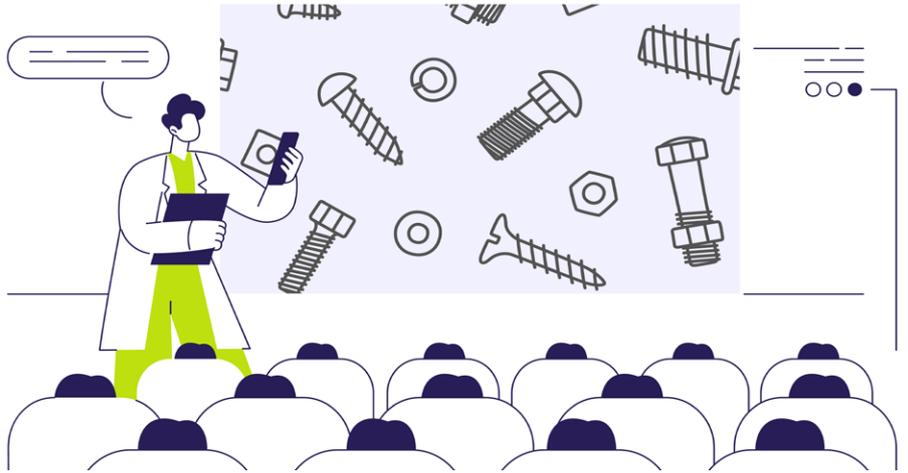
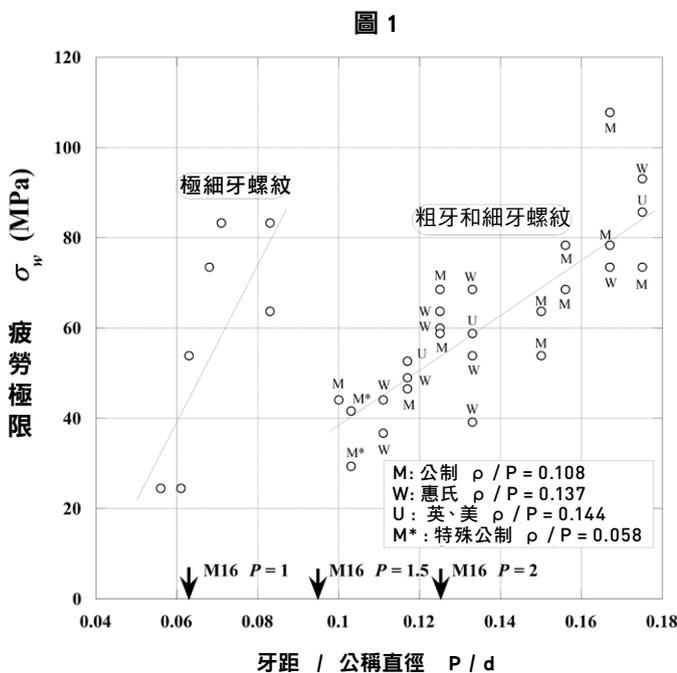


扣件博士： 預防螺紋 疲勞失效 的措施



< 提問 1> 除了應力振幅外，還有哪些因素會影響螺紋的疲勞強度？

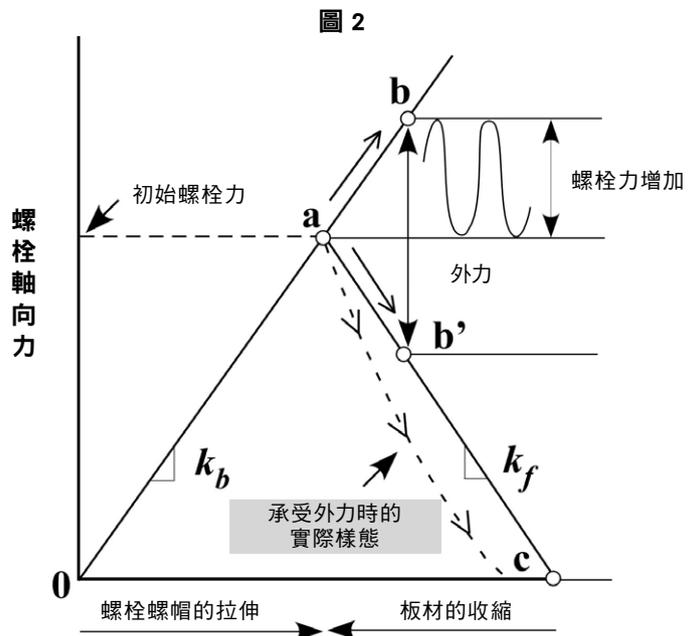
(答) 材料強度高的螺紋往往有較高的疲勞極限，但其增加率沒有屈服應力和抗拉強度那麼高。根據報告，在對螺栓頭承接面和螺帽承接面施加重複載荷，藉此對螺栓施加拉伸載荷的疲勞試驗中，疲勞極限值會超過 20MPa 至略高於 100MPa 的範圍內。圖 1 顯示 (1) 透過實驗獲得的疲勞極限值以及 (2) 牙距 P 和公稱直徑的比 d (代表螺紋零件的不相似性) 之間的關係。P / d 的值對疲勞極限的影響清晰可見。疲勞極限值會隨著公稱直徑增大和牙距減小而降低，但是一旦達到某個值就會迅速增大；且隨著 P / d 的值進一步減小，之後疲勞極限值會大幅降低。橫軸記錄著 M16 粗牙螺紋和兩種細牙螺紋的 P / d 值。儘管圖中顯示的結果包括不同螺紋規格、螺紋材料和牙底圓角半徑 r 的數據，但可看出牙距與公稱直徑的比率對疲勞極限具有主導性影響。



< 提問 2> 使用高強度材質的螺紋可以防止疲勞破壞嗎？

(答) 如果只看前一個提問的回答，會以為使用高強度螺栓沒有意義，但使用高強度螺紋會增加疲勞強度，因為可以透過高軸向力來擰緊。如圖 1 所示的簡單實驗中，高強度材料的疲勞極限並不是很高。然而，如果用高軸力擰緊，即使施加外力，接觸面也難以分離，從而減小了應力振幅並改善了疲勞強度。

< 提問 3> 我可以用螺栓鎖固線條圖來估算螺紋的疲勞強度嗎？



(答) 世界各地的機械設計教科書中都有這種線條圖，但只有在有限的情況下才能夠準確地評估作為疲勞強度基礎的應力振幅。圖 2 所示的線條圖顯示螺絲的軸向力、螺絲和螺帽的伸長量以及被緊固板材的收縮量之間的關係，將



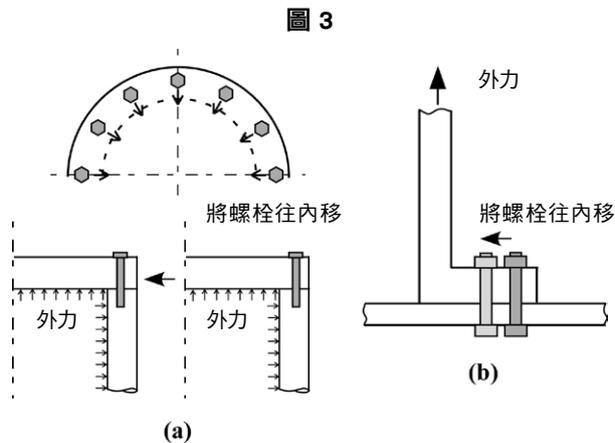
此關係用螺栓 / 螺帽和被緊固板材的彈簧常數 k_b 和 k_f 來表示。擰緊工作完成的 a 點狀態在力學上來看是正確的，但問題是施加外力時緊固物體所呈現的動態。實際上，由於接觸面分離的影響，在擰緊過程中偏離了直線 c-a，如圖中虛線所示，呈非線性變化。旋緊時，被緊固的物體會承受壓縮載荷。然而，由於外力是拉伸載荷，因此此時的彈簧常數將與緊固期間的 k_f 值不同。另一方面，只要被緊固板材體的界面沒有脫離太遠，實際應力振幅通常會低於線條圖所示，不會有問題。然而，隨著分離的進行，應力幅度迅速增加，疲勞失效的風險提高。此外，線條圖是假設外力是以同心圓狀進行作用。然而在多數情況下，彎曲力會發生在實際操作的接合部位上，並且隨著分離的進行，載荷按照「槓桿原理」作用，應力振幅會變得極大。

< 提問 4> 如何輕鬆強化螺紋接合部位的疲勞強度？

(答) 桿部較細的螺栓 (例如曲柄銷螺栓)

的應力振幅較小，疲勞強度可望提升。另外，如果不存在螺紋零件塑性變形或承接面凹陷等問題，**提高螺栓軸向力**，疲勞強度就會增加。如同提問 3 所說

明的，這是因為即使施加外力，被緊固板材體的界面也會變得難以分離。也可以透過**設計扣件的外形**來改善疲勞強度。被緊固板材的形狀難以大幅改變，因此透過**改變圖 3 所示的螺栓安裝位置**，可以降低所施加的彎矩值來抑制應力振幅。



參考文獻

1. Toshimichi Fukuoka, "The Mechanics of Threaded Fasteners and Bolted Joints for Engineering and Design", 第 173-215 頁, ELSEVIER (2022)。■

著作權所有: 惠達雜誌 / 撰文: 福岡俊道

