



# 高質精微零組件熱處理技術

文/ 黃家宏

(財團法人金屬工業研究發展中心 精微成形研發處 處理組 工程師)

鍾育霖

(財團法人金屬工業研究發展中心 精微成形研發處 處理組 副工程師)

邱松茂

(財團法人金屬工業研究發展中心 精微成形研發處 處理組 正工程師兼組長)

## 摘要

目前針對微小零件產品作熱處理時，在沒有專用設備下，只能以傳統熱處理設備處理，會將工件以細網包覆處理，但是會因淬火冷卻效果不佳及製程參數不適當等因素，造成處理後零件的機械性質差。金屬中心針對目前微小零件熱處理的技術問題進行設備研發，透過創新機構設計，已開發出小型連續精密熱處理設備雛型產品，包含微小工件自動送料系統、微小工件淬火冷卻系統、爐氣產生器及監控整合系統。經實際測試結果，調質熱處理件之硬化效果佳，AISI 1144 微齒輪組裝壽命測試 1,000小時全數通過，提升至少2倍壽命。SAE 1018 微小螺絲經滲碳熱處理後，因淬火硬化效果佳，螺絲扭斷力高，也通過表面硬度 HV380~480 與心部硬度 HV320~450 的檢測標準。SK2 馬達軸受板經淬火、回火熱處理後符合硬度HV770~870及軸受耐力kgf30~50檢測標準，並且無流失率。

## 1. 前言

鋼鐵材料的強度與硬度、耐磨耗性成正比，但是與延性、韌性及耐衝擊性成反比因此，鋼鐵製品為了要兼顧這兩類性質時就要作表面硬化處理，讓心部保持低硬度、高延韌性，能夠吸收外來應力，不會產生破裂，但是表面層成為高硬度、高強度、耐磨耗性佳，使工件的使用壽命長。而鋼鐵材料熱處理後的硬度高低與碳含量成正比，因此齒輪、扣件等常常選用材料成本較低、容易加工製造的低碳鋼為材料，加工成形後再施以滲碳表面硬化熱處理，使工件具有所要的機械特性，而中碳鋼則常作淬火後高溫回火的調質前處理，以獲得基地強韌的性質。

由於金屬在加熱時，同一個工件內，各部位的溫度不均（即加熱區域的不均勻），必然會造成工件內各部位的熱膨脹率不一致性，因此加熱速度越快，工件表面與心部的溫度相差越大，熱應力也越大，使工件熱處理後產生的變形率也越大，尤其精微尺寸工件的變形量會更大。精微零組件若使用目前國內的傳統熱處理設備進行滲碳表面硬化熱處理，會因為精微零組件的尺寸比一般機械零組件小太多，將發生下列的問題：

1. 輸送帶網洞太大，微小的精微零組件太小，容易從網洞掉落，造成工件的損失率太高。
2. 為防止工件從網洞掉落，將工件以細網包覆處理時，會因淬火冷卻效果不佳、及製程參數不適當等因素，造成處理後零件的機械性質差。
3. 微小的精微零組件會因為在爐內加熱的時間太長，產生表面滲碳深度太深、晶粒粗大、韌性不佳等問題，使零組件的機械性質不良。
4. 精微零組件以傳統的箱型或連續爐熱處理設備淬火處理時，會因為工件太小，淬火時工件容易因在油槽內劇烈攪拌而在液面上漂浮，造成淬火效果不良品率低，及微小工件

金屬中心以多年的熱處理製程經驗， $\phi 2\text{mm}$  以下微小工件之調質與滲碳熱處理製程技術，透過創新機構設計、微小工件自動送料系統、小型精密連續熱處理爐、微小工件淬火冷卻系統及爐氣產生與監控系統整合，開發小型連續精密熱處理設備雛型產品，由壽命測試顯示，經熱處理後的微型齒輪顯現具優異耐磨耗特性，直接提升整體設備的運轉品質及產品附加價值。

金屬材料大量應用於現代工業，隨著工業技術進步，各種零件所需的尺寸朝小而巧方向發展，精密度也越來越高，若未經使用適當的微小熱處理設備處理，在大型熱處理爐處理會因工件擠壓導致試片受熱空間不均勻，將導致工件處理中不斷變形，最後導致工件失真、產品良率下降。又如精密螺絲，若未經適當處理使材料組織穩定化，將發生在大型熱處理爐中因擁擠時變形，最後螺絲壽命縮減、廠商生產成本增加，競爭力下降。



## 2. 微小工件的連續熱處理雛型 設備建構

金屬中心已建構一套完整適合微小工件的連續熱處理設備 (Fig.1)，製程處理設備全長不到 6m，本開發設備的特色為零件均勻鋪陳置、加熱、及冷卻，硬化效果佳。微小零件連續熱處理之設備，包含主加熱爐、連續回火爐、油槽及收料模組、自動進料系統、控制系統、及清洗槽模組。可適用肉厚  $\phi 2$  mm 以下微小工件之調質與滲碳熱處理於各式螺絲、模具、鑄件，其優點如下：

### 1. 安定化處理不降低材料強度：

傳統的大型熱處理爐安定化製程對溫度與殘留應力關係的掌控不佳，常發生高溫下長時間處理時，雖然應力完全消除，但是材料硬度、強度卻也過低，而導致無法符合使用需求，因此選用適當合宜的製程參數 (溫度、時間等) 是關鍵。

### 2. 不改變材料尺寸，直接施行於成品：

傳統的安定化製程由於牽涉到應力大量釋放、組織改變，因此材料必然變形，導致處理後必須再次精加工，成本必然增加。

傳統熱處理用於精微元件之問題及對策有幾項面臨的問題：有工件卡在輸送帶網目上、在淬火液中容易漂流、扭力不佳導致螺絲易斷裂、滲碳層不均度大，滲碳層深度變異太大、產品因熱處理縮孔導致良率不足、壽命不佳，磨耗性差等。因此我們在設計設備時，除採用緻密網帶及液流提升式淬火槽外，在滲碳製程開發、提升溫度均勻性 (淬火爐  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；回火爐  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ )、提升處理品質均勻性等方面也加強設計。

精微零件連續熱處理設備設計：

- 2.1. 自動送料系統與直進式振動送料機
- 2.2. 油槽及收料模組
  - 防止淬火油煙逆流至主加熱爐
  - 特殊收料機構，淬火零件收料率 100%
  - 台灣與中國專利申請
- 2.3. 主加熱爐
  - 供調質與滲碳熱處理
- 2.4. 連續退火爐
  - 獨立溫度控制
  - 保護爐氣進氣系統
- 2.5. 控制系統
  - PC 使用介面
  - 控制與記錄生產參數
- 2.6. 清洗模組
  - 低壓式沖洗，零件不會掉落輸送帶外
- 2.7. 進行先期研究，解決工業問題與瓶頸

解決以傳統熱處理設備處理微小零件 (肉厚  $\leq 2$  mm) 時，用細網包覆，再以大型批式或連續式熱處理爐加熱後淬火，因冷卻效果不佳，零件的機械性質差等問題。



圖 1. 原型設備包括微型工件的自動化進料系統、微型工件的淬火冷卻系統、火爐氣體生成裝置和監控整合系統。

## 金屬中心研發模組客製化製造

圖 2. 所示為依據不同需求可模組客製化選用。若以一般計畫製造程序為：微小工件肉厚  $\leq 2$  mm 零件連續式微小齒輪→清洗→送料系統→滲碳/調質→清洗→回火；目前計畫的創新優勢製造程序為：連續式+模組化微小齒輪→清洗→送料系統→滲碳/調質→清洗→回火



圖 2. 模組設計

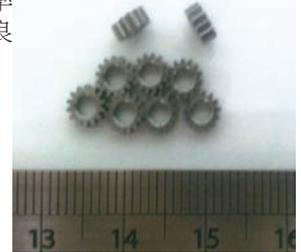
## 3. 實驗分析及案例驗證

### 3.1 微齒輪 BOSCH 調質熱處理- (材質: AISI 1144)

技術面：現行產品因熱處理會產生縮孔，導致良率不足與壽命不佳的問題，故萌生開發此設備構想。

製程條件匹配、再加上微小零件連續熱處理設備、及油槽與收料製程整合技術，淬火零件回收率約 100%，淬火硬化效果佳，改善縮孔之良率。齒輪組裝壽命測試 1,000 小時全數通過，提升至少 2 倍壽命。驗證結果顯示，已通過至少 2 倍的耐磨耗性與強度測試。本計畫成果經 500 小時一般業界測試後，再進行 500 小時之 4kg 荷加重測試，經拆解後量測亦沒有磨損現象，驗證結果顯示已通過至少 2 倍的耐磨耗性與強度測試。具油槽及收料製程整合技術，淬火零件收料率 100%，淬火硬化效果佳，縮孔良率完全改善。

圖 3. 調質處理微形齒輪工件



### 3.2 微小螺絲滲碳熱處理- (材質: SAE 1018)

技術面：現行產品以傳統的大型熱處理設備與製程處理時，螺絲心部將出現亞共析肥粒鐵的軟質組織而造成強度不足，使扭力不佳導致螺絲易斷裂。

金屬中心協助廠商進行初期技術開發及可靠性驗證，經滲碳製程條件匹配，再加上微小零件連續熱處理設備、及油槽與收料製程整合技術，1.4 mm x 1.4 mm 微小螺絲 (圖 4.) 試片滲碳處理後，通過表面硬度 HV380~480 與心部硬度 HV320~450 的檢測標準，淬火硬化效果佳，螺絲扭力高。心部肥粒體組織量在 2% 以下，並通過螺絲破斷扭力 > 1.2kg.cm 的分析值。

### 3.3 馬達專用軸受板熱處理- (材質: SK2 高碳鋼)

技術面：現行產品以傳統的大型真空熱處理設備與製程處理，廠商想要把每回熱處理的數量增加，但數量增加經熱處理後，發現每層軸受板的硬度與耐壓性不穩定，一半以上製品的硬度與耐壓都不合格，不合格的原因可能為疊料及氣氛不足。



圖 4. 滲碳熱處理微形螺絲工件



金屬中心協助廠商初期進行技術開發及可靠度驗證，經熱處理製程條件匹配，再加上不需要使用不銹鋼網袋包覆進行微小零件連續熱處理設備、及油槽與收料製程整合技術，軸受板(如圖 5. 所示)製品規格： $\phi 2.6 \pm 0.05\text{mm}$ 、厚度： $0.5 \pm 0.05\text{mm}$  處理後，通過表面硬度 HV 870 $\pm$ 50 的檢測標準，淬火硬化效果佳，軸受板扭力高 30~50kgf，流失率約 1%，針對特殊產品流失率將提改善方針。



圖5. 直流電迷你馬達

圖 6. 所示為 SK2 高碳鋼萬寶至公司使用真空爐淬火、回火後的金相組織，圖 7. 所示則為金屬中心針對相同工件，使用所建構的微小零件連續熱處理設備處理後的金相組織，比較在相同鑲埋、拋光腐蝕倍率的情況下所記錄的金相組織，萬寶至公司在處理後的硬度在 HV 805~820，組織相圖中有觀察到大量殘留沃斯田體，與金屬中心處理後的組織大不相同，有可能在於處理設備不同而影響加熱、冷卻的製程參數，造成組織的型態不同，和碳化物所形成的位置與形狀也有差異所致(如圖 8. 及 圖 9. 所示)。圖 10. 及 圖 11. 及 12 所示軸受板試作品與現行品粗糙度、硬度、耐力比較，微小零件連續熱處理設備處理後與現行真空爐比較淬火、回火後，均能符合萬寶至公司需求。



圖6. 馬達專用軸被電鍍上金相組織



圖7. 馬達專用軸經過板材冶金



圖8. 表面形態，切片並觀察其組織

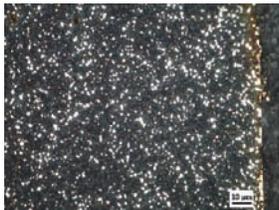


圖9. 表面型態，切片並觀察其組織

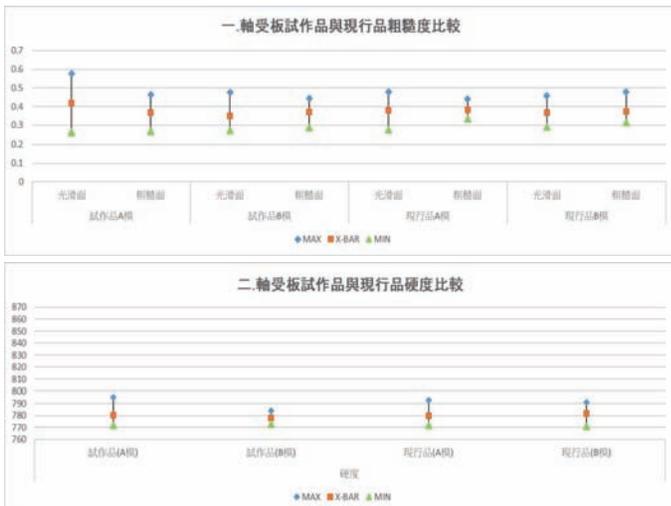


圖10. 軸受板試作品與現行品粗糙度比較

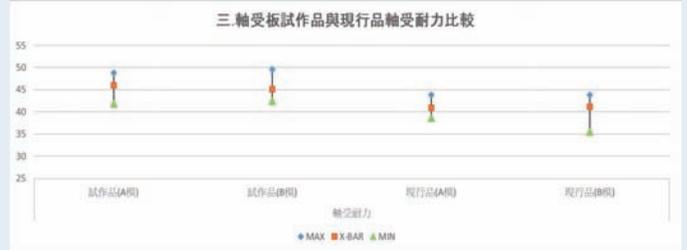


圖10. 軸受板試作品與現行品粗糙度比較

## 4. 結果與討論

金屬中心開發微小工件使用的小型連續精密熱處理設備雛型產品，包含微小工件自動送料系統、微小工件淬火冷卻系統、爐氣產生及監控整合系統。經實際測試結果效果良好：

1. AISI 1144 微齒輪調質熱處理件之淬火硬化效果佳，改善縮孔之良率，組裝壽命測試 1,000 小時全數通過，提升至少 2 倍壽命，淬火零件回收率約 100%。
2. SAE 1018 微小螺絲經滲碳熱處理後，因淬火硬化效果佳，螺絲扭斷力高，也通過表面硬度 HV380~480 與心部硬度 HV320~450 的檢測標準，心部肥粒體組織量在 2% 以下，並通過螺絲破斷扭力 >1.2kg.cm 的分析值。
3. SK2 馬達軸受板因淬火硬化效果佳，淬火硬度也通過表面硬度 HV870 $\pm$ 50 的檢測標準，經淬火、回火熱處理後，硬度可達到要求的 HV 805~820，軸受板扭力達到 30~50kgf，流失率約 1%。

## 5. 結論

金屬中心針對精微零組件熱處理製程的特性，開發微小工件使用的小型連續精密熱處理設備雛型產品，也協助廠商進行初期技術開發及可靠度驗證。

1. 建立國內唯一可以處理外徑小於 2 mm 精微零組件的表面滲碳硬化、調質熱處理、及析出硬化處理之連續式精微熱處理雛型設備。
2. 建立精微零組件的表面滲碳硬化、調質熱處理、以及析出硬化處理的處理製程技術資料庫，使客戶工件熱處理後都能達到所要求的機械性質。
3. 精微零組件熱處理後的回收率達到 99% 以上，良品率達到 96% 以上。
4. 可取代目前在國內對微小零件產品作熱處理時，在沒有專用設備下，以傳統熱處理設備處理，會因淬火冷卻效果不佳、及製程參數不適當等因素，造成處理後零件的機械性質差的缺點，提高產業競爭力。
5. 可取代目前工業界將精微零組件送到國外處理的方式，減少運輸時間和運費、降低製造成本，製造高品質產品，提高產業競爭力。
6. 2018 年代表金屬中心參加台灣創新技術博覽會，『熱處理收料裝置』專利技術，在 20 個國家、704 件作品參與中脫穎而出，唯一法人得獎，勇奪競賽最高榮譽 - 鉑金獎殊榮，展現前瞻創新技術與產業成功應用能量。

## 參考文獻

- [1] G.P. Cavallaro, T.P. Wills, C. Subramanian, K.N. Strafford, P. French, J.E. Allison. Bedding fatigue and contact fatigue characteristics of carburized gear. Surf. Coat. Technol., 1995, 71(2): 182.
- [2] T.P. Wills, G.P. Cavallaro, C. Subramanian, K.N. Strafford, P. French, J.E. Allison. Conditions prevailing in the carburizing process and their effect on the fatigue properties of carburizing gear. J. Mater. Process. Technol., 1994, 40(1-2): 111-125. M. Izciler, M. Tabur. Abrasive wear behavior of different case depth gas carburized AISI 8620 gear steel. Wear, 2006, 260: 90-98.
- [3] S.K. Yang. Introduction of Precision Micromachining Technology. 2002, Taipei: Introduction, 2.
- [4] C. F. Yang, L. H. Chiu and J. K. Wu, "Effect of Carburization and Hydrogenation on the Impact Toughness of AISI 4118 Steel", Surface and Coating Technology, Vol. 73, No. 1-2, pp. 18-22 (1995).