

# 扣件生產模具應力影響分析

## 一、前言

扣件之生產，成型加工技術以鍛壓成型及軋造滾牙擠製為主，鍛壓是鍛造和沖壓的合稱，是利用鍛壓機械對金屬坯料施加壓力，使其產生塑性變形，來獲得具有一定機械性能、形狀、尺寸的加工方法。按成型加工變形溫度可分為熱成型、冷成型、溫成型等。熱成型是在金屬再結晶溫度以上進行。提高溫度能改善金屬的塑性，有利於提高工件的內在結晶組織狀態，使之不易開裂。高溫還能減小金屬的變形抗力，降低所需成型機械的噸位負荷。冷成型加工是在低於金屬再結晶溫度下進行的塑性成型，通常是指常溫下的成型，其形狀和尺寸精度高，表面光潔，加工工序少。一般之扣件多數採用冷成型之鍛壓或擠製方式，直接連續且不斷裂的金屬坯料塑性變形流動使其機械強度提升成為半成品，再經後續熱處理調整及表面處理後送交客戶。

在扣件之生產連續過模的鍛壓及擠製製程中，尺寸拿捏精準均藉由模具用以打造不同的輪廓或比原來大的橫截面坯料，扣件之坯料表面與模具表面做滾動或滾滑複合運動時，如圖1所示，於塑性變形負荷下，不同種類扣件坯料表面及模具表面接觸之交互作用，產生不同之表面狀況型態。

由於長期交變接觸應力的作用，使表面材料疲勞斷裂而形成點蝕或剝落的現象，稱為表面疲勞磨損（或接觸疲勞磨損）。由於循環接觸應力的作用，金屬疲勞的現象逐漸在扣件模具之表面顯現。從工程的角度來看，表面硬度很重要，因為扣件坯料塑性成形時，潤滑油、及空氣中的水氣，在摩擦或侵蝕的條件下，通常隨著硬度的增加而增加耐磨性。如果材料的硬度高於研磨材料的硬度，則磨損率將降低。硬度是指承受表面負荷下抵抗被壓印貫穿變形（局部塑性變形）或刮印的能力。硬度表示耐刮擦性、耐磨性、抗壓痕性，甚至耐成形或局部塑性變形。扣件坯料表面及模具表面接觸下，相對的表面負荷狀態如圖2所示，坯料表面及模具表面在相對不同的硬度狀況下，長期交變接觸應力的作用而言，即為金屬模具表面疲勞破壞。

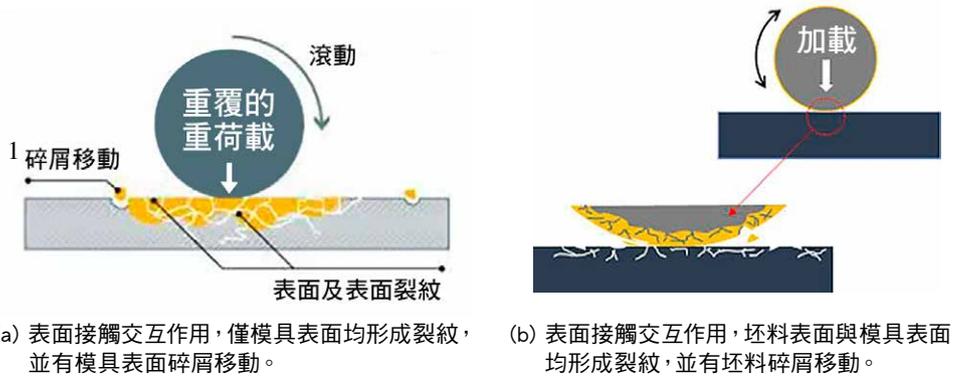


圖1 塑性變形負荷扣件坯料表面及模具表面接觸之交互作用型態

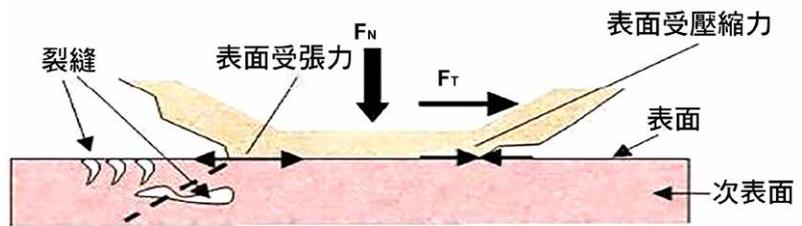


圖2 坯料表面及模具表面接觸相對表面負荷狀態

## 二、扣件金屬模具表面磨損疲勞型態

從扣件坯料表面及扣件金屬模具表面的接觸應力作用，以微觀的角度觀察之現象可以區分為摩擦(friction)及磨損(wear)兩大現象。(如圖3) 摩擦現象主要產生應力，磨損現象代表材料損失狀況發生。長期摩擦及磨損的交變接觸循環往復應力作用即為疲勞加破壞。

扣件坯料表面及扣件金屬模具表面相對運動，造成之表面狀態示意圖如圖4。表面接觸間距狀況受負荷力影響如圖5。表面疲勞是由於重複載荷而導致的本體表

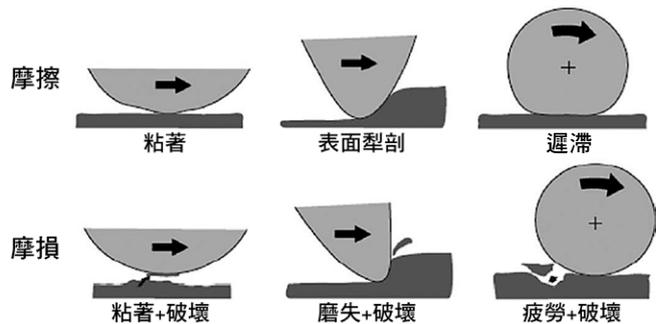


圖3 微觀的角度觀察摩擦(friction)及磨損(wear)之現象



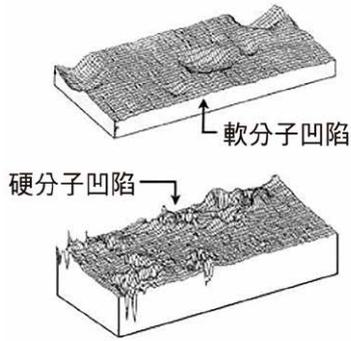


圖4 表面接觸相對運動造成之表面狀態

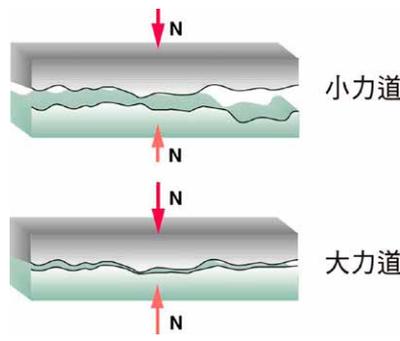


圖5 表面接觸間距狀況受負荷力影響

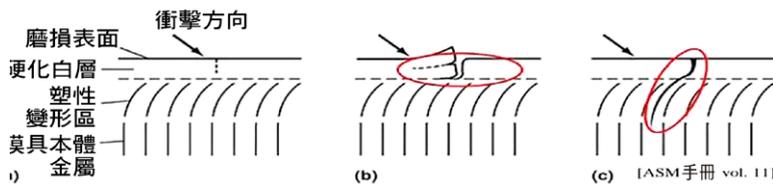


圖6 與衝擊接觸造成的表面疲勞

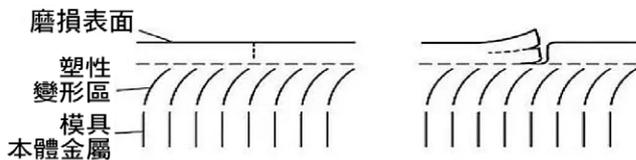


圖7 反覆滑動接觸時壓縮應力較低的次表面疲勞裂縫開始發生水平生長

面最頂層破壞。因為只發生在本體表面上，因此可與其他類型的破壞加以區別。表面破壞以微裂紋的形式出現，如果不加以注意控制，裂紋會傳播成長到本體的其他部位。扣件金屬模具表面疲勞可能有多種原因，包括：反覆衝擊、反覆剪切應力、或由扣件坯料表面及扣件金屬模具表面之間的振盪接觸引起的微動磨損狀況。表面疲勞是扣件金屬模具表面常見的問題。當扣件坯料表面邊緣粗糙及潤滑不足的反覆應力聚集在一起時，它們會產生反覆循環應力。這種反覆循環應力會在扣件金屬模具表面產生不連續性。由於不斷對扣件金屬模具表面施加重複應力，不連續性可能會變成扣件金屬模具表面的微裂紋或微坑。這最終可能導致扣件金屬模具表面完全失效破壞。

### 1. 接觸衝擊的表面疲勞

在短時間內發生的高負荷力衝擊(impact)或震擊(shock)時，當表面疲勞裂紋被觸發開啟活化時，會像滑動接觸一樣形成裂紋，如圖6。當硬化白層分離或剝落形成碎屑移動後成為裂紋傳播成長破壞的主要原因。(註：硬化白層為受往復應力後之表面塑性變形硬化頂層)

### 2. 接觸滑動的表面疲勞

除了表面印痕坑蝕外，反覆滑動接觸也可能導致水平次表面裂紋增加或裂紋傳播成長。雖然表面發生塑性變形形成壓縮應力，壓縮應力可以抑制表面層的裂紋生長。但壓縮應力較低的次表面，裂縫開始在不連續性

周圍開始發生，裂縫在變形層次表面水平生長，如圖7，聚結並最終導致薄板脫落。這種磨損也稱為分層磨損(delamination wear)。剝離(Spalling)是變形區平行於硬化白層流線裂紋傳播成長過程。

扣件坯料表面及扣件金屬模具表面疲勞的關鍵在於接觸類型及其產生的應力。表面接觸處的最大剪應力位於次表面，特別是在接觸面積小時，剪應力峰值可能會增加變很高。裂紋依然可以因表面缺陷，顆粒等因素而自表面引起裂紋。也可以從表面接觸剪應力使裂紋擴展傳播成長破壞。

### 3. 接觸潤滑的表面疲勞

在彈性流體動力潤滑下，表面疲勞通常是由於硬顆粒或軟顆粒在表面上凹陷引起的。表面的凹痕形成所謂的護堤。隨著時間的推移和反覆的高負載，表面破裂的地方會形成凹坑。隨著持續的高負荷，凹坑變得更大。由於長期摩擦及磨損的交變接觸循環往復應力作用，坯料表面及模具表面在相對不同的硬度狀況下，產生顆粒碎屑，顆粒碎屑移動亦相對造成摩擦及磨損影響。以模具成型生產扣件時，使用的潤滑劑也對顆粒碎屑移動或去排造成影響。因此，表面疲勞亦受所使用的特定潤滑劑的影響，包括其基礎油、添加劑、粘度選擇及顆粒污染等。與單純的礦物油相比較，具有相同粘度等級及添加劑的合成油可以在更高的溫度下提供更好的表面疲勞保護。

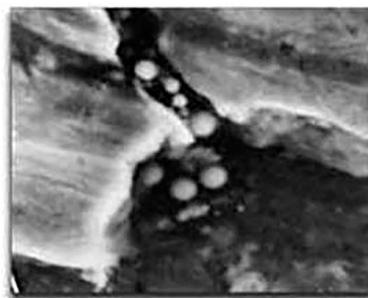
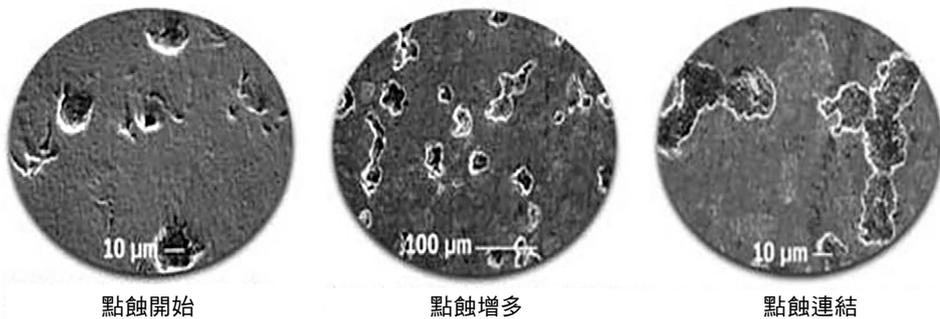
模具表面上任何滾動正向力接觸的位置區域或坯料剪力接觸的表面都有可能出現表面疲勞。

## 三、扣件金屬模具表面疲勞案例分析

在扣件金屬模具表面開始發現有表面點蝕現象時，即是有初始裂紋在模具表面出現，隨著往復循環應力作用，表面裂紋逐漸擴展及合併成長傳播而產生疲勞破壞。當表面接觸壓應力較小於材料剪切強度而摩擦係數較大時，表面磨損主要表現為點蝕。(如圖8) 當扣件坯料表面品質較差時(如：脫碳、淬火不足，有夾雜物,,等)或模具表面受潤滑劑沖蝕或化學性腐蝕侵蝕時，均容易產生點蝕現象。當扣件金屬模具表面與扣件坯料表面產生嚴重的顆粒碎屑污染時，如圖9，也容易產生裂紋。



圖8 點蝕現象



疲勞裂紋中的碎屑顆粒

圖9 表面疲勞裂紋中顆粒碎屑污染

扣件生產使金屬模具表面疲勞的關鍵，在於表面疲勞磨損的基本條件是：扣件產生滾動摩擦或滑動摩擦或二者兼有的摩擦，使金屬模具表面承受了較高的重複接觸應力（正向壓縮應力或剪應力）。在鍛壓打頭成型模具作業時，金屬模具表面承受正向壓縮應力及剪應力為前後交互順序之應力狀況。而在軋造滾牙模具作業時，金屬模具表面同時兼有滾動摩擦及滑動摩擦之正向壓縮應力及滑動剪應力。

應力集中對疲勞破壞有關鍵的影響，扣件模具設計或表面加工若存在尖銳缺口，則模具作業時應力集中程度隨著缺口尖銳程度的增加而增加。機械加工的表面存在著高低不平的加工痕跡，這些痕跡就相當於微小缺口，在材料表面造成應力集中，從而降低材料的疲勞強度。粗糙的加工與縱向精密拋光相比，加工粗糙的表面疲勞極限比精密拋光表面降低10%—20%甚至更多。材料的強度越高，則對表面光潔度越敏感。扣件模具表面加工粗糙度只要降低，提高金屬表面加工品質。疲勞源多數位於扣件模具表面，所以應盡量減少扣件模具表面缺陷，減少表面加工損傷，如：刀痕、磨痕、擦傷...等，避免引起應力集中而導致疲勞裂紋。

模具實際工作時的受力荷載超過正常負荷變化狀況及模具作業時的溫度變化狀況，都會對模具表面的疲勞極限產生影響。模具表面受力荷載超過正常負荷下運行達到一定次數後，就會造成模具材料疲勞極限下降的超負載損傷。超負載越高，造成損傷使模具可達到正常運作的次數越少。

另外，模具材料不同的熱處理狀態會得到不同的顯微組織，模具表面不同的顯微組織對疲勞強度的影響，即為熱處理對疲勞強度的影響。同一成份的材料，由於熱處理不同，雖然可以得到相同的靜強度，但由於組織的不同，疲勞強度可在相當大的範圍內變化。模具表面顯微組織晶粒越細小，則疲勞強度越高。晶粒細化可提高材料的疲勞強度。

疲勞斷裂的四個階段，包含：裂紋成核、微裂紋、巨觀裂紋、斷裂。扣件生產使金屬模具表面疲勞的階段，亦包含：裂紋成核、微裂紋、巨觀裂紋、碎屑顆粒移動破壞使

裂紋成長傳播後磨損剝離或斷裂。表面狀態的影響除了前面已提及的表面光潔度外，還包括表層機械性能的變化及殘餘應力對疲勞強度的影響。表層機械性能的變化可以是表層化學成分和組織不同所引起，也可以是表層因塑性變形強化而引起。扣件金屬模具表面微小的刮痕凹痕處往往是應力集中處，也是降低疲勞壽命的元兇。採用珠擊處理（Shot Peening），藉由使物件表面產生殘留壓縮應力，抵消外來的拉伸應力，進而增加疲勞壽命。類似珠擊有高速敲擊的製程稱為peening。低塑性滾軋（Low Plasticity Burnishing）、雷射強化（Laser Peening）、超音波衝擊處理（Ultrasonic Impact Treatment）等較新穎的方法也可以產生表面殘留壓縮應力以增加疲勞壽命。

#### 四、控制扣件模具表面疲勞

選擇合適的粘度潤滑避免應力集中及分散應力是減少表面疲勞的關鍵。較高的負載將需要更高的粘度潤滑，而較低的負載允許較低的粘度潤滑。速度也會對表面疲勞產生影響。在較低的速度下，潤滑薄膜厚度會減小。同樣，在更高的速度下，潤滑薄膜厚度可以增加。這是為您的應用選擇正確粘度時要考慮的另一個因素。工作溫度在表面疲勞中也具有重要影響作用。隨著接觸區域溫度的升高，油的粘度變低，油膜厚度減小。隨著溫度的升高，粘度過低的潤滑劑會變薄，無法提供足夠的保護及分散應力，從而導致應力集中表面疲勞率增加。如果使用極壓潤滑油，潤滑油極壓添加劑在較高溫度下會變得更具反應性，並且可以防止粘著磨損而控制延緩扣件模具表面疲勞。■

撰文:王維銘  
著作權所有: 惠達雜誌

