

第三章 實驗方法與步驟

本章主要敘述實驗方法與步驟。首先說明整個實驗流程。在實驗材料準備方面，說明母材尺寸及使用的銲線。在實驗配置方面，依控制因素的個數及其水準值選用適當的直交表並說明欲量測的品質特性。在銲接實施方面，說明銲接所使用的設備如銲接機、送線機、自動走銲機等及銲接之方式。在試片製作方面，說明試片加工方式及尺寸大小。在微硬度測試方面，說明微硬度量測之範圍與量測方法。在肥粒相量測方面，說明肥粒相量測之方法。在金相顯微組織觀察方面，說明金相試片製作流程及欲觀察之金相處。最後說明測試數據的解析方式。

第一節 實驗流程

本研究之實驗流程如圖3-1所示。首先經由相關之文獻探討，決定量測之品質特性與控制因數。接下來需經過GTAW銲接試銲以決定控制因數的起始條件與水準範圍。接著進行實驗配置，將控制因素及其水準值與欲量測之品質特性配置於 L_{18} 直交表上。然後開始依實驗計畫進行銲接，銲接完畢後製作金相試片和微硬度試片以便進行量測、比較與分析。同時以銲道微硬度、銲道寬度及銲蝕決定出最適銲接參數。最適銲接參數經由確認實驗後，會同金相顯微組織及微硬度曲線，撰寫實驗結果與討論，最後歸納結論。

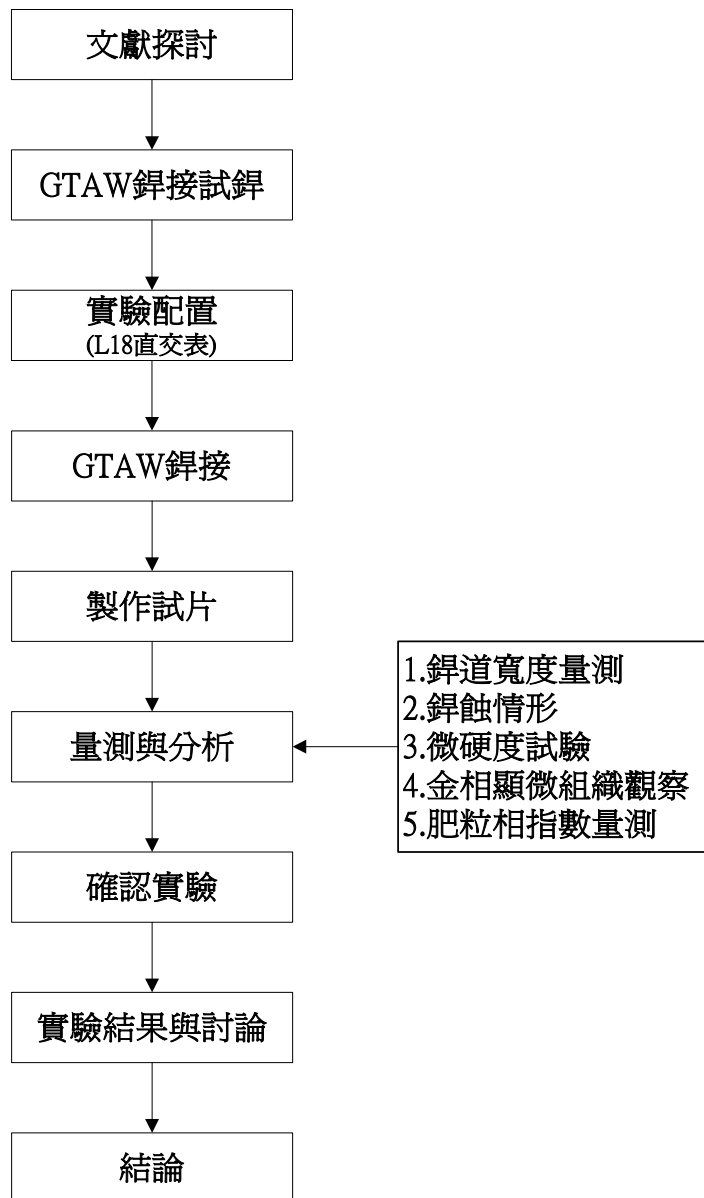


圖 3-1 實驗流程圖

第二節 實驗材料

壹、母材

本研究所使用的銲接母材為 AISI316 不銹鋼薄板，其規格為 140mm×40mm×3.3mm 及 100mm×40mm×3.3mm 兩種。母材成分如表 3-1 所示。

表 3-1 本研究使用之母材 AISI316 不銹鋼薄板之化學成分表

AISI	化學成分 wt%						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
316	0.015	1.32	0.37	16.08	9.88	1.94	Bal

貳、銲線

本研究所使用的銲線依 AWS A5.9 規格，為直徑 1.2mm 之 ER316 銲線，其成分如表 3-2 所示。

表 3-2 ER316 銲線之化學成分表

銲線 \ 成分	Ni	C	Si	Mn	Mo	Cr	Fe
ER316	11.8	0.018	0.46	1.45	2.39	18.9	Bal

第三節 實驗配置

鐳道的幾何形狀和機械性質經常被用來作為評估鐳接品質的好壞，因此本研究擬以鐳道微硬度、鐳道寬度及鐳蝕等三個項目作為度量鐳道品質之品質特性。決定品質特性及其理想機能後，便要評估影響品質特性的主要參數（即控制因素）。在參考文獻後，本研究選定電弧長度、鐳接電流、鐳接速度、送線速度、對接間隙及保護氣體含氮量百分比等六項參數作為評估品質特性的控制因素。

本研究各控制因素的水準值如表3-3所示，水準值的選擇乃是先行參考文獻，然後經由不斷的試鐳而得。水準值範圍的要求是鐳道必須完全熔透、沒有燒穿且沒有熱裂縫的產生。

本研究採用田口方法實驗配置，使用混合系列之 L_{18} 直交表。在直交表之內側配置鐳接製程之控制因素及其水準值，。在直交表的外側配置所欲量測的品質特性值，如表3-4至表3-7所示。

表 3-3 控制因素及其水準值

水準值 控制因素	1	2	3
A：電弧長度(mm)	2.0	2.5	—
B：鐳接電流(安培)	150	155	160
C：鐳接速度(cm/min)	16	18	20
D：送線速度(cm/min)	45	50	55
E：對接間隙(mm)	0.6	0.8	1.0
F：氮氣百分比(%)	0	1	2

表 3-4 鐸道微硬度實驗配置

實驗組別	控制因數								鐸道微硬度	
	A 電 弧 長 度	B 鐸 接 電 流	C 鐸 接 速 度	D 送 線 速 度	E 對 接 間 隙	F 氮 氣 百 分 比	e	e	鐸件 I	鐸件 II
No.1	1	1	1	1	1	1	1	1		
No.2	1	1	2	2	2	2	2	2		
No.3	1	1	3	3	3	3	3	3		
No.4	1	2	1	1	2	2	3	3		
No.5	1	2	2	2	3	3	1	1		
No.6	1	2	3	3	1	1	2	2		
No.7	1	3	1	2	1	3	2	3		
No.8	1	3	2	3	2	1	3	1		
No.9	1	3	3	1	3	2	1	2		
No.10	2	1	1	3	3	2	2	1		
No.11	2	1	2	1	1	3	3	2		
No.12	2	1	3	2	2	1	1	3		
No.13	2	2	1	2	3	1	3	2		
No.14	2	2	2	3	1	2	1	3		
No.15	2	2	3	1	2	3	2	1		
No.16	2	3	1	3	2	3	1	2		
No.17	2	3	2	1	3	1	2	3		
No.18	2	3	3	2	1	2	3	1		

表 3-5 鐸道寬度實驗配置

實驗組別	控制因數								鐸道寬度	
	A 電 弧 長 度	B 鐸 接 電 流	C 鐸 接 速 度	D 送 線 速 度	E 對 接 間 隙	F 氮 氣 百 分 比	e	e	鐸件 I	鐸件 II
No.1	1	1	1	1	1	1	1	1		
No.2	1	1	2	2	2	2	2	2		
No.3	1	1	3	3	3	3	3	3		
No.4	1	2	1	1	2	2	3	3		
No.5	1	2	2	2	3	3	1	1		
No.6	1	2	3	3	1	1	2	2		
No.7	1	3	1	2	1	3	2	3		
No.8	1	3	2	3	2	1	3	1		
No.9	1	3	3	1	3	2	1	2		
No.10	2	1	1	3	3	2	2	1		
No.11	2	1	2	1	1	3	3	2		
No.12	2	1	3	2	2	1	1	3		
No.13	2	2	1	2	3	1	3	2		
No.14	2	2	2	3	1	2	1	3		
No.15	2	2	3	1	2	3	2	1		
No.16	2	3	1	3	2	3	1	2		
No.17	2	3	2	1	3	1	2	3		
No.18	2	3	3	2	1	2	3	1		

表 3-6 銲蝕實驗配置

實驗組別	控制因數								銲蝕	
	A 電 弧 長 度	B 銲 接 電 流	C 銲 接 速 度	D 送 線 速 度	E 對 接 間 隙	F 氮 氣 百 分 比	e	e	銲件 I	銲件 II
No.1	1	1	1	1	1	1	1	1		
No.2	1	1	2	2	2	2	2	2		
No.3	1	1	3	3	3	3	3	3		
No.4	1	2	1	1	2	2	3	3		
No.5	1	2	2	2	3	3	1	1		
No.6	1	2	3	3	1	1	2	2		
No.7	1	3	1	2	1	3	2	3		
No.8	1	3	2	3	2	1	3	1		
No.9	1	3	3	1	3	2	1	2		
No.10	2	1	1	3	3	2	2	1		
No.11	2	1	2	1	1	3	3	2		
No.12	2	1	3	2	2	1	1	3		
No.13	2	2	1	2	3	1	3	2		
No.14	2	2	2	3	1	2	1	3		
No.15	2	2	3	1	2	3	2	1		
No.16	2	3	1	3	2	3	1	2		
No.17	2	3	2	1	3	1	2	3		
No.18	2	3	3	2	1	2	3	1		

第四節 銲接實施與試片裁取

壹、銲接實施

本研究所使用之氣體鎢極電弧銲接設備如下：

一、電源機

採用美國 Miller 公司所生產之 Syncrowave 250 型多功能式銲接機，如圖 3-2 所示。並配置 Miller Radiator-1 型水冷式冷卻設備。



圖 3-2 GTAW 電源機

二、自動送線機

採用美國 Jettline 公司所生產之 CWF-10A(9092)型可調式自動送線機，如圖 3-3 所示。

三、自動走銲機

採用美國 ProArc 公司所生產之 SB-1500 型走銲機，可調整走銲

速度及銲炬位置，且銲炬垂直於工件，如圖 3-4 所示。

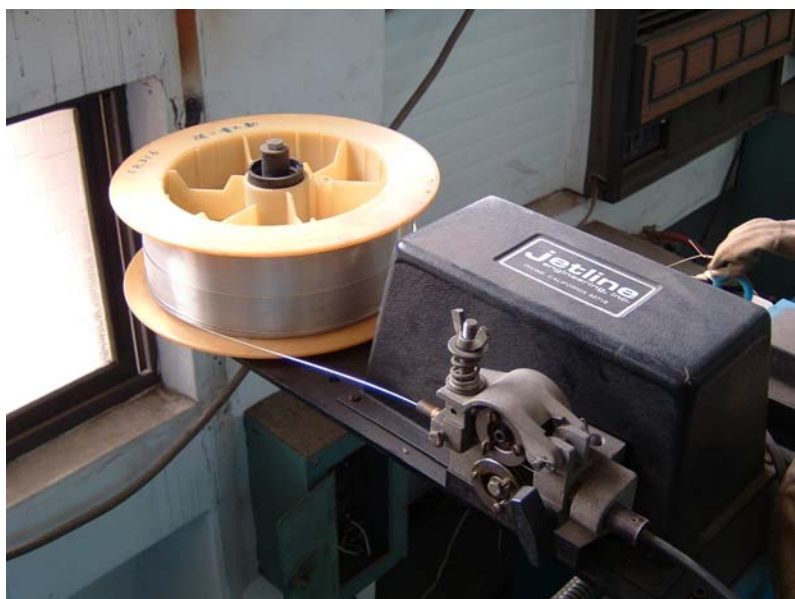


圖 3-3 自動送線機



圖 3-4 自動走銲機

四、銲接平台

配置有夾治具和紫銅背襯，可提供試片拘束和銲件冷卻，如圖 3-5 所示。



圖 3-5 銲接平台

五、氬氣及氮氣鋼瓶

鋼瓶皆配置壓力調節器和流量計，可顯示鋼瓶內之壓力及調整氣體流量，如圖 3-6 所示。



圖 3-6 保護氣體設備

貳、銲接參數

本研究的銲接參數分為兩種：一為因實驗需要，必須變化不同數值的參數，稱為控制因素；一為在銲接過程中數值不改變的固定參數。

一、控制因素

本研究的控制因素為電弧長度、銲接電流、銲接速度、送線速度、對接間隙及保護氣體含氮量百分比。

二、固定參數

- (一) 電流型式：直流電極負 (DCEN)。
- (二) 銲接電壓：30V。
- (三) 電極：直徑為 2.4mm 之鎢鈦電極 (EWTh-2)，電極中含有 2% 的鈦元素。
- (四) 鎢電極頂角：30°。
- (五) 鎢電極伸出噴嘴 (nozzle) 距離：3mm。
- (六) 氬氣加氮氣總流量：15L/min。
- (七) 後吹時間：10 秒。

參、實施銲接

銲接前先將母材表面的油污及氧化物利用 400 號砂紙予以清除，並用丙酮清潔乾淨。然後將母材置於銲接平台上，採不開槽平銲方式對接。首先依實驗配置之對接間隙，銲件兩端予以點銲後，利用夾治具將銲件拘束於銲接平台上，即完成銲件之固定工作。然後依 L_{18} 直交表之實驗配置，調整控制因素的水準值，在確定無誤後即執行銲接，銲接完成試片如圖 3-7 所示。在銲接次數方面， L_{18} 直交表的每一組實驗銲接 2 次，故每一組實驗可得 2 個銲件。



圖 3-7 銲接完成之銲件

肆、試片裁取

規格為100mm×40mm×3.3mm之母材對接完成後不予裁剪，供作肥粒相指數量測用。規格為140mm×40mm×3.3mm之母材對接完成後，依照銲接前後順序位置加以編號後，以金相砂輪切割機裁取試片，如圖3-8所示。銲道之兩端原則上去除，編號2、4、6、8、10做為量測銲件微硬度之用；編號1至編號10做為量測銲道寬度及銲蝕之用；編號5則為觀察金相微觀組織之試片。

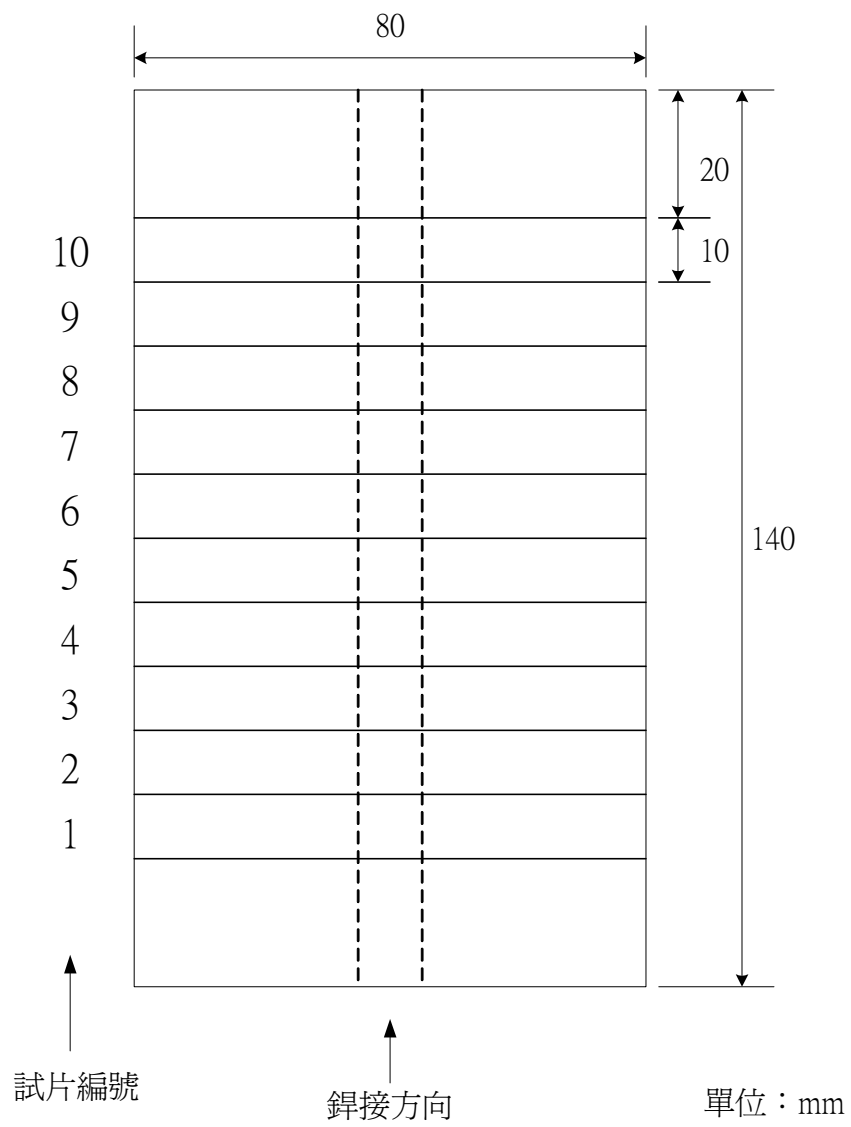


圖 3-8 試片裁取示意圖

第五節 品質特性值之量測

本研究欲量測之品質特性值為鐳道寬度、鐳蝕與鐳道微硬度。以下分別說明量測之方法。

壹、鐳道寬度及鐳蝕之量測

鐳件經由金相砂輪切割機裁減之適當大小後，以保力膠加入少許硬化劑之製作流程進行冷鑲埋，鑲埋完成之試片如圖3-9所示。然後將已鑲埋之試片經由水砂紙 # 180 → # 400 → # 600 → # 800 → # 1000 → # 1200 研磨完成後，將試片分別以 $1\ \mu\text{m}$ → $0.3\ \mu\text{m}$ 之氧化鋁粉懸浮液在拋光機中進行拋光。拋光後之試片以清水去除氧化鋁殘餘粉末，並以酒精清洗後吹乾。然後以 10ml 的 HNO_3 、20ml 的 HCl 和 30ml 的 H_2O 相互混合以做為試片的腐蝕液，腐蝕試片之時間約為 60 秒。

本研究以 CY-100A Digital CCD Camera 低倍率光學顯微鏡量測鐳道寬度及鐳道外觀，如圖 3-10 所示。在鐳道寬度方面，利用尺寸量測軟體 Measurement tool 予以量測，量測精度為 0.01mm。在鐳蝕方面，採用田口計數值分成四個等級：鐳道凸起無鐳蝕（1 點）、鐳蝕不明顯（2 點）、輕微鐳蝕（3 點）、嚴重鐳蝕（4 點）。



圖 3-9 試片之冷鑲埋



圖 3-10 CCD Camera 低倍率光學顯微鏡

貳、鐳道微硬度之量測

以金相砂輪切割機切取大小為 30mm×10mm×3.3mm 之量測試片，以第六節所述之方法將試片經由研磨、拋光、鑲埋及腐蝕後，即完成微硬度試片之製作。本研究以 Future tech FM-7 Vickers 微硬度試驗機量測微硬度，試驗機量測精度為 Hv 0.1，如圖 3-11 所示。量測微硬度時，量測荷重 300g，維持時間 15 秒。微硬度分成兩部分量測：第一部份以鐳道為主，量測位置如圖 3-12(A)所示，共量測 17 點，所獲得之數據供作田口分析及灰關聯分析之用。第二部分為沿鐳道橫斷面中心向右側每隔 0.5mm 打一點，範圍涵蓋鐳道、熱影響區及母材，如圖 3-12(B)所示，測出之微硬度值繪成微硬度曲線，以了解最適製程參數與現行製程參數微硬度的差異情形。



圖 3-11 Vickers 微硬度試驗機

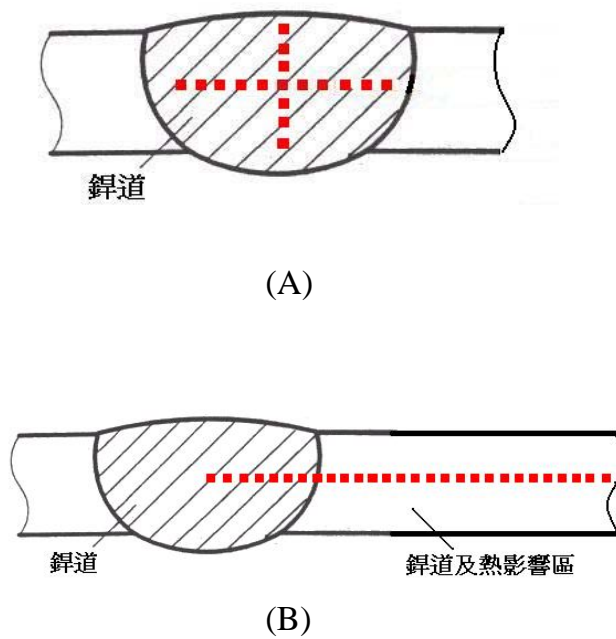


圖 3-12 量測微硬度示意圖，(A) 銲道，(B) 銲道、熱影響區及母材

第六節 肥粒相量測與金相顯微組織之觀察

壹、肥粒相量測

本研究是以規格為100mm×40mm×3.3mm之母材對接完成之試片進行肥粒相指數量測。首先將銲道之凸起部以砂輪機磨平，然後用砂紙將銲道研磨到400號，以丙酮清潔乾淨後，即完成肥粒相量測試片之製作。本研究以 Ferrite Scope M10B-FE 肥粒相含量測定儀量測肥粒相指數，量測精度為 FN0.1，如圖3-13所示。量測的方法是依照AWS規範A4.2-86，在試片中心線左右各3cm之區域內，用 Ferrite Scope 沿著銲道每隔1cm量取一點，共量得七點的數據，取其平均值，此值即代表此塊試片之肥粒相指數，如圖3-14所示。



圖 3-13 肥粒相含量測定儀

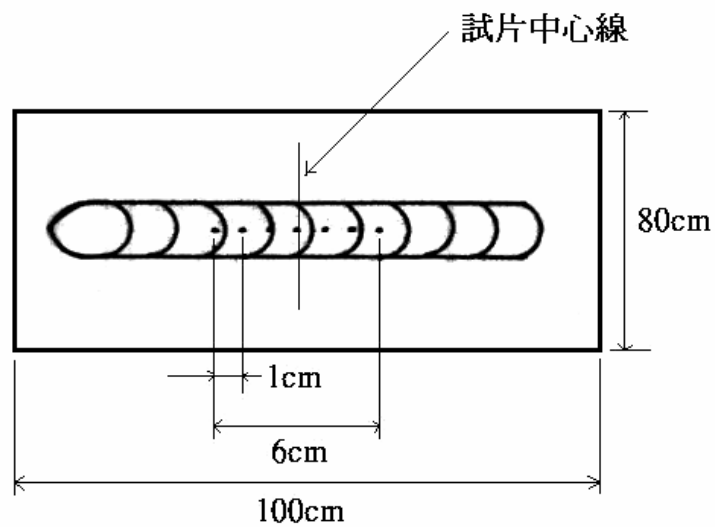


圖 3-14 肥粒相指數數量測示意圖

貳、金相顯微組織觀察

以第六節所述之方法將試片經由研磨、拋光、鑲埋及腐蝕後，即完成金相試片之製作。然後以OLYMPUS BH型光學顯微鏡觀察試片金相顯微組織，如圖3-15所示。以了解在不同製程參數組合下，熔融區之顯微組織變化情形。



圖 3-15 光學顯微鏡及相關設備

第七節 測試數據之解析

本研究所量測之品質特性分別為鍍道微硬度值、鍍道寬度及鍍蝕。將各品質特性所測得之數據分別鍵入MicroSoft Excel中，以求出以下各項解析所須之SN比、灰關聯係數及灰關聯度。

壹、單一品質特性之解析

鍍道微硬度值以參數設計之靜態望大特性公式求出各次實驗之SN比；鍍道寬度以參數設計之靜態望小特性公式求出各次實驗之SN比；鍍蝕以靜態望小特性公式求出各次實驗之SN比。

一、求出最適條件

作出各品質特性之SN比補助表及要因效果圖，便可分別決定鍍道微硬度值、鍍道寬度及鍍蝕之最適條件。此外，運用變異數分析以了解各控制因素對品質特性的影響程度，作法是將各品質特性之SN比代入變異數分析之公式中（附錄），做成變異數分析表以了解各控制因素對於總變異量之貢獻率。

二、確認實驗

用各品質特性中所求得的最適條件，以相同的實驗步驟，製作相同尺寸之試片，分別量測鍍道微硬度、鍍道寬度及鍍蝕後，將數據代入同一公式中求出其SN比，以確認所選擇之最適條件的再現性如何。田口博士認為：當推定之現行條件與最適條件之增益值，與實際確認實驗中現行條件及最適條件之增益值，兩者之間的差異值愈小，表示其再現性愈高；其差值大於30%時，表示此實驗之再現性不佳。因此，若推定與確認實驗增益值之差小於30%時，則可認定此最適條件在量產之工廠中，其品質目標能夠再現。

貳、多重品質特性之解析

在考慮多重品質特性之問題時，無法藉由單一之 SN 比來處理兼顧多重品質特性之最適化，所以田口方法便有所不足。本研究擬以灰關聯分析中的灰關聯度(grey relational grade)來綜合銲接各品質特性。

一、求出最適條件

以各種品質特性之各次實驗的原始數據平均值比做為灰關聯分析中的數據，銲道微硬度使用望大型之灰關聯生成公式做數據前處理，銲道寬度及銲蝕使用望小型之灰關聯生成公式做數據前處理。接下來求出各次實驗的灰關聯係數與灰關聯度。其中灰關聯度最大值，其對應在直交表內之控制因素組合僅是直交表內之最適條件。因此，必須分別對各控制因素之水準再做灰關聯分析，以求得落在直交表外側之最適條件。

二、確認實驗

為了驗證直交表內、外之最適條件是否帶來預期的改善，必須再做實驗加以驗證。以直交表內、外之最適條件去做相同的實驗，製作相同尺寸之試片，分別量測各品質特性之數據後，將數據代入同一公式中求出其 SN 比及再現性。然後比較直交表內、外最適條件之 SN 比增益值及再現性，增益值為正且再現性佳者即為最終之最適條件。