

# 18. 具低摩擦低磨耗表面形貌之設計與製造

洪政豪 教授、陳誌賢  
國立虎尾科技大學 動力機械工程系

## 摘要

本研究係一種具低摩擦低磨耗表面形貌之設計與製造，該工作表面上形成複數個平均分佈且為漸縮狀之壓痕凹部，相鄰之壓痕凹部之距離被定義為間距小於50微米，每一壓痕凹部具有一凹部深度及一凹部寬度，該凹部深度係小於1微米，該凹部寬度係小於5微米。因此，本研究兼具微元件之抗黏附性及抗摩擦性均佳與製程簡易之優點及功效。並可應用於機械、電子、光電等產業上有相對運動之組件表面設計。

## 一、前言

本研究係有關一種具低摩擦低磨耗表面形貌之設計與製造，特別是指一種具有複數壓痕凹部之微元件之加工方法及其微結構，其兼具微元件之抗黏附性及抗摩擦性均佳與製程簡易之優點及功效。

當兩個物體接觸時，一般稱要分離兩表面之正向力為黏附力(adhesive force)。傳統之機械零件，大多是肉眼可辨，當元件與元件間接觸並產生相對位移時，如第一圖所示，因元件本身之重量遠比兩元件間之黏附力大，因此通常不考慮黏附力造成之影響。

而當元件尺寸微小化或表面光滑化後，其元件本身之重量大為減少，兩元件間之黏附力等吸引力影響因而逐漸顯著，同時黏附力與表面粗糙特性有密不可分之關係，以致粗糙界面間之特性瞭解更顯得重要而急迫，因此粗糙界面接觸特性研究成為各項高科技產業的重要課題之一。例如：在資料儲存設備讀寫頭與存儲資料間，必須考慮讀寫頭與存儲資料設備兩者間的吸引力，以免讀寫頭與資料儲存設備互相碰撞而產生元件破壞，因此微元件接觸界面間黏附力扮演著比傳統機件具有更重要的影響力。

近年來微加工技術突飛猛進，使得各種精密機械或微機電系統有更廣泛的功能與應用，元件之尺寸越來越小且精緻。就微元件而言，由於尺寸之縮小，使得元件之表面力之重要性遠大於慣性力，特別是對於微運動元件之設計而言，即面臨一個兩難的困境：

- [a] 若兩者間之接觸面太粗糙(即表面粗度之值大)，其表面凹凸之棘輪及變形效應提高摩擦力，如圖2(c)與圖3之第一曲線L1所示，有礙元件之運轉或滑動。
- [b] 若兩者間之接觸面太光滑(即表面粗度之值小)，其黏附力反而大，如圖2(a)與圖3之第二曲線L2所示，反而有礙於微元件之運轉或滑動；由圖3之第三曲線L3(第一曲線L1及第二曲線L2相加)可發現，隱約可見表面粗度太大或太小時都不好，其間有一最佳化結構(例如圖2(b))具有最小合力，有待研究其最佳化之條件。

## 二、實驗方法

本研究係具低摩擦低磨耗表面形貌之設計與製造，其包括：

1. 準備步驟：準備一微元件與一壓痕裝置，該微元件具有一第一硬度及一工作表面，該工作表面大體上為平坦面；該壓痕裝置具有複數個具有一第二硬度之壓痕塊；該第一硬度係小於該第二硬度；
2. 壓痕產生步驟：將該壓痕裝置之壓痕凸部向該工作表面施壓，使該工作表面上形成複數個平均分佈且為漸縮狀之壓痕凹部，相鄰之壓痕凹部之距離被定義為間距，其係小於50微米，每一壓痕凹部具有一凹部深度及一凹部寬度，該凹部深度係小於1微米，該凹部寬度係小於5微米；
3. 除屑步驟：將壓痕後產生之金屬屑清除；
4. 完成步驟：取得一具有複數個壓痕凹部之微元件。

## 三、結果與討論

本研究係有包括加工方法及微結構兩大部份。更詳細的說，前述之微表面形貌之黏附力最小化之加工方法中，若用於S45C 碳鋼材料時，該壓痕產生步驟中之施力最好是介於15mN 至35mN之間，且該凹部寬度W(如圖7及圖8)係介於該間距P 之0.05至0.5間。此外，該壓痕凹部之形狀可概呈圓錐狀(如圖8所示)或角錐狀(如圖9所示)。關於本案之成品，如圖5、圖6(a)、圖6(b)、圖7、圖8及圖9所示，即一種微表面形貌之黏附力最小化之微結構，其包括：

一微元件，其具有一工作表面，該工作表面上形成複數個平均分佈且為漸縮狀之壓痕凹部，相鄰之壓痕凹部之中心點的距離被定義為間距P，其係小於50微米，每一壓痕凹部具有一凹部深度d 及一凹部寬度W，該凹部深度d 係小於1微米，該凹部寬度W 係小於5微米。

關於本發明之實驗過程，係採用一奈米測試儀(Nano Test)當作是壓痕裝置，在大約50微米x50微米的面積中共有10x10 個圓形之壓痕塊，所以可在一基材(例如為S45C 碳鋼)上施壓出10x10個壓痕凹部。而壓痕產生步驟中之施力係介於3mN、5mN、10mN、20mN、30mN、50mN、80mN、120mN，其中，20mN、30mN施壓後之表面分別如圖6(a)、圖6(b)所示，當然，實際影像可參閱照片A 及照片B。

之後，分別測試出摩擦力與黏附力，再相加即為總力。經比較後，20mN 與30mN 之抗黏附力及抗摩擦效果最好，其表面形貌概如第八圖所示，具有一特定之外形。完全打破『越光滑阻力越小』的迷思。

另外，表面經由量測儀器(例如為原子力顯微鏡，簡稱AFM)在不同的量測長度後，其中看出量測距離L 在50微米以下具有尺寸效應。利用湊配(fitting)方式，可以得到表面參數 $\sigma$ 為

$$\sigma = 18 \left( \frac{L}{50} \right)^{0.3}$$

此外，平均分離係數(d/ $\sigma$ ) [英文Mean separation] 係無單位。請參閱圖10，以此為橫軸，並觀察摩擦力曲線L4 及黏附力曲線L5 相加之總力曲線L6 [相當於總阻力]，其最小值大約在平均分離係數(d/ $\sigma$ )為45 左右 (以S45C 碳鋼為例)。當然，若材料之選用不同，其表面能、材料特性也會不同，但是，在此微表面之設計上，仍然可套用類似圖7之最佳化之表面形貌，而具有最佳之狀態。

### 四、研發成果與效益

本研究之優點及功效在於：

- [1] 微元件之抗黏附性及抗摩擦性均佳。由於本發明找出一微元件之表面上必須具有複數壓痕凹部才能達到最佳效果，並找出一概括之表面形貌特徵，對於微機電業者而言，不論是微感測器、微驅動器、微機構、微滑軌等設計，均有極大的助益。
- [2] 製程簡易。以壓痕裝置一次施壓出矩陣狀之壓痕凹部，不僅成本不高，而且操作容易，對於產業界有相當大的吸引力。
- [3] 發明專利 微表面形貌之黏附力最小化之加工方法及其微結構 (專利號碼：I274626)

### 誌謝

感謝國立虎尾科技大學微奈米磨潤實驗室提供實驗儀器，使實驗得以順利進行。

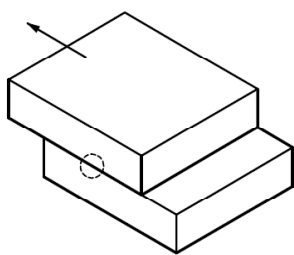


圖1 傳統元件間產生滑動阻力之示意圖

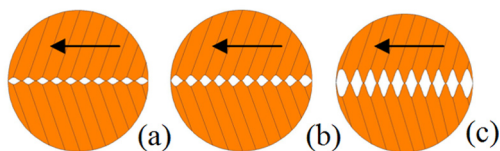


圖2 接觸表面間之局部放大示意圖

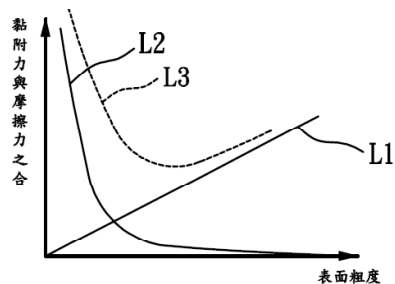


圖3 表面粗度以及黏附力與摩擦力之合的關係示意圖

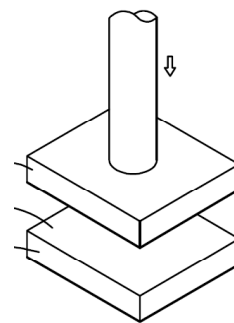


圖4 本發明之加工設備之示意圖

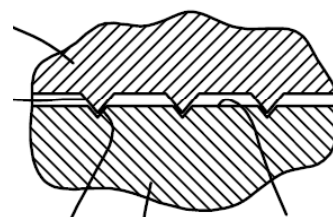


圖5 本發明之壓痕產生步驟之示意圖

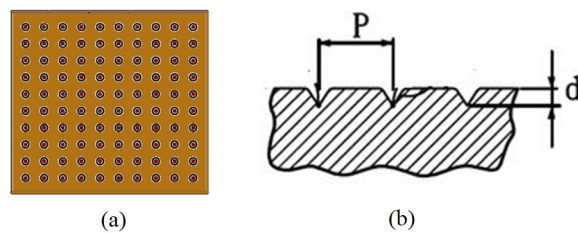


圖6(a)及圖6(b)為本發明之示意圖及其局部剖視圖

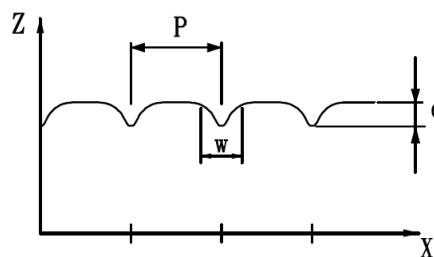


圖7 本發明之表面形貌曲線之示意圖

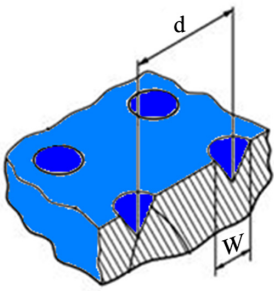


圖8 本發明之壓痕凹部之示意圖

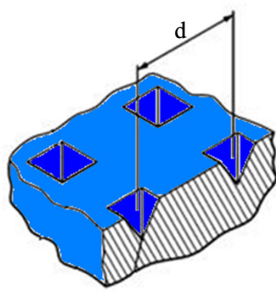


圖9 本發明之另一種壓痕凹部之示意圖

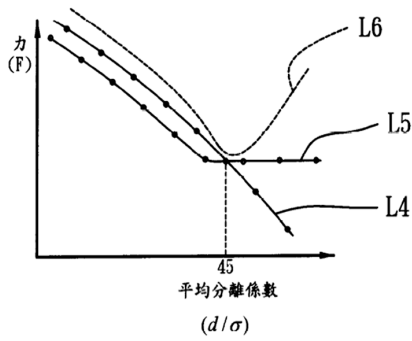
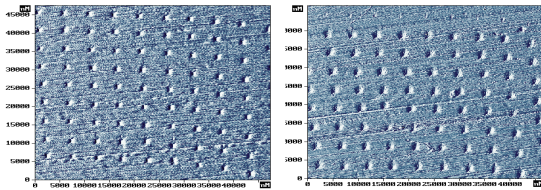


圖10 本發明之總力示意圖



照片A

照片B

照片A與照片B為表面實際影像