

鍍膜強化元件機械性質之探討

經濟部標準檢驗局台南分局第一課
方冠權、郭晃銘、蔡森南

摘要

表面處理是所有製造程序中的一個重要流程，藉由表面處理可用來確保某些物理及機械性質，如外觀、耐蝕、耐摩擦、耐磨與疲勞性質。對於改善元件表面性質的方式有許多種技術，包括機械式表面處理、熱處理、氣相沉積法、電鍍法等等。就一般常用之銅合金機械元件而言，通常採用電鍍法作為銅合金元件最後表面處理方式，如直接在母材金屬表面鍍上硬鉻，對於元件的硬度將可提升約 HRC70 以上。此方法常用來增進刀具、閘桿、液壓軸與狄塞爾與飛機引擎軸襯的耐磨及耐腐蝕性能，亦可用來修復受損零件。在本專題研究中，我們將探討銅合金元件在電鍍上不同厚度的鎳與鉻之後，對元件之機械性質改善程度進行比較分析，以建立最經濟且有效的電鍍製程參數。就銅合金元件電鍍流程而言，首先會在元件表面電鍍一層鎳金屬，藉由鎳金屬較為緻密的推疊來保護母材而達到防蝕特性，最後再電鍍上硬鉻以提升元件之機械強度。本研究結果中發現，在相同的電鍍電流條件下，金屬鎳與鉻的電鍍膜厚成長效率與電鍍時間並非呈現線性關係，而是與電鍍時間約略呈現二次曲線正比關係。在固定電鍍金屬鎳厚度下，元件的表面硬度會隨著鉻金屬電鍍層厚度增加而增加，但其增加速率有逐漸減緩的趨勢。換言之，銅合金元件藉由電鍍硬鉻改善其本身之硬度會有一定的限度。在耐蝕性試驗中，本專題研究採用鹽液浸泡方式來替代鹽霧測試方法，研究結果發現在室溫下銅合金元件只要電鍍上約 $4.01\mu\text{m}$ 的鎳金屬層及適度的鉻金屬層，在各種濃度的鹽液中皆有良好的耐蝕效果。

關鍵字：電鍍，銅合金，電鍍效率，表面硬度，耐蝕

一、 前言

台灣因係屬海島型氣候之地，故在機械元件於製作完成之後，經常會進行全部或部份的表面塗裝處理，以獲得某些性質與特性。表面處理的目的大致上可歸類如下[1]：

- (1) 增加抗磨、抗蝕與做成凹紋(工具機的滑軌、機械裝置、軸、滾軸、凸輪與齒輪磨耗面)。
- (2) 控制摩擦(工具、模具、軸承與機械滑軌的滑動面)。
- (3) 減少黏著(電氣接觸)。
- (4) 改善潤滑(改善表面以留存潤滑劑)。
- (5) 增加腐蝕與氧化作用的抵抗力(汽車的金屬板或其它戶外所用的金屬材，引擎元件及醫學器具)。
- (6) 增加勁性與疲勞抵抗(軸承與有螺紋的階級軸)。
- (7) 重建破損元件的表面(破損工具、模具與機械元件)。
- (8) 改善表面粗糙度(外觀、尺寸的精確性與摩擦特性)。
- (9) 獲得所要裝飾的性質、顏色、或特別的表面特性。

由上述的目的可知，完美的表面鍍層是重要的技術發展之一。

過去表面塗裝處理大多採用表面油漆處理以兼顧防鏽及美觀，但此法對於其機械性質並無多大助益。因此，目前產業界對於表面塗裝方式改為鍍層處理，部份重要零組件甚至採用奈米科技進行表面處理，經過鍍層處理後的元件除可增加防鏽及美觀外，亦可改善元件之機械性質。就機械元件最常採用的鋼鐵材料而言，因鐵易與大氣中的氧產生化學作用而氧化，故元件容易產生銹蝕的現象。然而，若有鋅材層覆蓋於鋼材表面，則鋼材便不易生銹。其理由為當鋅層被刮傷或有切口時，鋅材層便會與暴露的鋼材產生電化學保護效應，即使在腐蝕環境下，鋅層會先腐蝕而放出電子來保護鋼材。經由長期的大氣或特殊區域曝露試驗，結果證實鋅層有極佳的耐候性。由於目前一些電機電子類產品逐漸朝向輕薄短小的尺寸發展，元件之物理製造方式經常採用壓延、引伸等塑性加工，此類加工方法完成的素材表面或多或少會產生微小的孔隙。在目前機電元件微小化的趨勢下，元件表面上的微小孔隙與體積比相形變大，因此小元件之機械性質可能會造成應力集中現象，使得元件在使用過程中發生不可預知的損壞。若能經由電鍍處理修補素材上的缺陷，對於元件機械性質的強度及穩定性必有相當不錯的助益。

二、 研究動機

材料表面性能的改良技術已被先進工業化國家列為今後發展之重點，傳統的表面處理如電鍍、無電鍍、熱浸鍍鋅、硬鉻處理，除了可以增加材料之美觀外，更能防銹、防蝕，及提高機械性質，使材料壽命增加。現今在各種機械、模具、汽車、航太、核能等工業的各種零件到電子零件，全部要求高品質、高機能化，因此對材料的表面改質、硬化技術要求日益升高。因此如何評估元件機械性質及

表面處理的機制，將可提供於元件藉由最後電鍍處理改善機械性質之參考依據。本專題研究探討的方向大致上有下列兩個方向：

(1)在考量電鍍處理成本下，如何設定元件的電鍍參數？

(2)在相同的電鍍製程條件下，分析元件的鍍膜厚度與機械強度間的關係。

此研究的目的是在建立電鍍製程參數設定之參考依據，將可使本局在執行工廠輔導時，提供銅合金元件製造商之製程參考，以促使產業能在控制生產成本及元件之機械性質下，以最經濟的成本進行元件生產，進而提昇產業之競爭能力。

三、 電鍍理論部份

3.1 電鍍方法

金屬材料所製造的產品，大多必須實施表面處理，最常採用電鍍方式作為元件最後表面塗裝處理。電鍍方法依其特徵而有不同的用途，約略介紹如下：

- (1) 電解電鍍。
- (2) 化學電鍍(又稱無電解電鍍)。
- (3) 熔融鍍著法熱浸法。
- (4) 熔射鍍金法。
- (5) 氣相鍍著。
- (6) 真空蒸鍍法 (vapor deposition)。
- (7) 陰極濺鍍法 (sputtering)。
- (8) 電漿離子沈積法 (plasma deposition)。
- (9) 衝擊鍍著 (peen plating)。
- (10) 其他如鋅熱法(sheradizing)、抗熱處理(calorizing)、利用陽極氧化法產生氧膜法及各種化合物皮膜生成法(parkerizing)等。

在上述鍍層方法中，以電解電鍍方式為主流，因為其設備較為簡單，操作容易，投資金額少，在國內電鍍工廠林立，但大都為小型工廠。然而，各小型工廠生產之產品品質良莠不一，為確保本專題研究之可靠性及實用性，本專題研究採用之試片係國內振吉電化廠股份有限公司台南廠生產製造之排水銅器元件。

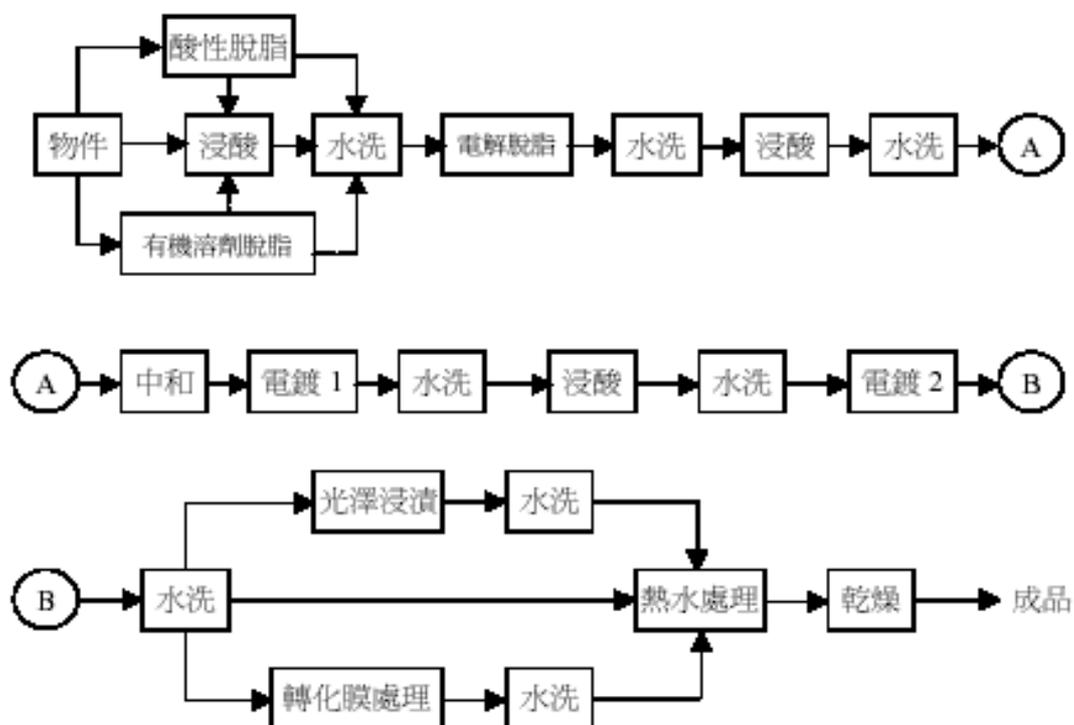
3.2 電鍍原理

電鍍法是將鍍件做為陰極，浸於含欲鍍金屬離子之電解液中，另一端置以純金屬作為陽極。當通入6~24V之直流電之後，電解液中之金屬離子便會聚集於陰極之工件表面上，而此時電鍍液中失去之金屬離子，則由陽極之材料補充。電鍍層之厚度及其在該情形下所表現的性質，則視電流密度、電鍍液溫度、工件表面情況及工件材料的性質而定。

電鍍目的在於表面改質，提高附加經濟價值，例如裝飾性用途，鍍貴重金屬、光澤鎳、鋁等；提高表面硬度，增加耐磨耗性，如鍍硬鉻；增加抗蝕性，如鍍錫、鉛；增加導電性，如鍍銀、銅等。為了達到需求性質，皮膜色澤、硬度、均一性、

被覆力、厚度、鍍接性等，皆是考慮因素，此外，為達到適當管理與鍍浴穩定性，如何分析、補充，都是應考慮的操作要點。

一般金屬物品之詳細電鍍程序如圖一所示。



圖一、電鍍流程圖

對於欲電鍍物件之材質、形狀、加工後情況，必須選擇適當處理方式，方能提供電鍍層之性能。

當電解液受外加電壓作用時，電解質的陽離子向陰極移動，而陰離子向陽極移動，此現象稱為電解(Electrolysis)，在電解時，通入之電流量與析出金屬量，需遵守法拉第電解定律，即第一電解定律與第二電解定律：

第一定律：在陰極析出之金屬量與通入之電量呈正比。

第二定律：在不同電解液中，通入相同電量時，各溶液析出物質質量與其電化當量成正比關係。

在電鍍過程中，對於電解時之電流量與析出金屬量必須作嚴格的控管，因此，定義以1秒鐘通過1安培電流，在陰極析出之物質重量，稱為該物質之電化當量，單位為毫克/庫侖，為使用方便起見，亦可用克/安培一小時為單位，表一為常見金屬之電化當量。

名稱	鋅	鎳	銅	銅	鎳	鎳	錫	錫	鉻	鉻	銀	金	
化合價	2	2	1	2	2	3	2	4	3	6	1	3	
電化 當量	毫克/ 庫倫	0.339	0.582	0.658	0.329	0.304	0.203	0.615	0.307	0.18	0.090	1.118	0.681
	克/安 培-小 時	1.220	2.097	2.372	1.186	1.095	0.730	2.214	1.107	0.647	0.324	4.025	2.452

表一、常見金屬之電化當量[2]

電解時，實際析出重量與依電解定律計算理論值之比例，用百分率表示，稱為電流效率，即

$$\eta = \frac{m}{(I \times t \times C)} \times 100\% \quad (1)$$

式中 m：實際析出重量(克)，

I：通入之電流(安培)

t：時間(小時)

C：電化當量(克/安培一小時)

根據電解定律和電化當量，電流效率公式，可以導出電鍍層厚度之公式為：

$$\delta = \frac{D_k \times t \times \eta \times C}{\gamma \times 1000} \quad (2)$$

式中 δ ：鍍層厚度(毫米)

D_k ：金屬比重

C ：電化當量(安培/平方公分)

雖然可由上述計算式以理論方式推導出電鍍層厚度與電鍍電流的關係，然而對於實際電鍍流程的操作尚存在一些重要的因子會影響著電鍍層的厚度，如極化、過電壓、鍍浴穩定性等等。因此，本專題研究亦將針對固定電鍍電流的操作條件下，分析電鍍層厚度與電鍍時間的關係，並建立銅合金元件之電鍍層厚度成長速率曲線，以作為現場操作參數設定參考依據。

3.3 電鍍層檢驗方法

鍍層依製品的用途及其所要求的功能性不同，需採用的試驗方法及項目亦不

相同，大致可分為下列幾項方法：

- (1) 外觀檢查 (appearance)。
- (2) 厚度試驗 (thickness test)。
- (3) 多孔性試驗 (porosity test)。
- (4) 耐蝕性試驗 (corrosion test)。
- (5) 硬度試驗 (hardness test)。
- (6) 密著性和脆性試驗 (adhesion and brittleness test)。
- (7) 電沈積材料應力分析 (stress in electrodeposits) 。
- (8) 光澤度及平滑度試驗 (brightness and levelling test)。
- (9) 電鍍皮膜的定性分析 (qualitative analysis of electrodeposits)。

選擇適當的試驗方法及品管採樣，才能有效的控制量產過程中不良品的持續產生。但不可諱言的大量生產的過程中，電鍍液的動態平衡管理及鍍液壽命是品質管理與成本間的最大的挑戰。本專題研究因受限於現有檢驗設備不足的因素，故僅實施元件之外觀檢查、厚度試驗、硬度試驗及耐蝕性試驗等檢驗項目，分析比較銅合金元件電鍍層厚度與機械性質改善程度的關係，以作為元件的改質技術重要參考依據。

3.4 電鍍層材質之性能

大多數的金屬皆可做為電鍍層材質，但常用的則僅有鎳、鉻、鎳、銀、鋅、金及錫等數種，其電鍍層材質的選用必須依據需求及母材之種類來決定，就本專題研究之銅合金元件而言，常會採用多層電鍍方式進行表面處理，其電鍍層材質分別為鎳與鉻金屬。由於金屬鎳與金屬鉻具有良好的性質，因此廣泛應用於各式元件的電鍍材，其性質分述如下：

1. 金屬鎳性質：

- (1) 色澤:銀白色，發黃。
- (2) 結晶構造:FCC。
- (3) 比重:8.908。
- (4) 原子量:58.69。
- (5) 原子序:28。
- (6) 電子組態:1S² 2S² 2P⁶ 3S² 3P⁶ 3d⁸ 4S²。
- (7) 熔點:1457 。
- (8) 沸點:2730 。
- (9) 電阻:6.84 uohs-cm。
- (10) 抗拉強度:317 Mpa。
- (11) 電解鎳有較高硬度。
- (12) 大氣中化學性安定不易變色，在 600 以上才被氧化。
- (13) 液中不被溶解。
- (14) 鎳抗蝕性比銅強，銅製品宜鍍上鎳。

- (15) 鎳易溶於稀硝酸，但在濃硝酸形成鈍態不易溶解。
- (16) 鎳在硫酸、鹽酸中溶解比在稀硝酸溶解慢。
- (17) 鎳的標準電位-0.25 伏特，對鋼鐵是屬於陰極性鍍層。
- (18) 只有完全覆蓋鎳才能保護防止生鏽。
- (19) 鎳易於拋光可做為電鍍中間層。
- (20) 當鎳缺乏時可用銅錫合金代替。

2. 金屬鉻性質：

- (1) 色澤：銀白色，略帶藍色。
- (2) 原子量：51.996。
- (3) 比重：7.2。
- (4) 熔點：1900。
- (5) 硬度：800~1000 HB。
- (6) 標準電位：為-0.71 伏特。
- (7) 在潮濕大氣中很安定，能長久保持顏色。
- (8) 在硝酸、硫化物、碳酸塩及有機酸中很安定。
- (9) 易溶於塩酸及熱濃硫酸。
- (10) 在苛性鈉溶液中鉻陽極極易溶解。
- (11) 鉻鍍層耐熱性佳，在 480 以下不變色，500 以上才開始氧化，700 則硬度下降。
- (12) 鉻鍍層優點為硬度高、耐磨性好、光反射性強。
- (13) 鉻鍍層缺點為太硬易脆、易脫落。
- (14) 鉻的電位比鐵負，鋼鐵鍍鉻是屬於陽極性保護鍍層，而鉻本身於大氣中易形成極薄的鈍態膜，所以耐腐蝕。
- (15) 鉻鍍層具多孔性，所以對鋼鐵腐蝕性不很理想，所以一般先鍍銅，再鍍鎳最後再鍍一層鉻才能達到防腐蝕及裝飾的目的。
- (16) 鉻鍍層廣泛應用在提高零件之耐腐蝕性、耐磨性、尺寸修補、反射光，及裝飾等用途。

四、 實驗部份

4.1 試片準備

本專題研究之試片係採用「振吉電化廠股份有限公司台南廠」生產之落水管接合環作為底材，該底材之材質為銅合金金屬。試片底材的製作係採用鑄造方式作為第一道成型加工，再利用車削方式修整試片內外側表面。為利於後續試片之機械強度量測精確度需求，最後以細砂紙對試片進行拋光處理，使本研究試片表面獲得較佳的光滑平面，即完成電鍍試片的製作。

在試片表面鍍層方面，為確保鍍層品質之穩定性及可靠性，本專題研究亦委由「振吉電化廠股份有限公司台南廠」作最後的表面電鍍處理。在同一道電鍍流

程及相同的製程參數設定下，改變不同的鍍層材料的電鍍時間，而製作出不同厚度電鍍層的試片。

4.2 電鍍層膜厚度測

本專題研究之電鍍層膜厚度測儀器是採用本分局較早期的電解式膜厚計，目前市面上的電解式膜厚計如圖一所示。其量測原理[3]係依據鍍層材質的種類選用不同電解液，以一定電流通電於限定面積上之鍍層加以電解，當電解結束時，露出次層金屬，因而檢知發生之電解電壓之變化，而依電解所費時間求得厚度。



圖二、電解式膜厚計

4.3 電鍍層硬度量測

本專題研究之電鍍層硬度量測儀器是採用 SHIMADZU 公司生產的維氏硬度計，如圖二所示。藉由選用不同的鑽石壓子及試驗負荷，可用以量測不同強度材料的表面硬度。其量測原理[4]係依據試件的硬度和厚度來決定鑽石壓子錐尖所需的負荷，用一定荷重（本研究採用 300gf）壓入試件表面約 15 秒，使試片產

生塑性變形之陵形壓痕。釋放開所加之荷重後，利用高倍率的放大鏡觀察試片上的壓痕及量測其寬度，在依據量測的壓痕寬度值查表即可得到試片之表面硬度值，其單位以 Hv 表示之。維氏硬度值 Hv 亦可由下列式子來推導：

$$\begin{aligned}
 H_v &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{2P \sin \theta / 2}{d^2} \\
 &= 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (P = \text{kgf}, d = \text{mm}) \\
 &= 1854.4 \frac{P}{d} \quad (P = \text{gf}, d = \mu\text{m})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

其中，Hv: 維氏硬度值(kgf/mm²)

P: 作用負荷

A: 壓子接處面積

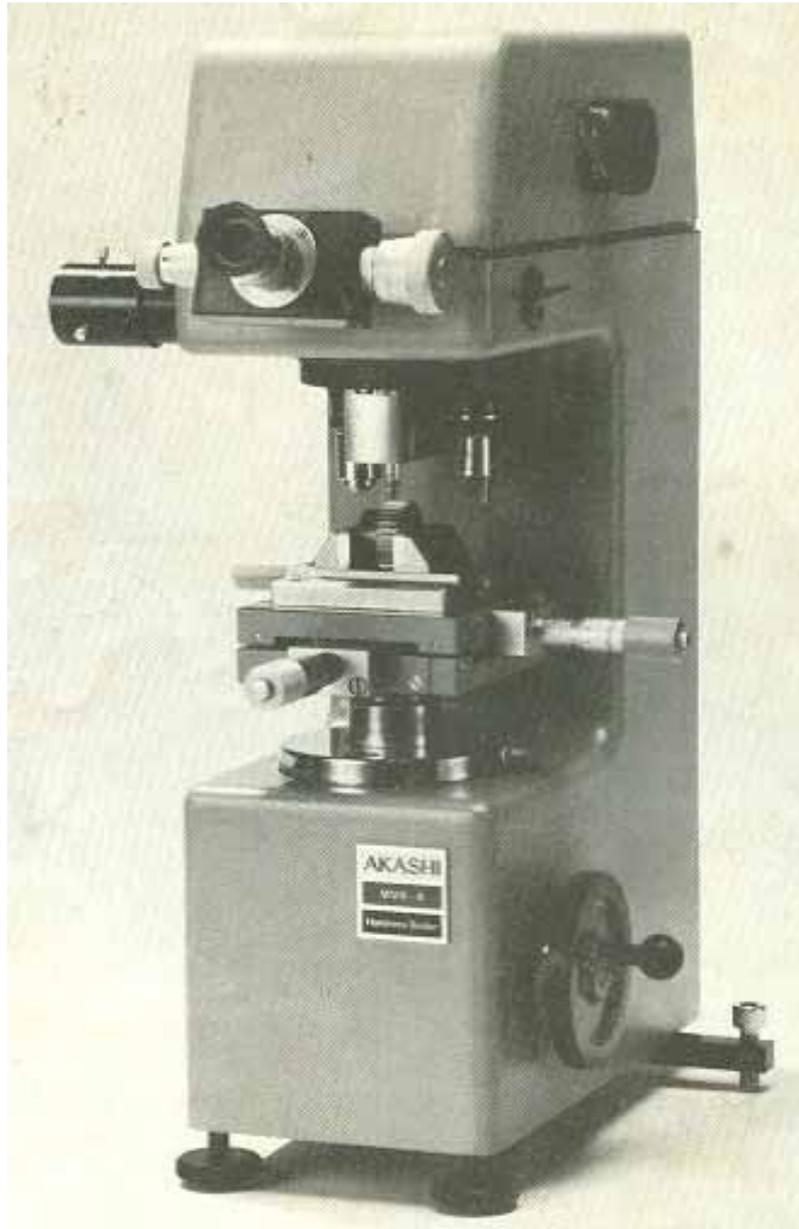
: 鑽石壓子之錐度

d: 壓痕的對角線長度

當採用 40X 的物鏡觀察時， $d=a/2$ (d: μm)

a: 量測接目鏡的讀值

$$H_v = 1854.4 \frac{P}{(a/2)^2} \quad (P = \text{gf})
 \tag{4}$$



圖三、維氏硬度計

4.4 耐蝕性試驗

本專題研究之電鍍層耐蝕性試驗因無鹽霧試驗機，故改以室溫下鹽液浸置方式來替代鹽霧試驗[5]。首先，以蒸留水調製出不同濃度的鹽液，再將試片置入鹽液中。實驗過程中，為避免因水份蒸發而改變各溶液之鹽的濃度，須定時補充各鹽水槽之水量，以確保各容器之鹽液濃度維持在一定值。

鹽液的濃度區分為 5%、10%、15%、20% 及 25% 共五種，試驗時間為 3 個月，定時觀察試片表面銹蝕狀況並作記錄。在銹蝕情形的判定方面，係以相互比較方式定出各試片銹蝕程度，本專題研究中區分為嚴重腐蝕、輕度腐蝕及無腐蝕等三個等級。

五、 實驗結果與討論

5.1 膜厚度測

本專題研究利用電解式膜厚計進行試片膜厚度測，量測紀錄如表二所示。

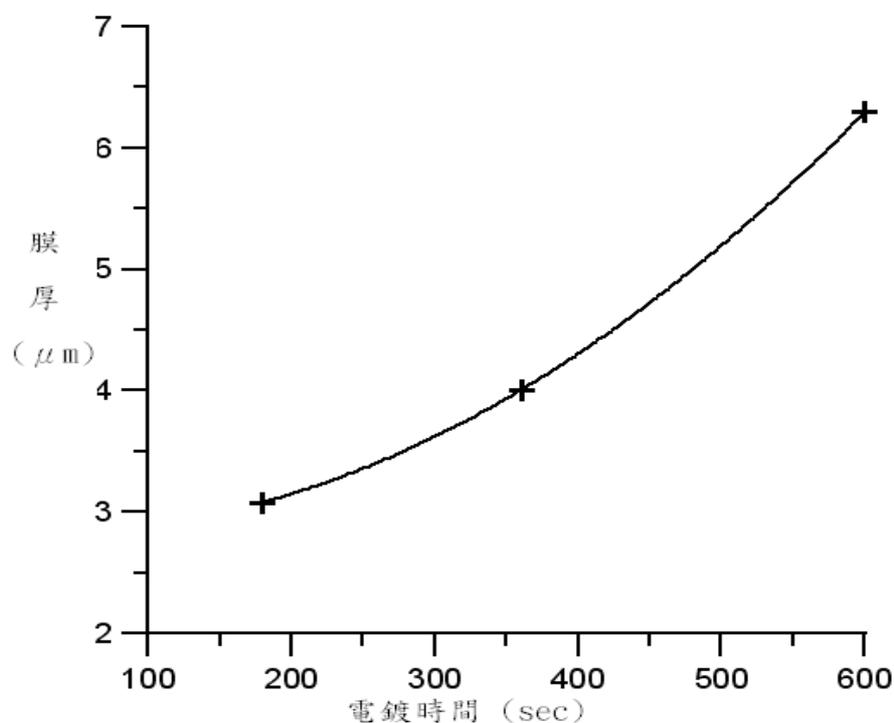
鎳電鍍 時間 (sec)	鉻電鍍 時間 (sec)	鍍層 種類	膜厚度測值 (μm)					鎳層膜厚 平均值 (μm)	鉻層膜厚 平均值 (μm)
			第1次	第2次	第3次	第4次	第5次		
180	60	Ni	1.80	3.60	1.80	3.10	3.90	3.08	0.22
		Cr	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22		
	180	Ni	2.50	1.70	2.20	3.20	4.10		0.50
		Cr	0.50	0.40	0.57	0.39	0.64		
	300	Ni	1.90	3.90	3.70	4.30	4.50		0.60
		Cr	0.42	0.67	0.69	0.63	0.58		
360	60	Ni	1.80	3.10	3.30	5.40	4.60	4.01	0.21
		Cr	0.22	0.20	0.18	0.23	0.21		
	180	Ni	5.30	3.60	4.10	3.80	4.20		0.56
		Cr	0.47	0.66	0.69	0.48	0.50		
	300	Ni	3.90	5.40	3.90	4.60	3.20		0.70
		Cr	0.73	0.73	0.64	0.67	0.73		
600	60	Ni	7.08	6.77	7.09	12.54	6.98	6.30	0.11
		Cr	0.10	0.12	0.11	0.12	0.11		
	180	Ni	5.23	6.24	7.00	9.73	3.85		0.28
		Cr	0.20	0.24	0.27	0.40	0.28		
	300	Ni	4.80	4.30	4.70	4.80	3.40		0.82
		Cr	0.59	0.94	0.98	0.80	0.81		

表二、試片膜厚度測紀錄

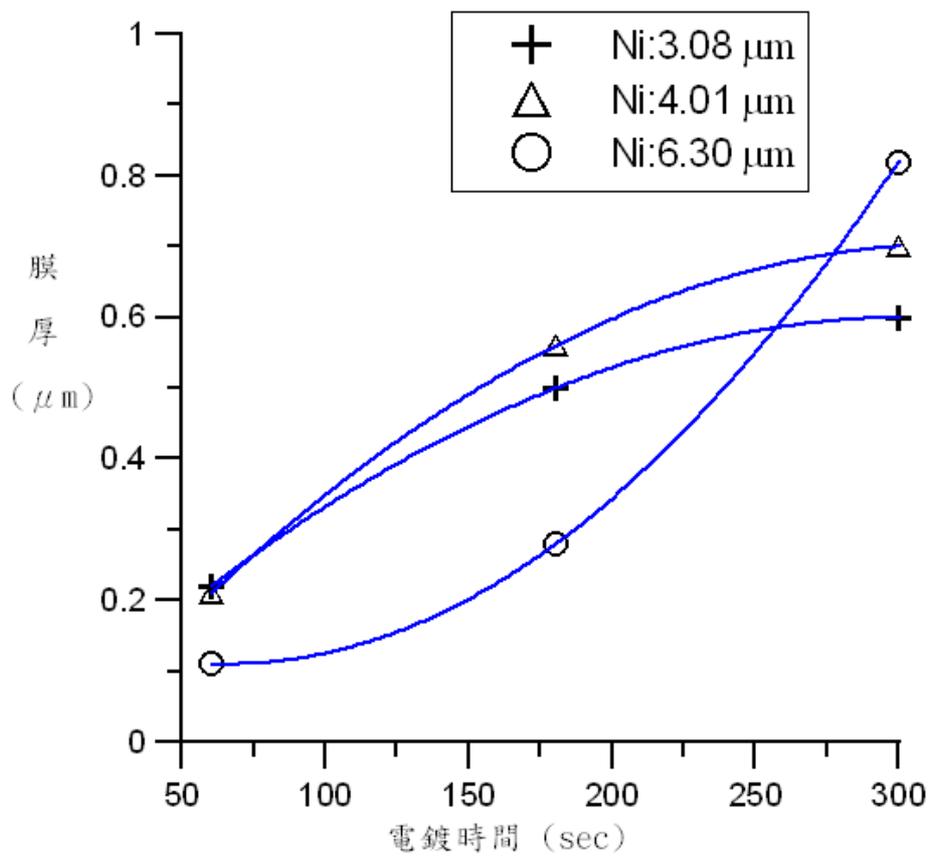
在電鍍流程中，對於電鍍效率的分析將有助於製程人員從事控制參數的設定。就本專題研究參數設定而言，所有試片在固定電流的條件下，利用電鍍的時間來控制各鍍材金屬的膜厚。

圖四為鎳鍍層膜厚與電鍍時間的關係圖，由圖中可看出鎳鍍層膜厚與電鍍時間呈現二次曲線之正比關係，與方程式(2)之線性關係略有不同。此現象推測是由於試片表面有微凹陷情形並非為完全光滑的平面，使得電鍍初期部分的鍍層材質會先填平微凹陷的部分，在後期因試片上已因初期電鍍後變得較為平坦，故後期的電鍍效率會有明顯的增加趨勢。

圖五為不同鎳鍍膜厚度下再電鍍上鉻金屬之膜厚與電鍍時間的關係圖，由圖中可看出在先鍍上不同厚度的鎳金屬層之後，接著再電鍍上鉻金屬層，其鉻層膜厚與電鍍時間亦呈現二次曲線之正比關係。當鎳鍍層增加時，鉻鍍層的厚度增加率會有加速的趨勢，此現象與圖四推測的因素相吻合。當試片表面之微凹陷情形愈少時，電鍍層的成長效果會更明顯。但當鎳金屬層厚度過大時，初期的鉻鍍層成長效率反而較差，此現象推測試片表面之鎳鍍層過度平滑將不利於初期的鉻金屬層成長。因此，試片表面上鎳金屬層存在一個較佳的膜厚值，可使鉻鍍層初期成長率獲得明顯的提升，由本專題研究結果推測銅合金之鎳鍍層約為 $4.01\mu\text{m}$ 。但就後期鉻電鍍層成長效率而言，增加鎳鍍層的膜厚對於鉻鍍層成長效率確實有較明顯的增加趨勢。



圖四、鎳鍍層膜厚與電鍍時間的關係圖



圖五、不同鎳鍍膜厚度下再電鍍上鉻金屬之膜厚與電鍍時間關係圖

5.2 硬度量測

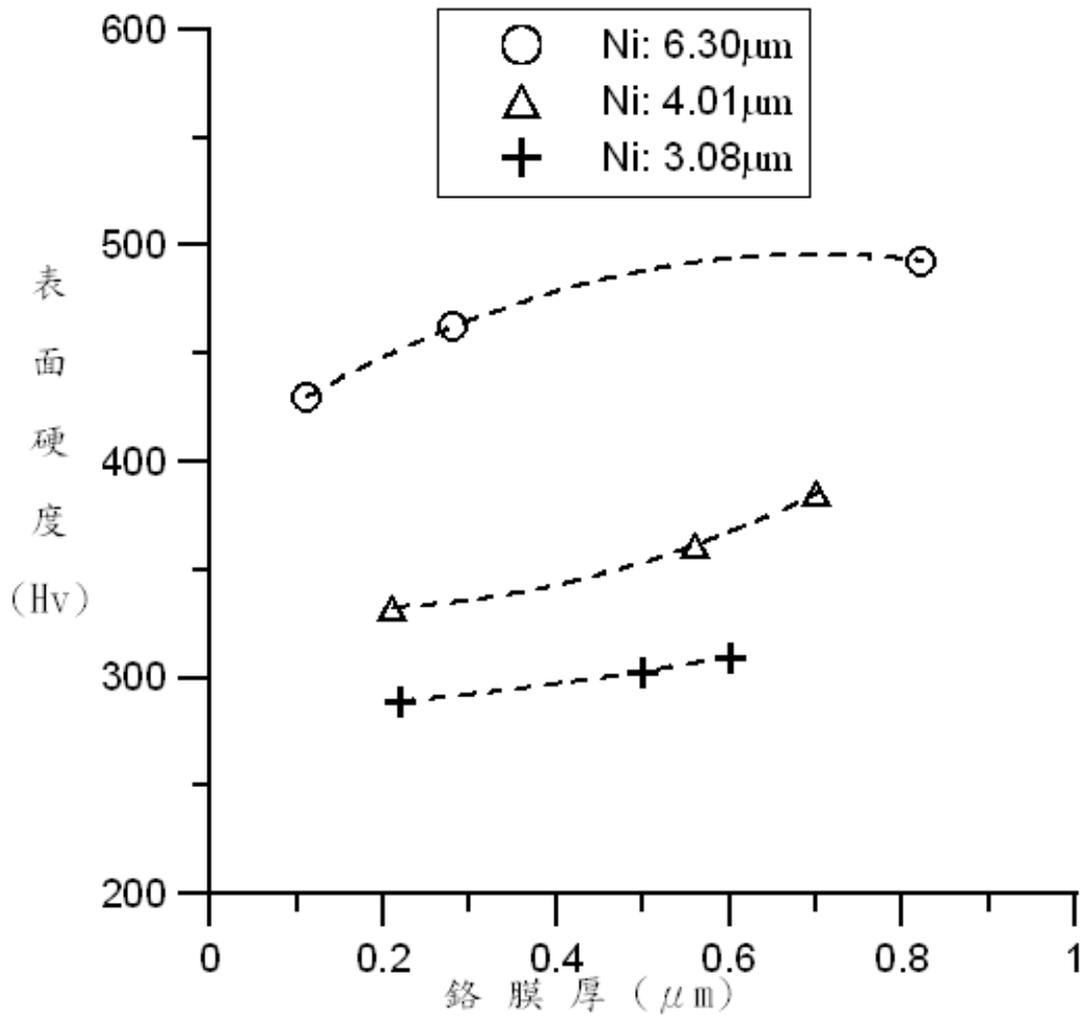
本節利用維氏硬度計進行試片表面硬度量測，量測紀錄如表三所示。

鎳層膜厚 (μm)	鉻層膜厚 (μm)	硬度量測值 (Hv)					平均值 (Hv)
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	
3.08	0.22	269.00	297.50	315.00	269.00	294.00	288.90
	0.5	308.00	315.00	275.00	308.00	308.00	302.80
	0.6	301.00	315.00	315.00	308.00	308.00	309.40
4.01	0.21	339.00	339.00	323.00	323.00	339.00	332.60
	0.56	357.00	357.00	323.00	385.00	385.00	361.40
	0.7	385.00	385.00	396.00	375.00	385.00	385.20
6.3	0.11	454.00	396.00	429.00	429.00	441.00	429.80
	0.28	467.00	429.00	454.00	481.00	481.00	462.40
	0.82	527.00	527.00	467.00	418.00	527.00	493.20

表三、試片表面硬度量測紀錄

就材料之電鍍調質的程度而言，建立鍍層厚度與其機械性質的關係，將有助於設計人員從事產品應用範圍的規劃，以避免設計出不適用的元件或不經濟的生產流程。本專題研究在固定電鍍電流的製造條件下，製作出各種不同鍍膜厚度的銅合金元件，分析鍍膜厚度對元件表面硬度的影響。

圖六為不同鎳鍍膜厚度下再電鍍上鉻金屬之膜厚與表面硬度關係圖，由圖中可看出，在固定電鍍金屬鎳厚度下，元件的硬度會隨著鉻電鍍層厚度增加而呈現二次曲線正比關係，但其增加速率有逐漸減緩的現象。換言之，銅合金元件藉由電鍍硬鉻改善其本身之硬度會有一定的限度。在增加鎳金屬層的厚度下，對於試件的表面硬度亦有明顯的改善效果。在元件表面硬度增加率中，鎳金屬層厚度約在 $4.01\mu\text{m}$ 時，對於表面硬度改善率會有較明顯的加速趨勢。



圖六、不同鎳鍍膜厚度下再電鍍上鉻金屬之膜厚與表面硬度關係圖

5.3 耐蝕性試驗

本專題研究之電鍍層耐蝕性試驗因無鹽霧試驗機，故改以室溫下鹽液浸置方式來替代鹽霧試驗，試驗觀察結果如表四所示。

鍍層膜厚 (μm)	鍍層膜厚(μm)	腐蝕程度				
		5%鹽液	10%鹽液	15%鹽液	20%鹽液	25%鹽液
3.08	0.22				x	x
	0.5					x
	0.6					
4.01	0.21					
	0.56					
	0.7					
6.3	0.11					
	0.28					
	0.82					

x：嚴重腐蝕； ：輕度腐蝕； ：無腐蝕

表四、試片耐腐蝕觀察結果紀錄

金屬元件表面電鍍處理目的為防蝕與改善機械強度，因此，元件的耐蝕性分析對於其應用性有著重要的影響性。本專題研究採用鹽液浸置試驗分析元件之耐腐蝕性，結果發現鍍層之銅合金元件大致上對於耐鹽液侵蝕能力都非常的良好，僅有在較小的鍍層及鍍層厚度時，元件在高濃度鹽液中會產生輕微的斑點。由表四可看出鍍金屬層厚度約在 $4.01\mu\text{m}$ 以上時，元件的耐鹽液侵蝕性就有很好的效果。

六、 結論

本專題研究利用實驗的方法探討銅合金元件，藉由電鍍上不同膜厚的鎳與鉻之後，對元件之機械性質改善程度進行比較分析，由研究結果可得到下列的結論：

- (1)在相同的電鍍電流條件下，金屬鎳與鉻的電鍍效率並非呈現一定值，而是與電鍍時間呈現二次曲線之正比關係。
- (2)在固定電鍍金屬鎳厚度下，元件的硬度會隨著鉻電鍍層厚度增加而增加，但其增加速率有逐漸減緩的現象。換言之，銅合金元件藉由電鍍硬鉻改善其本身之硬度會有一定的限度。
- (3)在耐鹽液腐蝕性試驗中，發現一般鍍層之銅合金元件在室溫下，浸置於各種濃度的鹽液中皆有良好的耐蝕效果。
- (4)當鎳金屬層厚度約在 $4.01\mu\text{m}$ 時，對於鉻鍍層成長率、表面硬度改善率及耐鹽液腐蝕性均有較佳的結果。

參考文獻

1. 邱雲堯, 陳佳萬, 張安欣等譯, " 機械製造 ", 文京圖書有限公司 (2002)。
2. 熊楚強, 王月, " 電化學 ", 文京出版社 (1997)。
3. CNS4161 H2043 金屬鍍層用電解式厚度測定法 (76年9月17日版)。
4. CNS7094 Z8017 維克氏及諾布氏顯微鏡下硬度試驗法 (72年7月11日版)。
5. CNS4158 H2040 表面處理用鹽水噴霧試驗法 (76年9月17日版)。