

## 無電鍍層技術應用於塑膠工業元件的表面機械性質之探討

賴峯民<sup>1</sup> 蔡佳吟<sup>2</sup> 藍峻祥<sup>2</sup> 楊宸賢<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大葉大學材料科學與工程學系

<sup>2</sup>大葉大學工業工程與科技管理學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

### 摘 要

本文的目標是塑膠元件使用表面處理方法，使元件具有較佳的機械性質。所以本文利用無電鍍方法為塑膠元件做表面處理，使塑膠元件上披覆一層薄薄的鎳磷鍍層，具有耐磨耗的特性。無電鍍的前處理包含除油、粗化、敏化活化等過程。本文分別在粗化過程中討論不同砂紙號數及敏化活化過程中討論不同浸泡時間與次數，以探討鍍層的表面附著力及厚度、以及不同 pH 值鍍液的鍍層效果之比較。在理論分析方面，並利用 ANSYS 軟體建模型進行力學行為分析，利用實驗與理論方法求取試片受拉力時的破壞力及最大剪應力，利用 MTS 拉伸試驗機求得試片受拉力時的破壞力，藉由實驗的破壞力代入 ANSYS 分析模型中求得鍍層的最大剪應力，並由理論分析值與實驗數據進行比較，證明理論分析正確性。最後，利用實驗方法與過程制定出最佳鍍層參數及實驗程序。

**關鍵詞：**無電鍍，耐磨耗，粗化，敏化活化，破壞力，剪應力

## Surface Mechanical Properties of Plastic Industrial Components for Electroless Coating Technology

FENG-MIN LAI<sup>1</sup>, CHIA-YIN TSAI<sup>2</sup>, CHUN-HSIANG LAN<sup>2</sup> and CHEN-MAO YANG<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Department of Materials Science and Engineering, Da-Yeh University*

<sup>2</sup> *Department of Industrial Engineering & Technology Management, Da-Yeh University*

*No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.*

### ABSTRACT

The purpose of this study was to apply surface treatment methods to provide favorable mechanical properties in plastic materials. In this study, we applied electroless plating technology to the surface treatment of plastic materials, such as plastic components that are Ni-P plated on surfaces to improve wear resistance. The pretreatment processes of electroless plating include oil removal, roughening, and sensitization/activation. This paper discusses the effects of applying various sandpapers to plastic materials. In the sensitization/activation process, the number of soak take the bath affects the surface adhesive force and thickness of the plating; therefore, this paper discusses the effect of different pH values involved in the sensitization/activation process. In the theoretical analysis, this study also used ANSYS analytic software to analyze the mechanical behavior of Ni-P



plating. In addition, experimental and theoretical methods were applied to study the failure loads and maximal shear stresses of specimens under tensile loading conditions. Failure loads are determined using an MTS testing machine. The proposed ANSYS analytic methods, combined with experimental failure loads, are used to predict the maximal shear stresses of Ni-P plating specimens. The experimental results are then used to verify the accuracy of the proposed analytical methods. Finally, this paper summarizes the experimental methods and processes to determine the optimizing process parameters.

**Key Words:** electroless plating, failure load, roughness, sensitization/activation, shear stresses, wear resistance

## 一、緒論

以前的傳統產業工作機台大多使用的零件為金屬材質，具有不易損壞、耐磨、耐用的特性，但礙於金屬材料成本較高，所以現今工業界中，傳統機械為節省元件成本，其部分元件均改採用工業用塑膠，可降低機台價格，方可與大陸商品相互抗衡，卻發現研發後使用壽命降低，所以業者常會要求其工作機之機械元件具有耐磨耗、耐腐蝕、耐高溫等條件，可提高工作機之壽命、降低成本、提高生產量。就成本而言，塑膠元件的確占有極大的優勢，若經表面處理、加工能提高元件的耐磨耗、耐腐蝕、耐高溫等特性，其潛力不容小覷。本文採用無電鍍層方法或奈米塗料來探討其可行性，值得開發此技術應用於塑膠機械產品，以此為目標，探討兩種塑膠材料 PE、ABS 的耐磨耗等特性，兩種塑膠皆具有質量輕、製造成本低兩大特點。將來可大量應用於工業用之工作機台，如打包機的導引片、惰輪等，增加機台的使用壽命。

目前無電鍍法為一種熱門技術，無電鍍法之優點在於不需要外加電壓、亦不需要外加特殊設備、且具有鍍層均一性 [1]，其被鍍物不需為導體，可廣泛應用於塑膠、陶瓷、玻璃等材料，中正理工陳科吉、國立雲林科技大學黃博辰與國立虎尾科技大學謝淑惠皆探討到無電鍍鍍之技術 [6-8]。鍍磷合金具有高硬度及耐磨性佳等特性，常被應用於汽車、航空、食品、印刷及化工等載具與設備的汽缸、活塞、轉軸、壓縮機、壓滾或成型模具等零件上的鍍層，中央大學侯光煦亦探討鍍磷合金鍍層之磨潤特性 [2]。李正國教授的研究討論到無電鍍鍍磷合金的鍍液製備過程 [9]，以及無電鍍鍍磷鍍層改善材料之硬度與耐磨耗性質 [10]，並探討無電鍍（鍍磷）鍍層對界面活性之影響 [11, 12]。因此由國內外學者的文獻發現，少有對塑膠材料元件的無電鍍層技術之開發，因此本文特別對於塑膠材料元件的無電鍍層來提升表面的機

械性質，可以應用於自動化工業機器的各項元件之研發，對於產業界可以降低成本，減輕重量及提高機械強度極大的幫助。

本文研究方向主要是從研究出塑膠材質的鍍層技術，接著檢測材料的表面硬度，由電鍍的前處理步驟：除油、粗化、敏化活化，經由前面三大步驟到電鍍液的調配，進行塑膠材質之導板、惰輪、切斷刀具的無電鍍鍍層（可應用於自動化機械工業），藉由拉伸實驗來觀察鍍層之表面附著力，最後進行耐磨耗疲勞測試，並由實體裝機測是對實驗做修正，耐磨機械元件開發。

## 二、基本理論

### （一）無電鍍（Electroless Plating）法

無電鍍技術的發明早在 1946 年由 Brenner 和 Riddell 所提出 [13]。無電鍍在反應過程中不需外加電流，故又可稱為化學鍍（chemical plating）或自身催化電鍍（autocatalytic plating）。無電鍍法是指在水溶液中的金屬離子在被控制的條件下，進行化學的還原反應，它是一種不需電力控制，只靠化學自身反應，使金屬離子還原成金屬而析鍍於基材表面達到鍍層效果。

無電鍍的特性 [5] 在於（1）它的鍍層非常均勻，具有均一性，由於它沒有電流分佈不均的困難，所以鍍件內外都顯出均勻，銳邊及角等節狀鍍層情形可完全消除。（2）鍍層孔率較少，其耐蝕性比電鍍為佳。（3）省略繁複的電器設備。（4）可鍍於非導體的表面（需做適當前處理）。（5）鍍層具有獨特的化學性質、機械性質或磁性。（6）複合鍍層（composite-coating），多元合金（co-deposit）可形成。密著性、耐磨性良好。（7）精密零件、管子、深孔內部可完全鍍上。應用在如軸心、半導體製造。（8）製品與導體接觸也可完全鍍上。



其應用非常廣泛，像非導體的電鍍（如塑膠電鍍，圖 1）、精密零件（如軸心）、半導體、印刷電路板、電子零件、以及須特別耐蝕的化學機械零件，如管件內部和複合、多元合金鍍層製作。

### 1. 無電鍍鎳磷（electroless nickel-phosphorus）

鎳磷合金鍍層具有硬度高、耐磨性佳、抗酸鹼、低磁或非磁性等特點，所以鎳磷合金鍍層在工業元件的表面處理上，是個很重要的材料，而製造鎳磷合金的方法眾多，如鑄造、無電鍍鎳磷合金等。目前以無電鍍鎳磷技術而言，可算是一個相當成熟的技術，其實驗流程如圖 2。

在無電鍍鎳中的重要因素為觸媒作用（catalytic action），鈦、鉑等週期表中第八族元素，其原子表面極易吸收氫原子，在比較高溫度時，次磷酸根離子極不穩定，放出氫原子，被觸媒金屬吸收，引發無電鍍鎳反應。以 pH 值而言，在較酸性情況下，鎳析鍍速率較緩慢，一般酸型無電鍍鎳液之 pH 值在 4.6~4.8 之間，超過 pH 5.0 析鍍速率快；鹼型鍍液之 pH 值則控制在 8.5 與 9.5 之間，在 10.0 以上鍍液不穩定。析鍍速率與操作溫度有關，在 65°C 以下析鍍速率緩慢，超過 95°C 以上易分解，通常操作溫度範圍 80~90°C 間較適當。但考慮到所選擇之材質為塑膠元件（ABS、PE），



圖 1. 無電鍍塑膠零件

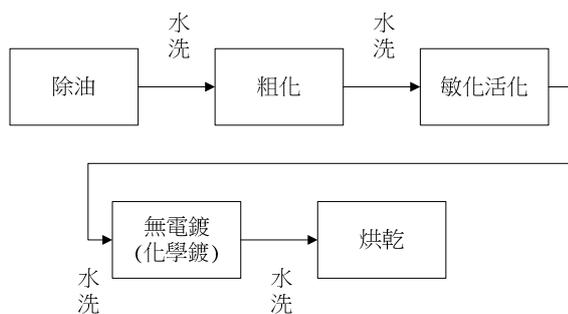


圖 2. 無電鍍鎳之實驗流程圖

耐熱溫度約在 80°C，所以實驗溫度多設定在 65°C。

### 2. 無電鍍前處理

塑膠本身為非導電物件，要使它能在無電鍍中反應須進行敏化活化的步驟。塑膠表面又為疏水性材質，要促使塑膠表面具親水性，需增加其表面粗糙度。本文使用砂紙增加塑膠元件的表面粗糙度（圖 3），使它能容易於吸附敏化液，進行無電鍍的還原反應。敏化（sensitized）及活化（activated）的階段對於塑膠電鍍來說，是非常重要的步驟，因塑膠為非導體元件，無法利用金屬離子的鍵結使離子析鍍上物件，藉由敏化及活化的催化，使之在無電鍍反應中，被鍍物能順利的鍍層上去（圖 3）。

表面活化與敏化主要是活化基材表面或使鈍性基材敏感化。為了使活化處理能容易進行，基材須在特定的還原性溶液中浸漬，以促進表面敏感化，此還原性溶液稱為敏化溶液。活化的目的是為了在基材表面上吸附一層具催化性的金屬離子，從而使整個基材表面順利地進行化學反應。常用的活化處理方法有敏化活化法（分步活化法）和膠體溶液活化法（一步活化法）。本文採用膠體溶液活化法，活化液使用的是錫鈦膠體，錫鈦膠體已被應用在無電鍍工業上近三十年，是業界最廣為應用的活化劑 [3]。

### （二）磨耗理論

依據 ASTM 對磨耗（wear）的定義 [4]：在負荷作用下，兩材料表面相互接觸並進行相對運動，造成材料表面產生移除的行為。磨耗主要是由於物體表面受剪力的結果，若想了解滑動磨耗就必須了解表面層的變形機構、表面力的傳遞及裂縫的成長及延伸（propagation）。在許多磨耗情形中可能同時具有多種機構存在，而決定磨耗機制的因素則包括材料性質與輸入能量（如溫度、負荷、相對運動速度），及接觸面的幾何形狀、材料對熱、摩擦化學穩定性及環境溼度等。

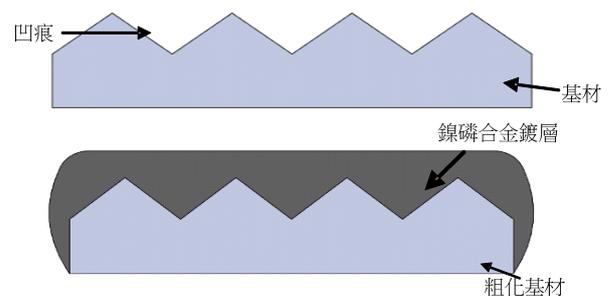


圖 3. 鎳磷合金鍍層之示意圖



### 三、研究方法

本文以無電鍍鎳磷技術應用於塑膠工業元件上，藉此提高塑膠工業元件的表面耐磨及硬度等特性，並由拉伸試驗觀察鍍層的表面附著力、製作標準試片進行耐磨耗實驗。

#### (一) 無電鍍鎳磷實驗

本文以鎳磷鍍液的氧化還原反應，使塑膠基材上披覆鎳磷鍍層，觀察無電鍍後塑膠元件之耐磨耗情形。無電鍍鎳磷的原理是鍍液中的還原劑氧化產生電荷，使鎳磷離子還原在被鍍物的表面。為了使鎳磷離子成功的在被鍍物表面還原，被鍍物表面須要有催化活性，因此在無電鍍前必須對被鍍物表面進行前處理。前處理一般分為以下步驟：除油、粗化、敏化活化。圖 4 為前處理（除油、粗化、敏化活化）至無電鍍流程圖。

##### 1. 除油、粗化

除油的目的是在於將試片表面多餘的油脂、毛劑等異物清潔乾淨，並以砂紙將試片表面粗化，使試片具親水性表面，以利於活化液的吸附。

砂紙挑選美規耐水砂紙，砂紙單位為 CW (C 為基重)，砂紙號數指每一平方吋的網目數。利用切割機製作出試片，以研磨拋光機去除毛邊後，進行粗化，粗化又分為物理粗化與化學粗化，本文之實驗基材為塑膠不適用化學粗化，故採用物理粗化。以砂紙將試片表面欲鍍層之區塊磨過 (圖 5)，以清水洗淨，用洗潔精將試片表面之油垢搓洗乾

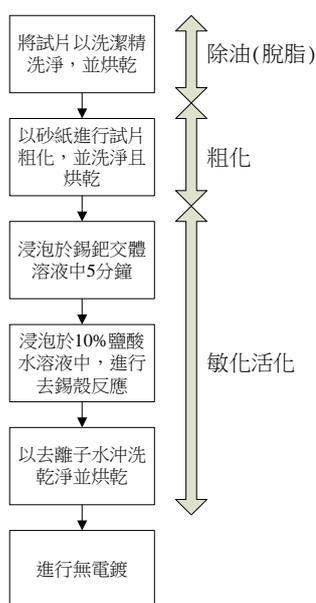


圖 4. 無電鍍前處理流程



圖 5. 粗化完成之試片

淨，浸泡於酒精中以超音波振盪機清洗，取出並以拭淨紙擦拭或以吹風機吹乾。

本文所探討砂紙數有 100 Cw、240 Cw、400 Cw、600 Cw、800 Cw，經過初步實驗後，取 240 Cw、400 Cw 進行探討。

##### 2. 敏化活化

表面敏化與活化主要是活化基材表面或使鈍性基材變敏感化。為了使活化處理能容易進行，基材須在特定的還原性溶液中浸漬，以促進基材表面敏感化。而活化的目的是為了在基材表面上吸附一層具催化性的金屬離子，從而使整個基材表面順利地進行化學反應。本文主要探討敏化活化液對其電鍍表層的厚度及耐磨耗之影響，採用活化方法其流程如下：

- 調配錫鈮膠體觸媒溶液：將鹽酸緩慢倒入去離子水中，調配出鹽酸水溶液，並將錫鈮體原液倒入，調配出錫鈮膠體觸媒溶液 (300 ppm)。調配鹽酸水溶液：將鹽酸與去離子水以比例 1:9，調出 10% 的鹽酸水溶液。將經過洗淨的試片浸泡於錫鈮膠體觸媒溶液內 (圖 6)，約 5 分鐘後取出，以去離子水緩慢洗淨表面。
- 進行去錫殼反應，試片浸泡在 10% 鹽酸水溶液中，約 1 分鐘後取出，以去離子水洗淨即可。活化完之導板試片水洗乾燥後即可進行無電鍍反應。



圖 6. 試片浸泡錫鈮膠體觸媒溶液



### 3. 無電鍍鍍磷步驟

經由無電鍍鍍磷使基材表面批覆一層薄薄的鍍層，增加基材表面的機械性質。探討不同 pH 值的鍍層效果，其實驗流程如圖 7。

本文所用之藥液成分為外購，因此主要成分內容未經廠商許可，不以公佈。

#### (二) 表面鍍層附著力之試驗

本文以拉伸試驗來觀察表面附著力，並用耐磨耗試驗機檢測塑膠元件經無電鍍後，其耐磨耗的特性。

實驗均以 500 ml 溶液進行無電鍍，面積大小為 5 cm\*2.45 cm，V/A 為 40.81。

#### 1. 拉伸試驗

材料在受到拉力時，材料在彈性範圍內及塑性範圍內，材料抵抗伸長變形的能力及斷裂的特性。本文將塑膠板製作成拉伸標準試片（圖 8-9）。

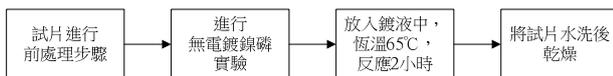


圖 7. 無電鍍鍍磷流程圖

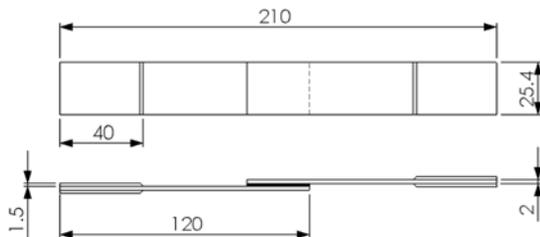


圖 8. 拉伸試片規格（單位：mm）

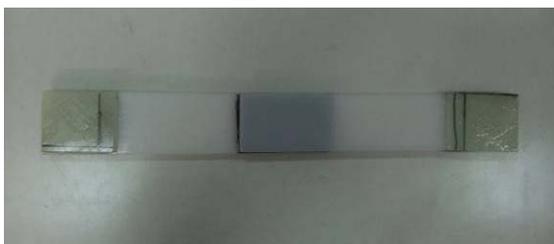


圖 9. 拉伸試片製作

透過拉伸試驗機（SHIMADZU AG-25TE，圖 10）測出塑膠板之表面鍍層附著力，並利用金相顯微鏡，觀察其斷面變化。

#### 2. 耐磨耗試驗

磨耗是兩個固體表面互相接觸，經由摩擦而使表層材料脫落的現象。本文在無電鍍鍍磷後，藉由 Block-on-Ring 耐磨耗試驗機來觀察塑膠材質的導板試片的損耗量。

本文將依據以下實驗步驟進行導板耐磨耗試驗，主要是採用乾式試驗，步驟如下：

步驟一：利用 CNC 車床將試片裁切程標準試片（圖 11 及圖 12），其試片尺寸為外徑直徑 20 mm、內徑直徑 13 mm 及高 10 mm。



圖 10. 拉伸試驗

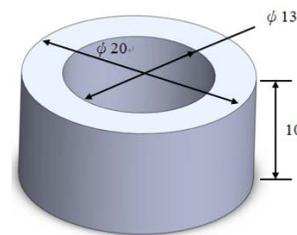


圖 11. 標準試片示意圖



圖 12. 耐磨耗標準試片



步驟二：將裁切好的試片利用研磨拋光機去除毛邊，採用水砂紙的粗度 800 Cw~1200 Cw 及研磨機轉速約為 200~300 rpm，同時也須將試片內徑去除毛邊。

步驟三：將研磨後之試片浸泡於酒精，且放入超音波震盪機約為 2~3 分鐘。

步驟四：以鑷子夾取清潔過後之試片，等待酒精揮發後放入電子天秤測其重量。

步驟五：將試片套入耐磨耗機之軸心，並於兩側放置鐵氟龍 (teflon)，若內徑太大可用止洩帶加強固定。

步驟六：利用酒精輕輕擦拭陶瓷磨頭，並將其輕放於試片上 (圖 13)。

步驟七：啟動取值系統，設定後開啟耐磨耗試驗機，轉速 204 rpm，測試 2 小時，荷重 2 Kg。

步驟八：最後將摩擦力數值 Data 轉成 Excel 檔存檔，再將試片放入電子天秤測其重量即完成。

### (三) 楊氏係數檢測

不同的物體在相同的應力下，有不同的應變，此種性質可由應力與應變的比值來表示，稱為楊氏係數 (Young's Module)。簡單來說，材料在拉伸與壓縮的實驗中，當材料受力在彈性階段時，應力與應變成線性關係。應力為單位面積所承受的作用力。應變為物體受到應力或剪應力作用，所引起的大小或形狀的相對改變量。

#### 1. 試片製作

本文分別製作 ABS、PE 材質試片及 ABS、PE 表面鍍磷鍍層試片由拉伸實驗求得各材質試片的楊氏係數。並利用公式求得 ABS、PE 材質及鍍磷鍍層之楊氏係數與浦松比 (圖 14)。

架設取值系統，將試片之應變規連接取值系統 (圖 15)，開始拉伸。由取值系統取得應力值、應變值，求得楊氏係數。



圖 13. 陶瓷模頭放於試片上

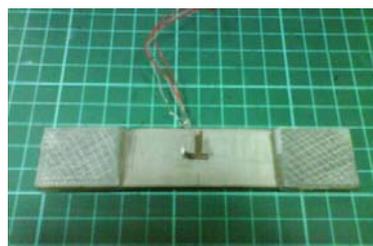


圖 14. 基材鍍磷鍍層試片黏貼應變規



圖 15. 將試片上之應變規連接取值系統

由複合材料力學混合法則，我們可以公式 (1-3) 求得基材及鍍磷鍍層楊氏係數。

$$E_t = E_b \times V_b + E_p \times V_p \quad (1)$$

$$V_b = \frac{v_b}{v_t} \times 100\% \quad (2)$$

$$V_p = \frac{v_p}{v_t} \times 100\% \quad (3)$$

其中

$E_t$  為總體楊氏係數 (GPa)， $E_b$  為基材楊氏係數 (GPa)， $E_p$  為鍍層楊氏係數 (GPa)， $V_b$  為基材體積百分比， $V_p$  為鍍層體積百分比， $v_t$  為總體積 ( $\text{mm}^3$ )， $v_b$  為基材體積 ( $\text{mm}^3$ )， $v_p$  為鍍層體積 ( $\text{mm}^3$ )。

由表 1 厚度數據顯示，將數值代入公式 (2) 及公式 (3) 可計算出各材質及鍍層的體積百分比，如表 2 所示。

表 1. 鍍層前後的各種材質之厚度比較

材質 \ 厚度	基材厚度 (mm)	總厚度 (mm)	鍍層厚度 (mm)
ABS	1.983	2.005	0.022
PE	1.851	1.880	0.029



表 2. 各種材質的基材與鍍層體積百分比

材質	體積百分比	基材體積百分比 $V_b$	鍍層體積百分比 $V_p$
ABS		0.989	0.011
PE		0.985	0.015

由表 3 實驗數據代入公式 (1) 可求得 ABS 材質、PE 材質及鍍磷鍍層的材料常數，如表 4 所示。

#### 四、有限元素分析

本文以有限元素分析軟體 ANSYS 來建立分析模型，針對基材的耐磨耗性質及基材經由無電鍍反應披覆上鍍磷鍍層之耐磨耗性質，分別進行比較。利用有限元素分析軟體可節省實驗時間及成本，可分析出實驗結果趨勢。

摩擦力為物件表面受到剪力，使物件產生相對運動。本文分別建立 ABS 材質及 PE 材質的模型進行比較，在平板上施以剪力，模擬平板上表面的摩擦力，分析出平板表面剪應力分佈，藉由此推斷平板表面磨耗情形。本文另分析出平板上披覆鍍磷鍍層後，判斷其表面磨耗情況，比較平板鍍層前後，其表層剪應力分布結果。另外，本文在拉伸實驗上，模擬拉伸實驗時試片各層之間的應力變化，藉以判斷 2 種塑膠基材 ABS 材質及 PE 材質的附著力效果。利用電腦輔助軟體 ANSYS 分析鍍磷鍍層於平板上，施以剪力，鍍磷鍍層之破壞情況。

##### (一) 有限元素模型建立

本文使用 SOLID45 實體元素 (圖 16)，建立平板鍍磷鍍層模型，以電腦模擬分析鍍層因摩擦力而產生磨耗情形，

表 3. 基材及基材鍍層總體楊氏係數

材質	材料常數	基材楊氏係數 (GPa)	基材鍍層的總體楊氏係數 (GPa)
ABS		2.74	2.79
PE		1.08	1.18

表 4. 基材及鍍磷鍍層材料常數

材質	材料常數	楊氏係數 (GPa)	浦松比
ABS 基材		2.74*	0.380
PE 基材		1.08*	0.445
鍍磷鍍層		7.43**	0.230

註：\*為 2 組試片求得之平均值。

\*\*為 ABS 及 PE 兩種材質取平均值。

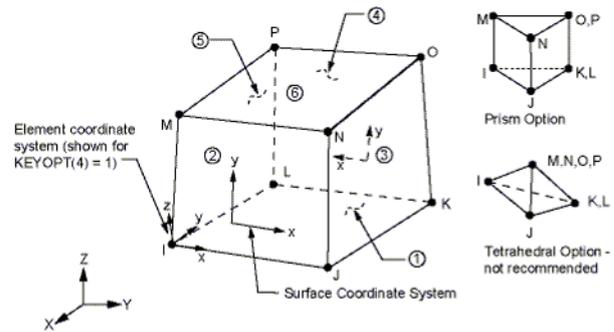


圖 16. SOLID45 元素

其平板受力情形為剪力，了解層間剪應力之變化。

##### 1. 拉伸試片模型建立

本文在拉伸實驗上，模擬拉伸實驗時試片各層之間的應力變化，藉以判斷 2 種塑膠機材 ABS 材質及 PE 材質的附著力效果，其拉伸示意圖如圖 17。

以實體元素 SOLID45 建立拉伸試片模型，簡化其模型如圖 18，分別建立兩種材質 ABS 及 PE，其模型如圖 19 及圖 20，網格大小設定 2 mm (圖 21)。

邊界條件設定 (圖 22)，中間對稱線 (D1) 固定 UX 及上面積 (A2) 固定 UZ、下面積 (A1) 固定 UY、UZ。假設目前施於一拉力 (F) 為 1041 N，施力面積為試片上面積 (A2)。

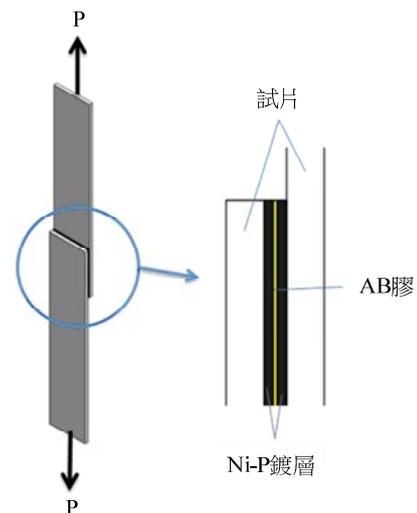


圖 17. 拉伸試片示意圖



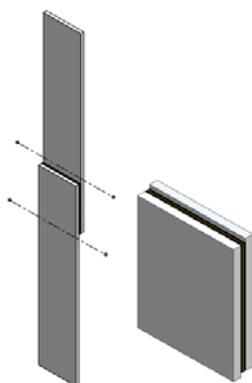


圖 18. 簡化模型

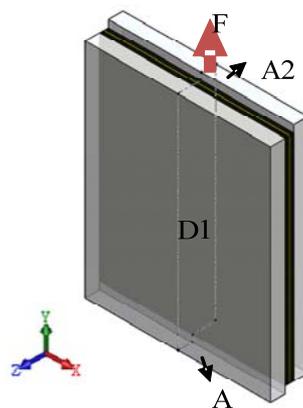


圖 22. 拉伸試片邊界條件設定

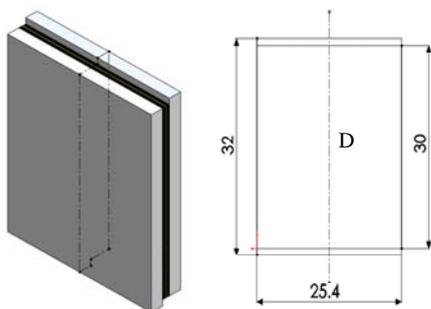


圖 19. 拉伸試片尺寸示意圖 (單位: mm)

### 五、結果與討論

本文在實驗結果分為四大部分來討論，不同砂紙號數、不同材質之附著力、不同轉速及不同 pH 值對鍍層的影響。在無電鍍試驗前，分別量測出重量及厚度，採用電子式分離卡 (EDM-25 25 mm) 量測鍍層之厚度，精度達 0.001 mm，並以電子天秤 (METTLER TOLEDO AB204) 量測鍍層之重量，精度可達 10 mg。並以金相顯微鏡及掃描式電子顯微鏡，觀察表面附著情形；以蕭氏硬度計檢測不同材質，鍍層及未鍍層其硬度的差異。本文使用大葉大學材料系老師自行研發的耐磨耗試驗機進行塑膠元件鍍層的耐磨耗試驗，由此觀察鍍層後，不同塑膠元件的耐磨性。

#### (一) 無電鍍鍍磷表面附著力之顯微鏡觀察

由金相顯微鏡 (Olympus BX51M) 及掃描式電子顯微鏡來觀察表面鍍層情形。本次實驗以砂紙號數 240 Cw 來觀察，分別作了 ABS、PE 兩種試片來測試。

將 ABS 與 PE 塑膠已鍍層之試片至於金相顯微鏡載台上 (圖 23 及圖 24)，進行表面鍍層的觀察。

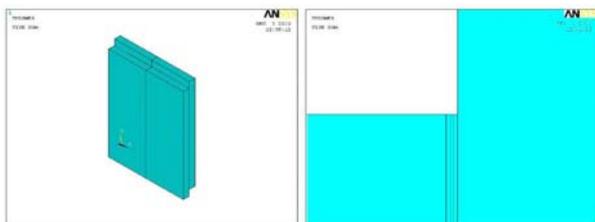


圖 20. 拉伸模型建立

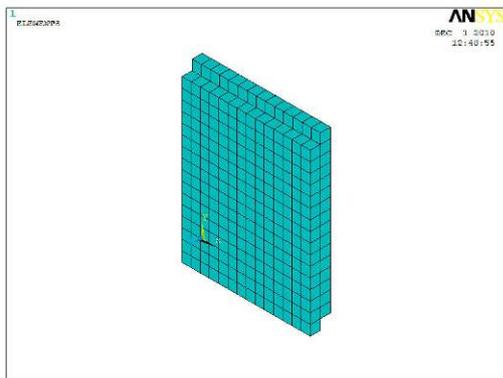


圖 21. 拉伸模型網格化

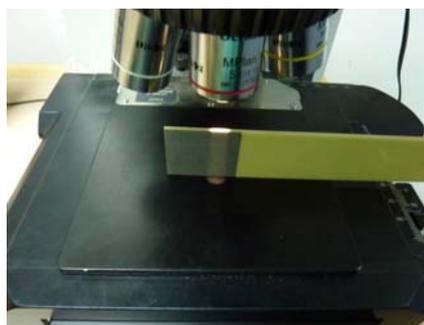


圖 23. 試片置於載台





圖 24. 以電腦擷取觀察之影像

圖 25 及圖 26 為電腦擷取之圖像。由金相顯微鏡放大 5 倍後，結果發現，ABS 材質有較好的附著力，鍍層也較為均勻；而 PE 材質的試片鍍層膠不均勻，附著情況也較為鬆散。

### (二) 不同砂紙號數表面粗化的鍍層之特性比較

本文以物理粗化來探討鍍層的附著效果，以電子式分離卡及電子式游標卡尺量測出鍍層前的塑膠基材厚度，並以電子天秤測量出鍍前的重量。接著，將塑膠基材分別以砂紙號數為 240 Cw 及 400 Cw 進行粗化。

- (1) ABS、PE 圓棒經不同砂紙號數粗化的特性比較以圓棒進行無電鍍實驗，試片規格中空圓棒，外徑 20 mm、內徑、13 mm、長度 70 mm。無電鍍實驗參數，活化液浸泡 5 分鐘/次(3 次)、pH 值 5.63、電鍍溫度 65°C、析鍍時間為 2 小時，其試片鍍層結果如表 5 及表 6 所示。由表 6 得知，PE 材質的粗化採用砂紙號數為 240 Cw 粗化結果其鍍層厚度比砂紙號數為 400 Cw 的鍍層厚度提升 66.67%。



圖 25. ABS 放大倍率 5 倍



圖 26. PE 放大倍率 5 倍

表 5. 不同砂紙號數表面粗化其鍍層直徑之比較-ABS

厚度 砂紙號數	實驗前厚度 (mm)	實驗後厚度 (mm)	增加厚度 (mm)
240 Cw	21.11	21.13	0.02
400 Cw	21.12	21.14	0.02

表 6. 不同砂紙號數表面粗化其鍍層直徑之比較-PE

厚度 砂紙號數	實驗前厚度 (mm)	實驗後厚度 (mm)	增加厚度 (mm)
240Cw	20.96	20.99	0.03
400Cw	20.96	20.97	0.01

- (2) ABS 平板試片經不同砂紙號數粗化的特性比較(鍍層面積：25.4 mm×50 mm)，以平板試片進行無電鍍實驗，試片無電鍍規格長度 50 mm、寬度 25.4 mm、厚度 1 mm。無電鍍實驗參數，活化液浸泡 5 分鐘/次(3 次)、pH 值 5.63、實驗溫度 65°C、析鍍時間 2 小時，其試片鍍層結果如表 7 所示。以表 7 之數據顯示，材質為 ABS (鍍層面積 25.4 mm×50 mm)，其粗化條件為 240 Cw 時，厚度都增加 0.01 mm 以上，而粗化條件為 400 Cw 時，厚度均可增加 0.0047 mm 以上，結果顯示，240 Cw 粗化條件下其厚度比較厚。
- (3) ABS、PE 平板試片經不同砂紙號數粗化的特性比較(鍍層面積：25.4 mm×30 mm)，以平板試片進行無電鍍實驗，試片無電鍍規格長度 30 mm、寬度 25.4 mm、厚度 1 mm。無電鍍實驗參數，活化液浸泡 5 分鐘/次(3 次)、pH 值 5.63、實驗溫度 65°C、析鍍時間 2 小時，其試片鍍層結果如表 8 及表 9 所示。

以表 8 之數據顯示，材質為 ABS (鍍層面積 25.4 mm×30 mm)，其粗化條件為 240 Cw 時，厚度都增加 0.009 mm 以上，而粗化條件為 400 Cw 時，厚度均可增加 0.008 mm，結果顯示，240 Cw 粗化條件下其厚度比較厚。

表 7. 不同砂紙號數表面粗化的結果 (ABS)

項目 砂紙 號數	重量 (g)			厚度 (mm)		
	實驗前	實驗後	增加	實驗前	實驗後	增加
240 Cw	5.1151	5.1471	0.0320	1.160	1.174	0.014
	4.9412	4.9692	0.0280	1.119	1.129	0.010
400 Cw	4.9964	5.0187	0.0223	1.122	1.127	0.005
	5.0785	5.1044	0.0259	1.155	1.164	0.009



表 8. 不同材質其不同砂紙號數之鍍層結果比較 (ABS)

砂紙號數	重量 (g)			厚度 (mm)		
	實驗前	實驗後	增加	實驗前	實驗後	增加
240 Cw	3.5455	3.5687	0.0232	1.124	1.136	0.012
	3.5632	3.5855	0.0223	1.131	1.140	0.009
400 Cw	3.5680	3.5898	0.0218	1.126	1.134	0.008
	3.3391	3.3606	0.0215	1.083	1.090	0.007

表 9. 不同材質其不同砂紙號數之鍍層結果比較 (PE)

砂紙號數	重量 (g)			厚度 (mm)		
	實驗前	實驗後	增加	實驗前	實驗後	增加
240 Cw	2.9146	2.9313	0.0167	1.046	1.075	0.029
	2.9356	2.9513	0.0157	1.028	1.050	0.022
400 Cw	2.9783	2.9907	0.0124	1.033	1.052	0.019
	2.9073	2.9171	0.0098	1.019	1.030	0.011

以表 9 之數據顯示，材質為 PE (鍍層面積 25.4 mm×30 mm)，其粗化條件為 240 Cw 時，厚度都增加 0.022 mm 以上，而粗化條件為 400 Cw 時，厚度均可增加 0.0011 mm 以上，結果顯示，240 Cw 粗化條件下其厚度比較厚。以表 9 及表 10 之數據顯示，在鍍層面積為 25.4 mm×30 mm 下，不論材質為 ABS 或 PE，其粗化條件在 240 Cw 的鍍層都比 400 Cw 好。

(三) PE、ABS 材質的鍍層之附著力比較

本文以拉伸實驗來討論，選擇兩種不同的塑膠材質 ABS 及 PE，以不同砂紙號數，進行同材質件的比較，再以不同材質，討論其表面附著力的效果，由鍍層剝落的情況，來決定表面附著能力。本文做了兩組相同的實驗進行比較，實驗條件如下：

拉伸試片接合長度 3 cm，無電鍍實驗參數，活化液浸泡 5 分鐘/次 (3 次)、實驗溫度 65°C、pH 值 5.5、析度時間 2 小時，電鍍面積 PE 30 mm×25.4 mm、ABS 30 mm×25.4 mm，而試片實驗結果 (圖 27-30) 如表 10 及表 11 所示，其拉伸速率為 0.2 mm/sec。

表 10. ABS 材質的鍍層之附著力

砂紙號數	厚度 (mm)	寬度 (mm)	標點間距 (mm)	最大破壞力 (N)	最大位移 (mm)
240 Cw	2.36	25.61	128.56	858.08	3.607
400 Cw	2.33	25.66	128.62	735.50	3.914



圖 27. PE (240Cw) 剝離情況

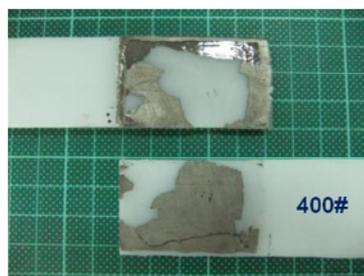


圖 28. PE (400Cw) 剝離情況

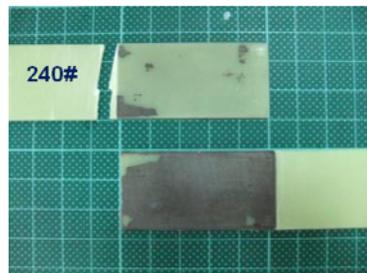


圖 29. ABS (240Cw) 剝離情況

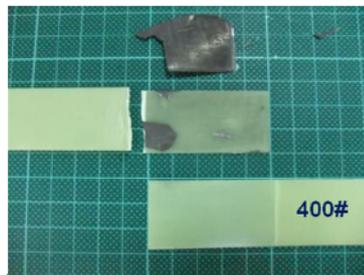


圖 30. ABS (400Cw) 剝離情況

表 11. PE 材質的鍍層之附著力

砂紙號數	厚度 (mm)	寬度 (mm)	標點間距 (mm)	最大破壞力 (N)	最大位移 (mm)
240Cw	2.15	25.49	129.59	367.75	36.802
400Cw	2.15	25.35	130.00	306.46	8.822



由表 12 可看出，以砂紙號數為 240 Cw 的 ABS 比 PE 提高 133.33% 的最大破壞力，而以砂紙號數 400 Cw 比較，ABS 比 PE 也提高 140.00% 的最大破壞力。ABS 材質使用粗化條件為 240 Cw 時，其最大破壞力為 858.08N 比 400 Cw 最大破壞力為 735.50N 增加 16.67%；而 PE 材質使用粗化 240 Cw 的最大破壞力為 367.75N 比 400 Cw 的最大破壞力為 306.46N 增加 20%。

由以上實驗結果來看，砂紙號數較大的粗化結果，其表面附著力要較好；而以不同材質來看，ABS 的表面附著力也較 PE 強。

#### (四) 不同轉速之耐磨耗比較

以耐磨耗試驗來觀察試片表面附著力，設定實驗轉速為 204 rpm 及 102 rpm 兩種，並予以不同荷重，討論其耐磨耗能力。先測試材質為 ABS 的試片，以砂紙號數 240 Cw 為固定條件，以不同的敏化活化方式來觀察鎳磷合金鍍層之表面附著力，由磨耗損失率作比較。

表 13 實驗參數為砂紙號數 240 Cw、活化液浸泡 15 分鐘/次 (1 次)、pH 值 5.63、析度時間 2 小時、荷重 3 Kg，其重量損失率為 0.23%~0.30%，摩擦係數平均為 0.053。表 14 實驗參數為砂紙號數 240 Cw、活化液浸泡 15 分鐘/次 (3 次)、pH 值 5.63、析度時間 2 小時、荷重 3 Kg。

表 12. 不同材質及粗化條件之最大破壞力比較

砂紙號數	材質 最大破壞力 (N) (a)	PE 最大破壞力 (N) (b)	差異性 $\left \frac{a-b}{b}\right  \times 100\%$
240Cw	858.08	367.75	133.33%
400Cw	735.50	306.46	140.00%

表 13. ABS 耐磨耗實驗 (1)

項目組別	轉速 (rpm)	時間 (小時)	磨耗前重量 (g)	磨耗後重量 (g)	損失量 (g)	損失率	摩擦係數
1	204	2	2.6302	2.6241	0.0061	0.23%	0.056
2			2.2710	2.2643	0.0067	0.30%	0.050

表 14. ABS 耐磨耗實驗 (2)

項目組別	轉速 (rpm)	時間 (小時)	磨耗前重量 (g)	磨耗後重量 (g)	損失量 (g)	損失率	摩擦係數
1	204	2	2.5725	2.5640	0.0085	0.33%	0.028
2		1	2.5591	2.5543	0.0048	0.19%	0.058
3		102	1	2.4171	2.4121	0.0050	0.21%

探討不同的轉速下的重量損失率可由表 13 及表 14 之數據來看，ABS 材質的試片在轉速 204 rpm、磨耗 2 小時後，其損失量約在 0.30% 左右，但在表 14 中，轉速 102 rpm、磨耗 1 小時，其損失量達 0.21%，摩擦係數 0.058，與轉速 204 rpm、1 小時損失量 0.19% 相近，摩擦係數 0.093，其結果顯示，顯示轉速越慢摩擦力越大，損失率提高。

表 15 實驗參數為砂紙號數 240 Cw、活化液浸泡 15 分鐘/次 (6 次)、pH 值 5.63、析度時間 2 小時、荷重 3 Kg。

活化液浸泡次數 3 次及 6 次的耐磨耗實驗結果如表 13 及表 14 所示，在轉速 204 rpm、磨耗 2 小時來看，活化液浸泡次數 6 次，其損失量為 0.11%，顯示活化液浸泡次數增加，其鍍層磨耗損失量降低。

檢測不同材質 PE 的耐磨耗情況，測試兩種粗化結果 240 Cw、400 Cw，實驗參數為砂紙號數 240 Cw、活化液浸泡 15 分鐘/次 (6 次)、pH 值 5.63、析度時間 2 小時。耐磨耗實驗以荷重 3 Kg，轉速設定 204 rpm，磨耗時間 2 小時、荷重 3 Kg，實驗結果如表 16 及表 17 所示。

由表 16 及表 17 來看，在活化液浸泡 1 次條件下，240 Cw 粗化比 400 Cw 粗化的試片，其損失量由 0.16% 降到 0.15%。

#### (五) 不同 pH 值鍍液的鍍層效果之比較

本文在此章節以不同 pH 值鎳磷鍍液對鎳磷鍍層的影響來討論。不同 pH 值鎳磷鍍液影響到無電鍍的反應速率、鍍層附著厚度等因素。在本文中設定 pH6、pH6.5、pH7 三種 pH 值的鎳磷鍍液，分別比較及探討其鎳磷鍍層差異。

表 15. ABS 耐磨耗實驗 (3)

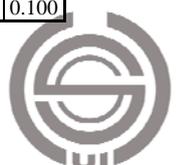
項目組別	轉速 (rpm)	時間 (小時)	磨耗前重量 (g)	磨耗後重量 (g)	損失量 (g)	損失率	摩擦係數
1	204	2	2.4561	2.4534	0.0028	0.11%	0.088
2		1	2.4786	2.4767	0.0020	0.08%	0.035

表 16. PE 耐磨耗實驗 (240 Cw)

項目組別	轉速 (rpm)	時間 (小時)	磨耗前重量 (g)	磨耗後重量 (g)	損失量 (g)	損失率	摩擦係數
1	204	2	2.4607	2.4571	0.0036	0.15%	0.150

表 17. PE 耐磨耗實驗 (400 Cw)

項目組別	轉速 (rpm)	時間 (小時)	磨耗前重量 (g)	磨耗後重量 (g)	損失量 (g)	損失率	摩擦係數
1	204	2	2.4557	2.4517	0.004	0.16%	0.100



分別調配出 pH 值為 6、6.5、7 的鎳磷鍍液，在粗化條件為砂紙號數 240Cw、活化液浸泡 5 分鐘/次（3 次）、鎳磷鍍液反應溫度設定 60°C、進行無電鍍反應 2 小時的實驗條件下，分別製作出兩種材質 ABS 及 PE 的拉伸試片。表 18-19 為不同 pH 值鎳磷鍍液電鍍之試片數據及拉伸數據，拉伸結果如圖 31-33 所示。

ABS 脫層面積比 PE 的脫層面積均勻，PE 脫層面積會集中於某一區域，而 ABS 材質幾乎完全與鍍層面積脫離。

表 18. 不同 pH 值拉伸試片 (第 1 組)

項目 材質	pH 值	重量 (g)			厚度 (mm)		
		實驗前	實驗後	增加	實驗前	實驗後	增加
ABS	6	6.3543	6.3659	0.0116	1.992	1.994	0.003
	6.5	6.3381	6.3465	0.0084	1.995	1.997	0.002
	7	6.3657	6.3767	0.0110	1.995	1.998	0.003
PE	6	5.5560	5.5626	0.0066	1.917	1.922	0.005
	6.5	5.5156	5.5213	0.0057	1.911	1.914	0.003
	7	5.5240	5.5312	0.0072	1.933	1.938	0.005

表 19. 不同 pH 值拉伸數據 (第 1 組)

項目 材質	pH 值	厚度 (mm)	寬度 (mm)	標點間距 (mm)	最大破壞力 (N)	最大位移 (mm)
ABS	6.0	3.990	25.41	147.59	1041.957	2.225
	6.5	4.004	25.38	146.64	858.0818	2.073
	7.0	4.014	25.40	148.70	919.3734	2.272
PE	6.0	3.856	25.43	148.43	429.0409	3.395
	6.5	3.827	25.39	147.48	429.0409	3.578
	7.0	3.858	25.39	147.37	490.3325	4.658

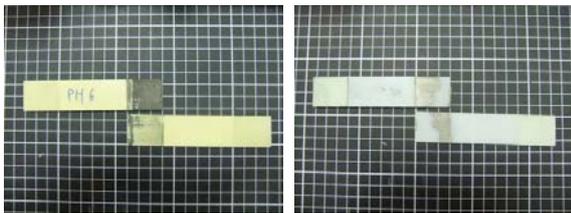


圖 31. 第 1 組 ABS (黃)、PE (白) 試片拉伸結果 (pH6)

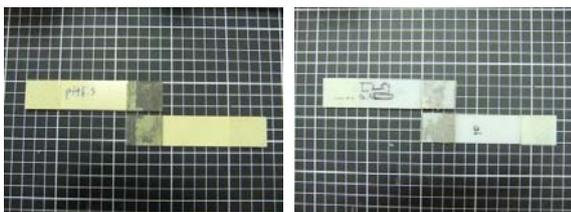


圖 32. 第 1 組 ABS (黃)、PE (白) 試片拉伸結果 (pH6.5)

本文以高倍率顯微鏡 (由文化大學材料所提供) 進行鎳磷鍍層剖面的觀察 (圖 34-39)，量測出鍍層厚度及鍍層分布的均勻性。

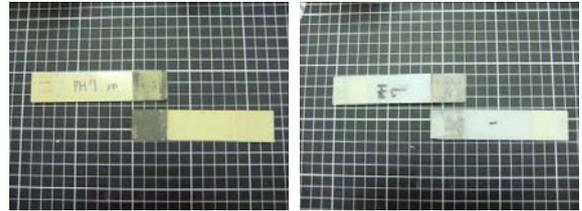


圖 33. 第 1 組 ABS (黃)、PE (白) 試片拉伸結果 (pH7)

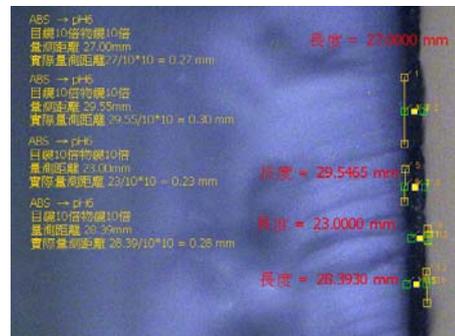


圖 34. pH6 放大倍率 100 (材質: ABS)

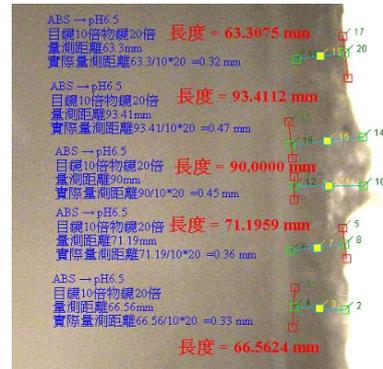


圖 35. pH6.5 放大倍率 200 (材質: ABS)

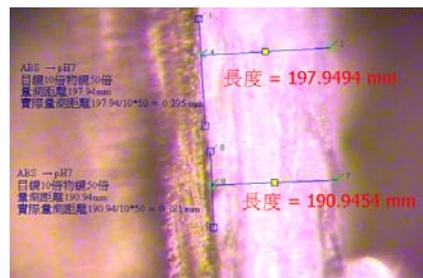


圖 36. pH7 放大倍率 500 (材質: ABS)



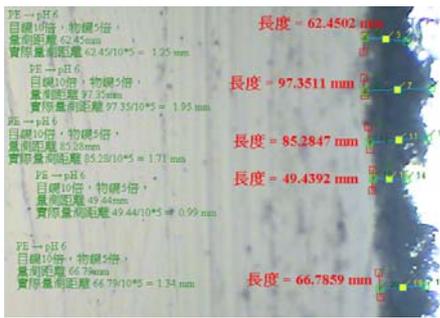


圖 37. pH6 放大倍率 50 (材質：PE)

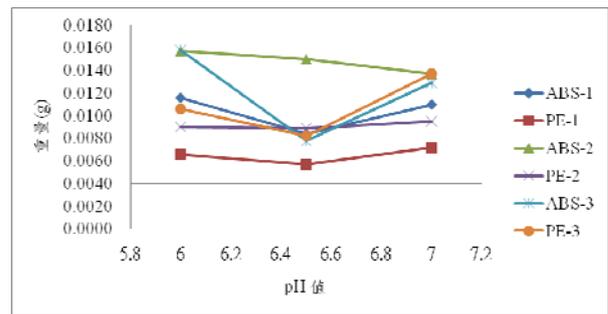


圖 40. 鍍磷鍍層重量-pH 值關係圖

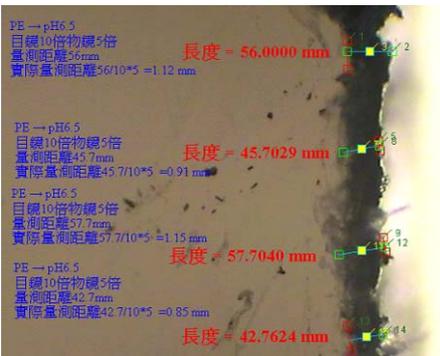


圖 38. pH6.5 放大倍率 50 (材質：PE)

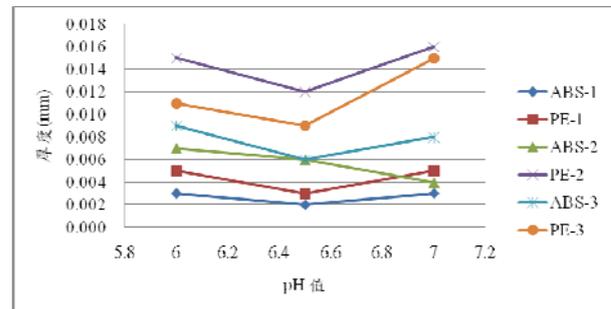


圖 41. 鍍磷鍍層厚度-pH 值關係圖



圖 39. pH7 放大倍率 50 (材質：PE)

由圖 40 及圖 41 結果來看，敏化活化的次數以 3 次的鍍層結果較為穩定。鍍液之 pH 值越大，其反應溫度降低、反應速率也越快，其附著的重量也越重。

在各材質中不同 pH 值的反應鍍液結果顯示，ABS 材質在 pH 值為 6 時，鍍磷鍍層厚度比其他 2 者增加最多，有較好的附著力（破壞力），而 PE 材質在 pH 值為 7 時，鍍磷鍍層厚度增加較多，有較好附著力（破壞力）。

#### (六) 建立模型分析

本文利用 ANSYS 軟體進行不同材質的附著力實驗試片

最大破壞力之分析，建模元素採用 Solid45，探討邊界條件與建模參數之設定，將分析結果與實驗值進行比較。

#### 1. 拉伸試片分析

以拉伸實驗結果之數據（表 20）進行 ANSYS 軟體分析，將各材質（ABS 為 1041 N、PE 為 490 N）最大破壞力及其它建模參數（表 20、21）代入，分析結果與實驗結果相互比較。

觀察拉伸試片接著處的剪應力變化（圖 42-45），圖 42 及圖 43 為 ABS 材質其剪應力分布情形，其最大破壞力為 1041 N，圖 44 及圖 45 為 PE 材質其剪應力分布情形，其最大破壞力為 490 N。

表 20. ABS 材質建模參數

試片長度 (mm)	32.000
鍍層長度 (mm)	30.000
試片寬度 (mm)	25.400
試片厚度 (mm)	1.991
鍍層厚度 (mm)	0.003
膠層厚度 (mm)	0.002
網格大小 (mm)	2
施力大小 (N)	1041



表 21. PE 材質建模參數

試片長度 (mm)	32.000
鍍層長度 (mm)	30.000
試片寬度 (mm)	25.400
試片厚度 (mm)	1.917
鍍層厚度 (mm)	0.005
膠層厚度 (mm)	0.012
網格大小 (mm)	2
施力大小 (N)	490

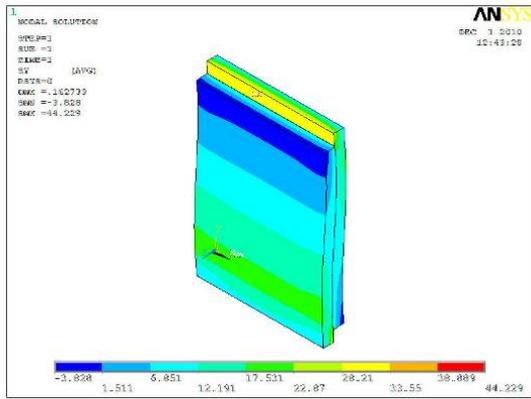


圖 42. 拉伸模型剪應力分布 (ABS 材質)

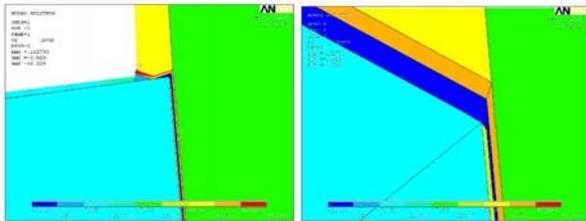


圖 43. 拉伸模型細部剪應力分布 (ABS 材質)

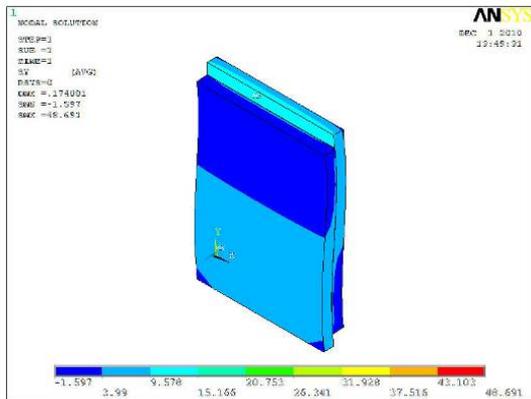


圖 44. 拉伸模型剪應力分布 (PE 材質)

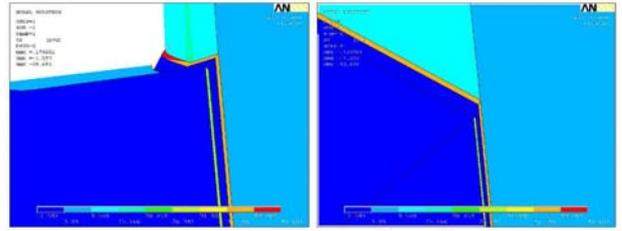


圖 45. 拉伸模型細部剪應力分布 (PE 材質)

圖 46 為拉伸試片剪應力分布處，分析結果於表 22 及表 23 顯示，其表 22 為拉伸試片剪應力結果，表 23 為拉伸試片最大剪應力分布。

由表 22 顯示，無電鍍鎳磷鍍層的表面附著力與實驗值之比較，獲得 ABS 材質差異值在 5.33%，PE 材質差異值在 30.86%。

由附著力的拉伸實驗得知，因為 ABS 脫層區域完全為鍍層面積，承受剪力均勻，故實驗與分析結果差異性較小；而 PE 脫層區域為某一區塊面積，承受剪力不均勻，故實驗值與分析值差異性較大。

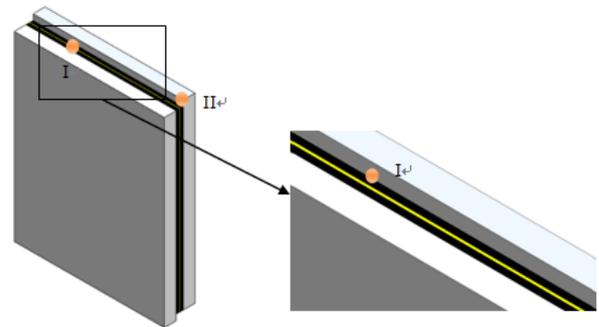


圖 46. 拉伸試片示意圖

表 22. 拉伸試片剪應力結果

剪應力 材質	力量 (N)	最大剪應力 (MPa) (a)	材料剪力 強度 (MPa) (b)	差異值 $\frac{ a-b }{a} \times 100\%$
ABS	1041	1.444	1.367	5.33%
PE	490	0.930	0.643	30.86%

表 23. 拉伸試片最大剪應力分布 (如圖 46)

最大應力 材質	最大應力 (MPa)		最大剪應力 (MPa)	
	$\sigma_y$	發生處	$\tau_{zy}$	發生處
ABS	44.229	I 處	1.444	II 處
PE	55.615	I 處	0.930	II 處



## 六、結論與未來發展方向

本文成功進行 ABS 及 PE 材質的無電鍍實驗，並針對不同 pH 值的反應鍍液及不同粗度及敏化活化次數建立實驗，量測塑膠基材的表面硬度，得到以下結論與建議未來研究方向。

### (一) 結論

本文將無電鍍層技術應用於塑膠元件表面，增加機械性質，以不同前處理步驟（粗化、敏化活化）及不同的鍍液反應條件（pH 值）進行探討，尋找最佳製造參數，總歸以下幾點結論：

1. 在粗化條件中，試片以 240 Cw 粗化結果的鍍層厚度比 400 Cw 粗化結果的鍍層厚度較厚。
2. 以粗化條件來探討，砂紙號數越細，其鍍層容易剝落；砂紙號數粗糙，其鍍層效果越明顯，表面鍍層附著力也較強。本文實驗多種粗度砂紙(100 Cw~800 Cw)之結果，以 240 Cw 的砂紙號數表面鍍層附著力較佳。
3. 在無電鍍鎳磷實驗中，增加活化液浸泡次數，其鎳磷鍍層的密度也增加，當活化液浸泡次數在 3 次時，有較好的鍍層效果。
4. 在 204 rpm 及 102 rpm 轉速下的耐磨耗探討中，發現轉速越慢摩擦力越大，鍍層損失量增加。
5. 以不同 pH 值的反應鍍液而言，ABS 材質在 pH 值為 6 時有較好的附著力（破壞力），而 PE 材質在 pH 值為 7 時有較好附著力（破壞力）。
6. ANSYS 分析結果顯示，預測無電鍍鎳磷鍍層的表面附著力與實驗值之比較，獲得 ABS 材質差異值在 5.33%，PE 材質差異值在 30.86%。
7. 目前技術已運用在打包機塑膠零件上如圖 47、圖 48。



圖 47. 無電鍍於彎道凹槽



圖 48. 惰輪無電鍍成品

### (二) 未來發展方向

建議未來發展方向分共為以下幾點：

1. 觀察酸性鍍液對於塑膠基材的附著力及耐磨耗性質。
2. 比較鹼性鍍液與酸性鍍液的鍍層速率。
3. 研究不同材質、元件的鍍層效果。

### 參考文獻

1. 余德勤 (民 98)，無電鍍法製備奈米鎳磷合金陣列，國立台灣大學材料科學與工程學系碩士論文。
2. 侯光煦 (民 95)，脈衝電流電鍍 Ni-P 鍍層之磨潤特性研究，國立中央大學機械工程研究所博士論文。
3. 郭婁禎 (民 95)，鈮奈米化學鍍鎳活化液之製備與特性研究，國立台灣科技大學材料科技研究所碩士論文。
4. 陳力俊 (民 83)，材料電子顯微鏡學，中國材料科學學會，行政院國家科學委員會精密儀器發展中心，新竹。
5. 陳志源 (民 93)，鐵微粒表面被覆奈米銀層之研究，國立成功大學化學工程學系碩士論文。
6. 陳科吉 (民 88)，不同因素對塑膠無電鍍鎳之影響，中正理工學院應用化學研究所碩士論文。
7. 黃博辰 (民 96)，無電鍍鎳於高分子微球之製備，國立雲林科技大學化學工程學系碩士班碩士論文。
8. 謝淑惠 (民 91)，高分子塑膠粉末表面無電鍍鎳製程之研究，行政院國家科學委員會技職先期研究計畫成果報告 (NSC 90-2626-E-150-004)，台北。
9. Domenech, S. C., E. Lima Jr., V. Drago, J. C. De Lima, N. G. Borges Jr., A. O. V. Avila and V. Soldi (2003) Electroless plating of nickel-phosphorous on surface-modified poly (ethylene terephthalate) films. *Applied Surface Science*, 220, 238-250.
10. Elansezhian, R., B. Ramamoorthy and N. P. Kesavan



- 
- (2008) Effect of surfactants on the mechanical properties of electroless (Ni-P) coating. *Surface & Coatings Technology*, 203, 709-712.
11. Gresham, R. M. (1988) EMI/RFI shielding of plastics. *Plating and Surface Finishing*, 75, 63-69.
12. Lee, C. K. (2009) Structure, electrochemical and wear-corrosion properties of electroless nickel-phosphorus deposition on CFRP composites. *Materials Chemistry and Physics*, 114, 125-133.
13. Yan, M., H. G. Ying and T. Y. Ma (2008) Improved microhardness and wear resistance of the as-deposited electroless Ni-P coating. *Surface & Coatings Technology*, 172, 5909-5913.

收件：100.07.07 修正：100.08.17 接受：100.11.22

