

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

雷射切割 6061 鋁合金薄板之製程參數最佳化分析 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-020-010-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：國立屏東科技大學機械工程系

計畫主持人：簡文通

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 99 年 09 月 30 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☒ 成果報告
☐ 期中進度報告

雷射切割 6061 鋁合金薄板之製程參數最佳化分析

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2221-E-020-010

執行期間：2009 年 08 月 07 日至 2010 年 07 月 31 日

執行機構及系所：國立屏東科技大學機械工程系

計畫主持人：簡文通

計畫參與人員：徐上佑、黃耀賢

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

☐ 赴國外出差或研習心得報告

☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告

☐ 出席國際學術會議心得報告

☐ 國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年☐ 二年後可公開查詢

中 華 民 國 99 年 9 月 23 日

摘要

本研究是利用 Nd:YAG 雷射對 6061 鋁合金薄板進行切割，探討雷射加工參數對工件切割斷面之表面粗糙度、熔渣高度及錐度之品質特性，並建立單一及多重目標品質之最佳參數模式。研究流程可分為實驗架構、單一目標及多重目標品質之最佳參數分析等階段。首先利用田口法直交表規劃實驗配置，並選擇氣體種類、尖峰功率、脈衝寬度、脈衝頻率、聚焦位置、切割速度、脈衝重複率及氣體壓力等為雷射切割參數。以表面粗糙度，熔渣高度及錐度作為量測目標，並藉由田口法個別選擇上述之雷射切割品質進行單一目標最佳化分析，經由平均數分析及變異數分析找出對雷射切割品質影響最重要的因子及雷射切割最佳參數組合。接著利用灰關聯分析，找出以表面粗糙度、熔渣高度及錐度為多重目標品質之最佳參數組合。結果顯示在單一目標品質最佳參數分析中，分別得到切割處表面粗糙度為 $3.343\mu\text{m}$ 、溶渣高度為 0.184mm 及錐度為 3.246° 。當加入灰關聯分析後，得知直交表內及值交表外灰關聯分析所得最佳參數結果相同，其切割斷之表面粗糙度為 $3.177\mu\text{m}$ 、溶渣高度為 0.233mm 及錐度為 3.231° 。在多重目標品質與單一目標品質相較後得知以灰關聯內、外值交表分析結果為最佳，上述單一及多重目標品質最佳參數模式均可用做為雷射切割相關研究的參考，並提供雷射切割相關產業之參考及應用。

關鍵字：雷射切割、6061 鋁合金、田口法、灰關聯分析

Abstract

The purpose of this study is to investigate the characteristics of workpiece cutting cross section quality to surface roughness, dross height of workpiece and cutted taper in laser cutting 6061 Aluminum Alloy by Nd:YAG, and construct the optimized parameters model for single and multiple quality objectives. Research procedure can be divided into experimental frame, and analysis for single and multiple quality. Firstly, an orthogonal array of Taguchi method is used to arrange the experimental configuration. The selected laser cutting parameters include gas type, peak power, impulse width, impulse frequency, focusing point, cutting speed, impulse repeatability and, gas pressure. The cutting qualities of surface roughness, dross height of workpiece and cutted taper are then measured and the set above objective of cutting qualities advance to analysis on the optimized parameters for single quality respectively by using Taguchi method. Furthermore, find affects the most important factor of cutting qualities and optimum laser cutting parameter by analysis of mean (ANOM) and analysis of variance (ANOVA). The results of analysis show that the surface roughness is $3.343\mu\text{m}$, dross height is 0.184 mm and cutted taper is 3.246° in the single quality objective analysis by using Taguchi method. Finally, after introducing grey relational analysis, it can be found that in the orthogonal array and out of the orthogonal array of grey relational analysis, get the same of parameters. The results of analysis show that the surface roughness is $3.177\mu\text{m}$, dross height is 0.233 mm and cutted taper is 3.231° . After the single and multiple quality objectives were compared. It can seen that the in and out of orthogonal array of grey relational analysis to obtain the optimum results. Above could deduce from the optimized parameters model of single and multiple quality objectives are good enough for the relational research in laser cutting and could be used for practical applications in related industry.

Keywords: Laser Cutting, 6061 Aluminum Alloy, Taguchi Method, Grey Relational Analysis.

壹、前言

近年來，由於能源的高漲以及各界對於節能省碳的響應，在環保意識的抬頭下對於民生用品、3C 產業、機械業、運輸業等諸多商品紛紛朝向輕量化、省能源及耐腐蝕的趨勢。6061 鋁合金具有質輕(同體積的重量大約為鋼的 $1/3$)、耐蝕性佳、無一般碳鋼的脆化問題、不自燃、導電及導熱能力強、無毒性及強度高等優點是屬於中強度的合金，它被大量的使用在汽車產業、運動用品、電子產業、航太工業及醫療設備等方面。

6061 鋁合金雖然機械加工性質良好但由於質地較軟，若用沖床加工鋁合金板件，板件又容易黏在沖模上且表面質感差，若用氧乙炔及電離子切割加工又因為鋁合金的導熱性高板材容易受到熱效應的影響而產生變形，若以雷射切割來替代上述之傳統切割時，因雷射具有切割速度快、切割品質好以及熱影響區小等優點[1]，它可以改善諸多傳統切割加工所產生的問題，再者若使用水刀切割來加工鋁合金板件時，因水刀只是用來切割工件但卻很難對工件做更細微的細部加工，因水束極細(純水 0.1mm—1.1mm、砂水混流 0.8—1.8mm)需視切割的板件材質大小厚薄與所使用的噴嘴而定，若板件較厚時則使用砂水混流做切割，隨著砂刀管的直徑擴口其切口愈大所切割出來工件的尺寸精度會相對的降低。水刀切割所運轉之切割速度決定其加工件斜邊品質，大部份所看到好的切割品質之單側斜邊位移 X 為 0.076mm 至 0.102mm 之間。但雷射切割時，雷射光斑調整可介於 0.3mm-0.5mm 或者更小所以切口寬度也相對的較小，又因為進行雷射切割時可設定雷射聚焦位置，相對的所切割出來的工件尺寸精度會比水刀切割的好。

田口式實驗設計方法之特色，為利用直交表設計實驗及信號雜訊比分析實驗數據[2]，使用直交表的實驗設計可使設計者以快速、經濟的方式，同時研究多個可控制因子對品質特性平均值及變異數之影響。從國內外文獻中得知田口法大多被用在單一目標的探討，對於兩個或兩個以上的目標問題則付之闕如。由於目標有可能是望大、望目或望小的型態，若依照單一目標的方法對多重目標的問題做最佳化，其結果可能使目標間發生相互矛盾、衝突的現象，此時只能靠有經驗的人員決定條件水準值的選擇，但由於不同人員的認定標準不一，容易產生不確定性與模糊性而造成爭議[3]。若能將田口法結合灰關聯分析之多屬性決策法，即可解決發生在探討多重目標上的問題。雷射切割 6061 鋁合金材料的結果屬於多重目標的問題，故可以利用上述之理論來探討如何選擇雷射切割之加工條件最佳組合。

貳、研究目的

本研究是利用 Nd:YAG 雷射對 6061 鋁合金薄板進行切割，以切割斷面處之表面粗糙度，溶渣高度及錐度作為量測目標並分析量測目標之品質特性，再運用田口法及灰關聯分析分別建構出單一目標最佳參數模式及多重目標最佳參數模式。

參、文獻探討

3.1 雷射切割

自1960 年雷射被成功地振盪產生以來，很快地即被應用於材料加工方面，主要有切割、鑽孔、銲接、表面處理及標誌等。其中又以雷射切割為主，相關的研究著重於工件切割處表面粗糙度、切割後工件背面熔渣高度、入射端與射出端所造成的錐度、切割處表面微裂縫及熱影響區等。Rajaram et al. [12]利用二氧化碳雷射切割AISI4130鋼材發現雷射功率之變化對切縫大小有直接的影響，切割速度會影響材料表面粗糙度及切割斷面之波紋產生的頻率，和建立切割品質與重要參數間之曲線即可控制加工品質。Chen[13]利用二氧化碳雷射切割厚度3.0 mm 的碳鋼板件，探討不同之輔助氣體及輔助氣體壓力在2至10 bar範圍內對切割品質之影響，結果發現高壓之輔助氣體可以明顯的改善切割品質。選用氬氣在壓力10 bar時可以得到潔淨的切割面，而氧氣則會因為助燃現象而有焦黑的碳粒殘留，但仍然廣被推薦使用。

3.2 田口法

田口法起源於1950年田口玄一博士的倡導的方法[5]，是一套用來評估何改善產品品質的實驗規劃法，主要是利用直交表和信號雜音比做為工具以最少量的實驗組數及實驗數據進行產品品質分

析，強調在產品製程設計時就需考慮品質的問題，注意如何設法降低產品的變異。田口法在製造加工方面的應用主要為減少實驗的設計點，且快速地尋找出最佳的加工條件組合，而此方法運用在製造加工方面應用大多為尋找單一目標最佳製程參數的組合。Lin[16] 應用田口法探討用氮化鈦刀具對不銹鋼進行銑削加工，選擇銑削速度、進給率及切削深度為加工條件，分析以刀具壽命及毛邊高度為目標函數之個別最佳加工條件組合，結果顯示透過直交表、平均數分析及變異數分析，可輕易及快速的選擇最佳加工條件組合。陳[6]應用田口法規劃雷射退火處理AZO透明導電薄膜，雷射退火參數有尖峰功率、脈衝重複率、聚焦位置和加工速度，利用Nd:YAG雷射執行退火實驗後量測其電阻率，並求得使電阻率最小之最佳雷射退火參數組合。

3.3 灰關聯分析

灰關聯分析首見於鄧聚龍（Julong Deng）教授於1982年所提出的灰色系統理論（Grey system theory）[7]。分析離散序列間的相關程度的一種測度方法，具有少量的數據及多因素分析的特點。灰關聯分析能在一群序列數據中，找出參考序列對其它序列的整體關聯性，或各序列因子變化的關聯程度。而傳統上的統計迴歸具有：1. 要求大量數據。2. 數據分佈必須為典型的，如常態分佈。3. 變化因素不能太多等缺點，因此在某些應用上可能無法很容易求出答案。因此灰關聯分析具有少數數據及多因素分析的特性，則可彌補統計分析迴歸的缺點[8]。在分析有關機械加工方面，多為解決有關在多重目標的問題上。徐[9]利用Nd:YAG 雷射對AISI304 不銹鋼進行鐸接，探討鐸件之抗拉強度、鐸道寬度及鐸道凹陷量之特性，並建立多重品質目標之最佳化模式。利用田口法直交表規劃實驗配置，選定尖峰功率、脈衝寬度、脈衝頻率、聚焦位置、氣體壓力及鐸接速度等為雷射鐸接條件。比較田口法單一目標分析、直交表內灰關聯多重目標分析及直交表外灰關聯多重目標分析，其中，以直交表外灰關聯分析結果為最佳。Chen et al. [17]利用熵測度求得多重目標之權重，並以兩次灰色關聯分析決策法同時解決因子水準最佳組合及產品整體品質之最佳化，最後以IC製程和傳統田口方法做一比較，結果顯示結合灰關聯分析之田口法所得到的比傳統田口法佳。紀及徐[10]針對多重目標提出以灰色關聯分析與模糊理論結合田口法，處理電漿電弧鐸接實驗設計中多重目標與產品品質模糊語意判斷之問題，結果顯示此方法可提供電漿電弧鐸接在多重目標要求下，更客觀的製程加工參數。

肆、研究方法

4.1 田口法

田口法的應用是依據控制因子（參數）及水準值選擇適當的直交表，藉由直交表（Orthogonal array）配置控制因子及水準數來進行實驗點的規劃，透過平均數分析所得之信號雜音比（Signal to noise ratio, S/N）可以了解各設計參數對品質特性輸出之影響，進而選定最佳的設計參數水準組合，達到提昇品質之目的。本研究應用田口法 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表如附錄中表4-1所示並用平均數分析與變異數分析等求得雷射切割後工件切割斷面之表面粗糙度、熔渣高度及錐度等單一目標品質之最佳加工參數組合，並由變異數分析求得重要參數來評估對於目標函數之影響大小，並可作進一步的實驗分析。

4.2 灰關聯分析

灰色系統理論分析（Grey system theory）[18]，主要是針對系統模型之不確定性及資訊之不完整時，進行關於系統的關聯分析（Relational analysis）及模型建構（Model construction），並藉由預測及決策的方法探討系統的情況。並能對事物的“不確定性”（Not certainty）、“多變量輸入”（Multi-input）、“離散的數據”（Discrete data）及“數據的不完整性”（Not enough）等做有效的處理。

4.3 實驗部份

4.3.1 應用田口法直交表 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 如表4-2所示來規劃雷射切割參數的組合，供作Nd:YAG 雷射加工機執行切割之用；雷射加工機系統示意圖如圖4-1所示。

4.3.2 量測實驗：

利用工具顯微鏡 (Nikon MM-40/27)：配合軟體及影像處理來量測工件切割後的熔渣高度及錐度；

工具顯微鏡如圖4-2所示。錐度量測方式量測經切割後邊錐度的長度 (L) 並代入式 $\alpha = \frac{L}{t} \times \frac{180^\circ}{\pi}$ 計

算錐度，量測方法如圖4-3所示。熔渣高度量測方式為取試片中間10mm長度的最大十點的平均高度如圖4-4及4-5所示，測得平均高度再減板厚即為熔渣高度。

利用表面粗糙度儀 (Mitsutoyo SV-3000)：量測經雷射切割後工件斷面之表面粗糙度；表面粗糙度儀如圖4-6所示。量測方式取切割面之中心處進行量測如圖4-7所示，選用中心線平均粗糙度 (Center line average roughness, Ra) 為表面粗糙度表示方式。

伍、結果與討論 (含結論與建議)

5.1 結論：

本研究的目的是探討以Nd:YAG雷射對6061鋁合金薄板進行切割時，以工件切割後斷面之表面粗糙度、熔渣高度以及錐度為目標函數，分別探討其單一及多重目標最佳參數組合模式之建立。得到的結論如下所述：

5.1.1 單一目標品質為表面粗糙度之最佳參數組合為：A2(氬氣)、B1(2800W)、C1(0.305ms)、D2(65Hz)、E2(0mm)、F1(1.6mm/sec)、G3(1time/sec)、H2(4 kg/cm²)，此加工最佳參數組合經過5次的確認實驗所得之表面粗糙度平均值為3.342 μ m，S/N比為-10.487db與直交表內最佳組合第12組 (粗糙度: 3.464 μ m，S/N比: -10.803db) 做比較，粗糙度縮小了0.122 μ m 改善了3.53%。

5.1.2 單一目標品質為熔渣高度之最佳參數組合為：A1(氮氣)、B2(2700W)、C3(0.295ms)、D2(65Hz)、E1(0.2mm)、F1(1.6mm/sec)、G2(5time/sec)、H2(4 kg/cm²)。此加工最佳參數組合經過5次的確認實驗所得之熔渣高度平均值為0.1842mm，S/N比為14.5406db與直交表內最佳組合第組 (熔渣高度: 0.222，S/N比: 13.024db) 做比較，熔渣高度明顯縮小了0.0386mm改善了 17.31%，S/N 比也提高了 1.516db。

5.1.3 單一目標品質為錐度最之佳參數組合為：A1(氮氣)、B3(2600W)、C2(0.3ms)、D1(70Hz)、E3(-0.2mm)、F3(1mm/sec)、G3(1 time/sec)、H2(4 kg/cm²)。此加工最佳參數組合經過5次的確認實驗所得之錐度平均值為3.246°，S/N比為 -10.231db與直交表內最佳組合第9組 (錐度: 4.356°，S/N比: -12.951db) 做比較，錐度明顯縮小了1.110°改善了25.48%。

5.1.4 單一目標品質經過變異數分析及統合誤差後，可得知影響表面粗糙度之最重要參數為氣體種類，其信心水準達99.76%，氣體種類貢獻率為39.99%、影響熔渣高度最重要參數為切割速度，其信心水準達99.45%，切割速度貢獻率為40.50%、影響錐度最重要參數為聚焦位置，其信心水準達99.63%，聚交位置貢獻率為40.23%。

5.1.5 重要參數對單一目標函數的影響，表面粗糙度會隨氣體種類不同而改變，選則氬氣(Ar)作為保護氣體所切割出來的表面粗糙度明顯的比選用氮氣(N₂)作為切割保護氣體來的小。熔渣高度會隨著切割速度的增加而使熔渣高度逐漸的減少。錐度隨聚焦位置的改變錐度有所變動，因板材中間雷射光束聚焦及發散的位置不一樣所以切割出來的板材斷面之斜邊錐度會不同。

5.1.6 多重目標品質分析中，直交表外灰關聯多重目標品質分析結果和直交表內灰關聯多重目標品質分析結果完全相同，最佳加工參數組合為A2 B1 C3 D2 E1 F1 G3 H2，對照的加工參數值為：A2(氬氣)、B1(2800W)、C3(0.395ms)、D2(65Hz)、E1(0.2mm)、F1(1.6mm/sec)、G3(1 time/sec)、H2(kg/cm²)。經確認實驗結果得知，熔渣高度平均值為 0.233 mm；表面粗糙度平均值為 3.177 μ m；錐度平均值為 3.231°。

5.1.7 在多重目標品質分析中，得知氣體壓力對雷射切割6061鋁合金薄板而言影響力極大。氣體

壓力由 3 kg/cm^2 增加到 4 kg/cm^2 時，表面粗糙度由 $4.558\mu\text{m}$ 縮小到 $3.180\mu\text{m}$ 。氣體壓力由 3 kg/cm^2 增加到 5 kg/cm^2 時，熔渣高度由 0.292mm 縮小到 0.159mm 。氣體壓力由 3 kg/cm^2 增加到 4 kg/cm^2 時，錐度量由 4.317° 縮小到 3.203° 。

5.1.8 多重目標最佳化品質與單一目標最佳化品質之比較及改善率在表面粗糙度比較方面；多重目標品質最佳表面粗糙度平均值為 $3.177\mu\text{m}$ 與單一目標品質最佳表面粗糙度平均值作比較表面粗糙度改善了 4.944% ，與單一目標品質最佳熔渣高度項之表面粗糙度平均值作比較表面粗糙度改善了 47.705% ，與單一目標品質最佳錐度項之表面粗糙度平均值作比較粗糙度改善了 52.784% ，在溶渣高度比較方面；多重目標品質最佳熔渣高度平均值為 0.184 mm 與單一目標品質最佳表面粗糙度項之熔渣高度平均值作比較熔渣高度改善了 26.920% ，與單一目標品質最佳熔渣高度之平均值作比較熔渣高度並未改善，與單一目標品質最佳錐度項之熔渣高度平均值作比較熔渣高度改善了 58.406% ，在錐度比較方面；多重目標品質最佳錐度平均值為 3.247° 與單一目標品質最佳表面粗糙度項之錐度平均值作比較錐度改善了 29.330% ，與單一目標品質最佳熔渣高度項之錐度平均值作比較錐度改善了 33.497% ，與單一目標品質最佳錐度之平均值作比較錐度改善了 0.490% ，改善率很小。

5.1.9 上述單一目標品質與多重目標品質比較結果得知以灰關聯內、外值交表分析結果為最佳，另外，在單一目標品質特性的尋求以田口法平均數分析能簡單快速改進品質特性，在多重目標品質分析中得知灰關聯內、外直交表多重目標品質分析之最佳加工參數組合相同，如此可確保實驗的準確性。

5.2 建議

本研究對於Nd：YAG雷射切割6061鋁合金薄板的探討，利用田口法單一品質分析以及灰關聯多重品質分析法已完成對工件切割後斷面之表面粗糙度、熔渣高度及錐度等單一目標品質參數最佳化分析以及多重目標品質參數最佳化分析最佳參數分析以，對於未來研究方向的建議如下：

5.2.1 雷射切割加工參數有氣體種類、尖峰功率、脈衝寬度、脈衝頻率、聚焦位置、切割速度、脈衝重複率及氣體壓力等，未來可增加輔助氣體吹氣方向、角度等增加加工參數的選擇，可使最佳參數組合更加精確。

5.2.2 6061鋁合金薄板為一極難切割之材料，因為它對雷射能量的反射率極高及吸收率極差，所以切割時必須使用極高的能量才得以切斷，未來可以對鋁合金表面進行表面批覆法或是表面蒸鍍法來提升鋁合金板材對雷射光能量的吸收率使切割效率提高。

5.2.3 未來在雷射切割6061鋁合金薄板時可以增加其他探討的目標，例如針對鋁合金薄板對雷射光能量的吸收率特性探討以及切割後板材的熱影響區（HAZ）等其他目標的研究。

5.2.4 在多重目標分析部份未來可以加入馬氏田口法或是田口法多重目標分析再配合灰關聯多目標分析下，多重目標品質的相互比較可以驗證實驗參數的準確性並提升製造產品的品質。

5.2.5 未來若能導入反應表面法及倒傳遞類神經網路等預測模式配合田口法分析即灰關聯分析對產品品質的驗證則將使雷射切割6061鋁合金薄板之研究更具完整性。

參考文獻

- [1] 陳蒼杰，2001，圖解雷射運用原理，世茂出版社，台北。
- [2] 李輝煌，2000，田口方法－品質設計的原理與實務，高立圖書股份有限公司，台北，55 頁。
- [3] 蘇朝墩，2002，品質工程，中華民國品質學會，三民書局，台北，31 頁。
- [4] 黃立仁、羅慶璋，2001，「利用二氧化碳雷射切割 S304 品質評估」，銲接與切割，第 11 卷，第 1 期，第 38-48 頁。
- [5] 鍾清章，1998，田口式品質工程導論，中華民國品質學會，台北。
- [6] 陳馨恩，2005，退火製程對 AZO 透明導電膜之影響，碩士論文，國立屏東科技大學，機械工程系，屏東。
- [7] 溫坤禮、黃宜豐、張偉哲、張廷政、游美利、賴家瑞，2003，灰關聯模型方法與應用，高立圖書

有限公司，台北。

[8] 溫坤禮、黃宜豐、陳繁雄、李元秉、游美利、賴家瑞，2002，*灰預測原理與應用*，高立圖書有限公司，台北。

[9] 徐大中，2004，*Nd：YAG 雷射銲接不銹鋼參數最佳化模式之探討*，碩士論文，屏東科技大學，屏東。

[10] 紀勝財、徐立章，2001，「模糊多重品質特性田口實驗設計法之建立與電漿電弧銲接之應用」，*工業工程學刊*，高雄，第 18 卷，第 4 期，第 97-110 頁。

[11] 吳漢雄，1998，*灰色分析入門*，高立圖書有限公司，台北。

[12] N. Rajaram, J. Sheikh-Ahmad, and S. H. Cheraghi, 2003, "CO2 laser cut quality of 4130 steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, pp. 351-358.

[13] S. L. Chen, 1999, "The effects of high-pressure assistant-gas flow on high-power CO2 Laser cutting," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 88, pp. 57-66.

[14] R. F. De Graaf, and J. Meijer, 2000, "Laser cutting of metal laminates: analysis and experimental validation," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 103, pp. 23-28.

[15] C. Karatas, O. Keles, I. Uslan, and Y. Usta, 2006, "Laser cutting of steel sheets: Influence of workpiece thickness and beam waist position on kerf size and stria formation," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.172, p.p.22-29.

[16] T. R. Lin, 2002, "Experimental design and performance analysis of TiN-coated carbide tool in face milling stainless steel," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 127, pp. 1-7.

[17] C. B. Chen, C. T. Lin, C. W. Chang, and C. P. Ho, 2000, "Grey Relation for Solving Multi-Quality characteristics Problems of Taguchi Methods," *Journal of Technology*, Vol. 15, pp. 25-33.

[18] 吳漢雄，1998，*灰色分析入門*，高立圖書有限公司，台北。

附錄

表 4-1 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

實驗編號	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

表 4-2 雷射切割參數直交表之配置

實驗編號	A	B	C	D	E	F	G	H
1	氮	2800	0.305	70	0.2	1.6	10	5
2	氮	2800	0.3	65	0	1.3	5	4
3	氮	2800	0.295	60	-0.2	1	1	3
4	氮	2700	0.305	70	0	1.3	1	3
5	氮	2700	0.3	65	-0.2	3	10	5
6	氮	2700	0.295	60	0.2	1.6	5	4
7	氮	2600	0.305	65	0.2	1	5	3
8	氮	2600	0.3	60	0	1.6	1	5
9	氮	2600	0.295	70	-0.2	1.3	10	4
10	氫	2800	0.305	60	-0.2	1.3	5	5

11	氬	2800	0.3	70	0.2	1	1	4
12	氬	2800	0.295	65	0	1.6	10	3
13	氬	2700	0.305	65	-0.2	1.6	3	4
14	氬	2700	0.3	60	0.2	1.3	10	3
15	氬	2700	0.295	70	0	1	5	5
16	氬	2600	0.305	60	0	1	10	4
17	氬	2600	0.3	70	-0.2	1.6	5	3
18	氬	2600	0.295	65	0.2	1.3	1	5



圖 4-1 電腦數值控制雷射加工機 (UN150)



圖 4-2 工具顯微鏡 (Nikon MM-40/27)

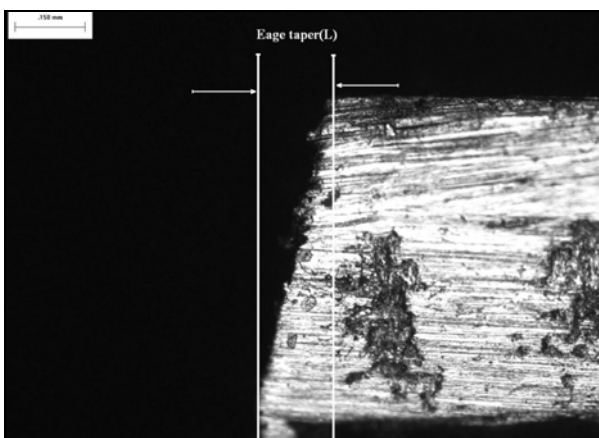


圖 4-3 錐度量測示意圖

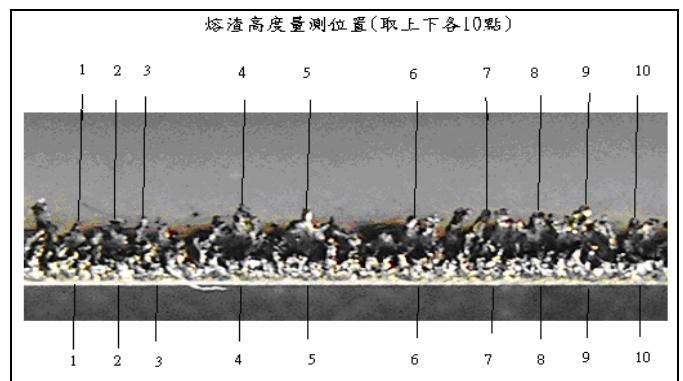


圖 4-4 熔渣高度量測位置示意圖

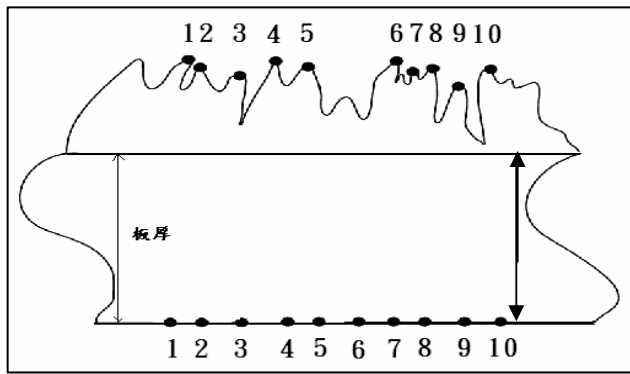


圖 4-5 熔渣高度量測位置示意圖



圖 4-6 表面粗度儀 (Mitsutoyo SV-3000)

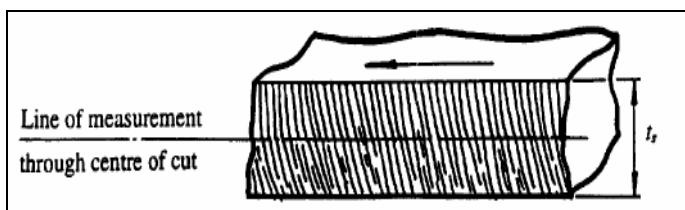


圖 4-7 表面粗糙度量測位置

無研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：簡文通			計畫編號：98-2221-E-020-010-				
計畫名稱：雷射切割 6061 鋁合金薄板之製程參數最佳化分析							
成果項目			量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果</p> <p>(無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	無
---	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

☒ 達成目標

☐ 未達成目標（請說明，以 100 字為限）

☐ 實驗失敗

☐ 因故實驗中斷

☐ 其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：☒ 已發表 ☐ 未發表之文稿 ☐ 撰寫中 ☐ 無

專利：☐ 已獲得 ☐ 申請中 ☒ 無

技轉：☐ 已技轉 ☐ 洽談中 ☒ 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

1. 雷射切割加工參數有氣體種類、尖峰功率、脈衝寬度、脈衝頻率、聚焦位置、切割速度、脈衝重複率及氣體壓力等，未來可增加輔助氣體吹氣方向、角度等增加加工參數的選擇，可使最佳參數組合更加精確。

2. 6061 鋁合金薄板為一極難切割之材料，因為它對雷射能量的反射率極高及吸收率極差，所以切割時必須使用極高的能量才得以切斷，未來可以對鋁合金表面進行表面批覆法或是表面蒸鍍法來提升鋁合金板材對雷射光能量的吸收率使切割效率提高。

3. 未來在雷射切割 6061 鋁合金薄板時可以增加其他探討的目標，例如針對鋁合金薄板對雷射光能量的吸收率特性探討以及切割後板材的熱影響區（HAZ）等其他目標的研究。

4. 在多重目標分析部份未來可以加入馬氏田口法或是田口法多重目標分析再配合灰關聯多目標分析下，多重目標品質的相互比較可以驗證實驗參數的準確性並提升製造產品的品質。

5. 未來若能導入反應表面法及倒傳遞類神經網路等預測模式配合田口法分析即灰關聯分析對產品品質的驗證則將使雷射切割 6061 鋁合金薄板之研究更具完整性。