

CO₂ 雷射加工壓克力微流道之最佳化分析

鄧琴書¹ 夏國倫¹ 蔡明城¹ 吳文章¹

¹ 國立聯合大學機械工程系

摘要

本研究是利用田口方法(Taguchi methods)探討 CO₂ 雷射加工對壓克力微流道之最佳化分析, 實驗控制因子包含 A 因子-切割次數、B 因子-覆蓋物、C 因子-切割速度(mm/sec)與 D 因子-功率(W), 每個控制因子共有三個水準。由於傳統的實驗方法實驗次數多而費時, 故採用田口方法來進行實驗。研究方法採用 9 組邊長為 20mm、厚度為 2mm 的壓克力正方體, 每隔 4mm 刻劃一道長 10mm 的切削道, 並在其切削處的一半進行量測, 每個實驗總共量測 4 次, 分別測量其切削深度、切削寬度、以及熱變形寬度, 並計算其訊號雜訊比、變異數分析以找出重要因子和最佳控制因子。結果顯示: 切削深度的最佳化控制因子為 A₃、B₃、C₂、D₁, 其因子顯著性為 D、B、C、A。切削寬度最佳化控制因子為 A₂、B₂、C₃、D₁, 其因子顯著性為 D、B、C、A。熱變形寬度最佳化控制因子為 A₂、B₃、C₃、D₁, 其因子顯著性為 D、C、B、A。

關鍵字: 雷射加工; 壓克力; 微流道; 田口方法

1. 前言

微流道生物晶片是現代生物科技最常採用的物品之一, 其生物晶片主要是藉由微流體來檢測人體症狀所產生之病痛。而 PMMA 也就是壓克力, 因較於接近人體、購買便宜、加工方便等特性, 故大部分晶片採用之。而利用雷射加工作為其加工方式, 是因為雷射加工具有高能量密度、高相干性、高方向性等特性, 但當雷射加工時, 因高熱能使得 PMMA 的微流道產生了熱變形, 因此影響兩生物晶片的密合而產生流道不全。本研究是希望利用田口方法以減少實驗次數和時間, 並且探討其切削深度、切削寬度、熱變形寬度, 以找出其最佳的控制因子, 提高兩生物晶片的密合率。關於其相關文章: W.S. Lau[1] 等人發現, 雷射在切割的過程中會造成熱影響區的缺陷, 其切割的缺陷是熱影響區會造成凸塊形成, 進而影響加工品質。此外雷射與物質間的交互作用也會產生問題: 1. 熱擴散會帶走雷射打在工作物件上的能量, 如此會減低微加工過程的效率。2. 熱擴散會降低加工處的溫度, 使得工作溫度無法遠遠高過物質的熔點, 無法直接把固態物體變成氣態, 所以造成熔融態的物質被打飛而掉到樣品表面, 而污染樣品的表面。3. 因為熱擴散而造成熔化的範圍遠大於雷射的工作光點, 也降低了微加工過程的精度。何國賢[2] 等人發現, 熱的傳遞過程亦會產生應力, 會造成一些裂縫。而熱擴散有時也會產生震波影響到鄰近表面的結構。而這些都是因為熱擴散造成的結果, 如圖 1 所示。楊龍杰[3] 發現, 當複合材料中分散相粒徑尺寸的遞減, 會使得分散相的表面積提高而增加高分子材料與分散相的接觸面積, 進而提

升界面的作用力以達到材料補強的效果。由於雷射加工技術是採用無接觸式加工, 而且雷射加工的功率、速率均可隨意調動, 因此可以實現多種加工的目的。它可以對多種金屬、非金屬加工, 特別是加工高硬度、高脆性、及高熔點的材料, 因此對於 PMMA 材料加工更是容易, 其原因在於雷射加工過程中能量密度高, 加工速度快, 而且是局部加工, 對於非雷射照射部位沒有影響或影響極小, 因此在加工壓克力時, 其熱影響區小, 工件熱變形小, 以至於可以用壓克力做出各種想要的圖形, 而且無“刀具”磨損以及無“切削力”的作用, 因此可以達到降低成本的功效。此外雷射可以通過透明介質對密閉容器內的工件進行各種加工。由於雷射光束易於導向、聚集實現作各方向變換, 極易與數控系統配合, 對複雜工件進行加工, 因此是一種極為靈活的加工方法。使用雷射加工, 生產效率高, 品質可靠, 經濟效益好[4]。J.Q. Liu [5] 在 1993 年時, 美國 UCLA 與 Caltech 微機電團隊研製出最早的微流道量測晶片體型加工的微流道如圖 2 所示, 其方法是利用特殊的腐蝕技術, 非等向性地在矽晶圓上加工出微流道凹槽, 然後再與另一片晶圓或玻璃作緊密的接合, 完成封閉式流道構型。

2. 實驗設置

2.1 試片準備

雷射切削試片為長寬 20mm 的方形試片數片, 每隔 4mm, 切削一道約 10mm 的長度, 每一片切削的四條痕跡均為相同實驗數據, 如圖 3 所示, 試驗水準如表 1 所示, 實驗設計如表 2 所示, 採用方式為田口式分析法, 其目的是為了減少分析次數, 使原本要實驗 81 次的實驗, 降低為實驗 9 次即可, 每次實驗按照每一條切削道, 選取中間那點測量, 並且觀察切削深度、切削寬度以及熱變形寬度。若要有石膏覆蓋的試片, 其操作方法是首先將石灰加水, 以 1:1 的比例混和, 再將 PMMA 試片上塗抹一層極薄之石膏, 用吹風機快速吹乾後, 之後使用砂紙將表面粗糙磨均。而需要用紙覆蓋試片的, 主要是採用原本覆蓋於表面之保護紙, 依照實驗需求決定是否將紙撕除。

2.2 研究設備

本研究所用的雷射加工機最大輸出功率為 64W, 加工速度最快可達 15(mm/sec), 最大加工範圍為 1200mm × 90mm, 其機台如圖 4 所示。雷射光束可由電腦操作 X-Y 方向二維移動, 加上可調式 Z 軸決定聚焦位置, 可以加工立體的三維結構。而測量時採用放大倍率為 100~1000 倍的電子顯微鏡作為測量各種數據時的重要觀察與量測的設備, 如圖 5 所示。

3. 研究方法

3.1 直交排列實驗

為了求得最佳控制因子參數，當控制因子與參數多時，若使用傳統的實驗設計方法，實驗次數多而且非常的費時，但使用田口方法的特殊設計直交表，只需要少數的實驗次數，即可得到最佳的實驗參數。每次實驗要量測九個試片上的切消痕跡的中間位置，共量 4 次，其量測內容為切削深度、切削寬度、熱變形寬度，並且計算每次實驗的平均值、標準差及雜訊比。

3.2 信號雜訊比(Signal-to-noise ratio,S/N)

使用雜訊比(S/N 比)可反映出實驗品質的差異性[6]。雷射切割的熱影響表面寬度越小，表示切割品質越佳。因此本實驗採用 S/N 比中的望小特性，其定義如下：

$$\eta = -10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^3 y_i^2 \right) \quad (1)$$

其中 η 為雜訊比， n 為測量的次數， y 分別為測量切削深度、切削寬度、熱變形寬度之數據。根據表 2 排列的控制因子及水準表進行實驗，將所得之數據以公式(1)來計算出其 S/N 比。

表 3 切削深度實驗表可以得知實驗 5 有最小平均值和最大 S/N 比值，實驗 8 有最大平均值和最小 S/N 比值；表 4 切削寬度實驗結果表可以得知實驗 5 有最小平均值和最大 S/N 比值，實驗 4 有最大平均值和最小 S/N 比值；由表 5 熱變形寬度實驗結果表可以得知實驗 9 有最小平均值和最大 S/N 比值，實驗 8 有最大平均值和最小 S/N 比值；另外利用公式(2)可以算出 S/N 比總平均值(\bar{T})，其計算公式如下，式子中的 η 為公式(1)所計算出來的 S/N 比：

$$\bar{T} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \eta_i \quad (2)$$

此外每個控制因子分別各有三個水準，三者中最大 S/N 比與最小 S/N 比的水準差值，稱為水準效應。水準效應表示著控制因子對於切削深度、切削寬度以及熱變形寬度的重要性。其計算方式如下：

$$\text{水準 } k_p = \frac{\sum \eta_{pk}}{3} \quad (3)$$

$$\text{水準效應} = (\text{水準 } k_p)_{\max} - (\text{水準 } k_p)_{\min} \quad (4)$$

其中， K_p 為水準因子 A、B、C、D 之水準 1、2、3 的平均 S/N 比， η_{pk} 為因子水準 k 的 S/N 比。水準效應越大，代表該控制因子對於熱影響寬度的影響力越顯著。表 7 為切削深度的 S/N 比因子反應表，依重要順序排列為 D 因子-功率、B 因子-覆蓋物、C 因子-速度、A 因子-切削次數；表 8 為切削寬度的 S/N 比因子反應表，依重要順序排列為 D 因子-功率、B 因子-覆蓋物、C 因子-速度、A 因子-切削次數；表 9 為熱變形寬度的 S/N 比因子反應表，依重要順序排列為 D 因子-功率、C 因子-速度、B 因子-覆蓋物、A 因子-切削次數。由於本研究是希望雷射切割壓克力的切削深度、切削寬度、熱變形寬度、越小越好，故品質特性為望小，由此可得如要選出每個控制因子中 S/N 值，最大的，故切削深度最佳控制因子為 A_3 、 B_3 、 C_2 、 D_1 ；切

削寬度最佳控制因子為 A_2 、 B_2 、 C_3 、 D_1 ；熱變形寬度最佳控制因子為 A_2 、 B_3 、 C_3 、 D_1 。

3.3 變異數分析(Analysis of variance,ANOVA)

變異數的分析主要目的是決定控制因子對於品質特性影響，不同的因子對於品質控制的影響程度也會有所不同。其計算公式分別如下所示：

$$SS_T = \sum \eta_i^2 - \frac{(\sum \eta_i)^2}{9} \quad (5)$$

$$SS_p = \frac{\sum \eta_{pk}^2}{3} - \frac{(\sum \eta_i)^2}{9} \quad (6)$$

$$SS_E = SS_T - SS_p \quad (7)$$

$$V_p = \frac{SS_p}{DOF_p} \quad (8)$$

$$F_p = \frac{V_p}{V_e} \quad (9)$$

$$Q_p = \frac{SS_p - DOF_p \times V_e}{SS_T} \quad (10)$$

其中 SS_T 是各因子總平方和； SS_E 是平方和誤差； SS_p 是因子 P(P=A、B、C、D)的平方和； η_i 是每個實驗 S/N 比值($i=1\sim 9$)； η_{pk} 是因子 p 水準 $k(k=1\sim 3)$ 的 S/N 比值； DOF_p 是因子 p 的自由度； F_p 是因子 p 的 F 值； V_p 是因子 p 的均方值； V_e 是合併誤差； Q_p 是因子 p 對熱影響表面寬度的貢獻度。根據公式(1)所算出 S/N 比值，分別帶入上面之公式分別可求得各項數據。由表 10 切削深度中可看出 D 因子的 F 值最大其貢獻度為 51.743%，再來是 B 因子貢獻度為 23.517%、C 因子貢獻度為 17.821%；表 11 切削寬度中可看出 D 因子的 F 值最大其貢獻度為 50.407%，再來是 B 因子貢獻度為 32.85%、C 因子貢獻度為 2.631%；表 12 熱變形寬度中可看出 D 因子的 F 值最大其貢獻度為 77.429%，再來是 C 因子貢獻度為 17.982%、B 因子貢獻度為 2.897%。

3.4 最佳加工條件決定

藉由實驗結果表、S/N 比的因子反應表及因子品質特性反應表可以得知，由於本實驗的期望值為望小，故得知切削深度最佳控制因子為 A_3 、 B_3 、 C_2 、 D_1 ；切削寬度最佳控制因子為 A_2 、 B_2 、 C_3 、 D_1 ；熱變形寬度最佳控制因子為 A_2 、 B_3 、 C_3 、 D_1 。其最佳控制水準組合數據如表 13 所示，而為了增加其量測值的可信度，利用公式計算出熱影響表面寬度的最佳預測值，其計算公式如公式如下所示：

切削深度最佳控制因子水準組合 S/N 比預測

$$\eta_{cal} = \bar{T} + (\bar{A}_3 - \bar{T}) + (\bar{B}_3 - \bar{T}) + (\bar{C}_2 - \bar{T}) + (\bar{D}_1 - \bar{T}) \quad (11)$$

$$= \bar{A}_3 + \bar{B}_3 + \bar{C}_2 + \bar{D}_1 - 3\bar{T}$$

切削深度最佳數值預測

$$A_{cal} = 10^{\frac{-\eta_{cal}}{20}} \quad (12)$$

切削寬度最佳控制因子水準組合 S/N 比預測

$$\eta_{cal} = \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) + (\bar{C}_3 - \bar{T}) + (\bar{D}_1 - \bar{T}) \quad (13)$$

$$= \bar{A}_2 + \bar{B}_2 + \bar{C}_3 + \bar{D}_1 - 3\bar{T}$$

切削寬度最佳數值預測

$$B_{cal} = 10^{\frac{-\eta_{cal}}{20}} \quad (14)$$

熱變形寬度最佳控制因子水準組合 S/N 比預測

$$\eta_{cal} = \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_3 - \bar{T}) + (\bar{C}_3 - \bar{T}) + (\bar{D}_1 - \bar{T}) \quad (15)$$

$$= \bar{A}_2 + \bar{B}_3 + \bar{C}_3 + \bar{D}_1 - 3\bar{T}$$

熱變形寬度最佳數值預測

$$C_{cal} = 10^{\frac{-\eta_{cal}}{20}} \quad (16)$$

其中 \bar{T} 為所有控制因子的平均 S/N 比值, \bar{A}_n 是 A 因子在水準 n 時的平均 S/N 比值; \bar{B}_n 是 B 因子在水準 n 時的平均 S/N 比值; \bar{C}_n 是 C 因子在水準 n 時的平均 S/N 比值; \bar{D}_n 是 D 因子在水準 n 時的平均 S/N 比值。由公式(11)~公式(16)可計算出 S/N 比預測值, 和最佳預測值, 如表 14 所示。從表中得知最佳 S/N 值為, 切削深度最佳預測值(A_{cal})為 0.028mm、切削寬度最佳預測值(B_{cal})為 0.086mm、熱變形寬度最佳預測值(C_{cal})為 0.385mm。

4. 確認實驗

為了確認本次實驗, 將表 13 的最佳水準組合之量測結果, 重複進行了 2 次, 分別驗證得出結果如表 14 所示。由表中可以看出當切削深度最佳控制因子為 A_3 、 B_3 、 C_2 、 D_1 平均值為 0.029mm 和 0.029mm, S/N 比值為 30.886db 和 30.96db; 切削寬度最佳控制因子為 A_1 、 B_2 、 C_3 、 D_1 平均值為 0.116mm 和 0.115mm, S/N 比值為 18.971db 和 18.785db。; 熱變形寬度最佳控制因子為 A_1 、 B_2 、 C_3 、 D_1 平均值為 0.359mm 和 0.36mm, S/N 比值為 8.992db 和 8.862db。此外為了能夠更有效的估計最佳因子水準組合, 必須計算信賴區間 (Confidence intervals), 以便有效確認最佳控制因子水準組合下的 S/N 比, 其計算公式如下:

$$CI = \sqrt{F_{0.05; 2; \nu_e} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{n_{ver}} \right)} \quad (17)$$

$$n_{eff} = \frac{n}{1 + \nu} \quad (18)$$

其中 $F_{0.05; 2; \nu_e}$ 為 95%F 值得信賴度; V_e 為合併誤差變異數; n_{ver} 為確認實驗之重複次數; n 為實驗總次數; ν 為因子總自由度; ν_e 為合併誤差變異數自由度。

藉由公式(17)和公式(18)可求得 CO_2 雷射微流道壓克力之切削深度、切削寬度、熱變形寬度之 5%信賴區間值(CI), 如表 14 所示, 其切削深度 $|\eta - \eta_{cal}|$ 為 0.149dB 和 0.075dB 都分別都低於 5%信賴區間值的 5.586dB; 切削寬度 $|\eta - \eta_{cal}|$ 為 2.333dB 和 2.519dB 都分別都低於 5%信賴區間值的 3.557dB; 熱變形寬度

$|\eta - \eta_{cal}|$ 為 0.604dB 和 0.574dB 都分別都低於 5%信賴區間值的 0.613dB。當 $|\eta - \eta_{cal}|$ 計算所得的值都分別低於信賴區間時, 代表實驗的可信度高。因此本研究的最佳控制因子組合可有效驗證其可能性。

5. 研究結果與討論

CO_2 雷射加工壓克力微流道之最佳化分析分為三部份進行討論:分別為切削深度、切削寬度以及熱變形寬度。在切削深度中, 以 D 因子-功率影響最為顯著, 從數據上來看以功率 20(W)最恰當, 因為當功率太大時, 會導致切削時的深度太深, 無法達到我們想要的深度。其他影響因子依序為 B 因子-覆蓋物、C 因子-速度、A 因子-切削次數。若無覆蓋物則會導致雷射光直接加工在 PMMA 上; 速度太慢或太快會導致無法切割或切割深度太深; 切割次數太少會導致無法至理想深度, 以上原因都會造成切割深度無法達致最佳化。而在切削寬度中, 以 D 因子-功率影響最為顯著, 從數據上來看以功率 20(W)最恰當, 因為當功率太大時, 會導致切削時的寬度太寬, 無法達到我們想要的寬度。其他影響因子依序為 B 因子-覆蓋物、C 因子-速度、A 因子-切削次數。若無覆蓋物則會導致雷射光直接加工再 PMMA 上但以石膏為覆蓋物又會導致切削寬度不夠好; 速度太慢會導致切割寬度太寬; 切割次數太少會導致寬度太窄而次數太多又會太寬, 以上原因都會造成切割寬度無法達致最佳化。在熱變形寬度中, 以 D 因子-功率影響最為顯著, 從數據上來看以功率 20(W)最恰當, 因為當功率太大時, 會導致熱變形範圍增大。其他影響因子依序為 C 因子-速度、B 因子-覆蓋物、A 因子-切削次數。速度太慢會導致無熱影響寬度太大; 無覆蓋物則會導致雷射光直接加工再 PMMA 上; 切割次數太少或太多會導致切割不良或造成熱變形範圍增大, 以上原因都會造成熱變形寬度無法達致最佳化。

6. 結論

本研究是利用田口方法來分析 CO_2 雷射加工壓克力微流道的切削深度、切削寬度、熱變形寬度, 以最少實驗次數獲得最佳切割條件。藉由 S/N 比和變異數分析來找尋最佳化因子, 結果顯示:若是注重切削深度, 則各因子影響程度依序為 D 因子-功率、B 因子-覆蓋物、C 因子-速度、A 因子-切削次數, 其最佳控制因子為 A_3 、 B_3 、 C_2 、 D_1 ; 若是注重切削寬度, 則各因子影響程度依序為 D 因子-功率、B 因子-覆蓋物、C 因子-速度、A 因子-切削次數, 其最佳控制因子為 A_2 、 B_2 、 C_3 、 D_1 ; 若是注重熱變形寬度, 則各因子影響程度依序為 D 因子-功率、C 因子-速度、B 因子-覆蓋物、A 因子-切削次數, 其最佳控制因子為 A_2 、 B_3 、 C_3 、 D_1 。此外 CO_2 雷射加工壓克力微流道的切削深度、切削寬度以及熱變形寬度的數值驗證後具有 95%的信賴區間。

7. 參考文獻

[1] W.S. Lau, T.M. Yue, T.C. Lee and W.B. Lee Processing Technology 48 (1995) 199—205
 [2] 何國賢 謝達華 王清禾 黃郁嵐 陳俊逸 謝壁任 高分子奈米複合材料之加工行為專題，國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系，2004。
 [3] 楊龍杰，認識微機電，滄海書局，2001年9月。
 [4] 尺寸下的液體量測與驅動，物理雙月刊，2003年6月，第25卷第3期。
 [5] J.Q. Liu, *et al.*, “Micro-machined channel pressure sensor systems for micro flow studies”, Technical Digestion of Transducer’93 conference, pp.995-997, (1993).
 [6] 李輝煌，田口方法品質設計的原理與實務，高立圖書有限公司，第四版
 [7] 黃冠仁 CO₂ 雷射加工高分子吉玻璃材料的缺陷改善探討，成功大學碩士論文，2004。

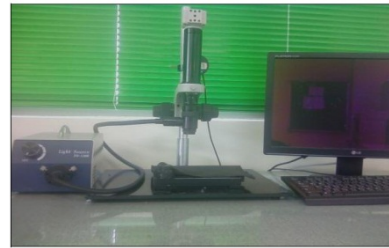


圖 5. 電子顯微鏡

表 1. 控制因子及水準表

符號	控制因子	水準一	水準二	水準三
A	切削次數	1次	2次	3次
B	覆蓋物	無	紙	石膏
C	速度(mm/s)	3	4	5
D	功率(W)	20	20.8	21.6

8. 圖表彙整

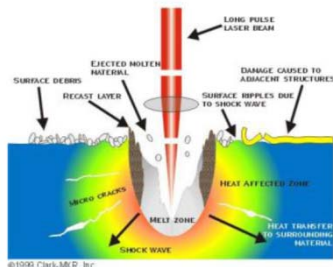


圖 1. 雷射與物質間的交互作用[3]

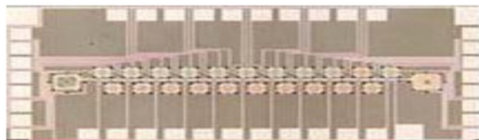


圖 2. 微流量量測晶片[7]

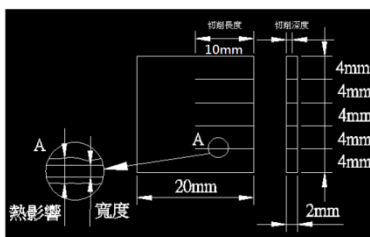


圖 3. 試片大小示意圖



圖 4. 雷射加工機

表 2. L9 直交表

實驗編號	控制因子			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表 3. 切削深度實驗結果表

實驗編號	第一點	第二點	第三點	第四點	平均值 (mm)	標準偏差 (mm)	雜訊比 (dB)
1	0.27	0.272	0.268	0.274	0.271	0.003	11.34
2	0.267	0.262	0.265	0.269	0.266	0.003	11.51
3	0.264	0.26	0.267	0.265	0.264	0.003	11.57
4	0.47	0.472	0.468	0.469	0.470	0.002	6.56
5	0.118	0.114	0.113	0.115	0.115	0.002	18.78
6	0.206	0.204	0.2	0.212	0.206	0.005	13.74
7	0.22	0.219	0.221	0.224	0.221	0.002	13.11
8	1.216	1.219	1.217	1.22	1.218	0.002	-1.71
9	0.029	0.025	0.031	0.027	0.028	0.003	31.03

表 4.切削寬度實驗結果表

實驗編號	第一點	第二點	第三點	第四點	平均值 (mm)	標準偏差 (mm)	雜訊比 (dB)
1	0.249	0.244	0.243	0.241	0.244	0.003	12.24
2	0.224	0.216	0.222	0.23	0.223	0.006	13.03
3	0.328	0.334	0.326	0.326	0.329	0.004	9.67
4	0.371	0.371	0.366	0.371	0.370	0.003	8.64
5	0.089	0.086	0.084	0.085	0.086	0.002	21.31
6	0.328	0.328	0.328	0.329	0.328	0.001	9.68
7	0.297	0.303	0.297	0.302	0.3	0.003	10.46
8	0.234	0.229	0.231	0.224	0.23	0.004	12.78
9	0.152	0.157	0.162	0.174	0.161	0.009	15.84

表 5.熱變形寬度實驗結果表

實驗編號	第一點	第二點	第三點	第四點	平均值 (mm)	標準偏差 (mm)	雜訊比 (dB)
1	0.479	0.489	0.499	0.505	0.493	0.011	6.14
2	0.652	0.648	0.643	0.643	0.647	0.004	3.79
3	0.618	0.603	0.608	0.603	0.608	0.007	4.32
4	0.687	0.687	0.672	0.687	0.683	0.008	3.31
5	0.421	0.425	0.424	0.415	0.421	0.005	7.51
6	0.657	0.662	0.657	0.652	0.657	0.004	3.65
7	0.559	0.559	0.543	0.544	0.551	0.009	5.17
8	0.855	0.846	0.85	0.85	0.85	0.004	1.41
9	0.44	0.445	0.449	0.445	0.445	0.004	7.04

表 6.切削深度 S/N 比的因子反應表 單位:dB

	A	B	C	D
水準 1	11.473	10.338	7.79	20.385
水準 2	13.030	9.527	16.367	12.788
水準 3	14.143	18.78	14.488	5.472
水準效應	2.67	9.21	8.577	14.913
順序	4	2	3	1
重要性	No	Yes	No	Yes

表 7.切削寬度 S/N 比的因子反應表 單位:dB

	A	B	C	D
水準 1	11.648	10.45	11.567	16.463
水準 2	13.209	15.708	12.504	11.057
水準 3	13.029	11.728	13.814	10.365
水準效應	1.561	5.258	2.247	6.098
順序	4	2	3	1
重要性	No	Yes	No	Yes

表 8.熱變形寬度 S/N 比的因子反應表 單位:dB

	A	B	C	D
水準 1	4.750	4.874	3.733	6.896
水準 2	4.822	4.235	4.711	4.203
水準 3	4.54	5.003	5.667	3.013
水準效應	0.282	0.768	1.934	3.883
順序	4	3	2	1
重要性	No	No	Yes	Yes

表 9.切削深度變異分析表

因子	自由度 DOF _p	平方和 SS _p	均方和 V _p	F 值 F _p	貢獻度% Q _p
A	2	10.792			
B	2	157.515	78.758	14.596	23.517%
C	2	121.975	60.987	11.302	17.821%
D	2	333.61	166.805	30.913	51.743%
合併誤差	2	10.792	5.396		6.919%
總和	8	623.892			100%

表 10.切削寬度變異分析表

因子	自由度 DOF _p	平方和 SS _p	均方和 V _p	F 值 F _p	貢獻度% Q _p
A	2	4.376			
B	2	45.12	22.56	10.311	32.85%
C	2	7.64	3.82	1.746	2.631%
D	2	66.895	33.448	15.287	50.407%
合併誤差	2	4.376	2.188		14.112%
總和	8	124.03			100%

表 11. 熱變形寬度變異分析表

因子	自由度 DOF _p	平方和 SS _p	均方和 V _p	F 值 F _p	貢獻度% Q _p
A	2	0.129			
B	2	1.012	0.506	7.849	2.897%
C	2	5.614	2.807	43.518	17.982%
D	2	23.746	11.873	184.075	77.429%
合併 誤差	2	0.129	0.065		1.693%
總和	8	30.501			100%

表 12. 最佳控制因子設定表

切削 深度	符號	A ₃	B ₃	C ₂	D ₁
	數據	3 次	石膏	4(mm/sec)	20(W)
切削 寬度	符號	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁
	數據	2 次	紙	5(mm/sec)	20(W)
熱變 形寬	符號	A ₂	B ₃	C ₃	D ₁
	數據	2 次	石膏	5(mm/sec)	20(W)

表 13. 實驗值與預測值比較表

切削 深度	次 數	avg	η	A_{cal}	η_{cal}	$ \eta - \eta_{cal} $
	1	0.029	30.886	0.028	31.035	0.149
	2	0.029	30.96	0.028	31.035	0.075
切削 寬度	次 數	avg	η	B_{cal}	η_{cal}	$ \eta - \eta_{cal} $
	1	0.116	18.971	0.086	21.304	2.333
	2	0.115	18.785	0.086	21.304	2.519
熱變 形寬 度	次 數	avg	η	C_{cal}	η_{cal}	$ \eta - \eta_{cal} $
	1	0.359	8.892	0.385	8.288	0.604
	2	0.36	8.862	0.385	8.288	0.574

Optimization of Laser Machining Microchannel PMMA Analysis

Chyn-Shu Dung¹、Kuo-Lun Hsia¹、
Ming-Cheng Tsia¹、Wen-Chang Wu¹
¹Department of Mechanical Engineering,
National United University

Abstract

This study is the use of Taguchi methods in Optimization of Laser Machining Microchannel PMMA Analysis. The experimental control factors shown: A factors-the number of cutting, B factor- overlay, C factor-speed and D factor- CO2 laser powers. Each control factors have three levels. Because of the experiments of traditional experimental methods must test a lot of experimental and waste time so we use Taguchi methods to experiment. The experimental methods used 9 groups of side length of 20mm and thickness of 2mm square PMMA. Making a length of 10mm scribing every 4mm and measurement in the half of the cutting at each experiment measured a total of 4 times. Measuring cutting wide, cutting depth and thermal deformation wide in every experiment and signal-to-noise ratio and analysis of variance to find important factors and best control factors. The result show that the best cutting deep of control factor level is A₃、B₃、C₂、D₁, the order of significant factors are D、B、C、A. the best cutting wide of control factor level is A₂、B₂、C₃、D₁, the order of significant factors are D、B、C、A. the best thermal deflection wide of control factor level is A₂、B₃、C₃、D₁, the order of significant factors are D、C、B、A.

Keywords : Laser processing, PMMA, Microchannel, Taguchi method