

## 運用六標準差方法提升 SMT 錫膏印刷製程品質之研究

<sup>1</sup> 鄭豐聰 <sup>2</sup> 馮景如 <sup>3</sup> 王琮瑜 <sup>4</sup> 潘永智

<sup>1</sup> 逢甲大學 (台中市西屯區文華路 100 號)

<sup>2</sup> 逢甲大學 (台中市西屯區文華路 100 號)

<sup>3</sup> 逢甲大學 (台中市西屯區文華路 100 號)

<sup>4</sup> 勝華科技股份有限公司(台中縣潭子鄉台中加工出口區建國路 10 號)

E-mail : croka129@yahoo.com.tw

### 摘要

為因應現今消費性電子產品的輕、薄、短、小趨勢，電子組裝技術亦隨著不斷改進。表面黏著組裝技術(Surface Mount Technology, SMT)，儼然成為現代電子組裝產業主流，其製程優點在於降低生產成本並製造出高品質之電子產品。但由於極端複雜的表面黏著組裝技術生產環境裡，製程中充滿著許多不確定的生產變數組合，尤其是在高密度之電子元件組裝，更成為業界之重大課題。若無法妥善控管製程參數，極可能產生不良焊性(Solder ability)，導致產品品質下降、增加額外之生產成本。

本文以六標準差管理手法的流程步驟-DMAIC，針對 SMT 錫膏印刷製程品質改善，首先找出關鍵品質特性，求得量測數據之可靠性，並對量測儀器進行量具重現性與再現性之能力分析，在確認製程能力後，歸納找出影響製程的關鍵因子，再利用實驗設計(Design of Experiments, DOE)來進行實驗，找出最適參數組合。

**關鍵字：**Six Sigma、DMAIC、表面黏著技術、錫膏印刷

### ABSTRACT

This article use Six-Sigma method DMAIC to improve the process quality of SMT solder-paste print. Firstly, we find out the key factor of the quality characteristic and evaluate the repeatability and reproducibility of the measurement system. After confirming the process of the capability, we find out the key factor, which affects the process, and then use “Design of Experiments (DOE)” to get the ultimate process parameter.

**Keywords :** Six Sigma, DMAIC, SMT, solder-paste print

### 1. 研究目的

現今消費性電子產品的態勢已趨於輕、薄、短、小。為因應新時代產品的需求，電子業界致力於研發新組裝技術之電子元件。而品質、成本及快速反應顧客需求的要素迫使業者尋求更先進之生產技術來改善表面黏著技術組裝流程，為了更有效率地反應顧客

需求，表面黏著技術已經逐漸成為目前電子組裝產業的主流，因表面黏著技術可以生產製造出具輕、薄、短、小之特性且品質良好的電子產品。

但由於表面黏著技術生產製程涉入機器、材料、工作環境等多重變因，其生產製程中涉及相當複雜且廣泛之變數，其繁瑣複雜更勝於傳統製造流程，因此如何控管生產變因以提高產品品質成為業者之一大課題。其中錫膏印刷為影響產品組裝品質的重要製程之一，焊性不良源起於錫膏印刷製程(Printing Process)。起因於該製程需要相當多之要素配合，例如合適之鋼板開孔形狀及錫膏特性、刮刀的材質、壓力、角度及速度等，均對錫膏印刷製程有相當重要及直接的影響，本文將應用六標準差手法(DMAIC)，針對SMT錫膏印刷製程之錫厚及錫厚 $C_{pk}$ 之改善，查明量測系統與製程能力，進而找出製程變異來源篩選重要的關鍵因子，再以實驗設計(Design of Experiments, DOE)尋求最佳化製程條件，最後加以驗證與管制，來達到製程的改善與預設的績效目標。

## 2. 研究範圍與限制

本文因案例工廠既有製造系統與使用機器/檢驗設備而有所限制，列舉如下：

- (1) 經迴焊製程後的焊性(Solder ability)檢驗程序皆以個案公司所擁有檢驗設備與方法衡量之。
- (2) 利用 Z-Checker 雷射錫膏測量儀以量取錫膏印刷錫膏厚度，其精確度為 $\pm 0.01$  mils。
- (3) 工作環境溫溼度範圍以案例工廠無塵室設定值為準。
- (4) 錫膏選擇以案例工廠使用佔 80%的錫膏型號 Castin LF-4S-300 為準。
- (5) 印刷用鋼板為案例公司自製，鋼板厚度為0.15mm，鋼板間隙為機台固定0.2mm，鋼板脫離速度固定為每秒2.0mm，鋼板定位度為機台固定。**實例探討**

### 3.1 界定階段

SMT 產品在液晶顯示器 (LCM) 為主要的半成品之一，其主要功能是在驅動顯示器的相關元件的搭載，因 LCM 產品顯示趨勢為多樣化及體積縮小化，印刷電路板正朝輕、薄化邁進，故應用在 LCM 產品設計上已為當前之所趨，其需求量也為日漸增多。

印刷電路板較以往傳統式更小型化，且印刷焊墊也較縮小，其錫厚印刷之穩定性相較於傳統印刷電路板差，穩定的錫厚度可減少 SMT 產品的短路與斷路之失效模式，故尋找可控制錫厚度的顯著因子，並求其錫厚度的最佳化為本實驗之主要目的，本文以使用 Minitab 軟體為分析工具。

基於上述原因，本文將以 Six Sigma 手法針對 SMT 製程品質進行提升，為了找出潛在的問題點，首先繪製 SIPOC 圖(圖 1)，以流程的角度去審視 SMT 製程活動。

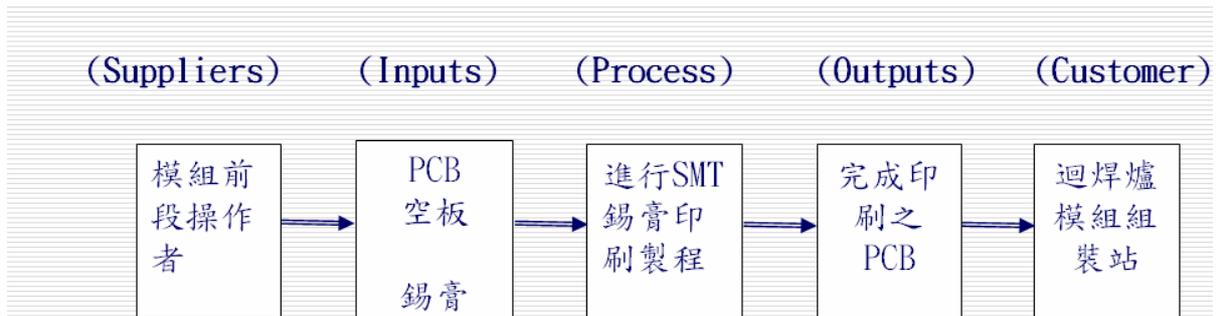


圖 1 SMT 錫膏印刷製程 SIPOC 圖

### 3.2 衡量階段

#### 3.2.1 選擇 CTQ 特性

在找出刮刀材質、刮刀角度、刮刀壓力、刮刀速度有交互作用四個 SMT 錫膏印刷製程品質特性後，再來便是選出那幾個是需要優先專注進行改善的關鍵品質特性，所以接著我們針對客戶品質需求進行計量評估，以及針對品質特性進行重要度分析。

#### 3.2.2 定義績效標準

本文是以手機模組廠的電路板 SMT 錫膏印刷生產流程為實驗對象，選定以 1.77 寸模組之 PCB 板，焊墊規格為長 2.0mm、寬 1.5mm，依照個案公司製程規格的要求為平均錫厚 150 $\mu$ m，上限為 170 $\mu$ m，下限為 130 $\mu$ m。

#### 3.2.3 驗證量測系統

針對 SMT 錫膏印刷製程品質特性的錫膏厚度，所使用的量測儀器為 Z-Checker 量測機台，對量測儀器進行量測系統的驗證。首先選擇 3 位熟練操作程序的操作員 A、B、C，再選擇 10 個能表現製程變異的樣本。請操作員 A 依測量順序隨機方式量測受測樣本 1 到 10，並將量測值記錄下來。接下來操作員 B、C 依同樣方式測量這些受測樣本 1~10，在不讓他們知道互相量測值狀態下，重複以上的循環三次。

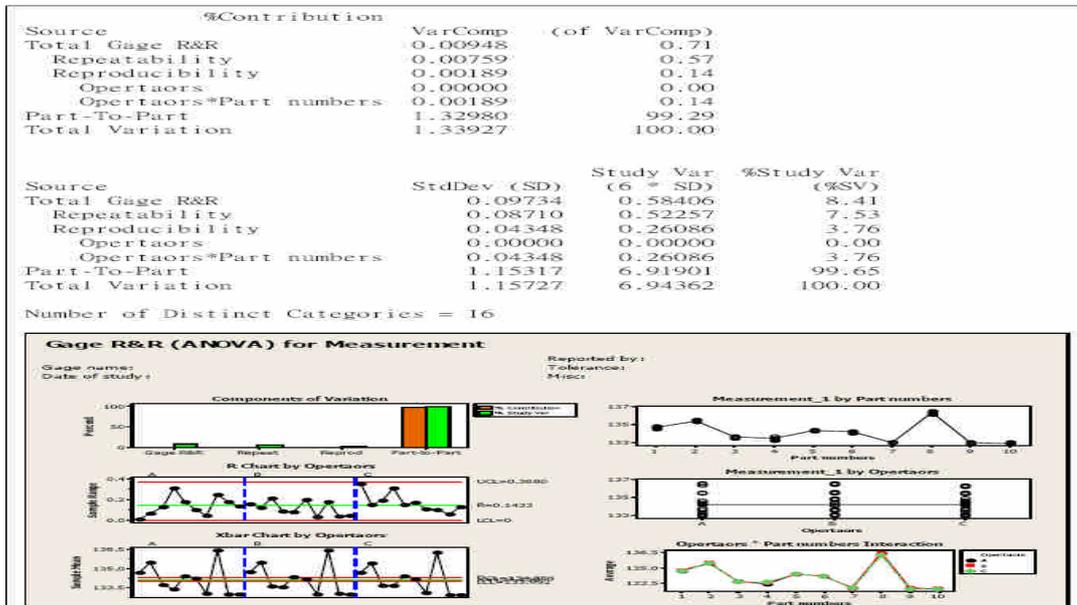
以量測資料進行變異數分析，其結果由表1可知，測試人員對於量測結果沒有顯著的影響(P 值>0.05)。

表 1 Z-CHECKER 變異數分析表

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part numbers	9	107.833	11.9814	903.821	0.000
Opertaors	2	0.012	0.0060	0.450	0.644
Part numbers * Opertaors	18	0.239	0.0133	1.748	0.055
Repeatability	60	0.455	0.0076		
Total	89	108.539			

接著我們再利用 Gage R&R 分析的方式來評估量測系統之優劣，分析結果如表 2。由表 2 可看出量測系統之變異(Total gage R&R)，Z-Checker=0.00948(佔全部變異的 0.71%)，均相較於零件間的變異(part-to-part)，且% Gage R&R，Z Checker =8.41%<10%，顯示為良好的量測系統。

表 2 Z-Checker Gage R&R 分析表



### 3.3 分析階段

#### 3.3.1 製程能力現況分析

在分析製程能力現況之前首先我們進行資料收集，以目前製程參數:刮刀壓力、刮刀角度、刮刀速度、刮刀材質，製程條件所生產之產品每半小時隨機抽樣2個樣本，共收集50個樣本，量測其錫膏厚度並繪製管制圖。

由製程改善前錫膏厚度管制圖(圖2)可看出所收集的數據均處在管制狀態下。

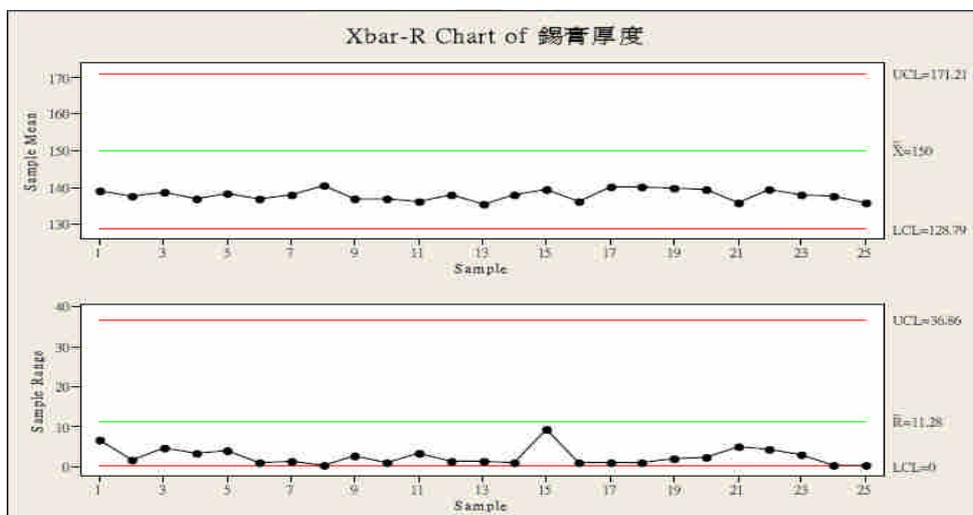


圖2 製程改善前錫膏厚度管制圖

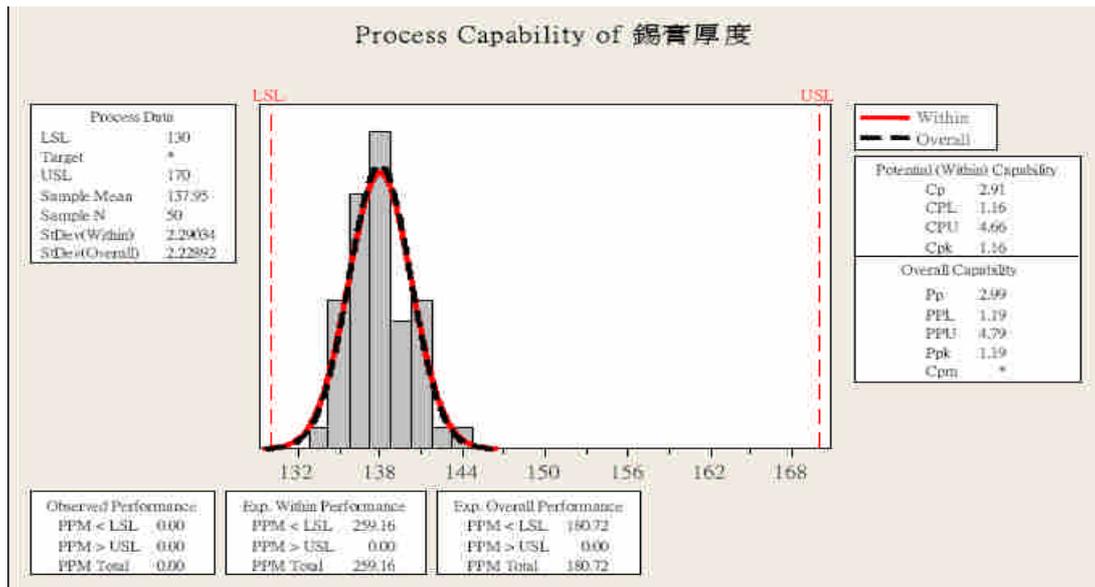


圖 3 製程改善前錫膏厚度製程能力分析

### 3.3.2 定義績效目標

對此製程的規格要求，錫膏厚度的目標為 $150 \pm 20 \mu\text{m}$ 。經製程能力現況分析後其結果如圖3。由表3我們可以知道目前錫膏厚度的 $C_{pk}=1.16$ ，未達到六標準差的目標，所以首要任務即是改善製程，使錫膏厚度符合顧客要求的品質特性。即製程能力能達到 $C_{pk} > 1.5$ 的標準。

表 3 製程能力現況總表

	製程改善前		
	平均值	標準差	$C_{pk}$
錫膏厚度	137.95 $\mu\text{m}$	2.22 $\mu\text{m}$	1.16

### 3.3.3 確定變異來源

了解製程能力現況與要改善的目標後，在這階段要找出哪些投入影響了產出，也就是找出對反應變數造成影響的變異來源。我們利用特性要因圖來分析。藉由特性要因圖找出影響錫厚的變異來源如圖 4，計有 a.刮刀材質、b.刮刀角度(Degree C)、c.刮刀速度(rpm)、d.刮刀壓力(Mpa)等四項重要因子。因 SMT 錫膏印刷製程採用全自動化機台於無塵室中，溫溼度控制在  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、 $50 \pm 5\% \text{RH}$ ，且已針對量測系統進行分析，因此人員、環境、量測的影響將不列入本研究範圍之中。

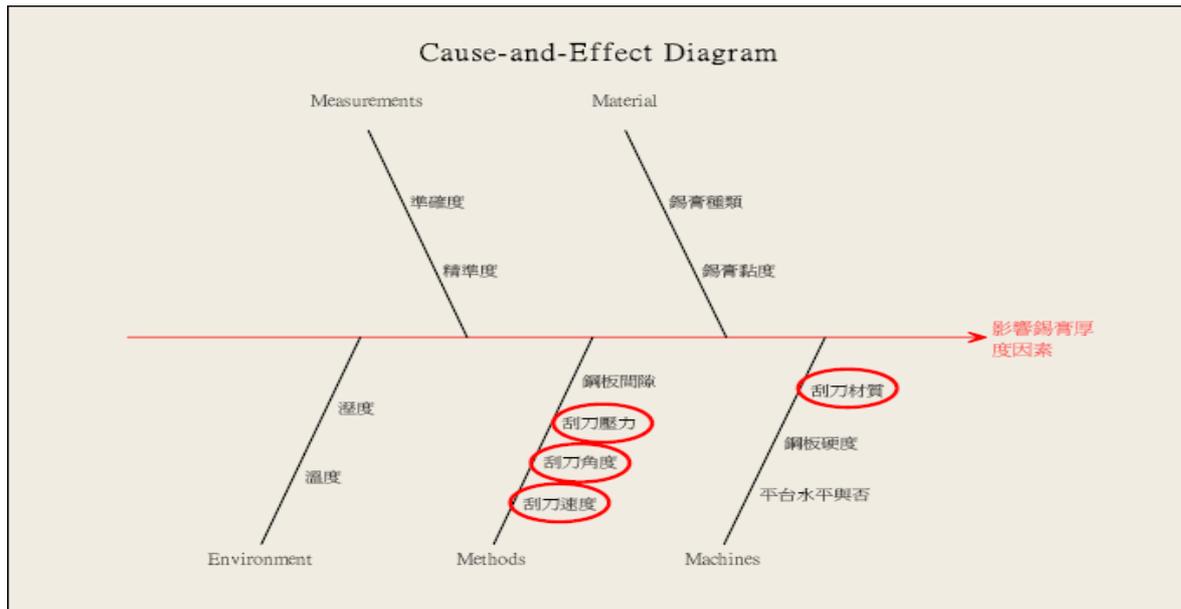


圖4 影響錫厚之特性要因圖

### 3.4改善階段

#### 3.4.1要因篩選

經由特性要因圖找出影響錫膏的變異來源 a.刮刀材質 (A：鋼刀、B：橡膠)、b.刮刀角度(45°、75°)、c.刮刀速度(5rpm、30rpm)、d.刮刀壓力(0.04Mpa、0.11Mpa)，為了探討上述的要因對於錫膏厚度影響，進行四個控制因子及兩水準的實驗，來篩選真正會產生影響的重要關鍵因子，以便觀察因子與錫膏厚度線性的關係，針對刮刀材質、刮刀角度、刮刀速度以及刮刀壓力進行多變數分析，由實驗結果可知影響錫膏厚度的關鍵因子為刮刀角度、刮刀速度、刮刀壓力 (P 值<0.05)，且使用刮刀材質為鋼刀的錫膏厚度較好。

#### 3.4.2尋找最佳條件

依照3.4.1 所篩選出來少數關鍵因子，參考規格允許之調變參數為刮刀壓力:0.04~0.11Mpa，刮刀角度45°~75°，刮刀速度5~30rpm，於是將關鍵因素設定高(+)、中(\*)、低(-)三個實驗水準，以3<sup>3</sup>全因子設計進行實驗，實驗配置如表4，其中刮刀材質採用硬質的鋼刀。

表 4 錫膏厚度實驗配置表

	高水準(+)	中水準(*)	低水準(-)
刮刀壓力	0.11	0.07	0.04
刮刀角度	75°	60°	45°
刮刀速度	30rpm	17rpm	5rpm

依據實驗設計原則隨機化與重複性，將 27 種因素組合重複 2 次隨機進行試驗。經由錫膏厚度變異數分析以及標準化效應柏拉圖的結果可知刮刀壓力、刮刀角度、刮刀速度的  $P$  值  $< 0.05$  為顯著因子。而交互作用並不顯著，於是刪除二次因子及三次因子效果。

接著進行殘差分析與常態性檢定，以確認配置的模式符合變異數分析之假設。由殘差分析圖(圖 5)可看出無違反假設之圖形變化趨勢且常態性檢定圖(圖 6)的  $P$  值大於 0.05，故所配置模式符合假設。

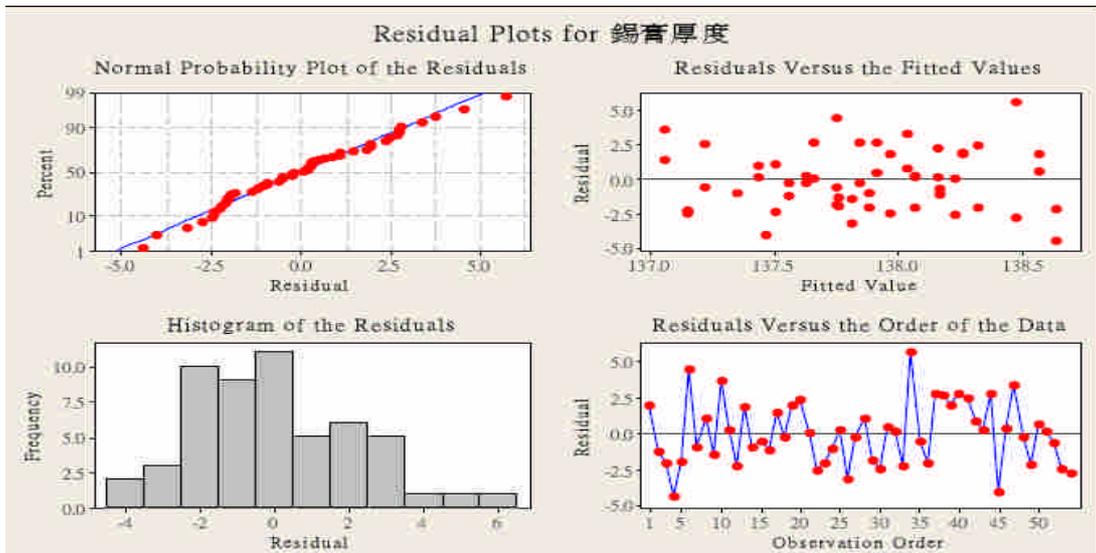


圖 5 殘差分析圖

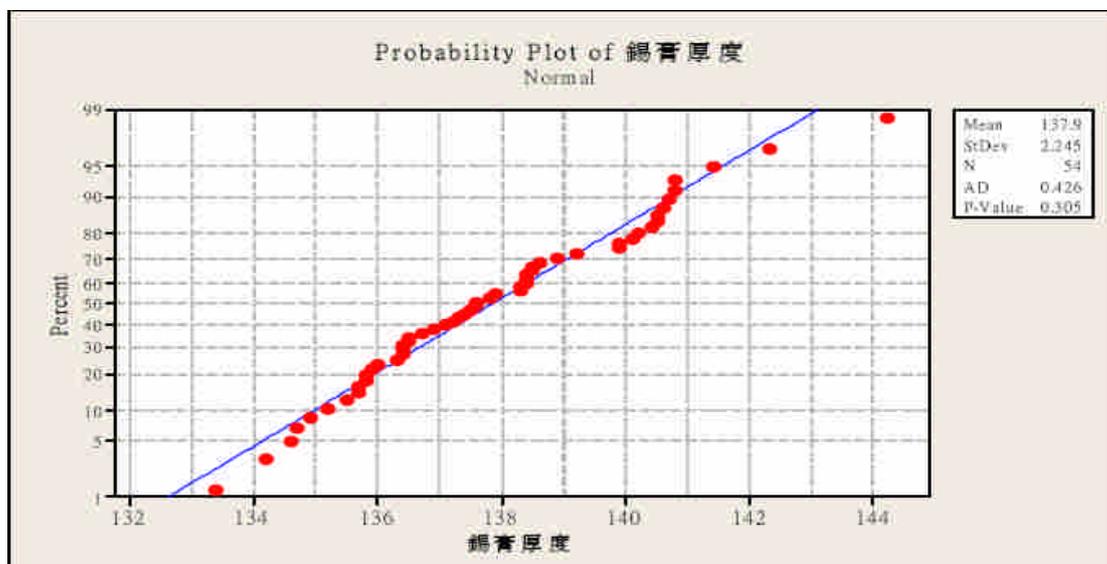


圖 6 實驗結果常態機率圖

為了找出最適條件於是我們繪製主因子效應圖(圖 7)與交互作用效應圖(圖 8)，在這個實驗中，產生三個主要因子圖(Factorial plots)，讓我們可以將效應作視覺化的呈現(Visualize)，它顯示了在刮刀壓力、刮刀角度、刮刀速度在三種不同條件下，其使用效應的比較。也就是刮刀壓力越低，其對應錫膏厚度越低，刮刀角度越大時，其對應錫膏厚度越高。這個圖也指出使用較低的刮刀速度比使用高的刮刀速度所得錫膏厚度要好，所以主要效應圖說明了改變條件的最大效益來自何處。

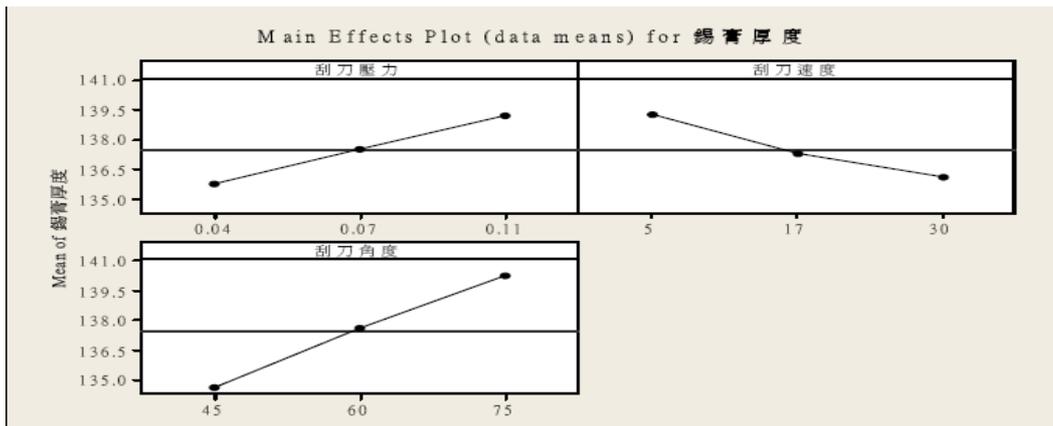


圖7 主因子效應圖

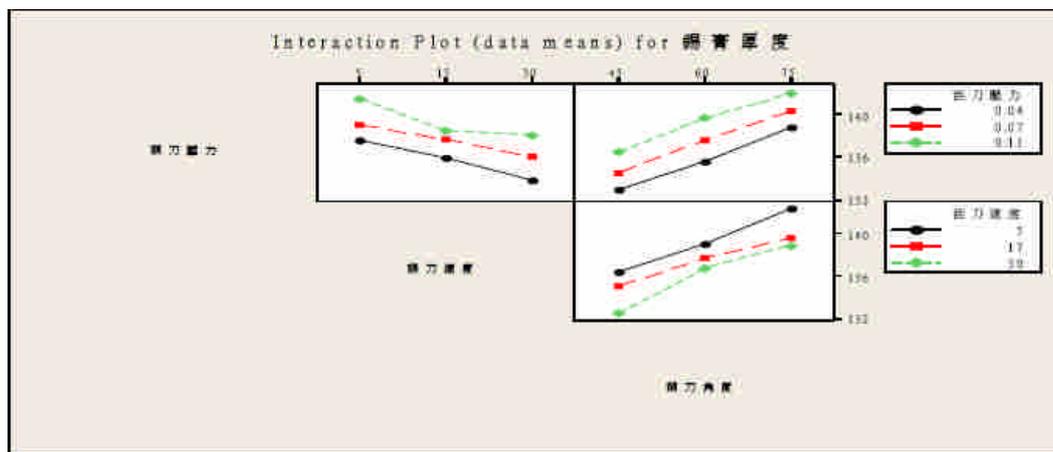


圖8 交互作用效應圖

基於實驗結果，我們決定了最佳因子水準的設定為刮刀壓力0.11Mpa、刮刀角度75°、刮刀速度5rpm。同時也使用MINITAB統計軟體之中的反應曲面分析預估迴歸模型，得到錫膏厚度的預估迴歸模型為： $\hat{y} = 6.32153 + 1565.97X_1 + 0.1297X_2 - 0.0112879X_3$ ，其中 $X_1$ 代表刮刀壓力； $X_2$ 代表刮刀角度； $X_3$ 代表刮刀速度，最後驗證結果顯示在水準設定為刮刀材質使用鋼刀、刮刀壓力0.11Mpa、刮刀角度75°、刮刀速度5rpm，為最佳錫膏印刷參數。

### 3.5 管制階段

#### 3.5.1 驗證量測系統

在管制階段的量測系統分析，是針對製程輸入條件變數的量測系統進行分析，製程輸入條件的量測系統Z-Checker錫厚量測機台，定期執行儀器校正所以未針對輸入條件的量測系統做驗證。

#### 3.5.2 決定製程能力

將求得的最適條件為鋼刀、刮刀壓力0.11Mpa、刮刀角度75°、刮刀速度5rpm。導

入實際製程進行驗證並於每半小時抽樣2個樣本。根據數據繪製管制圖(圖9)及常態機率圖(圖10)。由圖形可看出錫膏厚度在管制狀態內，且P值>0.05資料符合常態分配。在資料已滿足製程是穩定的且符合常態分配的假設下，其製程能力分析結果如圖11所示，錫膏厚度平均為144.98 $\mu\text{m}$ 、標準差為1.31 $\mu\text{m}$ ，製程能力指標 $C_{pk}=3.16$ 。

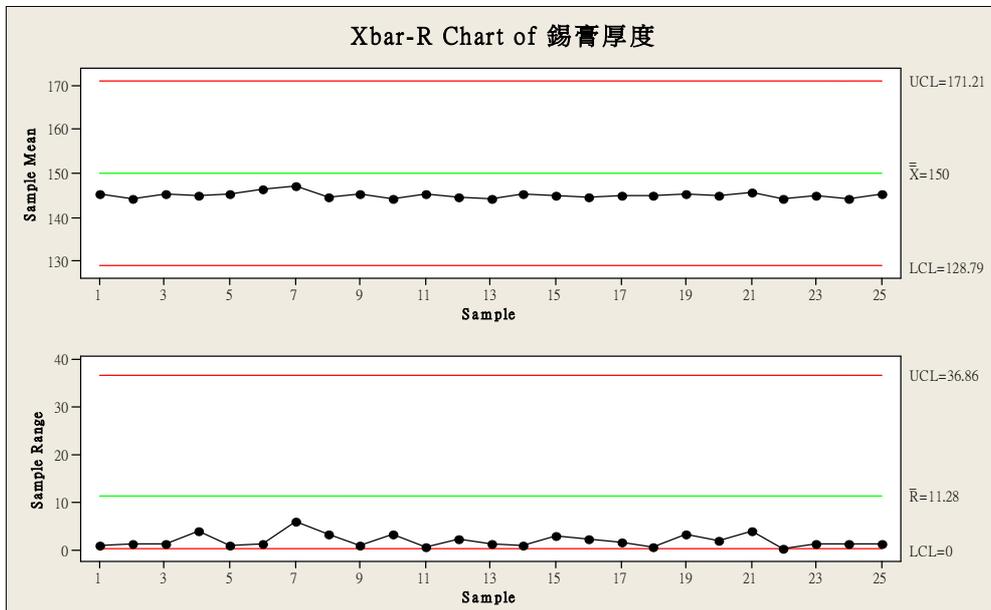


圖9 製程改善後錫膏厚度管制圖

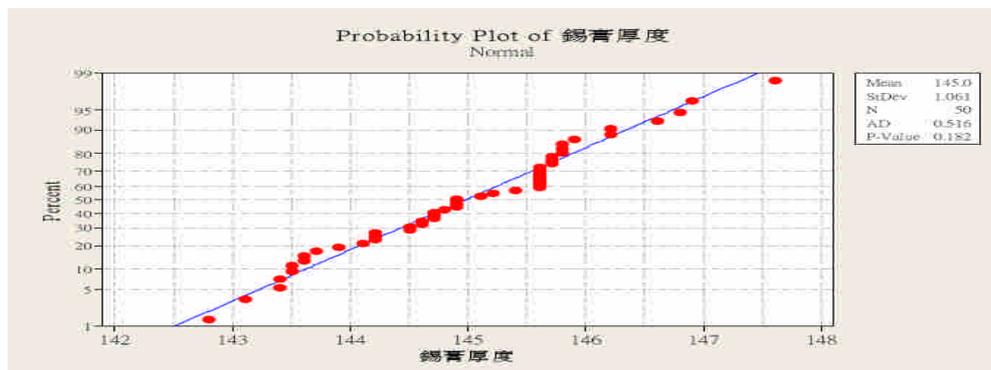


圖10 製程改善後錫膏厚度常態機率圖

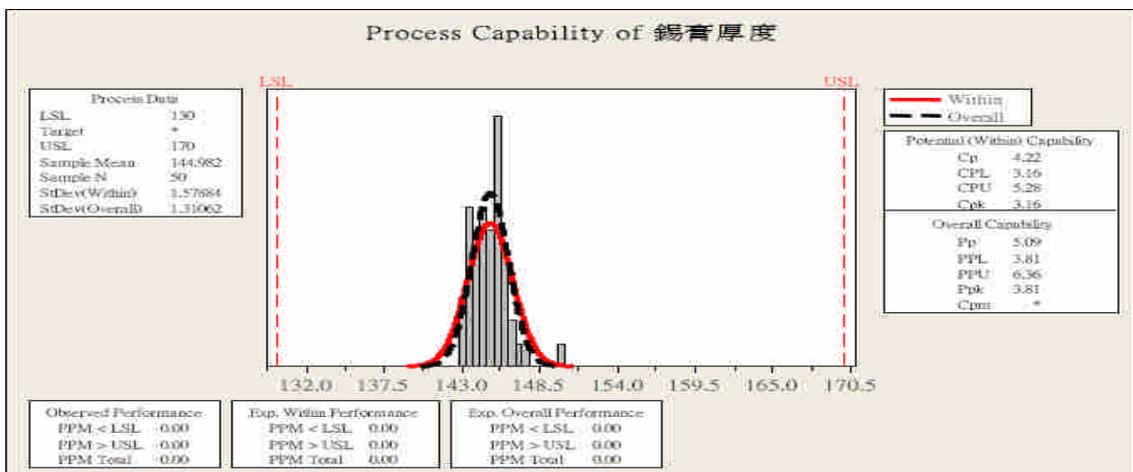


圖11 製程改善後錫膏厚度製程能力分析

### 3.5.3 實施監控

要確保最佳的製程條件能維持製程穩定及製程績效，需針對製程進行長期監控。於是使用管制圖來管制製程，由人員每天量測 2 個樣本反應值並紀錄 3 個月的數值，將記錄繪製在管制圖上(圖 12)，以確保製程品質。

將實驗的結果與原有的製程能力做比較，如表5所示錫膏厚度的平均值提高，標準差明顯縮小，製程能力也提升很多。表示錫膏印刷製程使用改善後的製程條件組合能使產品的品質特性提升、變異減少和改善製程能力。

表5 製程改善前後比較表

	錫膏厚度		
	平均錫厚	標準差	C <sub>pk</sub>
製程改善前	137.95 $\mu$ m	2.22 $\mu$ m	1.16
製程改善後	144.98 $\mu$ m	1.31 $\mu$ m	3.16

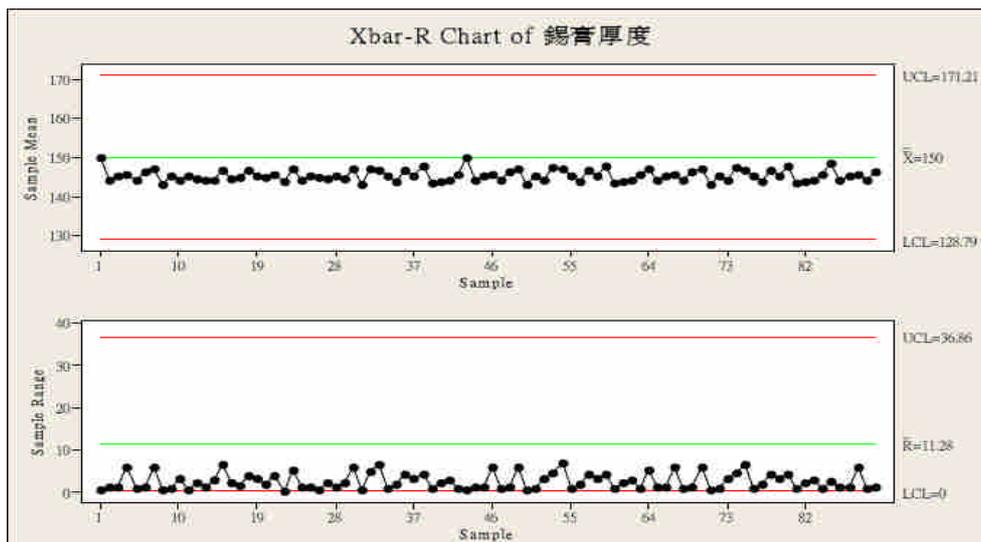


圖12 錫膏厚度長期管制圖

## 4. 結論

手機是非常普及的電子通訊產品，其中顯示面板為人機重要的溝通橋樑，而每個顯示面板皆會使用 SMT 製程。在本文中考慮關鍵因子為刮刀材質、刮刀壓力、刮刀速度以及刮刀角度，溫溼度控制在 23 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C、50 $\pm$ 5%RH 進行 DOE 實驗後確認四個因子皆為影響 SMT 印刷製程的主要因素。

在本文中可控制因子為刮刀材質、刮刀壓力、刮刀速度以及刮刀角度。不可控制因子為錫膏的特性如錫膏顆粒大小、錫膏黏度等、以及鋼板開孔設計等。運用 Six Sigma 方法 DMAIC 改善錫膏印刷製程製程改善，得到最適參數為鋼刮刀、刮刀角度 75 $^{\circ}$ 、刮刀速度 5rpm、刮刀壓力 0.11 Mpa。

經由本次 DOE 實驗，錫厚由 137.95 $\mu\text{m}$  提升至 144.98 $\mu\text{m}$ ，標準差由 2.22 $\mu\text{m}$  變小至 1.31 $\mu\text{m}$ ，錫膏印刷之  $C_{pk}$  由 1.16 提升至 3.16。證明本次實驗能有效改善錫膏印刷製程，雖然實驗結果尚未能使錫膏厚度完全符合目標值，但後續可經由其他因子的考慮來進行 DOE 實驗，邁向規格值 150 $\mu\text{m}$ 。

經改善後  $C_{pk}$  達 3.16，顯現規格上下界限過大，未來應繼續檢討規格界限值，以能明顯監控製程變異。

### 誌謝

承蒙師長、同學及周遭朋友的協助與提攜，使論文才得以順利完成。經過這段時間的學習與歷練使我在知識和生活的領域裡都能獲得最大的收穫。感謝我的指導老師鄭豐聰博士以及馮景如博士在百忙之中撥冗給予學生在專業知識上的指導和建議，使學生的研究更為完備。

### 參考文獻

1. 王丕承，2003，實踐六標準差的技術，中國生產力中心。
2. 葉俊吾，2001，運用類神經網路建構 SMT 錫膏印刷錫品質管制系統，成功大學製造工程研究所碩士論文。
3. 鄭秋鈴，2005，六標準差應用於導光版印刷製程之最佳化研究，元智大學工業工程與管理研究所碩士論文。
4. Anthony, W. and Daniel F. B. , 1999, "Initial investigation into low-cost ultra-fine pitch solder printing process based on innovative laser printing technology", IEEE transactions on electronics packaging manufacturing, 303-307.
5. Antony, J. and Coronado, 2002, " Design for Six Sigma", Manufacturing Engineer , February, 24-26.
6. Stamatis D.H., 2003, Six Sigma and beyond, CRC Press LLC.
7. Yang, Taho, 2005, A neural network-based prediction model for fine pitch stencil-printing quality in surface mounts assembly Engineering Applications of Artificial Intelligence, 335-341.