

# 工模具壽命的極限 ——預防性保修

文 / Peter Standring

英文某句諺語說「爛工匠才會嫌自己的工具差」，這概念幾乎在每個語言中都找得到。它可以有幾種解讀，例如這意味著爛工匠本身沒有必要的技能，或他的工件製作品質很差，或他花費太長的時間等等。年輕時，我常在修車有困難或居家修繕過程中沒有對的工具可用時回想起這句諺語。這往往造成我的指關節磨破皮之類的不便。

對扣件製造商而言，所謂「不正確的工模具」，只能拿來指稱那些規格錯誤或以不正確的製程或熱處理方式製出的工模具。如果有妥善的檢測，就不會有工模具失效的事件登上媒體報導。若真的上新聞了，大眾也會期望這種工模具不會用在製程中。

本文關心的重點不是工模具發生的意外狀況或工模具應當怎麼生產。本文關注的是透過工模具的控制、照料和預防性保修來強化工具壽命。

## 工模具的壽命極限

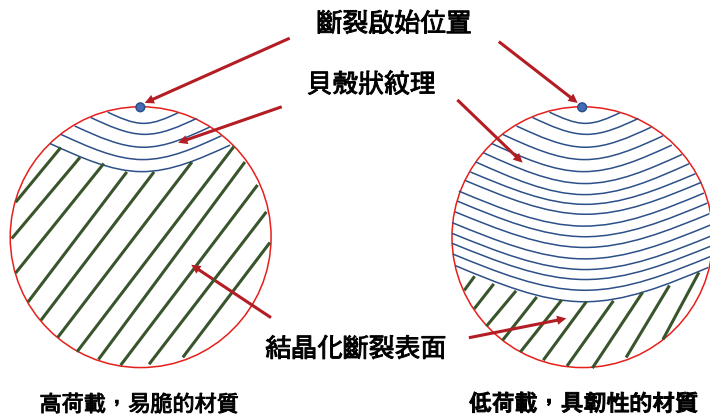
所有扣件製造商都知道工模具的壽命是無法概括訂出來的。這牽涉到幾個變數，包括冷熱成形、單站/多站式成形、使用的工具和材料、產品的外形、批量生產。還有許多其他因素都必須融合技術知識、勝任力和一致性才能讓工模具用得長久。競爭激烈的大量生產是不太講「機運」和「巧合」的。

就跟所有的生命一樣最終都會死亡，以工模具來說，嚴重的話會斷裂而終結壽命，或者因為磨耗改變了尺寸而邁向終結。在採用多站式工模具的情況下，每個階段的工作量和外形變化，會讓各個工模具承受不同強度與不同種類的應力。

透過檢查斷裂的工模具表面，就可揭露出荷載的性質和工模具的失效模式。採用硬化表面和強韌心部的工模具會呈現更強的韌性，高過採用穿透淬火與低度回火的工模具。在採用壓縮負載的情況下，生產或處理過程產生的表面缺陷通常會導致出現嚴重的失效。工模具在設置過程中沒有對齊會導致模具彎折，讓狀況惡化並使失效加速。若施加過多荷載且很早就出現失效的狀況，斷裂的表面會完全結晶化。然而若在失效之前產生了大量的循環荷載，就會變成疲勞失效。

如圖一所示，這可透過斷裂的起始位置辨識出來。該位置就在一條條延伸到模具內部的等距線所形成之範圍內。邊界線(條紋或貝殼狀紋理，好比沙灘海潮留下的沙脊)越少，荷載就越大且(或)模具的材質越

越硬。大量的條紋代表模具邁向疲勞壽終的速度較慢，代表荷載較小且(或)模具材質較具韌性。疲勞壽終可以透過結晶化結構辨識出來。須注意若模具承受剪切荷載或扭轉荷載，易脆的模具會沿著螺旋狀或三次元方向失效，而具有延展性的模具會如同古典應力理論所述，呈現比較平坦的表面。



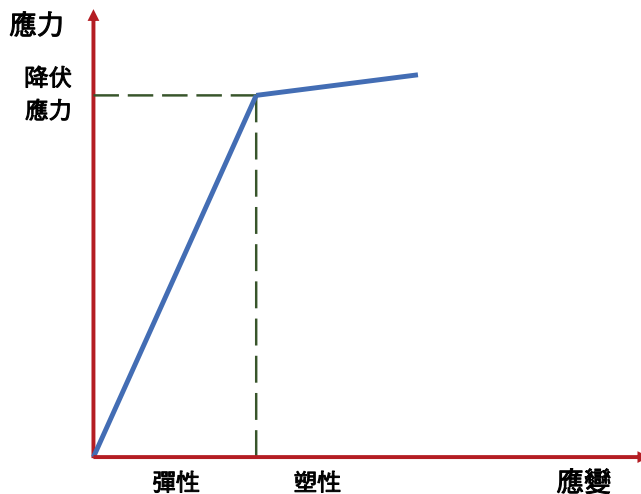
圖一、典型的疲勞失效斷裂表面示意圖

若工具的負載低於應力而導致嚴重斷裂，就會變成磨耗疲勞。此時，生產過程中的零件無法符合一項或多項要求的規格，就會被換掉。

為確保生產品質，所有扣件製造商都必須擁有並保持整條製程的一致性。事實上，這只能透過每個階段的保修來擷取、紀錄和分析所有性能相關資料。收集這些資訊的目的，只是為了透過整個製程得出一個方式來量測「可預測性」。由於系統中有這麼多變數存在，意外總是會發生。像這樣能夠認識和辨識問題發生的原因，就可以把新資訊收錄到資料庫中，確保何時與何處發生問題的狀況鮮少在未來發生。

## 模具負載

我們比自己所想像的還要更懂材料。多數年幼的小孩會知道陶器和玻璃器具掉落到硬質表面就會碎掉。他們會知道金屬是硬的而且很重，也會知道橡膠有彈性，除非被拉的太長而斷掉，還知道可以順著紋理彎折或分開木材。



圖二材料被拉伸時的簡易式應力應變力圖



圖二是材料被拉伸時的簡易式應力應變圖。應力是被施加並作用在特定區域的荷載，應變是超出原長度的延展力。當然，不同材料的表現並不同。舉例來說，尼龍在低應力下會承受非常大的應變，而易脆的材料會因為極少量的應變而嚴重失效。有趣的是，易脆材料如果被拉伸而失效，其結果會和有彈性的鬆緊帶一樣，即使數值會大不相同。

兩者最終的應力應變曲線都會呈直線。圖中的曲線前段是所謂的彈性區，因為材料會在荷載被移除後恢復原有的外形。

如果不易脆的金屬被加載到超過「彈性極限」，又不希望失效的話，它就必須「降伏」。「降伏」現象發生時的應力，就稱為降伏應力。若是不會有降伏現象的易脆金屬，就稱為斷裂應力。

對具有些許延展性的材料進一步施加荷載的話，會使材料邁入塑性階段，此時產生的應變會永久不變。成形金屬時，超過降伏應力的失效工件不會照著期望變形。以工模具來說，加載到超過彈性極限，會永久改變模具的外形。因此，模具的材質必須比將要成形出的材質具有更強化的特性。

圖二顯示拉伸狀態下的加載狀況，在收縮時會呈現一個鏡像。然而在伸縮時，剪切荷載或側向荷載會使降伏現象發生時的應力降低至原本的一半。這顯示設計或設置不佳所導致的偏心荷載可能造成嚴重的後果。

彎折、扭轉和衝擊可能會直接導致模具失效，就算沒有，也會成為疲勞失效的主因。如圖一所示，這種斷裂狀況都是工模具中的應力促升因子所造成的結果。這些因子包括刻線標記、尖角、工模具本身的限制等等，它們的效力會因為變形過程的週期性而弱化。甚至連工模具的研磨特性、程度、方向也可被認為疲勞失效發生的原因。

只有透過全力持續收集工模具的數據並作分析，扣件製造商才能期望了解工模具的狀況。如果未掌握先前的性能數據就要先更換供應商、投資新設備或技術，那麼是要基於何種基準才能評估值不值得更換？

## 廠商的傳家寶

每個人都在新冠肺炎疫情中奮力求生，尤其電視新聞從業人員更是如此。平常他們在攝影棚都展現很熟練自如的播報技能，如今因為專訪、討論和談話性節目都透過不同的線上系統連線到主播的家裡來播報，整個呈現的樣貌看起來聽起來都很外行。這是因為我們已被制約於某些標準，當這些標準無法取得時，反而凸顯出我們所受的制約。

這也反映在從事扣件生產、冷熱成形、粉末冶金的優良金屬成形公司上。它們都知道自己採購的原料、設備和技術也是同業競爭對手可以取得的。不同的是被它們各自視為傳家寶且能帶來競爭優勢的工模具製造技術。

這種技術不是一天之內就能練成，而且也無法透過已耗損沒用的機械和習慣來獲得高品質。只要有生產高品質的金屬成形品，我們總會發現廠商的核心競爭力就在廠商的工模具間。由於深知這是讓事業得以成功的重要基礎關鍵，所以各家公司（通常都是家族企業）會緊守住它們努力培植的員工和技術。

新業主如果能珍惜帶動事業起步的傳家寶，就可以擁有並永續一家成功的扣件企業。如果有人妄想不靠任何專業知識就能設公司生產扣件的話，他會發現自己等於在倒水入乾沙做白工。

## 工模具資料庫

幾千年前，人類是以年為計時單位，然後發展出以季、月、周、日、小時、分鐘、秒鐘為計時單位。今日我們是用鈉原子的振盪，每振盪90億次再多一點點就是一秒鐘。在人類演化的所有階段，時間意識使我們得以規範其他事務，例如旅遊時間、工作時間、休閒時間等等。

在生產製造中，可預測性是所有事業規劃的關鍵。我們有某些把握可以預測公司會在明天(或任何其他時間點)開業。我們可預測員工將會到位工作(即使最近還有企業因疫情關廠)。我們可預測機械會運轉、作業會啟動，但我們能預測工模具的壽命嗎？

在使用低荷載、頂多只可能發生磨耗問題，且使用統計製程管制(SPC)來監測產品規格的狀況下，應該比較容易分辨何時必須更換工模具。透過持續監測何時更換工模具，就能製成工模具壽命的圖表。這類資訊讓我們有機會調查並評估方法來改善目前工模具的壽命，以及評估工模具的效力。用來記錄數據的工模具壽命登錄卡是建立工模具資料庫必備的一個環節。

如果失效時常發生的型態是工模具斷裂，事情就更難辦了。照定義，這種失效現象無法預測，所以會對產製規劃造成更多傷害。使用工模具壽命登錄卡的話，就能獲取確切的失效發生時間點的相關數據，並透過檢驗分析來了解失效現象的可能肇因。持續獲取隨機事件的數據，就能描繪出失效事件的時間線來顯示事件發生的特性和頻率。

這類資訊最好是能在不同產品和用途之間共享利用，它應該可以讓工模具專家確實有機會在失效發生之前摸索出合理的工模具替換時間表，導入知識導向的程式來研發和大幅正面改善工模具的問題。

## 工模具的保修

產線停機對量產的製程效率來說都是一個衝擊。汽車供應商會很怕暫停組裝線以及因此要賠的成本。

以工模具而言，暫停組裝線的代價昂貴，除非有妥善安排，否則這樣的安排將無法發揮原有設計的功能。所以工模具設置師是確保工模具能發揮最佳狀態的關鍵。要能量產必須的產品產量，工模具應該要經過檢測、清洗、狀態登錄、翻新、再檢測、更新工模具壽命登錄卡，再妥適存放供他用。

優良的工具使用之關鍵無疑是其管理方式。如前所述，成功的扣件製造商必備的工模具所需的背景知識並非現成可隨手取得的。就好比多數人的人生一樣，你要有付出才能有所得。以工模具這件事來說，你要付出的是時間、努力和你必須習得與維持的技術知識。在某些狀況下可能還要花超過一辈子的時間。

國際冷鍛組織(ICFG)已發布其工模具子組織20年的研究成果。其研究文件(冷鍛用工模具壽命與品質：第1~5集)可透過出版商Meisenbach Verlag購得，大力推薦您閱讀。■

