。因此，以扭力扳手鎖緊螺紋時，會造成問題的就是圓周方向的摩擦係數。荷載開始在栓合件上作用時，與荷載反方向的摩擦力會在接觸面上作用。因此，必須透過荷載作用的方向來思考摩擦係數。荷載一旦超過了摩擦力(作用於接觸面的垂直力乘以摩擦係數)，就會發生滑動，在栓合件上產生各種問題。為了防止發生滑動，會使表面呈現凹凸狀，刻意提高摩擦係數。

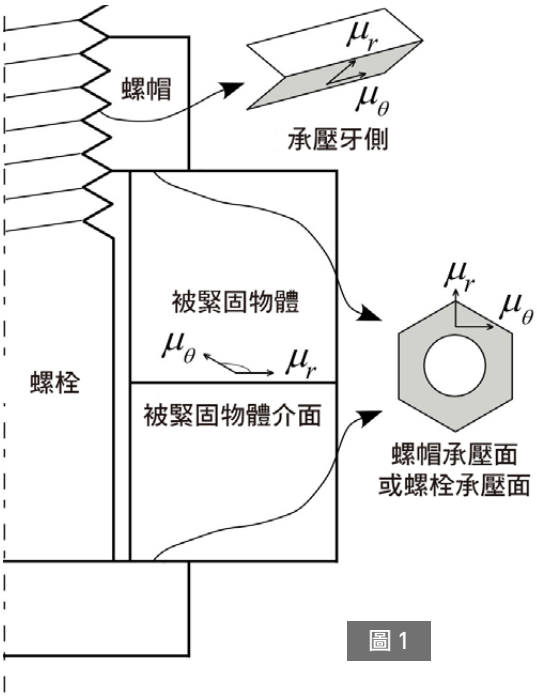


圖 1

問2 螺紋的摩擦係數小的話才好嗎？

答：以扭力扳手鎖緊螺紋時，摩擦係數越大，因為摩擦而消耗的多餘能量越大。為了抑制這種能量，摩擦係數小一點比較理想。但摩擦係數若太小，螺紋表面的摩擦抵抗力會變小，並接近「螺紋自然轉鬆」的狀態，必須要注意。「摩擦係數的變異」也很重要。若僅限定於鎖固作業，摩擦係數越小，用來獲得同等螺栓軸力的鎖固扭力也會變小，即使是些微的摩擦係數變異，軸力的變異也會變大。舉個例子，我們來比較看看摩擦係數平均值為0.2與0.1時的狀況。摩擦係數變異量只有0.02時，前者平均值的螺栓軸力分散度為10%，與後者平均值的螺栓軸力分散度為20%。鎖緊螺紋時，理想的狀態是「摩擦係數的絕對值和分散度都很小」，但要達到這一點可以說相當難。另一方面，栓合件一旦處於使用狀態，為了不發生滑動，摩擦係數大一點比較理想。

問3 螺紋摩擦係數如何量測?

答：以下的說明僅限於用扭矩法來鎖緊的狀況。施加扭力鎖緊螺帽時，會造成問題的是螺紋表面與螺帽承壓面圓周方向的摩擦係數。**圖2**是一種將2個摩擦係數分開量測的裝置。以扭力扳手量測施加在螺帽上的鎖固扭力，透過裝在實驗裝置上的應變力量規和交叉量規，量測螺栓軸力和螺紋部位的扭力，計算出摩擦係數。假定兩個摩擦係數的值相同，只需要量測鎖固扭力和螺栓軸力就能計算摩擦係數。詳情請參考筆者的著作《螺紋的力學》。

問4 即使是相同的接觸面，摩擦係數也可能會變化嗎？

答：如果為了要檢查而鎖緊或拆解栓合件，其接觸面在作業前後的狀態會有所變化，所以摩擦係數多少會有變化。此外，也可能隨著鎖固方式而有所變化。請試想以人力鎖緊巨大螺紋的狀況。有腕力的操作員以一定的速度慢慢轉動螺帽時，以及無腕力的操作員使盡全身的力氣一口氣鎖緊時，根據接觸面滑動速度的差異，摩擦係數的值有可能會變化。這個現象，是使用高速鎖固的衝擊式扳手，以及鎖固速度較慢的電動、油壓、氣動扳手時，會使摩擦係數出現差距的其中一個原因。

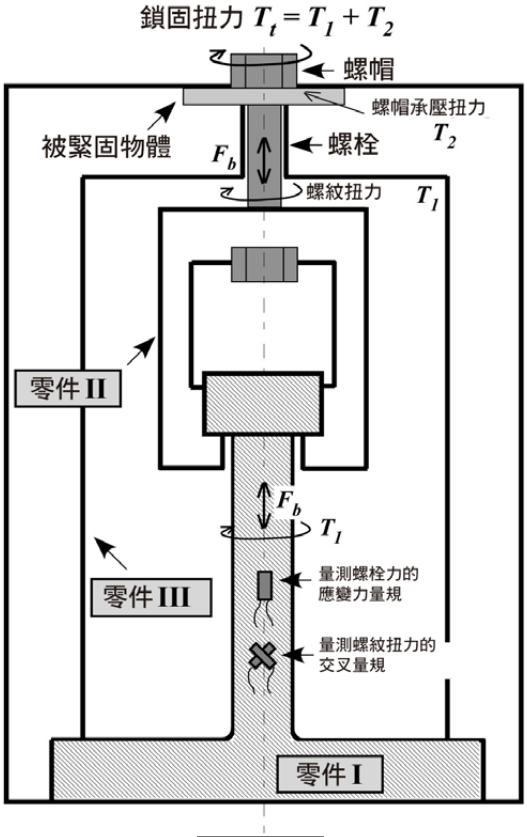


圖 2 (a)

零件-I　零件-II　零件-III

圖 2 (b)

參考文獻：

1. Toshimichi Fukuoka, "Threaded Fasteners for Engineers and Design – Solid Mechanics and Numerical Analysis –", pp.90-93, Corona Publishing Co., Ltd. (2015)