

## 鋁合金與黃銅於線切割放電加工表面變化之研究

陳狄成\* 許松山\* 邱佳聖\*\* 尤麒熊\*\*

\*國立彰化師範大學 工業教育與技術學系教授

\*\*國立彰化師範大學 工業教育與技術學系大學部學生

### 摘 要

本文探討鋁合金與黃銅於線切割放電加工之表面變化，當使用傳統加工法(如車床、銑床、磨床等)加工完成之工件表面，會因刀具接觸而使工件產生一層表面硬化層，隨著加工時間越久，最後將導致刀具損毀。為了改善刀具損毀現象，目前業界皆使用線切割放電加工來切割工件，增加切割工件表面精細度。因此本文以鋁合金與黃銅兩種材料來做實驗比較，藉由改變單位時間內之線速度、加工速度與電流段速等參數，來觀察線切割放電加工後材料之表面粗糙度變化，及利用硬度測試機來量測硬度變化。實驗分析結果，希望能提供業界對於鋁合金與黃銅對於線切割放電加工後材料表面變化之參考。

**關鍵詞：**線切割放電加工、表面粗糙度、硬度

## **An Investigation into Surface Deformation of Aluminum Alloy and Brass Using Wire Electrical Discharge Machining**

**Dyi-Cheng Chen\***   **Sung-Shan Hsu\***   **Chia-Sheng Chiu\*\***  
**Ci-Syong You\*\***

\* Professor, Department of Industrial Education and Technology,  
National Changhua University of Education

\*\* Student, Department of Industrial Education and Technology,  
National Changhua University of Education

### **Abstract**

The paper investigated into surface deformation of aluminum alloy and brass using wire electrical discharge machining (WEDM). Using traditional process (such as lathe, milling machine, grinding machine) fabricated the workpiece surface. The workpiece induced hardening layer in surface because the cutter contacted with workpiece. Finally, the cutter will be induced the damage. At present, the wire electrical discharge machining fabricated the workpiece and increasing precision surface in order to improve the cutter damage phenomenon. Hence, this text compared with experiment of aluminum alloy and brass. The experiments observe surface roughness of workpiece and measure hardness values using hardness test machine that various parameters such as velocity of wire, processing velocity and changing electric current in unit time. The results of the experiment can offer industrial references of aluminum alloy and brass surface phenomenon for wire electrical discharge machining.

**Key Words:** Wire electrical discharge machining, Surface roughness, Hardness

## 壹、前言

線切割放電加工(wire electrical discharge machining)自從在1943年被俄國人Larzarlinko發明之後，現在已被廣泛的運用在各種精密機械加工上；例如高密度模具工業、微型齒輪鐘錶零件等，其精密度要求大多在 $5\mu\text{m}$ 左右；故在尺寸的控制方面，要求可以說是相當嚴格。儘管工件表面微小變化，都可能會造成工件的配合不良，長期下來導致產品磨損、壽命縮短。

由於線切割放電加工在對工件加工時，會在瞬間產生約五千度左右的高溫，利用高熱使被加工物融化，以達到加工目的。但這也意味著，經加工後之工件表面其表面粗糙度及硬度等機械性質可能會受到影響，而生成加工變質層。例如王斌和王會霞(2007)曾用鉬絲做為電極材料研究工件表面粗糙度之影響。樓樂明等(2000)也曾利用加工速度變化，觀察對鋼鐵材料之粗糙度影響。林洋鑫和李雅玲(2005)認為表面粗糙度之計算式為 $Ra=K_R \times \tau_{on}^{0.2} \times I_p^{0.5}$ ，其中 $\tau_{on}$ 為放電時間、 $I_p$ 為放電電流、 $K_R$ 為常數 $6 \times 10^{-1}$ 。黃錦鐘(1995)曾利用合金工具鋼加工出水中與油中的硬度變化。Huang et al. (2003)對高速鋼的切削表面，使用金相試驗觀察其表面變化。Peng 和 Liao (2003)利用 WEDM 對矽晶圓切割，當表面粗糙度達到 Ra 值  $3.6\mu\text{m}$  以下才可被採用。Hasçalık 和 Çaydas(2004)改變開放電路電壓、導線速度和電介質等，對 AISI D5 工具鋼進行粗糙度實驗。Guo et al.(2002)曾利用電流脈衝及放電能量等參數變化，期望設計出一完美的加工參數能使表面粗糙度能夠有所改。Sarkar et al. (2005)則是利用鈦鋁合金做為切削材料，藉由控制線徑的位置來配合放電加工時的表面尺寸誤差，以得到準確的工件尺寸。Mohammadi et al. (2008)等人利用統計學上的回歸來求出加工參數對表面粗糙度的變化。Spedding 和 Wang((1995)主要針對加工時張力與剪切時的速度來分析物體的表面變化情形。而 Hewidy(2005)等人除了指出放電線切割在航太工業與醫療工業上的運用外，更利用其對 Inconel 601 進行切割分析。而在資料上大多使用鋼鐵材料，並沒有提到不同金屬的加工是否會有所差異，故本文採用兩種金屬彼此對照實驗結果，討論其加工表面變化之差異。

表面品質可用來判別加工品質的優劣，在相關研究(蔡百均，2003)中指出，表面品質可分為三項：(a)表面粗糙度、(b)表面變質層及(c)殘留應力及裂縫。本研究分成兩個部份，一是研究表面粗糙度的變化、二是研究加工物之硬度變化。首先採用兩種金屬，鋁合金(A6061 T6)以及黃銅 CuZn40 (C-2800B)，做為測試材料；利用不同參數加工所得到的表面，進行表面粗糙度之探討，比較兩種金屬在相同條件下，其變化是否有所差異。在硬度試驗方面，則是探討線切割放電加工後之材料硬度與原先材料硬度是否有所變化。

## 貳、實驗方法

由於線切割加工不受材料機械性質影響，且所使用線電極將持續由線捲提供，故執行線切割加工時，總是由新線與工件產生作用而沒有電極消耗問題。在線切割加工過程中，乃利用於線電極與被加工物之間加入高電壓後，由於加工液中的自由電子會排列成一細橋式通路，進而引發電弧柱，產生局部高溫將加工物移除，而達成材料移除的加工目的。因工件與線電極並沒有實際接觸，故工件本身並沒有承受機械應力的影響，因此易於達到精密加工的目的。

## 一、使用材料及設備

本研究使用設備及材料包括線切割放電加工機、表面粗度測定器、硬度試驗機、鋁合金 A6061 T6 以及黃銅 CuZn40(C-2800B)等，說明如下：

- (一) 加工材料：包括鋁合金 A6061 T6 以及黃銅 CuZn40(C-2800B)，其主要成分如表 1 所示。
- (二) 美溪線切割加工機：如圖 1 所示，其銅線最大線徑為 0.25mm，並以純水做為電介質。
- (三) 表面粗度測定器：如圖 2 所示，其標準試驗片之 Ra 值為 3.000  $\mu\text{m}$ ，機台校正結果如圖 3 所示。
- (四) AKASHI AVK-A 硬度試驗機：如圖 4 所示，以直徑 1mm 之小鋼珠做為壓痕器，施加於工件之壓力為 100kg。

表 1 鋁合金(A6061 T6)以及黃銅 CuZn40(C-2800B)主要成分表

鋁合金	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	其他
A6061 T6	0.27	0.6	0.7	0.15	1.0	0.25	0.25	---	Ti 0.15
黃銅	Cu		Pb		Fe		Zn		
CuZn40(C-2800B)	59~62		<0.10		<0.07		餘量		



圖 1 美溪線切割加工機

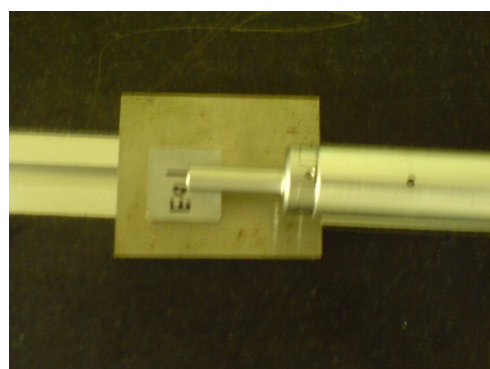


圖 2 表面粗度測定器

## 二、實驗設計與步驟

在實驗試片製作方面，修改放電線切割機上之線速度（線電極進給速度）、加工速度（每分鐘加工速度）及電流段速（放電能量之大小）等加工參數，製作出不同參數之表面，各種參數變化表如表 2 所示，其中線速度設為 6、7、8 m/min，加工速度設為 1~2.3 mm/min，電流段速設為 2、3、4 A，其他固定參數值如表 3 所示。待試片製作完成之後，接著使用表面粗度測定器，量測出各試片之中心線平均粗糙度值(Ra)，並比較參數變化對試片表面之影響。最後，使用硬度試驗機量測加工前之金屬硬度與加工後之硬度變化；由於本研究採用鋁、銅等軟金屬，故採用洛氏硬度 B(HRB)作為量測標準最為合適。

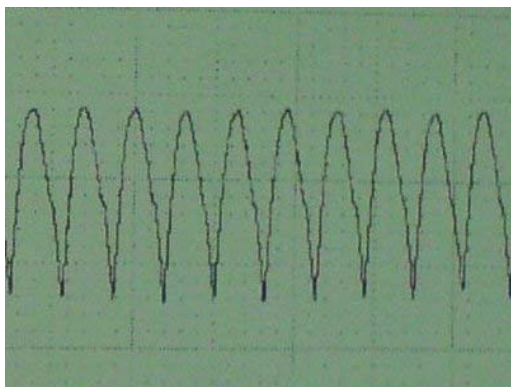


圖 3 表面粗度測定器之標準試片矯正 圖 4 AKASHI AVK-A 硬度試驗機

表 2 各種參數變化表

編號	線速度 (m/min)	加工速度 (mm/min)	電流段速 (A)
1	6	1.5	2
2	6	2	3
3	6	2.3	4
4	7	1.5	2
5	7	2	3
6	7	1.8	4
7	8	1.5	2
8	8	2	3
9	8	1	4

表 3 固定參數值

輔助電流 (I)	輔助休止 ( $\mu\text{m}$ )	伺服電壓 (V)	線張力 (N/m)	沖水段速	開路電壓 (V)	速度百分比
1	12	40	6	2	1	100%

### 參、實驗結果與討論

在本次實驗中，本來預計在加工速度方面使用 1.5、2.0、2.5 之速度進行加工，但由於加工速度過快，導致線電極出現斷線警報，經多次嘗試之後，狀況仍無法改善，故將原 2.5 之參數持續降低至可順利加工之數值。

表面粗糙度的測試結果如圖 5 所示，在相同的加工環境下，鋁合金的表面粗糙度略優於黃銅。而在單一參數比較上，黃銅在電流段數為 4A 時（本次實驗之最高電流參數）得到最大 Ra 值，也就是說，放電加工之放電能量越高者，其得到之表面將越粗糙。圖 6 為兩金屬 Ra 值最大與最小之 CCD 表面放大圖，可明顯看出表面的差異性；而且，當電流段速為 4A 時，最大粗糙度之 Ra 值將達到 4.3 $\mu$ m 以上，對於精密機械加工而言，必須要格外注意電流段數之控制。而線速度方面則對表面粗糙度的影響較小，但需要注意線速度越高者，其加工速度必須降低，避免加工時發生斷線之慮。

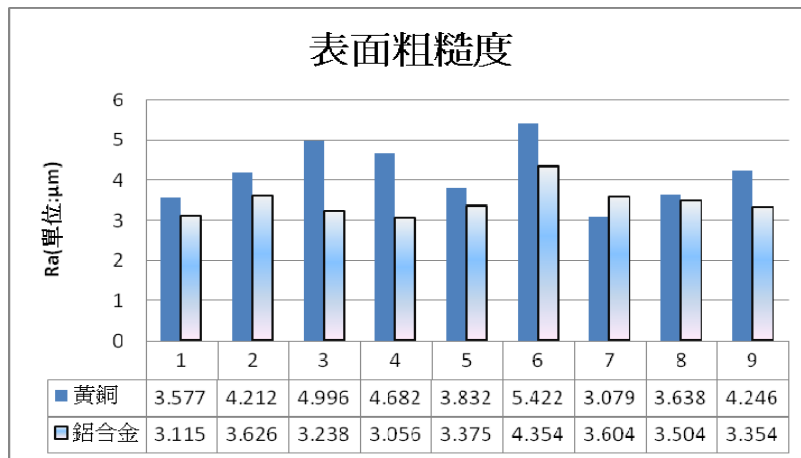


圖 5 黃銅與鋁合金各項參數之 Ra 值

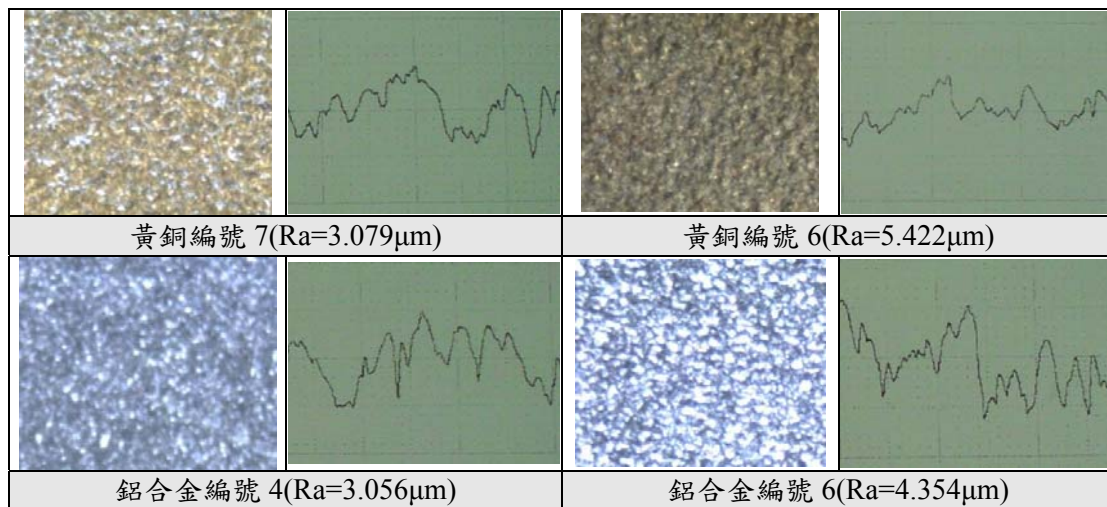


圖 6 黃銅與鋁合金之最大與最小 Ra 值表面放大圖

根據硬度試驗的數據指出，鋁合金在經由放電加工之後，其表面硬度將會有些微的提升，尤其線速度為 6 m/min 時，如表 4 所示。而對於黃銅方面，如表 5 所示，其線速度參數值為 6 m/min 時，其表面之硬度值略低於加工前之硬度初始值 39.0，當線速度提升至 7 m/min 時，硬度方面才有明顯的上升，到了線速度為 8 m/min 時，所得之數值高於加工前之硬度數值，因此線速度將會影響加工後材料表面硬度。

表 4 鋁合金之洛氏硬度值

鋁合金	洛氏硬度值(HRB)				平均值
	1	2	3	4	
量測次數					
初始值	38.5	38.5			38.5
編號 1	39.0	40.0	39.0	38.5	39.125
編號 2	41.0	39.0	39.0	38.5	39.375
編號 3	39.0	39.5	39.0	39.0	39.125
編號 4	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0
編號 5	39.0	39.0	38.5	38.5	38.75
編號 6	39.0	38.5	39.0	39.0	38.875
編號 7	39.0	39.0	38.5	39.0	38.875
編號 8	38.0	38.5	39.0	38.5	38.5
編號 9	38.5	39.0	38.5	38.5	38.625

表 5 黃銅之洛氏硬度值

黃銅	洛氏硬度值(HRB)				平均值
	1	2	3	4	
量測次數					
初始值	39.0	39.0			39.0
編號 1	39.0	38.5	39.0	39.0	38.875
編號 2	38.5	38.5	39.0	39.0	38.75
編號 3	38.5	39.0	38.5	38.5	38.625
編號 4	38.5	39.0	39.0	38.5	38.75
編號 5	39.0	39.0	39.5	38.5	39.0
編號 6	38.5	39	39.5	39.0	39.0
編號 7	39.5	39.5	39.0	39.0	39.25
編號 8	41.0	40.0	40.0	40.0	40.25
編號 9	40.0	40.0	39.0	39.5	39.625

## 肆、結論

本文探討鋁合金與黃銅於線切割放電加工之表面變化，其結論如下：

- (一) 在單一參數比較上，黃銅在電流段數為 4 時（本次實驗之最高電流參數）得到最大 Ra 值，也就是說，放電加工之放電能量越高者，其得到之表面將越粗糙。
- (二) 線速度方面則對表面粗糙度的影響較小，但需要注意線速度越高者，其加工速度必須降低，避免加工時發生斷線之慮。
- (三) 對於黃銅方面，其線速度參數值為 6 m/min 時，其表面之硬度值略低於加工前之硬度，當線速度提升至 7 m/min 時，硬度方面才有明顯的上升，到了線速度 8 m/min 時，所得之數值高於加工前之硬度數值。

本文實驗分析結果，希望能提供業界對於鋁合金(A6061 T6)以及黃銅 CuZn40 (C-2800B)，在線切割放電加工各種參數加工後材料表面變化之參考。



## 參考文獻

- 王斌、王會霞(2007)。線切割加工中電參數對工件表面粗糙度的影響。河北工業科技，第 24 卷第 2 期。
- 林洋鑫、李雅玲(2005)。Technology Analysis and Applications for WEDM。機械工業雜誌，第 276 期。
- 黃錦鐘(1995)。線切割放電加工面的硬度變化。機械月刊，第二十一卷第十期。
- 樓樂明、李明輝、彭穎紅(2000)。快走絲電火花線切割加工工藝參數的優化選取。上海交通大學學報，第 34 卷第 10 期。
- 蔡百均(2003)。振動切削技術應用於微細線切割放電加工之研究。國立雲林科技大學機械工程系碩士論文，雲林。
- Guo, Z.N., Wang, X., Huang, Z.G. & Yue, T.M. (2002). Experimental investigation into shaping particle-reinforced material by WEDM-HS, *Journal of Materials Processing Technology*, 129, 56–59.
- Hasçalýk, A. & Çaydas, U. (2004). Experimental study of wire electrical discharge machining of AISI D5 tool steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 148, 362–367.
- Hewidy, M.S., El-Taweel, T.A. & El-Safty, M.F. (2005). Modelling the machining parameters of wire electrical discharge machining of Inconel 601 using RSM, *Journal of Materials Processing Technology*, 169, 328–336.
- Huang, C.A., Hsu, C.C. & Kuo, H.H. (2003). The surface characteristics of P/M high-speed steel (ASP 23) multi-cut with wire electrical discharge machine (WEDM), *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 298–302.
- Mohammadi, A., Tehrani, A.F., Emanian, E. & Karimi, D. (2008). A new approach to surface roughness and roundness improvement in wire electrical discharge turning based on statistical analyses, *Int J Adv Manuf Technol*, 39, 64-73.
- Peng, W.Y. & Liao, Y.S. (2003). Study of electrical discharge machining technology for slicing silicon ingots, *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 274–279.
- Sarkar, S., Mitra, S. & Bhattacharyya, B. (2005). Parametric analysis and optimization of wire electrical discharge machining of  $\gamma$ -titanium aluminide alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 159, 286–294.
- Spedding, T.A. & Wang, Z.Q. (1995). Study on modeling of wire EDM process, *Journal of Materials Processing Technology*, 69, 18–28.