

電化學加工之電極刀具振動模組技術研究

A study on tooling electrode vibration module in electrochemical machining electrolyte system

許志成、陳佑論*、溫梓宏
Chih-Cheng Shiu, You-Lun Chen*, and Tzu-Hung Wen

財團法人金屬工業研究發展中心 區域研發服務處 智慧技術組
Regional R&D Service Department
Metal Industries Research & Development Centre (MIRDC), Taiwan
E-mail* : tag@mail.mirdc.org.tw

摘要

電化學加工過程中，加工間隙的縮小有助於提高加工的精度與品質，然而，過小的加工間隙亦會妨礙電解液的流動，使得電解液的流量嚴重不足。為了使電解液能夠充分的更新，並解決小間隙加工時電解產物排除不易等問題，本研究開發一用於電化學加工之振動裝置，透過振動方式增加電解液之擾動與更新，並藉由位置檢知器將輸出信號至電源端以完成加工上的配合與脈衝電源相互匹配達成高精度加工效果，與傳統電化學加工相比，可有效提升形狀精度、尺寸精度以及表面品質。

關鍵字詞：電子凸輪、振動模組、電化學加工

Abstract

Electrochemical machining process, the reduced machining gap can improve the machining accuracy and quality. Machining gap is too small, however, it will hinder the flow of the electrolyte, resulting in a serious shortage of electrolyte flow. In order to fully update the electrolyte, and solve the problem when the processing of the small gap product rule out is not easy and so. This study developed an apparatus for the electrochemical machining of the vibrating means to increase the profile of the electrolytic solution, through the vibration mode. By the position detecting signal is output to the pulse power source to match with each other to achieve the effect of the high-precision machining. Comparison with the conventional electrochemical machining, the apparatus can effectively improve the shape accuracy, dimensional accuracy and surface quality.

Keywords: electronic cam, vibration module, electrochemical machining

1. 前言

精微電化學加工 (Electrochemical Micro-Machining, EMM)，係利用電化學反應所發生的金屬移除效應，而精微的電化學加工，使金屬移除加工範圍僅達數微米至厘米之間，屬於非傳統微細加工。電化學加工乃利用西元 1833 年法拉第所提出的電解現象，將待加工之工件做為陽極，工具電極做為陰極，於兩極間給予穩定電壓，並以電解液當傳導介質。工件於電化學溶解反應時，因電解作用所析出之金屬離子及反應所生成的氫氣泡，由電解液的流動帶離加工區，加上工具電極有一進給速率，將工具電極逐漸向工件方向移動，使工件被加工成與工具電極反轉之外形。微電化學加工擁有多種異於放電加工的特色，包括：工具電極不易損耗、以解離方式去除被加工物等，更可適用於超精密加工。電化學加

工和放電加工也有諸多相似之處。值得一提的是，相較於放電加工，電化學加工擁有加工速度快及加工表面平滑度佳的優勢，沒有毛邊殘留之情形，且加工稜邊為小圓角。整體電化學加工過程中，由於沒有剪切等切削力及高溫作用的影響，因此工件表面不會有變質層及殘留應力產生。

電化學加工過程中，盡可能地縮小加工間隙將有助於提高加工的品質與精度。然而，過小的加工間隙亦會妨礙電解液的流動，使得電解液的流量嚴重不足。為了使電解液能夠充分的更新，並解決小間隙加工時電解產物排除不易等問題，故以陰極刀具振動的方式進給加工，以排除小間隙加工所造成的種種問題。一般加工製程中若有振動之需求時，超音波振動往往為較常採用

的方式。超音波可經由壓電晶體如石英、鈦酸鋇、鉛鈦酸鉛等之逆電壓效應而產生，其原理為加諸一規律變化之電壓於壓電晶體之兩端時，將使得晶體進行相對應的機械振動。也由於該方法具備響應快、高解析度與出力大等優勢，故已廣泛使用於各加工製程中。從國外之相關文獻與專利[1][2][3]中得知，通常應用於電化學加工之振動機構其振盪行程範圍為 0.2mm~1mm，若採用超音波振動方式由於壓電晶體所引發之振幅較小，因此限制了加工應用的範圍。另外，由於電化學振動加工需與脈衝電源同步作動，故當振動元件移動至下死點處，需迴授一訊號使電源導通如圖 1，而壓電晶體振盪時由於頻率較高，故難以針對其移動位置進行感測並使訊號回饋，因而難以實現與脈衝電源之同步作動。故由相關文獻中可知，關於電化學振動加工技術之實現，極少採用超音波振動之方式，相較之下以連桿帶動滑塊作動之方式如圖 2 則較為主流。

然而，運用連桿帶動滑塊作動之方式面臨的最大問題便是零件間因相互高速摩擦而產生高熱與磨損，且由於此方法是以偏心機構進行驅動，故其引發之側向力將導致零件間之損耗以及使得振動元件產生側向偏擺，如此一來，在長時間加工之條件下，其加工精度將受其影響。為有效解決因側向力導致之種種缺失，國外已有使用線性滑軌以限制側向力之相關研究，但仍存在著高度摩擦熱以及磨耗的問題，另外，線性滑軌也較難以實現小型化之設計，且除了維修保養不易之外，對於高精度之零組件而言，其成本也較高。本研究為應用於電化學加工之振動裝置，透過振動方式增加電解液之擾動與更新，並藉由位置檢知器將輸出信號至電源端以完成加工上的配合與脈衝電源相互匹配達成高精度加工效果，與傳統電化學加工相比，可有效提升形狀精度、尺寸精度以及表面品質。

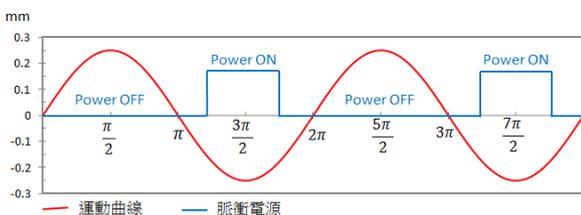


圖 1. 振動機構與脈衝電源之同步作動示意圖

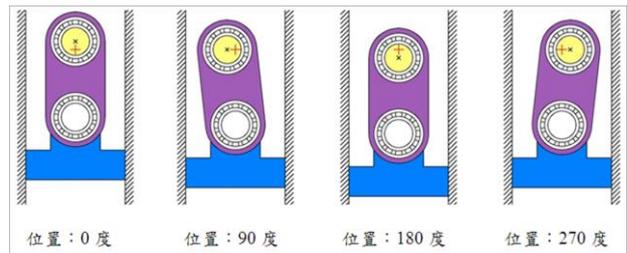


圖 2. 常見振動機構之作動原理示意圖

2. 振動模組開發研究

如圖 3 所示為本研究開發之振動模組，其規格為振動頻率：50 Hz，振動行程：0.5 mm，整體重量：13 Kg。



圖 3 振動模組外觀圖

2.1 振動機構運作原理說明

本研究之振動模組作動原理如圖 4 所示，伺服馬達將先行驅動偏心軸，而偏心軸接著帶動滑塊使其產生圓周運動，而滑塊與振動元件間將建構軸承結構，故滑塊將可於振動元件中進行水平運動藉此分化掉由於偏心作動而引發之側向力，以確保振動元件可產生上下振動，而偏心軸之另一端則連接位置檢知器，當振動原件移動至下死點時，位置檢知器將輸出信號至電源端以完成加工上的配合，同時也隨時進行位置補償的工作以確保振動元件移動之精確性，與目前常見振動機構之作動原理相比，由於側向力小，故可提升振動元件之確動性以及減少零件的磨損。且由於使用一般市售之線性滑軌將存在著不易實現結構小型化等缺點，故尚須透過不同之機構設計手法作為取代方案，同時此設計亦須具備零件成本低、易於安裝維修等特性。另外，由於電化學加工過程中需長時間接觸電解液，故模組外觀需具備防止潑濺水之滲入與防銹蝕設計。

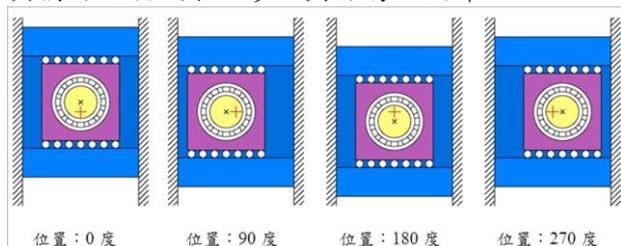


圖 4. 本研究之振動模組其作動原理示意圖

2.2 振動模組設計要點

本研究所開發之振動模組具備下列設計要點：

- (1) 內部填充潤滑油用以潤滑與降溫，延長零件使用壽命。
- (2) 運用不同滑塊設計使側向力降低，減少零件間之磨耗。
- (3) 運用定位滾珠設計以確保振動元件之單一方向作動。
- (4) 設計一轉接模組，可快速地將振動裝置安裝與定位。
- (5) 與連桿機構相比，零件數較少，組裝誤差減小。
- (6) 附有把手結構，加工過程中可以人力徒手快速置換此功能型模組。

2.3 振動模組結構應力分析

關於振動模組之結構分析，需考量之要點包含：相關零組件之重量、由於偏心結構所產生之變動負荷等，而必須加以分析之項目包括：轉接頭、偏心軸、滑塊導引軸等。另外，需考量之變動負荷定義為離心力作用：

$$F=m\omega^2r \quad (1)$$

其中， m 為物體質量(kg)， ω 為角速度(rad/s)， r 為半徑(m)，而各分析零件之模擬負載考量如表 1 所列。由圖 5(a)、5(b)、5(c)之模擬結果可知，在振動模組結構中之各個進行結構應力分析的零件中，偏心軸由於承受之負載較大，故其變形量亦相對較高，而綜觀各零件之分析結果，其變形量均小於 $1\mu\text{m}$ ，且模擬過程已考量 2 倍之安全係數，故可見得其結構剛性設計為合理。

表 1. 振動模組各零件結構應力分析之各負載考量

分析項目	考量負載說明	負載值
轉接頭	相關零件載重、變動負荷	340.38 N
偏心軸	相關零件載重、變動負荷	139.24 N
滑塊導引軸	相關零件載重、變動負荷	139.24 N

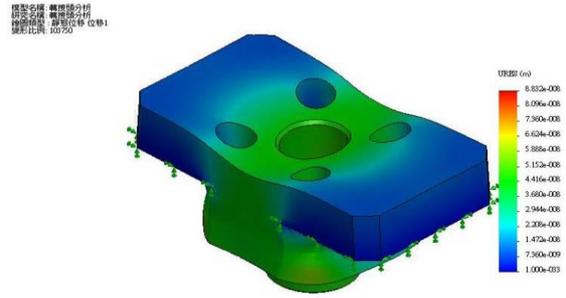


圖 5(a) 振動模組轉接頭結構應力分析位移結果 (MAX: 8.83E-8 m)

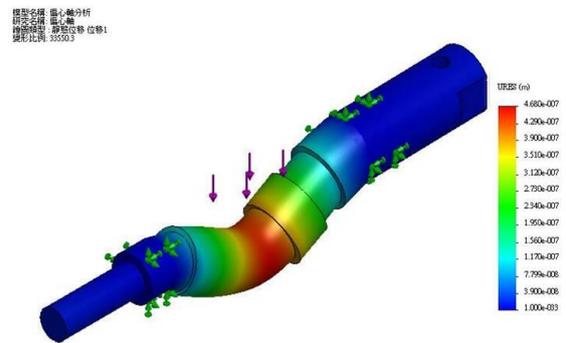


圖 5(b) 振動模組偏心軸結構應力分析位移結果 (MAX: 4.68E-7 m)

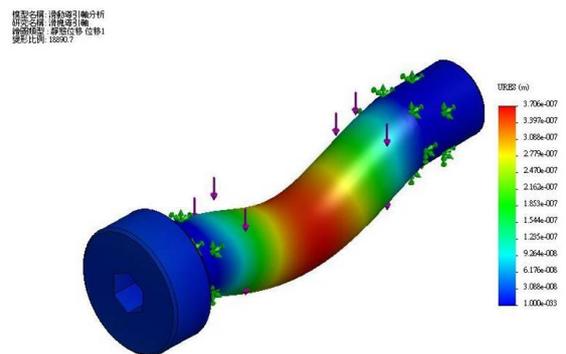


圖 5(c) 振動模組滑塊導引軸結構應力分析位移結果 (MAX: 3.71E-7 m)

3. 結果與討論

本研究之振動模組搭配 NSD VARICAM VS-5E 電子凸輪控制器與電化學加工用脈衝電源進行連動觸發測試。藉由於電子凸輪控制器中設

定特定角度的觸發需求，藉由絕對式的旋轉編碼器可於旋轉到設定之角度時，觸發一 Out 點訊息通知電源輸出脈衝電壓，以達到運用於振動機構之加工特性需求，如圖 6 所示為測試架構示意說明。其測試的方式為於電子凸輪控制器中在程式 #1 中編輯 2 個輸出 channel，設定：

- 1) 60~120 度：正脈衝輸出
- 2) 240~300 度：負脈衝輸出
- 3) 其他角度不輸出

此測試主要針對轉速 1200rpm 進行測試，由示波器觀測其電源輸出現象，如圖 7(a)、7(b)所示分別為正脈衝電壓與負脈衝電壓輸出現象。

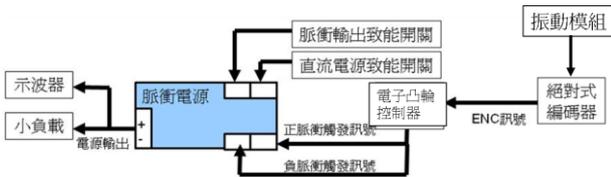


圖 6. 測試架構示意說明

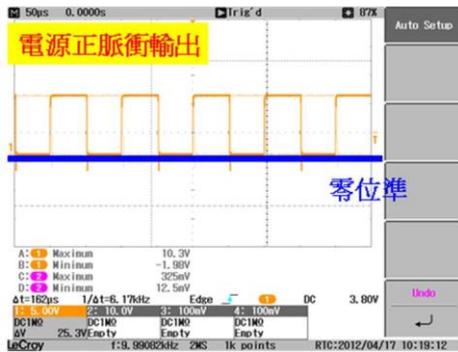


圖 7(a) 電源正脈衝輸出結果

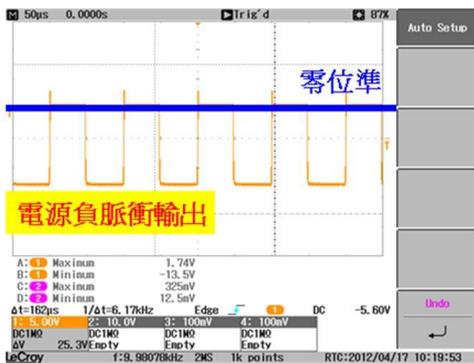


圖 7(b) 電源負脈衝輸出結果

4. 結論

本研究開發一應用於電化學加工之振動裝置，透過振動方式增加電解液之擾動與更新，並藉由位置檢知器將輸出信號至電源端以完成加工上的配合與脈衝電源相互匹配達成高精度加工效果，與傳統電化學加工相比，可有效提升形狀精度、尺寸精度以及表面品質。

5. 參考文獻

1. Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG, “電化學精密加工裝置,” US7,318,884, 2004.
2. ECM GBR HARDER NASE SEMASHKOW, “特別針對金屬的電化學處理設備,” WO0132343, 1999.
3. Inoue-Japax Research Incorporated, “電化學加工機的複合電極與伺服進給驅動,” US4430544, 1981.

H. 微奈米科技