

0603 被動元件推力試驗之再現性與再生性分析

¹ 呂祐全 ² 簡子旻 ³ 黃乾怡

^{1,2} 華梵大學 工業工程與經營資訊學系所 研究生

³ 華梵大學 工業工程與經營資訊學系所 副教授

E-mail : jayhuang@cc.hfu.edu.tw

摘要

隨著全球消費性產品的需求日益增加，主、被動元件產業亦蓬勃發展，電子元件與印刷電路板間銲點接合強度直接影響終端產品品質。業界多用微拉力試驗機台驗證元件銲點強度及其可靠度，量測系統需合乎檢測標準，方能確保量測系統的正確性，除機台本身精準度外，相關測試治具的設計及操作程序亦扮演重要角色。本研究以 0603 被動元件為測試樣本，對微拉力試驗機及相關測試治具進行再現性與再生性分析 (Gauge Repeatability & Reproducibility ; GR&R)，以確保機台及相關治具適合應用於上述電子元件之銲點強度試驗。研究結果指出，破壞性試驗之 GR&R 分析，ANOVA 方法相較於全距法更為適用。最後針對此種破壞性實驗，建立一套驗證 GR&R 的標準作業流程，以供電子業界及研究單位參考之依據。

關鍵字：0603 被動元件、再現性與再生性分析、微拉力試驗機台、量測系統分析、破壞模式分析

The Gauge R&R Analysis of The Pull Test for 0603 Chip

Components

¹Javier Lu, ²Jimmy Chien, ³CY Huang

Dep. of Industrial Management, HuaFan University

E-mail : jayhuang@cc.hfu.edu.tw

Abstract

The demand for active and passive components has increasing as a result of growing of consumer electronics. The interconnections between the chip components and the printed circuit board have major influence on the reliability of the end product. The material tester is primarily used to measure the strength of solder joints. In addition to the accuracy of equipment, fixtures as well as the test procedure will have influence on the validity of conclusion made from the test. This research studies the repeatability and

reproducibility of a testing machine and fixtures for the measurement of 0603 chip components and followed by the analysis of failure modes. The test procedure and results can be used as guideline in the electronics industry for the test of solder joint quality in the PCB assembly.

Key Words: 0603 chip component, gauge R&R analysis, material tester, measuring system analysis, destructive test analysis

1.前言

現今科技蓬勃發展，電子元件大部分皆附有多功能整合，元件的尺寸也趨近於輕薄短小並且層數漸增，技術層次及製造成本皆相對提高。在微型化的市場中，目前被動元件以 0603、0402 及 0201 等尺寸為主，其元件的接合強度、品質及可靠度皆相對重要。

由於產品的製造成本及客戶要求相較於以往皆相對提高，因此產品可靠度在電子產業內備受重視，也是許多廠商努力的目標及課題。一般而言，業界利用微拉力試驗機台進行測試，以確保電子元件之接合可靠度，從其銲點強度及破壞模式分析中，可了解其產品可靠度水準並設法進行改善。

2.背景

微拉力試驗機台多用以決定電子元件銲接可靠度，以作為製程參數最佳化的參考依據，或用以判定是否達到預期之可靠度水準。量測數據受到樣本本身變異及量測系統量測誤差所影響。在利用微拉力試驗機台進行電子元件與印刷電路板（Printed Circuit Board；PCB）間銲點強度測試時，量測機台本身的信賴度以及精準度需合乎標準，量測結果才具有代表性。此外，傳統使用的量具的再現性與再生性分析方法（Gauge Repeatability & Reproducibility；GR&R）乃以“非破壞性試驗”進行分析，而銲點強度推、拉力試驗則為“破壞性試驗”，回顧相關文獻，尚無完整之破壞性試驗之相關程序與分析方法。

3.研究目的

本研究利用特定型號的微拉力試驗機台，並針對 0603 被動元件，設計推力試驗治具，並進行 GR&R 分析以驗證量測系統是否準確，以達成下列目的：

- (1) 驗證量測系統的變異，以確保微拉力試驗機台及相關治具運用於 0603 元件銲點強度測試之可行性。
- (2) 針對破壞性試驗，建立一套驗證 GR&R 的標準作業流程（Standard Operation Process；SOP）以供合作業者參考依據。

4.研究方法

本研究以 GR&R 中常使用的變異數分析 (Analysis of Variable ; ANOVA)、全距法 (Classical GR&R) 進行數據分析，由於長表格法 (Long Form) 較為簡單、快速之量測系統衡量法，係為針對非統計背景但從事品管實務工作人員填表之簡易分析方法，在此則不進行分析使用。

ANOVA 分析方法能處理任何的實驗設定或配置，更精確的估算變異數，但使用者必須需要有統計概念已解釋運算結果；全距法數值運算則較為簡單，不需要有專業統計觀念，但是因為估計時忽略人員與樣本間的交互作用，所以導致與 ANOVA 分析方法產生誤差。

首先，選定適當參數及水準，依照實驗設計的概念決定試驗配置，執行實驗後進行試驗資料的 GR&R 計算。其次，由計算結果判斷是否合乎標準，若未達標準則提出修正及驗證，最後透過 GR&R 分析而給予結論及建議，並建立破壞性試驗之作業標準流程。

5.研究內容

蒐集電子產業可靠度相關資訊、被動元件及微拉力試驗機台之參考文獻。瞭解量測系統之特性，包括測試用之 PCB 試片特徵、微拉力試驗機台特性及參數。

運用實驗設計方式規劃實驗配置及步驟，配合 0603 被動元件的鐸點可靠度實驗，將量測結果之數據進行計算分析，再計算機台誤差 (Equipment Variable ; EV) 值、人員誤差 (Appraisers Variable ; AV) 值及 GR&R。對量測系統進行驗證，利用分析結果，提出建議，供業界作為標準操作流程及後續相關研究之參考【4】。如圖 1 所示。

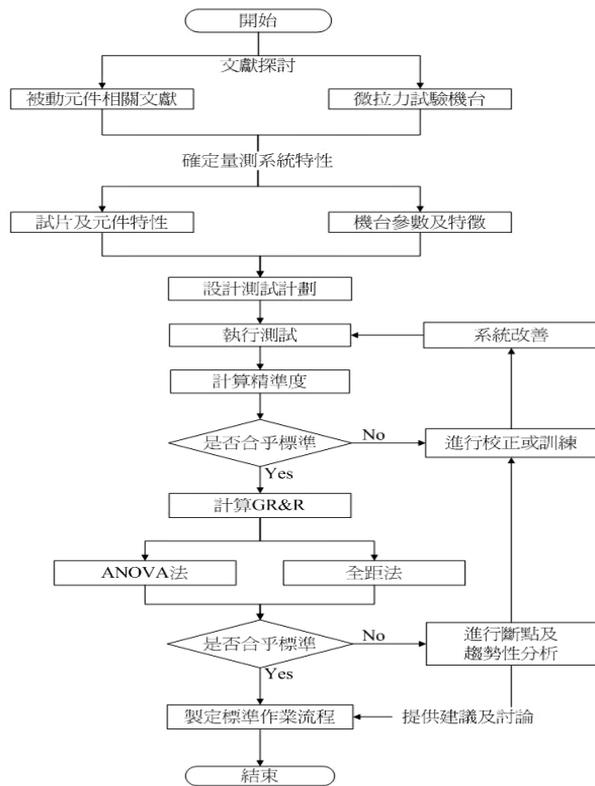


圖 1 研究流程圖

5.1 試片及量測系統

5.1.1 0603 電容元件特徵分析

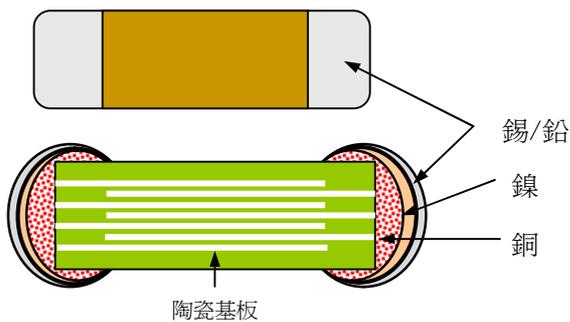


圖 2 0603 積層陶瓷電容

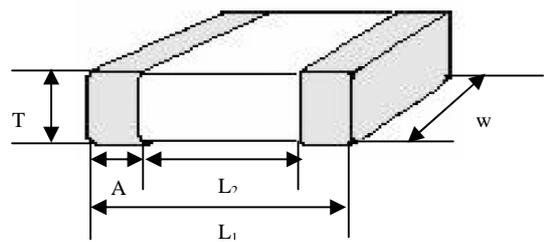


圖 3 被動元件尺寸示意圖

本研究選定 0603 電容元件為試驗樣本。電容之基本原理為：在隔開一定間距、靜電容量的兩電極端之間施以電壓後，會在該處儲存著電荷的電子元件，電容之靜電容量大小受材料介電常數影響，並以陶瓷材料為電介質，將銀直接燒附於陶瓷上作成電極的無極性、無機質的電容器。圖 2 上方為元件俯視圖、下方為元件

剖面圖。其被動元件尺寸特徵如圖 3 所示【6】，內容分述如下：

1. 元件外觀尺寸 ($L_1 \times W \times T$): 指元件本體之長、寬、厚。
2. 元件本體兩終端之間的距離 (L_2): 指於元件本體兩邊金屬導體 (A) 之間絕緣體部份的長度。
3. 元件終端尺寸面積 ($A \times W$): 指元件本體一側金屬導體面積。

5.1.2 微拉力試驗機台

本研究所使用之微拉力試驗設備型號為：荷重試驗機 MAX-B (圖 4)，其標準功能與系列規格如表所示 (表 1)。

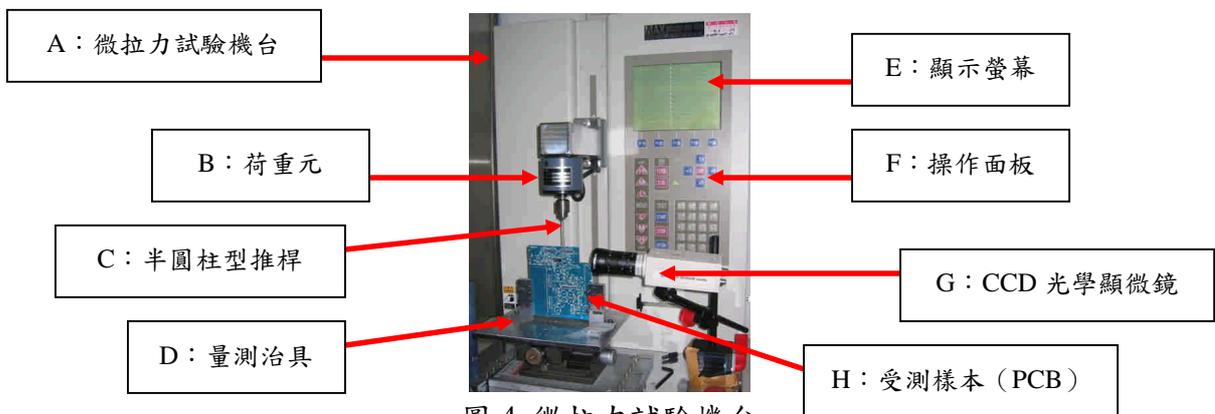


圖 4 微拉力試驗機台

- (A) 微拉力試驗機台：為本研究使用之量測設備。
- (B) 荷重元：為量測樣本力量強度的測試儀器。
- (C) 半圓柱型推頭：為半圓柱型推桿，接觸受測樣本以進行推力試驗。
- (D) 量測治具：用以固定受測樣本 (本研究為固定 PCB 板)。
- (E) 顯示螢幕：顯示相關設定及試驗數據及力圖。
- (F) 操作面板：使用者用以操作機台相關設定及參數。
- (G) CCD (Charge Coupled Device) 光學顯微鏡：
可清楚瞄準元件及 PCB 板之相關位置，可使實驗過程更加精準。
- (H) 受測樣本：本實驗以 PCB 板上之元件為受測樣本。

表 1 MAX 系列標準功能

MAX 系列標準功能				
標準規格	MAX-B (Basic)	MAX-H(High Grade)	單位選擇	N · (kgf/gf/lbf)
解析長度	0.01mm	0.001mm	資料保存	約 100 波形/ 1FD
荷重感應器	5 聯式		規格設定	上下限設定
量測範圍	無段設定範圍			±% 自動計算功能
測試速度	1~1000mm/min. 可調整			

5.2 實驗設計

微拉力試驗機台量測誤差之變異，將會影響鉅點可靠度的測試結果。本研究藉由量測 0603 被動元件之最大破壞力量 (Peak force)，同時觀察試驗過程中荷重元施於元件力圖變化及推力值的變異大小，以計算微拉力試驗機台的再現性與再生性，並驗證此機台是否具備測試 0603 元件之信賴度。

5.2.1 實驗因子及水準選擇

研究中，基於元件數的限制，為了符合平衡設計，且確保實驗結果的代表性，並考量微拉力試驗機台係為半自動化之試驗設備，操作人員影響量測的顯著性不大，試片個數 (n) 為 10 個、操作人員 (p) 為 2 人、重複次數 (k) 為 3 次時為最佳之量測組合【2】【5】。以全因子實驗而言，試驗之配方 (treatment) 組合數為 60 個。其因子、水準如表 2 所示。

表 2 因子、水準組合表

因子	水準
試片	A、B、C、D、E、F、G、H、I、J 共 10 片
操作人員	甲、乙 共 2 位

5.2.2 試片及元件選取

實驗中使用之量測試片樣本為合作廠商所提供之三片筆記型電腦主機板，將切割成四片測試試片子片，如圖 5 所示：



圖 5 未分割之主機板測試母片

研究中，將測試母片 (Mother Board) 裁切出的測試子試片視為相異樣本，而將各子試片上相同位置元件視為同一元件。雖然子試片的生產製程中的組裝參數皆相同，但在元件迴焊接合過程中，可能因不同區塊位置，PCB 上的元件受熱時產生溫度差距。因此將四片試片視為不同樣本；而每片試片上中數個 0603 元件位

置接近，故視為相同元件。在此假設下，才能將破壞性試驗中進行 GR&R 的分析。

元件選取遵循以下準則，首先決定試片中可供量測之元件，並選出排列皆為橫向之元件，選取順序為由上而下、由左而右。故需在同一區域，但不可過近而影響實驗。

5.2.3 機台參數設定

試驗過程中，推桿行進速度為 5mm/min，為避免相鄰元件之影響，而將推桿行程範圍設置在 0.5~4.0mm。將最大負荷設定為 7kgf，在荷重源上限以下。在數據的讀取點設置在峰值荷重 (FW PK L) 及峰值長度 (FW PK D)。在每次實驗完畢時讓半圓柱型推桿回歸原點，其他參數設定如表 3 所示：

表 3 機台參數設定

TITLE	Project			Test No.		
MODEL	GR/R			Y Scale	0-5	gf
DESC	93/09/14			X Scale	0-1.0	m
REM	Javier			SUPERINP	OFF	
TYPE(種類)	CMP			G.D STOR	OFF	
MOTION(動作)	ABS			LOAD 0(原點位置)	OFF	
MESURT(測定)	FWD			AUTO RTN(自動歸復)	OFF	
UNIT(單位)	Kgf			Z.LEVEL(零點準位)	N/A	% of Max Load
MAX LOAD(負荷上限)	7	Gf		B/DOWN(破壞檢出)	N/A	% of Max Load
RANGE(測試範圍)	0.5	mm	4.0mm	EMPTY(空試驗)	N/A	TIME
T.SPEED(測試速度)	5	mm/min		ORIGIN	N/A	Mm
M.SPEED(移動速度)	5	mm/min		資料種類	FW PK L	FW PK D

5.3 實驗

5.3.1 執行實驗及步驟

為確保量測的一致性，本實驗建立標準操作程序，供操作員進行試驗(圖 6)。

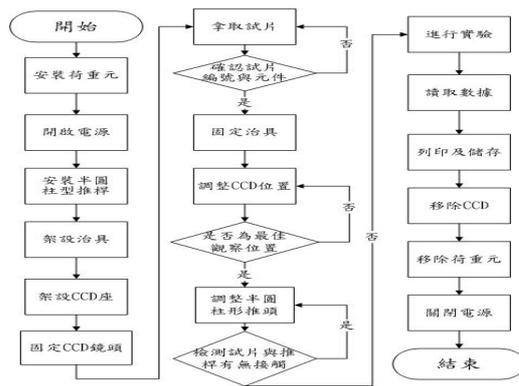


圖 6 實驗標準操作程序圖

5.3.2 實驗結果與紀錄

由上述元件選取準則得知其元件皆為橫向，由上而下、由左而右依序選取，如圖 7 所示。經 2 位操作員，針對 10 片測試子片，每片 3 顆的 0603 元件測試後，可得 PCB 接合銲點推力值 60 筆，其數據如表 4 所示。

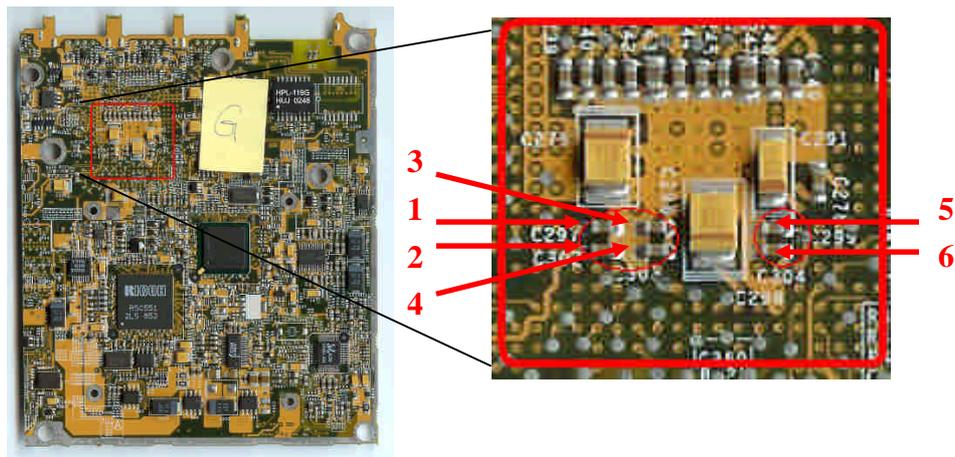


圖 7 各元件相關位置圖 (G 試片)

表 4 實驗紀錄表

順序	3	5	6	1	2	4
位置	3	5	6	1	2	4
	甲操作員			乙操作員		
重複數	Run1	Run2	Run3	Run1	Run2	Run3
試片 A	1.870	1.864	1.862	1.532	1.941	2.072
試片 B	1.558	2.124	1.914	1.513	1.672	2.046
試片 C	2.878	2.260	1.909	2.188	2.560	2.541
試片 D	1.807	2.031	1.764	2.078	2.857	1.928
試片 E	2.124	2.069	2.014	1.840	1.560	2.049

試片 F	2.137	1.901	2.165	3.000	2.269	2.447
試片 G	2.381	3.362	2.174	1.662	2.859	2.270
試片 H	2.346	3.129	2.102	1.961	3.172	3.852
試片 I	2.835	3.158	1.783	2.241	2.746	2.735
試片 J	1.314	2.247	2.135	3.578	3.419	2.675

5.4 數據分析

將實驗所得推力值進行 GR&R 的分析，其判定準則如公式(1)所示【1】【2】。其中 σ_{gauge} 為量測變異之標準差，Tolerance 為規格寬度，亦為 USL-LSL (USL、LSL 分別為規格上、下界限)。由於鉚點強度為望大特性，尚無確切公認之規格界線，以專家經驗認定鉚點接合強度 Tolerance 訂定為 3 較為適當。

$$\frac{5.15\sigma_{\text{gauge}}}{\text{Tolerance}} \times 100\% = \%GRR \quad (1)$$

5.4.1 GRR 分析

影響製程觀測數據的原因較難確認及解釋，一般可以用實驗來辨認是量測系統或製程本身引起的變異，如公式(2)：

$$\sigma_{\text{observation}} = \sqrt{\sigma_{\text{process}}^2 + \sigma_{\text{measurement}}^2} \quad (2)$$

若能降低量測系統引起的變異，可以使觀測數據的總變異變小，如圖 8 所示。因此，如何衡量量測系統的誤差而且保證其誤差在一定的程度以下，是儀器設備製程能力研究的主要目的。

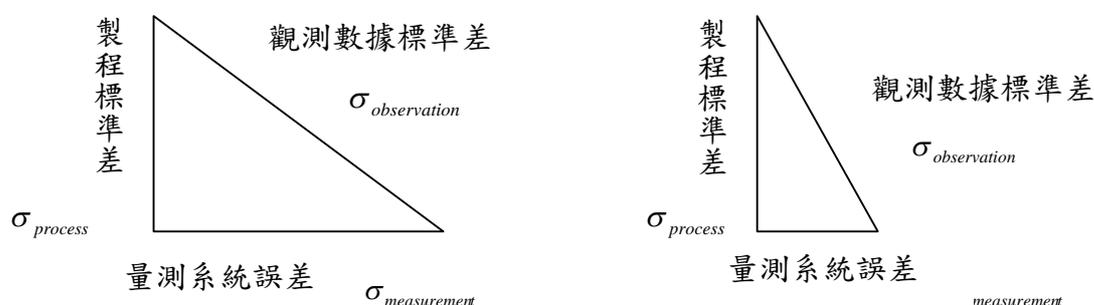


圖 8 量測系統誤差

其中，我們會先計算再現性 (Repeatability) 及再生性 (Reproducibility)，以

計算量測誤差之變異，如公式(3)所示。再現性是指同一量測人員在相同環境下使用同一儀器設備，重複量測同一樣品的同一特性，所得數據的變異，即是量具誤差 (Equipment Variable; EV)。再生性是指不同量測人員在相同環境下使用同一儀器設備，重複量測同一樣品的同一特性，所得數據的變異，即量測者誤差 (Appraisers Variable; AV)。

$$\sigma_{gauge}^2 = \sigma_{repeatability}^2 + \sigma_{reproducibility}^2 \quad (3)$$

ANOVA 分析法是由樣本資分析料各種變異來源的一種方法，經由不同變異數的衡量，即可瞭解各種原因造成的變異是否有顯著差異，進而檢定各母體的平均數是否相等的方法。本研究採用二因子變異數分析法，目的將設備誤差及操作員誤差進行個別的分析。

全距法係以平均數與全距概念，即 \bar{R}/d_2 及 $R\bar{x}/d_2$ (其中 d_2 為調整因子，如附錄 A 所示) 方式近似標準差，進而求得 GR&R 之測試總變異。

GR&R 準則及判定結果如表 5 所示，通常當 GR&R 是在 10~30%，表示量測系統之精確度可能被接受，這需要視公司政策及製程要求決定。此時藉由 AV 與 EV 值的比較，視何者變異較大則優先改善之。

表 5 GR&R%之準則及判定結果

準則	GR&R%	結果判定
1	GR&R<10%	量測系統精密
2	10%<GR&R<30%	有條件接受，依其重要性決定
3	30%<GR&R	拒絕

由上述計算公式及判定準則可知：

(i) ANOVA 分析

經判定原則計算 %E.V.=35%、%A.V.=11%、%GRR=46%

由上述結果可知，%GRR=46%，明顯大於企業可接受的 30%，故須針對可能是誤差來源的人員、樣本或是機台進行討論。

(ii) 全距法

經判定原則計算 %E.V.=75%、%A.V.=25%、%GRR=79%

由上述結果可知，GR&R=92%，遠大於企業可接受的 30%，故須針對可能是誤差來源的人員、樣本或是機台進行討論。

5.4.2 破壞模式分析

完成鉚點推力試驗後，利用 CCD 光學顯微鏡，觀察元件與應對之 PCB 鉚墊

表面，統計各種破壞模式發生次數，並探討其斷點位置是否與量測誤差具相關性。結果指出，元件斷裂位置可分為兩類。其中 98.3% 之樣本破壞介面發生在元件本體上，如圖 9 所示，由上述觀念可知其製程變異可能影響觀測數據的變異，將建議元件供應商改善其製程品質。

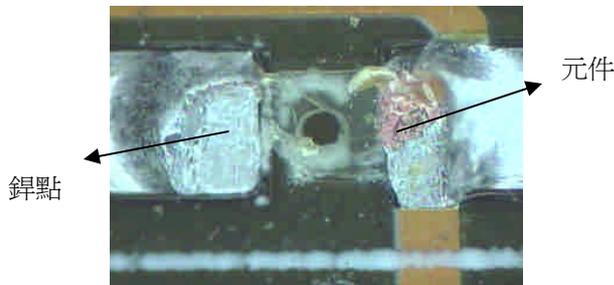


圖 9 元件破壞模式

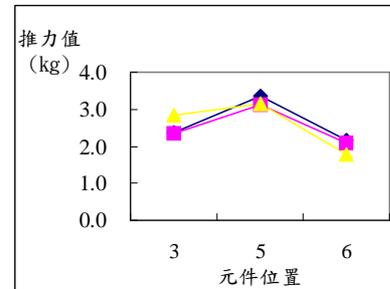


圖 10 GHI 試片推力折線圖

5.4.3 推力值分析—鄧肯檢定 (Duncan's New Multiple Range Test)

鄧肯檢定在處理數多時，按處理均值大小排列後，兩處理均值距離較遠者理應要有較大的均質差異顯著值才合理，因此創造了保護水準 (protection level)，其保護水準依兩處理均值距離大小而製有專表【3】。

圖 10 顯示，經鄧肯檢定後，發現甲操作員所測試之 G、H、I 試片中，座落於 PCB 上位置 3、5、6 之元件的鉚點推力強度有所差異，此差異將會使再現性產生誤差，故予以剔除之。此外由於 J 試片無法進行鄧肯檢定，為避免其有可能具趨勢性，故一併剔除。

5.4.4 調整後數據分析

經剔除上述測試資料後，再次進行 GR&R 分析。表 5 彙整並比較測試數據調整前後，及考慮元件於 PCB 上座落位置之影響性，結果指出在 ANOVA 分析法之 GR&R 判定結果由“拒絕”變成“接受”，故認定此量測機台在 ANOVA 分析法下為一具信賴度的量測機台。然而，在全距法分析法之 GR&R 判定結果仍無改變，主要誤差來自再現性誤差。其原因是由於 ANOVA 分析方法較為精確，並考慮到樣本及操作員之交互作用項，相較於全距法對試驗樣本的變異敏感度較低，故判定全距法不適用於破壞性量測研究。

表 6 GR&R 分析結果

項目	方法	調整前				調整後			
		ANOVA 分析		全距法分析		ANOVA 分析		全距法分析	
		計算結果	百分比	計算結果	百分比	計算結果	百分比	計算結果	百分比
再現性誤差 (E.V.)		0.203895	35%	2.257	75%	0.08496	15%	1.469	49%
再生性誤差 (A.V.)		0.063758	11%	0.736	25%	0.01472	3%	0.374	12%

量測誤差 (GRR)	0.267652	46%	2.374	79%	0.09968	17%	1.516	59%
GR&R 判定	拒絕		拒絕		接受		拒絕	

6. 結論建議

本研究針對微拉力試驗機台及相關治具，進行 0603 被動元件之錫點強度試驗，利用 ANOVA 法和全距法進行量具再現性與再生性分析。結果顯示，GR&R 值是不能接受的，尤其是以全距法計算所得的 GR&R 值高達 92%。於是進行數據及試片的探討，並以鄧肯檢定判定 G、H、I 試片上，座落於各位置之元件錫點強度有顯著差異，故將上述資料剔除，再以 ANOVA 法重新計算 GR&R 值，得到的結果為可接受的範圍。因此，驗證微拉力試驗機台及其治具用於 0603 元件錫點強度測試的可行性。本研究實驗過程及結果，提出以下幾點結論及建議：

1. 利用微拉力試驗機台進行 0603 元件錫點強度測試時，必須考量樣本之相似性，如 PCB 正反面、元件位置、橫向及縱向等。此乃由於元件 PCB 組裝過程之鋼板印刷及迴焊製程中，前述因素可能造成元件錫點強度間的變異。
2. 本研究為破壞性試驗，實驗中將不同位置的元件視為相同元件，以做再現性及再生性分析。但是由於製程的變異，元件之觀測值差異甚大，且並無強度的標準值，其範圍值也難加以規範，未來研究者可朝破壞性試驗之樣本訂定標準值方法加以研究。
3. 實驗中全距法對於破壞模式的分析較為不適用，因為樣本間的元件產生了較大的變異，而導致在用全距法計算 GR&R 時，EV 值過大而影響分析結果，GR&R 值高達 92%，因此，破壞性試驗不建議使用全距法。
4. 經由試片、元件位置與推力值趨勢圖，再以鄧肯多重檢定分析後，發現顯著性，剔除較顯著的試片數據後，再以 ANOVA 法進行分析，其 GR&R 結果於可接受範圍內，所以建議在試驗結束後，可使用檢定方法分析實驗數據有無顯著性，可使分析結果較為準確。
5. 破壞模式分析結果指出，大部份的破壞模式皆為元件斷裂，可提供元件供應商相關資料以利改進。

誌謝

本研究承蒙華梵大學先進製造研究中心提供共用設備，得以完成實驗，特此誌謝。

參考文獻

1. 江巧玉，2002，「量測系統重複性與再現性的分析研究」，國立成功大學統計研究所碩士論文。

2. 官生平，2000，簡易 SPC 統計製程管制，中華民國品質學會出版。
3. 周宏，2002，統計學觀念與方法，鼎茂圖書出版。
4. 陳永堃，2002，「實驗室間量規能力之比較研究」，元智大學工業工程與管理學系碩士論文。
5. 陳順宇、鄭碧娥，2002，實驗設計，華泰文化事業出版。
6. 蘇筵仁，2003，「BGA 元件組裝製程參數優化研究」，華梵大學工業管理學系碩士論文。