

# 應用類神經網路與基因演算法於鎂合金與銅異種金屬銲接參數最佳化之研究

張志平<sup>1\*</sup> 羅惠瓊<sup>2</sup> 朱佳荷<sup>1</sup>

<sup>1</sup>華梵大學工業工程與經營資訊學系

<sup>2</sup>淡江大學企業管理學系

## 摘要

由於質量輕高強度的鎂合金與高導電的銅金屬具有不同優越特性，導致兩者的接合在現今工業應用上非常普及且重要，而氬銲則是非常方便普及的接合技術。然而，在銲接過程中，鎂合金與銅的熔點分別為1,083 °C與649 °C差異甚大，且其可銲性之條件範圍狹窄會有接合介面和熔融銲道形成硬而脆的介金屬化合物的困難點。此外，一般對於銲接參數設定並沒有公式可循，完全憑藉專家過去的知識和經驗來設定，一旦超出專家經驗範圍，便無法有效設定最佳參數，容易造成銲接品質不佳。有鑑於此，本研究將發展一套經濟且有效之多品質特性田口實驗設計方法，解決大量連續型參數及水準之多重品質特性實驗設計問題，並利用理想解類似度順序偏好法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 與類神經網路 (artificial neural network, ANN) 訓練最佳化參數設計函數架構，結合基因演算法 (genetic algorithm, GA) 的柔性演算法 (soft computing, SC) 搜尋最佳參數組合，找出銅與鎂合金異種金屬板材銲接最佳化參數組合。

**關鍵詞：**銅、鎂合金、氬銲、類神經網路、基因演算法

## 1. 緒論

在現今工業發展上，由於輕量化、高強度鎂合金 (magnesium alloy) 與高導電、高傳導銅金屬有優越的特性，隨著工業的快速發展以及消費需求的改變導致現今應用非常普及，尤其是輕薄的電池產品，兩者的接合便非常重要，銲接即變為解決方法，目前銲接工藝中又以惰氣鎢極電弧銲或稱氬銲 (tungsten inter gas welding, 簡稱TIG銲) 最常被使用，相較於傳統CO<sub>2</sub>銲接時會噴鐵屑且成品外型會膨脹不美觀，而雷射銲接與摩擦攪拌銲接則易受限於空間限制 (如圓管銲接與無法固定本體的現場銲接)。氬銲最常使用於銲接不鏽鋼及鋁、鎂、銅合金等非鐵金屬的板材為主。此外，相較於手工電弧銲 (shielded metal arc welding,

收件日：108/01；修改日：108/08；接受日：108/10

\* 聯絡作者：華梵大學工業工程與經營資訊學系，22301新北市石碇區華梵路1號。

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

SMAW), 氬鐸更易控制鐸接處及良好的鐸接品質等優點, 故直至今, 氬鐸仍然是工業中不可或缺的工具之一 (Connor and O'Brien, 1991)。因此, 為了能夠瞭解鎂合金在鐸接時的品質特性, 研究中將以氬鐸做為鐸接實驗的方法。

銅與鎂合金材料鐸接雖然具有許多優異機械性質, 但是鎂的熔點低大約為 $649^{\circ}\text{C}$ , 銅的熔點為 $1,083^{\circ}\text{C}$ , 兩者熔點差異甚大, 且在異種金屬氬鐸上其可鐸性之條件範圍狹窄會有接合介面和融熔鐸道形成硬而脆的介金屬化合物的困難點。在氬鐸參數設定並沒有標準可循, 鐸接相關業者大多完全憑藉專家過去的知識和經驗來設定, 一旦超出專家經驗範圍, 便無法有效設定最佳參數, 而且容易造成鐸接品質不佳。再者, 面對鐸接參數多品質特性最佳化 (parameters optimization) 問題時, 大部分都沒辦法用解析法 (analytical method) 求解, 只能以數值演算法來求解, 而這些演算法廣泛地存在於各種工程設計和應用中, 因此, 如何建立一套有效的演算法可以針對問題做出正確的回應並找出最佳解, 實為重要的課題。另外, 在求解參數最佳化問題時一直存在一個很大的困擾, 即是, 當欲解決的問題具有高維度 (dimension) 或者是有許多區域最佳解 (local optimal) 存在時, 容易使演算法在搜尋時陷入區域解中而無法獲得最佳解。

為了解決上述問題, 部分學者考量田口方法 (Taguchi method) 是一種能夠在最短時間、最低成本與最少實驗次數下, 對產品設計與品質提供穩健設計的方法 (Taguchi, 1986)。張志平、劉孝先 (2014) 與Jhang (2016) 則結合田口方法與應用柔性演算法找出航太鋁合金及鉛鎂合金的最佳化組合。然而, 不同材料特性皆有差異性, 導致影響因素及最佳參數組合的結果亦隨之不同。因此, 本研究將針對銅與鎂合金材料鐸接議題, 發展一套經濟且有效之多品質特性田口實驗設計方法, 解決大量連續型參數及水準之多重品質特性實驗設計問題, 並藉由理想解類似度順序偏好法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 與類神經網路 (artificial neural network, ANN), 建構出的模型, 再結合遺傳基因演算法 (genetic algorithm, GA) 搜尋空間上多個點以找出最佳全域解 (global optimal)。這些方法的共同特色是可處理不確定性的計算, 而此種推測演算法可跳脫區域最佳解, 通常都可找到一個接近全域最佳解的值外, 且其搜尋具效率和容易使用。最後, 研究將經由銅與鎂合金的異種金屬板料鐸接參數的驗證實驗, 確認此套參數最佳化求解演算法的效果。

## 2. 文獻探討

在本節中, 將針對異種金屬鐸接 (鎂合金、銅、氬鐸) 及方法論 (田口方法、多重品質特性、類神經網路、基因演算法) 進行文獻回顧。

在鎂合金、銅與氬鐸方面, Liu *et al.* (2004) 提出利用氬鐸搭配雷射進行AZ31B鎂合金鐸接, 除了可改善鐸件缺陷, 亦可提高鐸接深度與鐸接速度, 而獲得良好的鐸道品質。Sevvel and Jaiganesh (2014)、Ugunder *et al.* (2014) 針對AZ系列鎂合金, 進行機械性能的研究, 如熱處理試驗、應力腐蝕試驗、拉伸試驗、硬度試驗、衝擊試驗等, 其中又以AZ31B鎂合金最為常見, 研究中大多使用薄板進行研究。

Liu *et al.* (2008) 採用氬鐸疊鐸異種金屬鎂合金和銅, 接頭性能很低, 大約為 $25\text{ MPa}$ 。選擇鐵箔作為中間層對鎂銅異種金屬進行鐸接, 鐸接接頭中沒有金屬間化合物的存在, 接

頭的脆性明顯降低，接頭性能為70 MPa以上，比直接銲接接頭有了大幅度的提高。

Cary and Helzer (2010) 提到氬銲銲接的參數有數個，每個參數均對銲道品質有一定的影響，而各參數間又互相有關聯。主要影響銲道品質的製程參數包含銲接電流、電弧電壓、銲接移行速度、脈衝參數 (如有使用)、機器控制銲接的電流遞增和衰減速度 (如有使用)。Tarnng and Yang (1998) 得知貢獻度百分比以銲接速度 (43.3%) 最大，其次是銲接電流 (39%)。Esme *et al.* (2009) 提到銲接速度、銲接電流、保護氣體流量和工作間隙對於銲道的機械性質如拉伸荷重也起了很大的作用。

此外，Juang and Tarnng (2002) 採用田口方法分析銲接製程參數的影響 (電弧間隙、氬氣流量、銲接電流、銲接速度)，找出最佳銲道的製程參數水準組合。而張志平、劉孝先 (2014) 與Jhang (2016) 則結合田口方法與應用柔性演算法找出銲接品質的製程影響參數及最佳組合，並考量銲接電流、氬氣流量、鎢棒與板材間隙、鎢棒凸出量、銲接移行速度等五因素於實驗設計中，最後透過實驗結果獲知銲接電流、銲接速度及鎢棒與板材間隙具有顯著影響，而電流與移行速度並沒有交互作用。

綜合上述文獻可發現，影響銲接製程品質的製程參數常被探討的有銲接電流、銲接速度、氬氣流量及電弧間隙等。

而在方法論方面，Tong *et al.* (1997) 針對多重品質特性製程，導入灰色系統理論中的灰關聯分析 (grey relational analysis) 技巧並結合理想解類似度順序偏好法 (technique for order preference by similarity to ideal solution) 能同時衡量最佳方案與理想解及負理想解的特色，發展出一套簡單易用且有效的線外製程品質改善分析程序，以供製程品管工程人員應用。Wang and Su (2013) 應用田口方法結合TOPSIS以最少的實驗次數最佳化不織布的多重品質特性製程參數組合。

類神經網路常被用來作為預測、分類的工具，高進強等人 (2001) 提到由於氬銲過程屬於高度非線性、強耦合、時效變化的系統，難以建立精確的數學模型。所以透過類神經網路自我學習的特點與模糊控制系統結合，對於自動化調節控制非常有效；Li and Hsu (2010) 提到運用倒傳遞類神經網路與粒子群演算法在最佳化製程是有效的。由於基因演算法具有能同時搜尋考慮問題空間上多個點，以避免陷入區域最佳解的特性，基因演算法目前已經大量使用於銲接品質製程參數最佳化之問題。Lin *et al.* (2012) 提到透過田口方法結合類神經網路及基因演算法等方法應用在最佳化製程時，可減少傳統實驗下的實驗成本。因此基因演算法作為最佳化的工具是非常有效且受歡迎的方法。由Su and Hsu (1996) 與Venugopal and Narendran (1992) 之論文中可得知，基於基因演算法易於發展與指數遞增的求解空間，其適合求解屬於找不到可行解法的單元形成問題。而類神經網路在使用上不需任何的前提假設，並能夠透過類神經網路解決連續性參數設計最佳化面臨的複雜數學關係模式。提供其參數解能跳脫區域最佳解的機會，而成為一全域解。故本研究將藉由倒傳遞類神經網路的特點作為建模的工具，以便與基因演算法作結合，且藉由此類神經網路所得到的結果也會更優於傳統的田口方法，預測出的數值也較接近實際值。

基於上述之演算法特性，故本研究的模式求解工具是採用田口方法、TOPSIS、類神經網路、遺傳基因演算法等柔性演算法，建立模型解決本研究之多重品質特性，並進行確認實驗，以期快速的找出正確之最佳組合。

### 3. 研究方法

經文獻探討後，決定本研究製程所會用到的研究方法以及參數水準與選擇品質特性。而主要的研究方法模式架構，如圖1所示，其內容涵蓋品質特性與影響銲接品質特性之製程參數的選定、選定本研究所使用的田口方法直交表，TOPSIS整合多重品質特性，將TOPSIS求得的優先順序相對接近程度 (relative closeness, RC) 作為「倒傳遞類神經網路」的目標值，以找出最佳架構；將「倒傳遞類神經網路」所求得的最佳架構作為「基因演算法」的適應函數，以求得基因演算法的全域最佳參數組合，接著進行確認實驗以找出最佳參數水準組合。詳細流程將於下節中說明。

### 4. 實驗流程

#### 4.1 銲接材料

本實驗以交流電氫銲接法進行銲接實驗，所使用的母材為AZ31B鎂合金，板材尺寸為長×寬×厚為80 mm×61.2 mm×3 mm，與銅C1100板，尺寸為85 mm×60 mm×1.5 mm進行板材對接實驗。

#### 4.2 銲接品質特性之選定

本研究實驗對象為AZ31B鎂合金板與銅C1100板，所以依據專家提供的經驗與建議以及Sevvel and Jaiganesh (2014)、Ugender *et al.* (2014) 等文獻的探討，得知可進行非破壞性檢驗與破壞性檢驗，非破壞性檢驗有銲道厚度 (welding thickness)、銲道寬度 (bead width)、硬度 (bead hardness)，而破壞性檢驗有拉伸強度試驗 (tensile test) 與衝擊試驗 (impact test)，故選定為本研究所需量測之品質特性。分別敘述如下。

##### 4.2.1 銲道厚度：望大品質特性

銲道熔池在冷卻後會形成凸起的銲道，而銲道的厚度會影響其機械性能如拉伸強度等。銲道的厚度與抵抗外力的強度呈正相關，故將其品質特性設定為望大品質特性。

##### 4.2.2 銲道寬度：望目品質特性

李隆盛 (1990) 提到過寬的銲道會造成熱影響區 (heat-affected zone, HAZ) 範圍擴大，使得如抗拉強度等機械性質下降。但銲道也不可過窄，一旦過窄將造成銲道形狀過凸，使得銲道兩側的容易造成熔滲不足，故將其品質特性設定為望目品質特性。

##### 4.2.3 拉伸試驗：望大品質特性

藉由拉伸試驗以測試板材在靜止的狀態下所能承受的荷重大小或受到緩慢增加負荷時

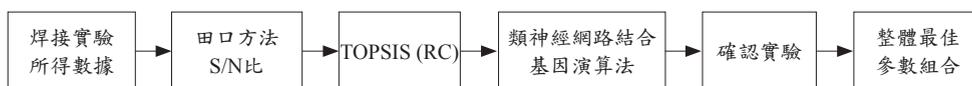


圖1. 研究方法之模式架構圖

資料來源：本研究自行整理。

的抵抗能力，通常以抗拉強度值為指標，即是板材在試驗過程中所能承受的最大荷重之應力，故將其品質特性設定為望大品質特性。

#### 4.2.4 衝擊試驗：望大品質特性

為了求得板料被衝斷時所吸收之能量稱為衝擊值，衝擊值愈大，其韌性愈大，透過衝擊值能知道脆性與韌性。故將其品質特性設定為望大品質特性。

#### 4.2.5 銲道硬度：望目品質特性

由於硬度試驗可檢查銲道品質是否均勻，熱處理及表面硬化與常溫加工是否適當，故為品質控制之常用方法；銲道的硬度與延展的強度呈負相關，且需確保銲接材質的強度，故將其品質特性設定為望目品質特性。

### 4.3 銲接製程參數

為選出重要製程參數，本研究藉由第2節有關異種金屬銲接的文獻探討與專家訪談後建構銲接品質的特性要因圖(如圖2)，並獲得影響銲接品質特性之主要參數分別為銲接電流、銲接移行速度、鎢棒與板材間隙、鎢棒凸出量與氬氣流量。以下將分別介紹這五個所選定的因子。

#### 4.3.1 銲接電流

本實驗以直流電銲接方式，進行AZ31B鎂合金與紫銅C1100板的銲接。本實驗之銲接電流設定為150 A、160 A、170 A。

#### 4.3.2 銲接移行速度

利用實驗設備中的自動移行機進行板材的銲接工作，經由自動移行機的內部按鍵設定，銲接過程中銲接移行速度過快會造成在銲道表面銲接無法完全熔合；反之，則將造成熱能集中過熱而導致銲道寬度過寬；本實驗移行速度設定為12.6 cm/min、14.1 cm/min、15.4 cm/min。

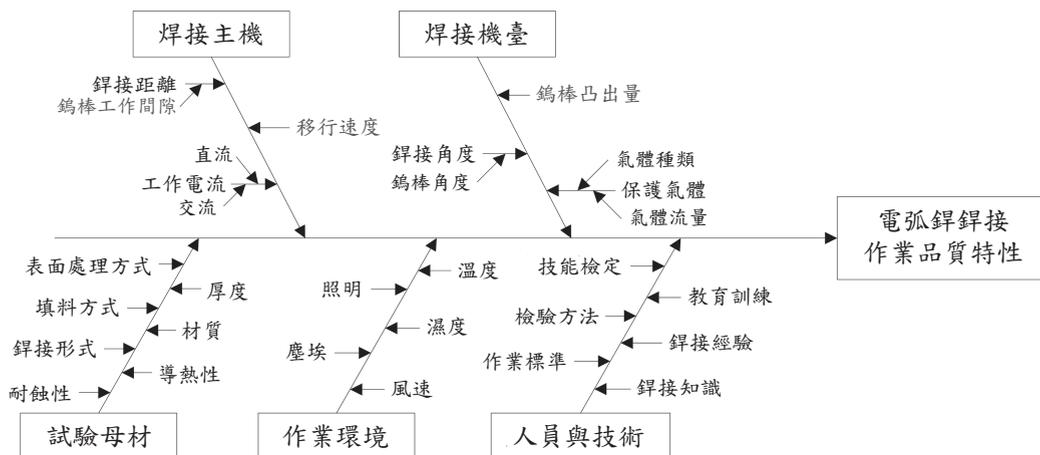


圖2. 銲接品質的特性要因圖

資料來源：本研究自行整理。

### 4.3.3 鎢棒與板材間隙

在鎢棒工作間隙部份，過大容易造成氬鎢棒與鎢道氧化；過小則電弧的高熱會導致鎢嘴容易熔解，鎢棒與母材碰融。因此氬鎢棒至板材距離之電極工作間隙應儘量保持在2 ~ 3 mm；本實驗所選定的工作間隙為2 mm。

### 4.3.4 鎢棒凸出量

鎢棒的凸出量會影響銲接的深淺、保護氣體的效果會變差，會影響鎢道的外觀，過短會影響實驗的進行，鎢棒的角度會影響銲點的形狀；本實驗之鎢棒凸出量為2 mm。

### 4.3.5 氬氣流量

氬氣為惰性氣體一種，可作為銲接時的遮蔽保護氣體，並得到較好的鎢道品質。而保護效果取決於噴嘴與母材的距離、噴嘴的內徑與尺寸、氣體的流量，以及保護氣體的純度等，故氬氣流量的大小為本研究影響品質特性的一個重要因子；本實驗將氬氣流量設定為11 L/min。另外，基於可控因子過多，複雜度高且控制不易，參考張志平、劉孝先 (2014) 及馮敬家 (2017) 所實驗之結果數據分析，發現鎢棒與板材間隙、鎢棒伸長量與氬氣流量所造成的影響並不顯著，故而將此三因子的參數值固定。因此，本研究之實驗設計為二因子三水準實驗，表1為本研究之因子水準表，並選取  $L_9(3^4)$  直交表做為本研究的田口實驗設計依據。

## 4.4 田口方法

田口方法藉由直交表，以及透過田口實驗所得到的觀察值，轉換為S/N比。經由文獻探討得知兩個因子 (A：銲接電流、B：銲接移行速度)，每個因子三水準，採用  $L_9(3^4)$  直交表。每種組合進行兩位不同操作人員兩次實驗 (雜音因子為兩位不同操作人員)。

品質特性「鎢道厚度、拉伸試驗、衝擊試驗」採用望大品質特性，「鎢道寬度、鎢道硬度」採用望目品質特性。其品質損失函數為：

(1) 望目品質特性：

$$S/N = -10 \times \log \left[ \frac{S_m - V_e}{N \times V_e} \right] \quad (1)$$

表1. 控制因子水準表

控制因子	Level 1	Level 2	Level 3
A. 銲接機臺電流 (A)	150.00	160.00	170.00
B. 銲接移行速度 (cm/min)	12.60	14.10	15.40
固定因子			
C. 鎢棒伸長量 (mm)		2.00	
D. 鎢棒與板材間隙 (mm)		2.00	
E. 氬氣流量 (L/min)		11.00	

資料來源：本研究自行整理。

(2) 望大特性：

$$S/N = -10 \times \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

其中， $y_i$ 為品質特性， $S_m = \frac{(\sum y_i)^2}{n}$ ， $V_e = \frac{1}{n-1} (\sum Y_i^2 - S_m)$ 。

#### 4.5 TOPSIS

Hwang and Yoon (1981) 所發展出來的多準則評估方法稱為TOPSIS，其基本觀念是同時考慮每個方案與理想解和負理想解的距離，使所選擇之方案離理想解最近，離負理想解最遠。其分析步驟參考Tong *et al.* (1997) 修改如下：

步驟1：建立各實驗組合對品質特性之間的績效矩陣。

步驟2：將各實驗組合對各個品質特性的績效值標準化 (standardization)，轉換資料的公式如下：

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3)$$

其中， $r_{ij}$ 表示第*i*組合在第*j*個品質特性下的標準化績效值。 $x_{ij}$ 表示第*i*組合在第*j*品質特性下的績效值。

步驟3：將績效矩陣乘上各品質特性設定之權重。

步驟4：計算各實驗組合理想解的距離 ( $S_i^+$ ) 與負理想解的距離 ( $S_i^-$ ) 分別為：

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (4)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (5)$$

其中， $v_{ij}$ 表示第*i*實驗組合在第*j*品質特性下加權後的標準化績效值。

步驟5：排列各實驗組合的相對接近程度 (RC) 優先順序：

$$RC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (6)$$

其中， $RC_i$ 介於0到1之間，愈接近1表示第*i*個實驗組合的優先順序愈高，愈接近0表示第*i*個實驗組合的優先順序愈低。

#### 4.6 整合倒傳遞類神經網路和遺傳基因演算法

透過基因演算法的選擇、交配、突變的演化功能，與倒傳遞類神經網路透過搜集數據來建立的模型，使工程專業人員能夠更有效率地進行最佳化製程的工作。本研究運用田口方法與TOPSIS、倒傳遞類神經網路結合基因演算法求取最佳化的過程步驟參考Chan *et al.* (2006)、張志平、劉孝先 (2014)。其步驟流程如圖3，建構倒傳遞類神經網路收斂評估準則以MSE及測試資料誤差來決定。其中利用TOPSIS將多重品質特性轉換為單一品質特性。設定基因演算法的演化參數為：母體大小 (30 ~ 200)、交配率 (0.5 ~ 1.0)、突變率、演化世代數 (100 ~ 1,000)。突變參數組合染色體數 = 群體數目 × 突變率。最後終止條件為滿足下列

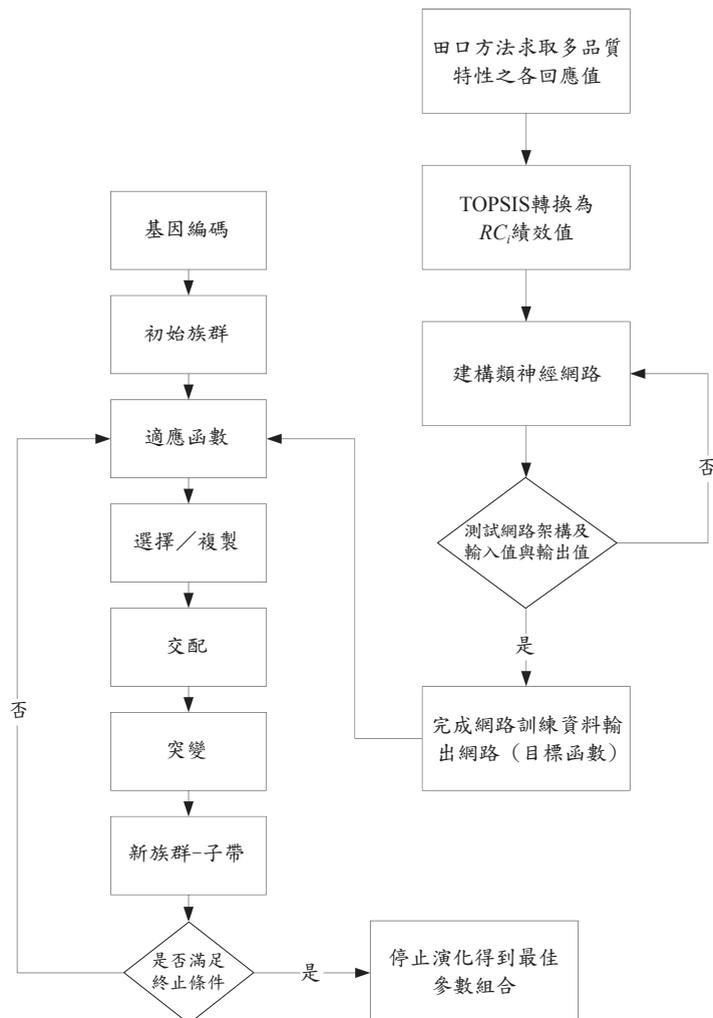


圖3. 類神經網路結合基因演算法流程圖

資料來源：本研究自行整理。

註：終止條件為 $MSE < 10^{-6}$ 或演化次數  $> 10,000$ 。

二者之一：(1) 當演化次數達到最大演化1,000次數時即終止；或 (2) 當達到設定代數內不再進步時，即 $MSE < 10^{-6}$ ，則終止。如皆未達到終止條件，則回到重新計算適應函數。

## 5. 數據分析

將原始資料依各品質特性公式轉換成S/N比、TOPSIS運算以及類神經網路分析，並結合基因演算法，找到最佳參數水準組合。

### 5.1 個別品質特性S/N比

透過田口方法之個別品質特性S/N比求得個別品質特性影響關鍵因素及最佳參數水準組合，再結合變異數分析結果，可彙整成交叉分析表 (如表2)，而表2中的權重是依據文獻及專家意見而決定的。

### 5.2 TOPSIS最佳參數水準組合

依據Hwang and Yoon (1981) 所發展出來的TOPSIS多準則評估方法，進行4.5節分析步驟，TOPSIS 之 $RC_i$ 值反應表與最佳參數水準組合如表3。

表2. 交叉分析表

Level	A (速度)	B (電流)	權重	選擇理由
銲道厚度最佳組合	A2	B2	10%	1. 由於拉伸權重占最高，因此優先考量。 2. 拉伸與衝擊之S/N比顯著性為A3；銲道硬度與銲道寬度之S/N比有顯著性為A2，由於權重較低，暫不考慮。 3. 銲道硬度之ANOVA顯著性為B3，S/N之顯著性為B1；因為B3的貢獻度較高，所以優先考量。 4. 最佳組合為A3、B3。 5. 其次的最佳組合為A3、B1。
顯著性 (S/N)	*			
貢獻度	8%	2%		
顯著性 (ANOVA)				
銲道寬度最佳組合	A2	B3	10%	
顯著性 (S/N)	*			
貢獻度	22%	42%		
顯著性 (ANOVA)	*	*		
拉伸最佳組合	A3	B3	40%	
顯著性 (S/N)	*			
貢獻度	3%	1%		
顯著性 (ANOVA)				
衝擊最佳組合	A3	B3	20%	
顯著性 (S/N)	*			
貢獻度	12%	10%		
顯著性 (ANOVA)				
銲道硬度最佳組合	A3	B1	20%	
顯著性 (S/N)		*		
貢獻度	7%	5%		
顯著性 (ANOVA)				
最佳參數水準組合 1	A3	B3	100%	
Total Optimal 2	A3	B1	100%	

資料來源：本研究自行整理。

註：\*表示在 $\alpha = 0.05$ 下為顯著。ANOVA為變異數分析 (analysis of variance)。

表3. TOPSIS反應表

Level	A	B	Average
1	0.51	0.59	0.55
2	0.44	0.52	0.48
3	0.75	0.59	0.67
Delta	0.31	0.07	0.19
Rank	1	2	
顯著性	*		
最佳組合	A3	B1	

資料來源：本研究自行整理。

註：\*表示在 $\alpha = 0.05$ 下為顯著。

### 5.3 類神經網路設定與執行

本研究應用MATLAB R2013軟體進行倒傳遞類神經網路分析，設定參數如下所述，以田口直交表配置之前6組實驗之銲接製程參數組合作為倒傳遞類神經網路的訓練輸入值，而最後3組做為測試輸入值，其中此9組資料皆由挑選每個因子有3個水準進行測試而得的。此外，由於因子數為2故將輸入層神經元個數設定為2；隱藏層則根據本研究相關文獻探討的結果，將其設定為一層；接著給定隱藏層神經元個數訓練範圍設定為1~9；而輸出層則設定為TOPSIS分析後得到的前6組之 $RC_i$ 做為訓練目標值，而最後3組則作為測試目標值，由於目標值僅為TOPSIS轉換後之單一品質特性，故神經元個數設定為1；而學習率之設定則為下限0.05，上限0.5；動量初始值則為下限0.7，上限0.95；輸入層至隱藏層與隱藏層至輸出層的轉換函數則前端設定為logsig，而後端則將激活函數設定為sigmoid axon函數；倒傳遞類神經網路訓練終止條件包含以下兩項，當訓練循環次數達到10,000次即停止訓練或訓練終止條件目標值達到0.00001時則終止；設定完成後進行訓練與測試並根據Train Gradient與Test MSE值來判定此模型的好壞。表4為本研究經過訓練後所設定之倒傳遞類神經網路。當Train Gradient與Test MSE值經過神經網路訓練後所顯示的值愈小則愈好。結果顯示，當訓練Train Gradient為0.000011，而測試Test MSE為0.02具有最小梯度值與測試值MSE，故本研究最終選定最佳網路模型為輸入層神經元個數2、隱藏層神經元個數1、輸出層神經元個數1，學習速率設定為0.25、動量初始值設定為0.95。

### 5.4 基因演算法最佳化參數分析

根據訓練好的類神經網路模型，輸入層神經元個數5、隱藏層神經元個數3、輸出層神經元個數1，此網路架構即是基因演算法的適應函數。本研究中基因演算法的設定參數包含以下幾個重點，採用輪盤賭選擇法、初始族群大小為50、交配率為0.5、突變率為1.0、演算代數為1,000代。將 $RC_i$ 值當作目標，輸入層為輸入參數值，進行基因篩選。當基因演算法演算達到終止條件即適應度函數最大值不再增加或演算代數設定完成即停止演算。表5為本研

表4. 倒傳遞類神經網路訓練結果

輸入層神經元數	隱藏層神經元數	輸出層神經元數	學習速率	動量	Train Gradient	Testing MSE
2	1	1	0.25	0.95	0.000011	0.02

資料來源：本研究自行整理。

表5. 類神經網路結合基因演算法最佳參數水準組合

銲接機臺電流	銲接移行速度	$RC_i$
166.80 A	15.40 cm/min	0.71

資料來源：本研究自行整理。

究分析後所得基因演算法最佳參數水準組合。

## 5.5 驗證實驗

本實驗進行確認實驗之前先檢定95%信賴區間，本實驗95%信賴區間值為 [0.40, 1.14]。

而經由上述田口方法結合變異數分析之交叉分析表 (見表2)、TOPSIS (見表3) 與類神經網路搭配基因演算法所得到之各別最佳參數水準組合 (見表5)，即可進行驗證實驗；本研究之驗證實驗以TOPSIS之 $RC_i$ 值做為主要評比參數水準組合好壞的依據，藉由研究結果找到最佳參數水準組合，其結果如表6所示。

由表6可知整合TOPSIS、類神經網路與基因演算法為驗證實驗最佳參數水準組合，其確認實驗評判值 ( $RC_i$ ) 為0.98優於其他的組合，且該值落於信賴區間內，可驗證確認實驗結果與實驗數據相符。

## 6. 結論與建議

### 6.1 結論

本研究以鎂與銅異種金屬銲接作為研究對象，並使用田口方法、TOPSIS、類神經網路、類神經網路結合基因演算法以找尋最佳參數水準組合。研究結果經由實驗與分析後，將結論歸納整理如下所述：

- (1) 藉由文獻探討、專家訪談實務經驗及特性要因分析，得知銲接移行速度、銲接電流為影響銲接品質之重要因子；而經由實驗結果得知，銲接電流大小對於銲道品質特性影響最為顯著。
- (2) 由表6可知，以整合類神經網路與基因演算法之TOPSIS  $RC_i$ 值為0.98優於其他的組合，其最佳製程參數水準組合為銲接電流167 A、銲接移行速度15.4 cm/min。

### 6.2 建議

- (1) 銲接品質特性的部分可以考量其他非破壞性的檢測如熱應力檢測或其它微觀組織的觀察等。

表6. 驗證實驗評判值

研究方法	A銲接電流	B銲接移行速度	驗證實驗評判值
交叉表	170 A	15.40 cm/min	0.18
TOPSIS	160 A	15.40 cm/min	0.32
倒傳遞類神經網路結合基因演算法	167 A	15.40 cm/min	0.98

資料來源：本研究自行整理。

註：交叉表為田口方法結合變異數分析之結果，參見表2。

- (2) 研究方法的部分建議在執行多重品質特性單一化步驟時可考慮渴望函數(desirability function) 取代TOPSIS；另外也可考慮使用支援向量機 (support vector machine, SVM) 的方法作為建模的工具並與基因演算法作結合。SVM對於實驗數據較少的情況下，可以有效使用作為基因演算法之最適函數。

## 參考文獻

- Howard B. Cary and Scott C. Helzer著，陳茂愛、王新洪、陳俊華譯，2010，現代焊接技術，化學工業，北京。
- 李隆盛（1990），*銲接實習*，全華科技，臺北。
- 高進強、武傳松、劉新峰，2001，TIG焊背面熔寬的神經網路模糊控制，*焊接學報*，22(5)，5-8。
- 張志平、劉孝先，2014，應用柔性演算法於航太鋁合金銲接參數最佳化之研究，*品質學報*，21(3)，205-216。
- 馮敬家，2017，**5052**鋁合金與**AZ31B**鎂合金異種金屬銲接之多重品質特性參數最佳化，碩士論文，華梵大學，新北。
- Chan, H.-L., Liang, S.-K. and Lien, C.-T., 2006, A new method for the propagation system evaluation in wireless network by Neural Networks and Genetic Algorithm, *International Journal of Information Systems for Logistics and Management*, 2(1), 27-34.
- Connor, L. P. and O'Brien, R. L., 1991, *Welding Handbook, Vol. 2: Welding Processes*, American Welding Society, Miami, FL.
- Esme, U., Bayramoglu, M., Kazancoglu, Y. and Ozgun, S., 2009, Optimization of weld bead geometry in TIG welding process using grey relation analysis and Taguchi method, *Materials and Technology*, 43(3), 143-149.
- Hwang, C. L. and Yoon, K., 1981, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Jhang, J.-P., 2016, The optimal parameters design of multiple quality characteristics for the welding of aluminum magnesium alloy, *Journal of Quality*, 23(3), 201-211.
- Juang, S. C. and Tarn, Y. S., 2002, Process parameter selection for optimizing the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 122(1), 33-37.
- Li, T.-S. and Hsu, C.-M., 2010, Parameter optimization of sub-35 nm contact-hole fabrication using particle swarm optimization approach, *Expert Systems with Applications*, 37(1), 878-885.
- Lin, H.-C., Su, C.-T., Wang, C.-C., Chang, B.-H. and Juang, R.-C., 2012, Parameter optimization of continuous sputtering process based on Taguchi methods, neural networks, desirability function, and genetic algorithms, *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12918-12925.
- Liu, L., Wang, J. F. and Song, G., 2004, Hybrid laser-TIG welding, laser beam welding and gas tungsten arc welding of AZ31B magnesium alloy, *Materials Science and Engineering: A*, 381(1-2), 129-133.
- Liu, L., Wang, S. and Zhao, L., 2008, Study on the dissimilar magnesium alloy and copper lap joint by TIG welding, *Materials Science and Engineering*, 476(1-2), 206-209.
- Sevvel, P. and Jaiganesh, V., 2014, Characterization of mechanical properties and microstructural analysis of friction stir welded AZ31B Mg alloy thorough optimized process parameters, *Procedia Engineering*, 97, 741-751.
- Su, C. T. and Hsu, C. M., 1996, A two-phase genetic algorithm for the cell formation problem, *International Journal of Industrial Engineering*, 3(2), 114-125.

- Taguchi, G., 1986, *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*, Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan.
- Tarng, Y. S. and Yang, W. H., 1998, Optimisation of the weld bead geometry in gas tungsten arc welding by the Taguchi method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 14(8), 549-554.
- Tong, L.-I., Su, C.-T. and Wang, C.-H., 1997, The optimization of multi-response problems in the Taguchi method, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 14(4), 367-380.
- Ugenter, S., Kumar, A. and Reddy, A. S., 2014, Microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy by friction stir welding, *Procedia Materials Science*, 6, 1600-1609.
- Venugopal, V. and Narendran, T. T., 1992, Cell formation in manufacturing systems through simulated annealing: an experimental evaluation, *European Journal Operational Research*, 63(3), 409-422.
- Wang, S. W. and Su, T. L., 2013, Design optimization of nonwoven processing parameters using hybrid Taguchi and TOPSIS approach, *Advanced Materials Research*, 622-623, 103-106.

# APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND GENETIC ALGORITHM TO OPTIMIZE THE WELDING PARAMETERS DESIGN OF HETEROGONOUS MATERIALS FOR MAGNESIUM ALLOY AND COPPER

Jhy-Ping Jhang<sup>1\*</sup>, Hui-Chiung Lo<sup>2</sup>, Chia-Ho Chu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Industrial Engineering and Management Information, HuaFan University*

<sup>2</sup>*Department of Business Administration, Tamkang University*

---

## ABSTRACT

Due to excellent characteristics of light weight, high strength magnesium alloy, and high conductivity copper, the joining of copper and magnesium alloy are gradually important, with the rapid development of industry, as well as changes in consumer's demand. Tungsten Inter gas (TIG) welding is convenient and general joining technology. The welding of different metal materials such as the copper and magnesium alloy have superior mechanical characteristics, but the melting point of copper and magnesium alloy are 1,083°C and 649°C respectively, the difference is very large, also the feasible setting for the heterogonous metal materials welding parameters of the TIG has many difficulties due to some hard and crisp inter-metallic compounds created within the weld line. Normally, the setting for welding parameters does not have a formula to follow; it usually depends on experts' past knowledge and experiences. Once exceeding the rule of thumb, it becomes impossible to set up feasibly the optimal parameters. This research proposes an economic and effective experimental design method of multiple characteristics to deal with the parameter design problem with many continuous parameters and levels for the weld of copper and magnesium alloy heterogonous metal materials. It uses technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) and artificial neural network (ANN) to train the optimal function framework of parameter design. It combines soft computing (SC) of genetic algorithm (GA) to search the optimal parameters combination for the weld of the copper and magnesium alloy heterogonous metal materials. To improve previous experimental methods for multiple characteristics, this research method employs GA to search the optimal parameter such that the potential parameter can be evaluated more completely and objectively.

**Keywords:** copper, magnesium alloy, TIG, artificial neural network, genetic algorithm

---

Received: 1/2019; Revised: 8/2019; Accepted: 10/2019

\* Correspondence: Department of Industrial Engineering and Management Information, HuaFan University; No.1, Huafan Rd., Shiding Dist., New Taipei City 22301, Taiwan (R.O.C.)

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