مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹۴، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۳۹۷-۴۰۰

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۹۴

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

مقایسه تجربی ولتاژ پیوسته و پالسی در فرایند فرزکاری به کمک روش تخلیه الکتروشیمیایی

اردشیر حمصیان اتفاق[۱]، منصور حاجیان[۲]، محمدرضا رازفر[۳*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
۳- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
* تهران، صندوق پستی ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵، Razfar@aut.ac.ir

چکیده

فرایند تخلیه الکتروشیمیایی از روش های نوین در تولید است که به کمک آن می توان مواد خاص مانند شیشه و یا سرامیک را ماشین‌کاری نمود، همچنین این فرایند قابلیت بالایی در ماشین‌کاری مواد ترد و نارسانا دارد. ماشین‌کاری تخلیه الکتروشیمیایی از جمله فرایند های نوین می‌باشد که از ترکیب فرایند تخلیه الکتریکی و فرایند الکتروشیمیایی تشکیل شده است. این فرایند ترکیبی توانایی شیارزنی مواد نارسانا از جمله شیشه را دارا می باشد. در فرایند تخلیه الکتروشیمیایی فضای بین ابزار و قطعه کار را محلول الکترولیت احاطه کرده است. با اعمال ولتاژ به ابزار و الکترود فرعی، فیلم گازی در اطراف ابزار بوجود می‌آید و با افزایش ولتاژ جرقه زده می‌شود. عمده مکانیزم براده برداری در این روش مکانیزم حرارتی می‌باشد. پارامتر های بسیاری در این فرایند اثرگذار می‌باشد که از جمله پارامتر موثر و مهم مقدار و شکل ولتاژ می باشد. در این مقاله با استفاده از این فرایند اقدام به شیارزنی بر روی شیشه می شود و اثر افزایش ولتاژ بر روی فرایند مورد بررسی قرار می گیرد، سپس تاثیر به کار گیری ولتاژ پالسی بر فرایند مطالعه شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش ولتاژ عمق شیار افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از ولتاژ پالسی قابلیت کنترل فرایند را افزایش می‌دهد و عمق را تحت کنترل در می‌آورد، درنتیجه منجر به کاهش عمق برش می‌گردد.

کلید واژگان: فرایند تخلیه الکتروشیمیایی، ولتاژ پیوسته، ولتاژ پالسی، عمق ماشین‌کاری

Experimental investigation of continuous voltage and pulsed voltage into electrochemical discharge machining

Ardeshir Hemasian Etefagh, Mansour Hajian, Mohammadreza Razfar*

Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
* P.O.B. 15875-4413, Tehran, Iran, razfar@aut.ac.ir

ABSTRACT

Electrochemical discharge machining (ECDM) is a new method that has been developed for machining of materials such as glass or ceramic. This process also has a high capacity for machining brittle and non-conductive materials. Electrochemical discharge machining is the process of combining electrical discharge machining (EDM) and electrochemical machining (ECM). ECDM has the ability to engrave non-conductive materials such as glass. In this process, the gap between the tool and the workpiece is filled by electrolyte solution. Gas film is generated by applying a voltage to the tool and axillary electrode. Increasing the voltage leads to spark occuring in the gas film. Moreover, the thermal removal mechanism is the dominant material removal mechanism. The most effective parameters in ECDM are the voltage and the shape of the voltage. In this article, the effects of pulsed and continuous voltage on the machining parameters are discussed. Experimental results showed that the depth of machining was increased by increasing the voltage. Moreover, pulsed voltage was capable of controlling the process and the depth of machining.

Keywords: Continuous Voltage, Depth of Machining, Electrochemical Discharge Machining, Pulsed Voltage.

۱- مقدمه

امروزه محققان در تلاشند تا با بهبود خواص مواد، محصولاتی با دقت و پیچیدگی بالا تولید نمایند. در این راستا یکی از موادی که مورد توجه محققان قرار گرفته است، شیشه می‌باشد. شیشه دارای خواص منحصر بفرد از قبیل سختی بالا، رسانایی الکتریکی و حرارتی محدود و مقاومت به خوردگی بالا در عین شفافیت می باشد. این ویژگی های منحصر بفرد سبب شده از شیشه در ساخت تجهیزات مینیاتوری در صنایع اپتیک، پزشکی، میکروفلوییدیک و دیگر صنایع استفاده شود. لیکن بدلیل پایین بودن قابلیت ماشین‌کاری شیشه با استفاده از روش‌های متداول ماشین‌کاری نمی‌توان به اشکال دقیق و پیچیده دست یافت. یکی از روش‌های نوین ارایه شده جهت ماشین‌کاری شیشه استفاده از روش تخلیه الکتروشیمیایی[1] می‌باشد.

فرایند تخلیه الکتروشیمیایی از جمله روش‌های نوین در تولید می‌باشد که محققان بسیاری را درگیر پژوهش کرده است. در این فرایند با به‌کارگیری انرژی حرارتی و همچنین استفاده از واکنش شیمیایی، براده‌برداری صورت می‌گیرد.

این فرایند ادغام دو روش ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی[2] و الکتروشیمیایی[3] می‌باشد. براده‌برداری در این روش توسط دو فرایند انحلال

1. Electrochemical discharge machining (ECDM)
2. EDM
3. ECM

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

A. Hemasian Etefagh, M. Hajian, M. Razfar, Experimental investigation of continuous voltage and pulsed voltage into electrochemical discharge machining, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 397-400, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.15.5]

شیمیایی و تبخیر ماده در اثر حرارت ناشی از جرقه الکتریکی و تشکیل کانال پلاسما صورت می‌گیرد. البته عمده مکانیزم باربرداری از طریق تبخیر در اثر حرارت صورت می‌پذیرد.

در این فرایند فضای بین ابزار و قطعه کار را محلول الکترولیت پوشانده است. همچنین از یک الکترود فرعی به‌عنوان آند نیز استفاده می‌شود. اگر به ابزار ولتاژی داده شود سبب تشکیل حباب‌هایی در اطراف ابزار و در فاصله بین ابزار و قطعه‌کار می‌شود. اگر ولتاژ افزایش یابد شروع به تشکیل فیلم گازی می‌شود و با عبور از ولتاژ شکست حباب‌ها، جرقه زده می‌شود. این جرقه‌ها باعث عبور جریان از داخل حباب‌ها می‌شود. هر جرقه باعث حرکت پر شتاب و سریع الکترون‌ها می‌شود. در نقاطی که ابزار به قطعه‌کار نزدیک است قطعه‌کار توسط این الکترون‌ها بمباران می‌شود و باعث افزایش سریع دما در همان نقاط می‌شود. این افزایش دما به حدی می‌باشد که باعث ذوب و تبخیر نقاطی از قطعه‌کار می‌شود. میزان براده‌برداری با استفاده از این روش به نوع و مقدار ولتاژی که توسط آن جرقه‌ها کنترل می‌شود، بستگی دارد.

فرایند تخلیه الکتروشیمیایی را نخستین بار توسط کورافوجی [۱] جهت سوراخ‌کاری شیشه مورد استفاده قرار گرفت. کولکارنی و همکاران [۲] با معرفی مکانیزم براده‌برداری در فرایند تخلیه الکتروشیمیایی با توجه به مطالعه بر روی تغییرات جریان در طول فرایند تحقیقاتی را انجام دادند. همچنین وی نشان داد که در هنگام تشکیل فیلم گازی در نوک ابزار مقاومتی تشکیل می‌شود که در ابتدا جریان را به نزدیکی صفر می‌رساند. باتاچاریا و همکاران [۳] در تحقیقی نشان دادند که فرایند تخلیه الکتروشیمیایی توانایی ماشین‌کاری مواد نارسانا را دارد. پارامترهای موثر در فرایند شامل ولتاژ منبع، فاصله الکترود، غلظت الکترولیت، شکل و جنس ابزار بود. یانگ و همکاران [۴] بر روی جنس‌های مختلف ابزار در فرایند تخلیه الکتروشیمیایی تحقیق کردند. این ابزارها از جنس‌هایی فولاد ضدزنگ، تنگستن و تنگستن کاربید ساخته شدند و دارای صافی سطح متفاوت از یکدیگر بودند. آن‌ها در این تحقیق نشان دادند که ابزارهای مختلف بر روی فرم فیلم گازی تاثیرگذار است. همچنین می‌توان به تحقیقات سینگ و همکاران [۵] در کاربرد روش تخلیه الکتروشیمیایی درماشین‌کاری مواد نیمه‌رسانا، یانگ و همکاران [۶] برای بررسی اثر الکترولیت‌های بازی و اسیدی بر روی نرخ براده برداری در فرایند تخلیه الکتروشیمیایی و جین و همکاران [۷] در سوراخ کاری با ابزار ساینده به‌عنوان کاتد بر روی آلومینا و شیشه اشاره نمود.

با توجه به این‌که مطالعات بسیاری بر روی فرایند تخلیه الکتروشیمیایی صورت گرفته لیکن اثرات ولتاژ بر روی وضعیت جرقه‌ها و به دنبال آن میزان براده‌برداری صورت نگرفته است. در این مقاله به بررسی اثر ولتاژ بر روی فرایند تخلیه الکتروشیمیایی پرداخته می‌شود. یکی از پارامترهای اصلی و تاثیرگذار در این فرایند ولتاژ می‌باشد. در ادامه به بررسی دو حالت ولتاژ پیوسته و ولتاژ پالسی پرداخته می‌شود، همچنین اثرات این پارامتر بر روی عمق ماشین‌کاری و وضعیت جرقه‌ها نیز بررسی و مطالعه می‌شود.

۲- توصیف تجهیزات آزمایش

۲-۱- تنظیمات اولیه

در این مجموعه از آزمایشات از دستگاه ساخته شده به منظور ماشین‌کاری به کمک فرایند تخلیه الکتروشیمیایی استفاده شد، این دستگاه قابلیت حرکت در دو محور را دارا می‌باشد. شرایط اولیه که بر روی دستگاه تنظیم شده است، در جدول ۱ آورده شد.

جدول ۱ تنظیمات اولیه و مواد آزمایش

پارامتر	مقدار
الکترولیت	سدیم هیدروکسید
غلظت الکترولیت	۲۵ درصد وزنی
پیشروی افقی	۱۰ µm/s
ابزار	فولاد تندبر
قطر ابزار	۵۰۰µm
قطعه کار	شیشه
الکترود فرعی	فولاد ضدزنگ
سرعت دورانی ابزار	۷۰۰ rpm
فاصله بین ابزار و قطعه کار	۱۵ µm

۲-۲- طراحی آزمایش‌ها

در این مقاله اثر افزایش ولتاژ و همچنین شکل آن (پیوسته بودن یا پالسی بودن) بر عمق شیار و وضعیت جرقه‌زنی بررسی گردیده است. به این منظور محدوده ولتاژکاری متناسب با سرعت حرکت میز برای ایجاد شیار بر روی شیشه انتخاب شد. لذا ماشین‌کاری با ولتاژی در محدوده ۳۲ تا ۳۸ ولت با افزایش دو ولت و در چهار سطح انجام شد. برای ایجاد پالس‌های مربعی یک مدار پالس‌ساز طراحی و ساخته شده است که با قرارگیری در سر منبع ولتاژ پیوسته قابلیت ایجاد پالس در محدوده ۱۰ms- ۰/۱µs را دارا می باشد. در این مقاله، وضعیت پالس‌ها به گونه است که زمان روشنی آن 2ms و زمان خاموشی آن 1ms می‌باشد. برای هر یک از موارد، دوبار آزمایش تکرار گردید. همچنین قسمت وسط شیشه بریده شده و با سنباده‌زنی تخت گردید و از مقطع شیار عکس‌برداری شد و مقدار عمق آن ثبت شد.

۳- تحلیل نتایج آزمایش ها

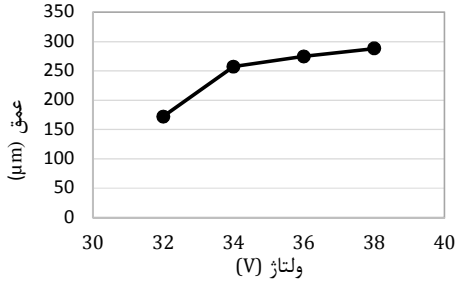
در ابتدا به بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش‌های ولتاژ پیوسته پرداخته و در ادامه با ارائه نتایج ولتاژ پالسی به مقایسه این دو نوع ولتاژ و همچنین بیان اثرات آن دو پرداخته می‌شود.

۳-۱- بررسی اثر ولتاژ در حالت ولتاژ پیوسته

در این قسمت به بیان نتایج ولتاژهای پیوسته در محدوده‌ی ۳۲ تا ۳۸ ولت پرداخته می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش ولتاژ مقدار عمق ماشین‌کاری نیز افزایش می‌یابد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار عمق ماشین‌کاری از ۱۷۲ میکرون برای ولتاژ ۳۲ تا عمق ۲۸۸ میکرون برای ولتاژ ۳۸ ولت افزایش یافته است. به عبارت دیگر با افزایش ولتاژ پیوسته، عمق ماشین‌کاری نیز افزایش می‌یابد.

در شکل ۲ برای دو ولتاژ ۳۲ و ۳۸ ولت نمونه تجربی ماشین‌کاری شده آورده شده است. مقدار تفاوت در عمق ماشین‌کاری شده به‌وضوح مشخص است.



شکل ۱ تاثیر ولتاژ پیوسته بر عمق ماشین‌کاری

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-23]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.15.5]

الف) در ولتاژ ۳۲V، عمق شیار ۱۷۲μm ب) در ولتاژ ۳۶V، عمق شیار ۲۷۵μm

شکل ۲ نمونه تجربی از ولتاژهای پیوسته متفاوت

افزایش ولتاژ تاثیر مستقیم بر روی انرژی جرقه‌ها می‌گذارد، بدین صورت که با افزایش ولتاژ، انرژی جرقه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث افزایش عمق ماشین‌کاری می‌شود. وضعیت جرقه‌ها با افزایش ولتاژ در شکل ۳ آورده شده است.

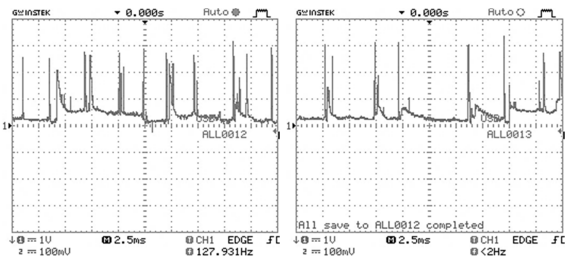
۳-۲- بررسی اثر ولتاژ در حالت ولتاژ پالسی

در آزمایش‌های انجام گرفته ولتاژ پالسی با زمان روشنی ۲ms و زمان خاموشی ۱ms در محدوده‌ی ولتاژ ۳۲ تا ۳۸ ولت استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، افزایش ولتاژ پالسی نیز افزایش عمق ماشین‌کاری را در پی دارد. نمونه‌های تجربی با ولتاژ پالسی نیز در شکل ۵ آورده شده است.

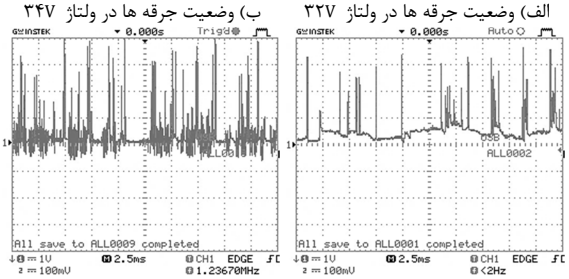
نمونه‌های تجربی با ولتاژ پالسی نیز در شکل ۵ آورده شده است.

همچنین با توجه به شکل ۶ می‌توان مشاهده نمود، وضعیت جرقه‌ها در زمان روشنی پالس دارای نظم بیشتر و کیفیت بهتر می‌باشد.

مطابق با شکل ۶ انرژی و تعداد جرقه‌ها با افزایش مقدار ولتاژ پالسی افزایش

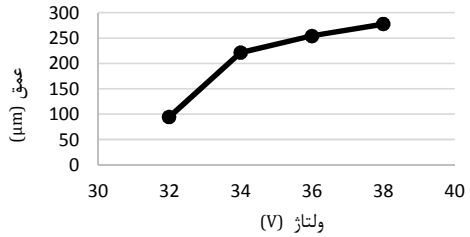


الف) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۲V ب) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۴V

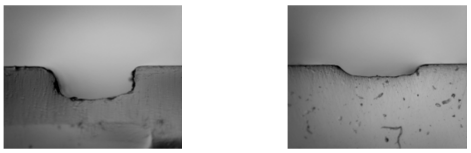


ج) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۶V د) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۸V

شکل ۳ تاثیر ولتاژ پیوسته بر وعیت جرقه‌ها

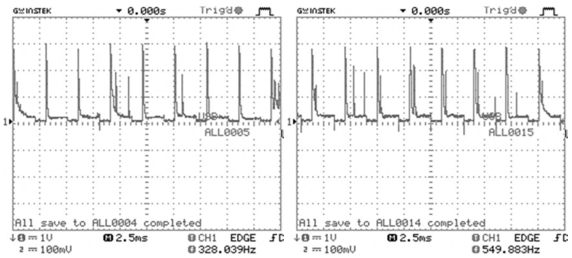


شکل ۴ تاثیر ولتاژ پالسی بر عمق ماشین‌کاری

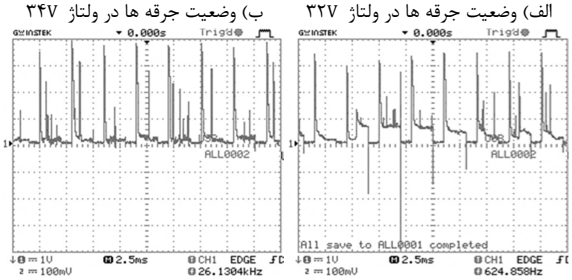


الف) در ولتاژ ۳۲V، عمق شیار ۹۴μm ب) در ولتاژ ۳۶V، عمق شیار ۲۵۴μm

شکل ۵ نمونه تجربی از ولتاژهای پالسی متفاوت

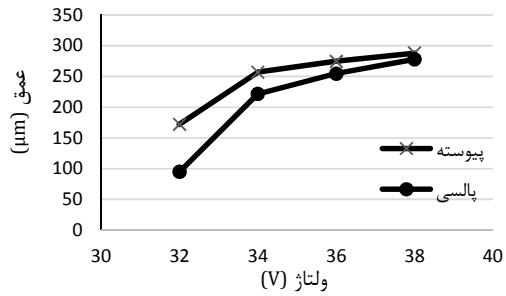


الف) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۲V ب) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۴V



ج) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۶V د) وضعیت جرقه ها در ولتاژ ۳۸V

شکل ۶ تاثیر ولتاژ پالسی بر وضعیت جرقه‌ها



شکل ۷ عمق ماشین‌کاری برای دو حالت ولتاژ پیوسته و پالسی

می‌یابد. به‌همین دلیل افزایش عمق ماشین‌کاری در شکل ۴ پذیرفته می‌باشد.

۳-۳- مقایسه عمق ماشین‌کاری در دو حالت ولتاژ پیوسته و پالسی

در شکل ۷ عمق ماشین‌کاری برای دو وضعیت ولتاژ پیوسته و پالسی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، عمق ماشین‌کاری در حالت ولتاژ پالسی کمتر از ولتاژ پیوسته می‌باشد.

با توجه به این‌که ولتاژ پالسی دارای دو مشخصه زمان روشنی و زمان خاموشی می‌باشد، انرژی و تعداد جرقه‌های موثر نیز قابل کنترل می‌باشد. لذا به‌دلیل وجود زمان خاموشی ۱ms در ولتاژ پالسی، انرژی جرقه کنترل و از حرارت ناشی از جرقه‌ها نیز کاسته می‌شود. از این‌رو نرخ براده‌برداری کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش عمق در هنگام به‌کارگیری ولتاژ پالسی موجه می‌باشد.

در شکل ۸ اختلاف عمق در دو حالت ولتاژ پیوسته و ولتاژ پالسی را در ولتاژ‌های مختلف نشان داده شده است. در ولتاژ ۳۲ ولت این مقدار برابر ۷۷/۵μm

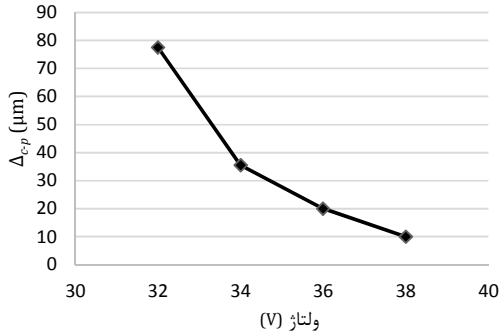
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.15.5]

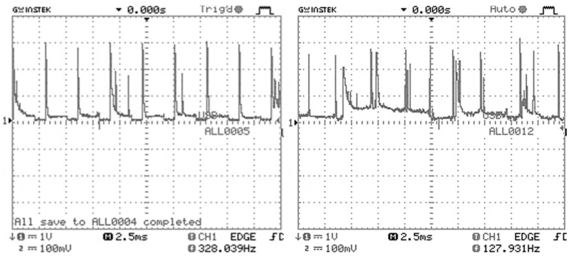
و در ولتاژ ۳۸ ولت به مقدار ۱۰μm می‌رسد. مشاهده می‌شود در ولتاژهای پایین اختلاف عمق ماشین‌کاری بیشتر و اثر ولتاژ پالسی مشخص‌تر می‌باشد، لیکن با افزایش ولتاژ تاثیر ولتاژ پالسی در عمق ماشین‌کاری کمتر شده و به مقدار عمق ماشین‌کاری در ولتاژ پیوسته نزدیک می‌شود.

همچنین در زمان استفاده از ولتاژ پیوسته تعداد جرقه‌ها زیاد می‌باشد، از این-رو وجود جرقه‌های غیرموثر انکار ناپذیر می‌باشد. مطابق شکل ۹ بکارگیری ولتاژ پالسی باعث کاهش تعداد جرقه‌های غیرموثر و یکنواخت شدن جرقه‌ها می‌شود، به عبارتی کیفیت جرقه‌ها را افزایش داده در نتیجه کیفیت سطح مطلوبی در مقایسه با سطح ماشین‌کاری شده در حالت ولتاژ پیوسته قابل انتظار می‌باشد.

در شکل ۱۰ سطح دو نمونه ماشین‌کاری شده توسط دو نوع ولتاژ پیوسته و پالسی آورده شده است، مشاهده می‌شود در حالت پالسی کیفیت به نسبت بهتری در برابر ولتاژ پیوسته حاصل شده است.

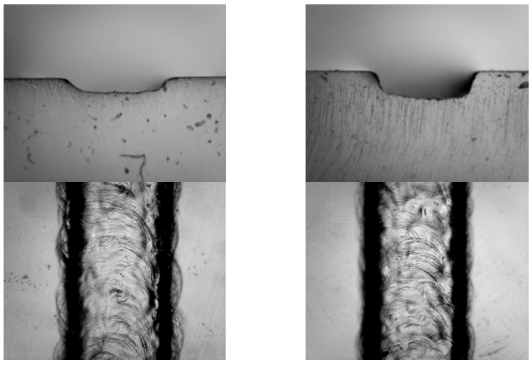


شکل ۸ اختلاف ولتاژ پیوسته و پالسی در ولتاژهای مختلف



الف) وضعیت جرقه ها در ولتاژ پیوسته ب) وضعیت جرقه ها در ولتاژ پالسی

شکل ۹ مقایسه وضعیت جرقه در ولتاژ ۳۴V



الف) ولتاژ ۳۲V پیوسته ب) ولتاژ ۳۲V پالسی

شکل ۱۰ مقایسه کیفیت سطح در دو حالت ولتاژ پیوسته و پالسی

۴- جمع بندی

ماشین‌کاری همراه با ولتاژ پیوسته، افزایش عمق و نرخ براده‌برداری را در پی خواهد داشت، همچنین مشاهده شد که در ولتاژهای پایین اختلاف عمق ماشین‌کاری شده در دو حالت ولتاژ پیوسته و پالسی بیشتر از اختلاف عمق در ولتاژهای بالا می‌باشد. بکارگیری ولتاژ پالسی در بهبود وضعیت جرقه‌ها و کیفیت ماشین‌کاری اثر گذار می‌باشد. به کمک ولتاژ پالسی می‌توان حرارت ناشی از جرقه‌ها را نیز کنترل نمود، از این‌رو پستی و بلندی های سطح نسبتا قابل کنترل می‌باشد.

۵- مراجع

[1] H. Kurafuji, Electrical Discharge Drilling of Glass I, *Ann. CIRP,* Vol. 16, pp. 415-419, 1968.

[2] A. Kulkarni, R. Sharan, G. Lal, An experimental study of discharge mechanism in electrochemical discharge machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 42, No. 10, pp. 1121-1127, 2002.

[3] B. Bhattacharyya, B. Doloi, S. Sorkhel, Experimental investigations into electrochemical discharge machining (ECDM) of non-conductive ceramic materials, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 95, No. 1, pp. 145-154, 1999.

[4] C.-K. Yang, C.-P. Cheng, C.-C. Mai, A. Cheng Wang, J.-C. Hung, B.-H. Yan, Effect of surface roughness of tool electrode materials in ECDM performance, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 50, No. 12, pp. 1088-1096, 2010.

[5] Y. Singh, V. K. Jain, P. Kumar, D. Agrawal, Machining piezoelectric (PZT) ceramics using an electrochemical spark machining (ECSM) process, *Journal of materials processing technology,* Vol. 58, No. 1, pp. 24-31, 1996.

[6] C. Yang, S. Ho, B. H. Yan, Micro hole machining of borosilicate glass through electrochemical discharge machining (ECDM), *Key Engineering Materials,* Vol. 196, pp. 149-166, 2001.

[7] V. Jain, S. Choudhury, K. Ramesh, On the machining of alumina and glass, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 42, No. 11, pp. 1269-1276, 2002.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-23]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.15.5]