Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۳۶۰-۳۶٤

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی و مطالعه اثر نوع و فشار گاز بر عملکرد فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک

فریدون رجبی نسب[۱*]، محمد جعفر حداد[۲]، وحید عابدینی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گرایش ساخت و تولید، دانشگاه سمنان، سمنان
۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، گرایش ساخت و تولید، دانشگاه تهران، تهران
۳- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، گرایش ساخت و تولید، دانشگاه سمنان، سمنان
* سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۳۱۱۹۱۱۱، Rajabinasab.f@semnan.ac.ir

چکیده

کاربرد سیالات برشی در فرآیندهای ماشین‌کاری به علت مسائل اقتصادی و محیط زیست در حال حذف و یا کاهش می‌باشند. یکی از روش‌های ماشین‌کاری که نیاز به سیال دی‌الکتریک به میزان زیاد و با مشکلات اقتصادی و امنیتی و بخصوص محیط زیستی دارد، فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (Electrical Discharge Machining) است. بنابراین فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک امروزه مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش به بررسی نوع و فشار گاز در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک پرداخته شده است. سه نوع گاز (هوافشرده، آرگون، CO2) و سه فشار گاز به عنوان پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بوده و تاثیر آن‌ها بر میزان نرخ براده‌برداری، سایش ابزار و زبری سطح قطعه‌کار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که هوای فشرده به خاطر ضریب دی الکتریک و مقاومت الکتریکی بالا در فشار گاز پایین، نرخ براده‌برداری بالاتر و سایش ابزار بیشتر داشته و با افزایش فشار گاز میزان نرخ براده-برداری و سایش ابزار کاهش می‌یابد. همچنین از آن‌جا که پدیده‌ی آرک باعث افزایش زبری سطح قطعه‌کار می‌گردد، گاز آرگون به‌علت ایجاد این عامل دارای بالاترین میزان زبری سطح قطعه‌کار است.

کلید واژگان: ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی، نرخ براده‌برداری، نرخ سایش ابزار، زبری سطح قطعه‌کار

Investigation and study the effect of the gas type and pressure on the performance of near dry electrical discharge machining

Fereydoon Rajabinasab[1*], Mohamad Jafar Hadad[2], Vahid Abedini[1]

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Tehran University, Tehran, Iran
* P.O.B. 3513119111, semnan, Iran, Rajabinasab.f@semnan.ac.ir

ABSTRACT

The use of the cutting fluids in the machining processes were removed or reduced due to the environmental and economic problems. One of the machining processes that require the high levels of security and economic problems is electrical discharge machining process. So, nowadays the dry and near dry electrical discharge machining process has been considered. In this paper, the effect of the gas type and pressure has been studied in near dry electrical discharge machining. Three gases (compressed air, argon, Co2) and three gas pressures as the parameters are considered in this study and their effects on material removal rates, tool wear and workpiece surface roughness are investigated. The results showed that the compressed air has higher material removal rate and tool wear rate due to the higher dielectric coefficient and electrical resistance in the low gas pressure. By increasing gas pressure, tools wear and material removal rate are reduced. Also, the argon has the highest level of workpiece surface roughness because the arc phenomenon increases the surface roughness of the workpiece.

Keywords: Electrical Discharge Machining, Material Removal Rate, Tool Wear Rate, Surface Roughness.

۱- مقدمه

امروزه تولید سبز یک استراتژی منطقی برای رقابت بهتر در فضای کسب و کار است. تولید سازگار با محیط زیست روند جدید حتی در زمینه تولید قطعات فلزی است. محققان در حال توسعه راه‌های تولید بدون آلاینده و نیز تضمین الزامات فنی مانند نرخ براده‌برداری بالا، دقت در ابعاد، سایش ابزار کم و حداقل زبری سطح و غیره هستند. یکی از روش های تولید که دارای آلایندگی زیاد می‌باشد فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی است. در این روش به‌دلیل استفاده از روغن‌های معدنی به‌عنوان دی‌الکتریک و تجزیه شیمیایی آن در درجه حرارت‌های بالا احتمال بروز گازهای سمی و حتی خطر آتش‌سوزی بسیار است. همه این موارد باعث توسعه فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک با استفاده از مخلوط گاز و مایع شده است [۱]. کائو و همکاران به بررسی فرآیند برش‌کاری سیمی و سوراخ‌کاری تخلیه الکتریکی خشک، غوطه‌وری و نیمه خشک پرداختند. آن‌ها اظهار داشتند که در ماشین‌کاری خشک نرخ براده‌برداری بالا بوده و تیز بودن لبه برش در وایرکات و رسوبات باقی‌مانده (لایه ریکست) در مقایسه با ماشین-کاری تخلیه الکتریکی غوطه‌وری کمتر است. در ماشین‌کاری نیمه خشک با انرژی تخلیه کم، درصد نرخ براده برداری بیشتر بوده و فاصله گپ کوچکتر است. با این‌حال مکان های حرارتی بالاتر در الکترود ماشین‌کاری نیمه خشک

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

F. Rajabinasab, M.J. Hadad, V. Abedini, Investigation and study of the kind and the gas pressure effect on the performance of near dry electrical discharge machining, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 360-364, 2015 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

وجود دارد که منجر به شکستن سیم در وایرکات و سایش الکترود ابزار در سوراخ‌کاری تخلیه الکتریکی می‌شود [۲]. وگنر و همکاران به بررسی اثر اکسیداسیون گاز در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک پرداخته و از هوا فشرده، دی‌اکسید کربن (CO_2) و اکسیژن به عنوان سیال دی‌الکتریک گاز استفاده کردند، آن‌ها اعلام کردند که نرخ براده‌برداری در اکسیژن بهتر بوده و فشار گاز مختلف باعث به وجود آمدن اکسیداسیون مختلف و در نتیجه تاثیر بر روند براده‌برداری می‌شود [۳]. کوزاک و همکاران به بررسی فرزکاری تخلیه الکتریکی خشک پرداخته و از هوافشرده، آرگون، نیتروژن و هگزافلوئید به‌عنوان گاز مورد مطالعه استفاده کرد. نتایج بدست آمده آن‌ها نشان می‌دهد که هوافشرده بیشترین نرخ براده‌برداری و کمترین زبری را دارد در مقابل آرگون پایین‌ترین نرخ براده‌برداری و بالاترین زبری سطح را دارد [۴].

در این پژوهش به بررسی نوع و فشار گاز در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک پرداخته شده است. سه نوع گاز (هوافشرده، آرگون، CO_2) و سه فشار گاز به عنوان پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بوده و تاثیر آن‌ها بر میزان نرخ براده برداری[1]، سایش ابزار[2] و زبری سطح[3] قطعه کار مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- شرایط تجربی آزمایش

۲-۱- تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش

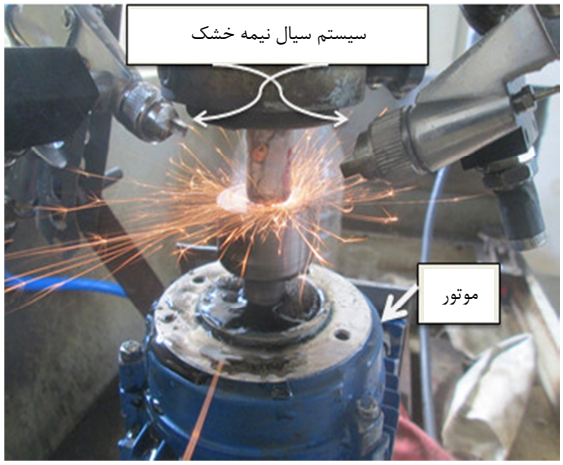
جهت انجام تست‌ها از دستگاه اسپارک پیشرانه مدل ۵۱۱ با ژنراتور ایزوپالس استفاده شده است. به علت ثابت بودن کلگی دستگاه اسپارک و قادر نبودن چرخش ابزار، قطعه‌کار چرخانده شده است، به این منظور از یک موتور AC سه فاز و اینورتر جهت تامین دوران قطعه‌کار بر روی میز دستگاه اسپارک استفاده شده است. برای تامین مخلوط آب و گاز به عنوان سیال دی‌الکتریک به فاصله گپ در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک با توجه به عدم عبور سیال دی‌الکتریک از داخل ابزار به منظور بهبود عمل شست و شو و دور کردن براده‌ها از گپ ماشین‌کاری دو عدد پیستوله در دو طرف قطعه‌کار در حال چرخش قرار داده شده است. یک رگلاتور برای تنظیم فشار گاز و یک شیر کنترل برای تنظیم جریان سیال دی‌الکتریک نصب شده است. شکل ۱ نمایی از سیستم پاشش سیال و موتور نصب شده بر روی میز را نشان می دهد.

۲-۲- قطعه‌کار و ابزار

قطعه کار مورد استفاده در این مطالعه فولاد استوانه‌ای از جنس AISI4140، (42CrM04) است که سطوح پیشانی آن سنگ‌زنی و پرداخت‌کاری شده و قطر ۲۵ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰ میلی‌متر دارد که در صنعت به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطعه‌کار جهت سخت‌کاری، عملیات حرارتی شده و سختی ۵۰±۲ راکول دارد، شکل ۲ نمودار عملیات حرارتی قطعه‌کار نشان داده شده است. مس استوانه‌ای با قطر ۱۵+۰/۵ به عنوان ابزار مورد مطالعه بوده است. جداول ۱ و ۲ آنالیز XRF و خواص فیزیکی مس را نشان داده است.

۲-۳- شرح آزمایش

در این مطالعه به بررسی اثر نوع و فشار گاز بر عملکرد فرآیند تخلیه الکتریکی نیمه خشک پرداخته شده است. سه نوع گاز (هوافشرده، آرگون، CO_2) و سه فشار گاز به‌عنوان پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بوده و تاثیر آن‌ها بر میزان نرخ براده برداری، سایش ابزار و زبری سطح قطعه کار مورد بررسی قرار گرفته است. جهت افزایش سرعت براده‌برداری زمان روشنی پالس بیشتر از زمان خاموشی پالس قرار گرفته. زمان روشنی و خاموشی پالس در هر شدت جریان تخلیه الکتریکی متفاوت می باشد، به خاطر شرایط و محدودیت سطح مقطع ابزار و شدت جریان تخلیه الکتریکی عبوری از آن که در کاتالگ دستگاه اسپارک پیشرانه جهت تنظیم زمان‌های روشنی و خاموشی پالس آمده است به‌منظور



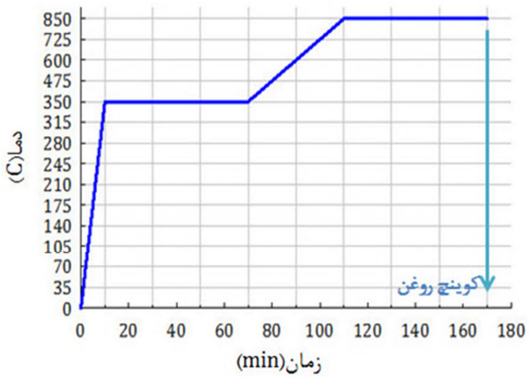
شکل ۱ نمایی از سیستم پاشش سیال و موتور نصب شده بر روی میز

جدول ۱ آنالیز XRF ابزار مس مورد مطالعه

عنصر	Mg	Cl	S	Ca	Sn	Sb	Cu
درصد وزنی	۰/۴۷	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۹۹/۴۴

جدول ۲ خواص فیزیکی مس، AISI4140

	مس	AISI4140
وزن مخصوص (g/cm^{-3})	۸/۹۶	۷/۸۵
نقطه ذوب (^0C)	۱۰۸۴	۱۴۱۶
مقاومت الکتریکی ($n\Omega m$)	۱۵/۴۳	۲۲۲
گرمای ویژه ($KJ/\ kg\ k$)	۰/۳۹	۰/۴۷
رسانای الکتریکی (W/mk)	۴۰۱	۴۲/۶



شکل ۲ نمودار عملیات حرارت قطعه کار

1. Material Removal Rate(MRR)
2. Tool Wear Rate(TWR)
3. Surface Roughness(SR)

www.SID.ir

Archive of SID

جلوگیری از پدیده‌ی آرک[1] ناچار به گرفتن زمان روشنی و خاموشی پالس متفاوت در هر شدت جریان تخلیه الکتریکی بوده. ولتاژ گپ، سرعت دورانی قطعه کار، نرخ سیال دی الکتریک و قطب الکترود به عنوان پارامترهای ثابت هستند، که در جدول۴ نشان داده شده است. آب دیونیزه به‌عنوان سیال در ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک بوده، زمان انجام هر تست ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. برای اندازه‌گیری نرخ براده‌برداری و نرخ سایش ابزار از ترازوی ساتوریس[2] با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده شده. وزن قطعه‌کار و ابزار قبل و بعد از انجام تست اندازه‌گیری شده. نرخ براده‌برداری (MRR) و نرخ سایش ابزار (TWR) با معادلات (۱) و (۲) بدست می‌آیند [۵]. شکل ۳ نمایی از انجام تست با گاز CO2 را نشان می‌دهد.

$$\text{نرخ براده برداری (میلی‌گرم بر دقیقه)} = \frac{\text{مقدار ماده برداشته شده از قطعه}}{\text{زمان ماشین‌کاری}} \quad (۱)$$

$$\text{نرخ سایش ابزار (میلی‌گرم بر دقیقه)} = \frac{\text{مقدار ماده برداشته شده از ابزار}}{\text{زمان ماشین‌کاری}} \quad (۲)$$

زبری سطح نمونه قطعه‌کار ماشین‌کاری شده با زبری سنج مدل ماهر مارسوف PS1[3] اندازه گرفته شده است. در جدول ۵ خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی گازهای مورد مطالعه نمایش داده شده است.

جدول۳ شرایط آزمایش

پارامترها	مقدار		
شدت جریان تخلیه الکتریکی (A)	۵	۱۰	۱۵
زمان روشنی پالس (µs)	۱۲	۲۵	۵۰
زمان خاموشی پالس (µs)	۶	۱۲	۲۵
فشار گاز (bar)	۱	۱/۵	۲

جدول ۴ پارامترهای ثابت آزمایش

پارامترها	مقدار
سرعت دورانی قطعه کار (rpm)	۶۰۰
نرخ سیال دی الکتریک (ml/hr)	۱۲۰۰
ولتاژ گپ (V)	۳۰
قطب الکترود	[+]

شکل ۳ نمایی از آزمایش CO2

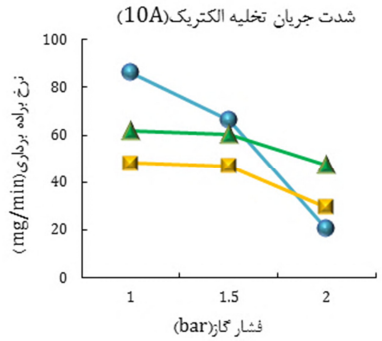
جدول ۵ خواص الکتریکی، حرارتی و مکانیکی هوا، آرگون و CO2 در دمای اتاق [۶،۹]

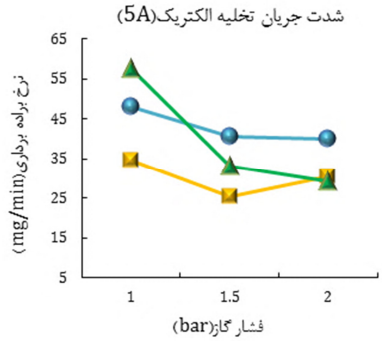
	هوا	آرگون	CO2
مقاوت الکتریکی (MV/m)	۳ [۸]	۰/۱۸ [۷]	۰/۸۸ [۶]
رسانای گرمایی (W/m-k)	۰/۰۲۶ [۹]	۰/۰۱۶ [۹]	۰/۰۱۴ [۹]
ظرفیت گرمایی (J/g-k)	۱/۰۴ [۹]	۰/۵۲ [۹]	۰/۸۴ [۹]
دینامیک ویسکوزیته (g/m-s)	۰/۰۱۹ [۹]	۰/۰۲۲ [۹]	۰/۰۱۴ [۹]

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نرخ براده برداری

همان‌طوری که در شکل ۴ نشان داده شده، در شدت جریان تخلیه پایین گاز آرگون بخاطر ایجاد اتصال کوتاه و پدیده‌ی جرقه آرک، نرخ براده‌برداری پایین‌تری نسبت به سایر گازها در شرایط آزمایش دارد [۴]، در حالی‌که، هوا فشرده به خاطر ضریب دی‌الکتریک و مقاومت الکتریکی[4] بالاتر، نرخ براده-برداری بیشتری دارد. در شدت جریان تخلیه الکتریکی بالا، زمان رسیدن به شکست در هوافشرده کم شده و کانال فرصت بسته شدن را ندارد که در نتیجه شرایط برای ایجاد اتصال کوتاه و پدیده‌ی جرقه آرک فراهم می‌شود. بنابراین در این حالت، نرخ براده برداری افت می‌نماید. همچنین به دلیل ویسکوزیته[5] کمتری که هوا فشرده نسبت به گاز آرگون دارد، در فشار بالای گاز، تمرکز کانال خود را از دست داده که باعث افت نرخ براده‌برداری می‌شود. در حالی‌که گاز CO2 به خاطر توانایی بالا در کنترل کانال پلاسما[6] در فشار های بالاتر نرخ براده‌برداری بیشتری نسبت به سایر گازها دارد [۳].



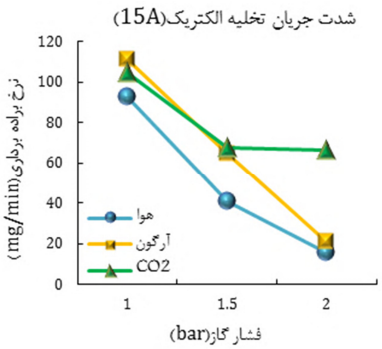


1. Arc
2. Sartorius
3. Mahr Marsurf PS1

4. Electrical Resistivity
5. viscosity
6. Plasma Channel

www.SID.ir

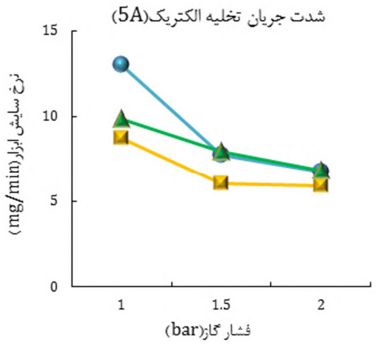
Archive of SID

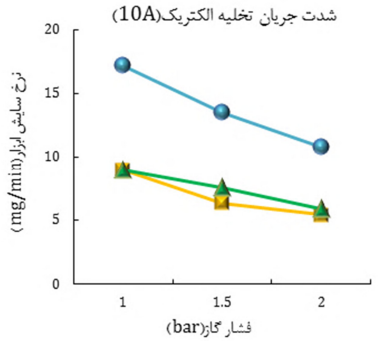


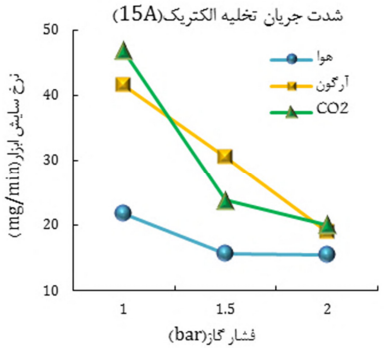
شکل ۴ نمودار بررسی نرخ براده برداری

۳-۲- نرخ سایش ابزار

در گاز آرگون به خاطر ایجاد اتصال کوتاه، زمان غیرماشین‌کاری افزایش یافته که باعث کاهش براده‌برداری و متقابل آن کاهش سایش ابزار می‌شود. هوافشرده با داشتن جرقه‌های طبیعی و سالم در عملیات براده‌برداری و افزایش نرخ براده‌برداری، نرخ سایش ابزار آن نیز افزایش یافته است. CO_2 به خاطر کنترل بهتر کانال پلاسما سایش بیشتری از آرگون دارد. با افزایش شدت جریان تخلیه الکتریکی گاز آرگون و CO_2 با توجه به این‌که نرخ براده برداری آن‌ها افزایش یافته اما هنوز هم در آن آرک وجود دارد که نرخ سایش ابزار به صورت چشم گیری نسبت به هوا فشرده افزایش یافته است. همچنین با افزایش شدت جریان و فشار گاز، گاز آرگون به علت دارا بودن ویسکوزیته بالاتر نسبت به هوا تمرکز کانال پلاسما بیشتری داشته که نرخ براده‌برداری آن نسبت به هوا بیشتر بوده و در نتیجه سایش ابزار بیشتر شده است. با افزایش فشار گاز در هر سه سطح از انرژی تخلیه و جنس ابزار، به دلیل از دست رفتن پایداری کانال پلاسما سایش ابزار کاهش یافته است. شکل ۵ نرخ سایش ابزار در نوع و فشار گاز مختلف را نمایش داده است.



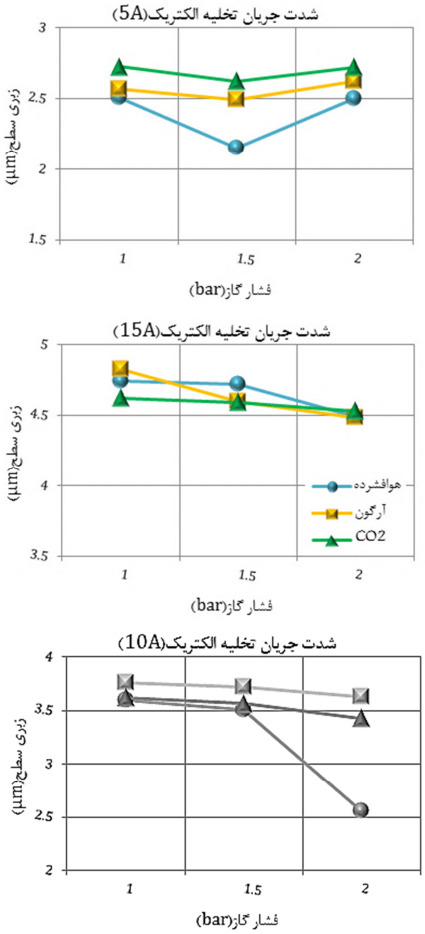




شکل ۵ نمودار بررسی نرخ سایش ابزار

۳-۳- زبری سطح

یکی از دلایلی که در زبری سطح قطعه‌کار در فرآیند تخلیه الکتریکی بسیار موثر می باشد، وجود پدیده ی آرک است. در حالتی که شرایط آزمایش، منجربه واکنش پدیده‌ی آرک شود نرخ براده برداری کاهش یافته و زبری سطح افزایش می یابد. در هوافشرده به دلیل کاهش پدیده آرک میزان زبری سطح نسبت به گاز آرگون و CO_2 کمتر است. در شدت جریان تخلیه الکتریکی بالا، گاز CO_2 به‌دلیل کنترل بهتر کانال پلاسما و کاهش پدیده آرک دارای کیفیت سطح بهتری نسبت به هوافشرده و گاز آرگون است. در شکل ۶ زبری سطح ماشین‌کاری شده با گاز و فشار مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۶ نمودار بررسی زبری سطح قطعه

www.SID.ir

Archive of SID

٤- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به مطالعه نوع و فشار گاز در ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی نیمه‌خشک با هدف بررسی میزان نرخ براده‌برداری، سایش ابزار و زبری سطح قطعه‌کار پرداخته شده است. بدین منظور از ۳ نوع گاز آرگون، هوافشرده و CO2 و همچنین ۳ فشار گاز ۱، ۱/۵، ۲ به‌کار گرفته شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که:

۱- نرخ براده‌برداری هوافشرده بالاتر از CO2 و CO2 بالاتر از آرگون می‌باشد. همچنین با افزایش فشار گاز میزان نرخ براده‌برداری CO2 بالاتر است.

۲- میزان نرخ سایش ابزار در حالت استفاده از گاز آرگون کمتر از CO2 و CO2 کمتر از هوا می‌باشد. با افزایش فشار گاز نرخ سایش ابزار در هر سه سطح از شدت جریان تخلیه الکتریکی و جنس ابزار کاهش می‌یابد.

۳- در شدت تخلیه الکتریکی پایین به دلیل پدیده آرک کمتر هوافشرده زبری سطح بهتری نسبت به CO2 و آرگون دارد. با افزایش شدت جریان تخلیه الکتریکی و فشار گاز به‌دلیل پایداری بهتر کانال پلاسما توسط CO2 پدیده آرک کمتر شده و کیفیت سطح کاهش می‌یابد.

٥- مراجع

[1] I. Besliu, H. P. Schulze, M. Coteata, D. Amarandei, Study on the dry electrical discharge machining, *International Journal Material Forming* ,Vol. 3 ,pp. 1107-1110, 2010.

[2] C. C. Kao, J. Tao, A. J. Shih, Near dry electrical discharge machining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 47,pp. 2273-2281, 2007.

[3] R. Roth, F. Kuster, K. Wegener, Influence of oxidizing gas on the stability of dry electrical discharge machining process, *Procedia CIRP*, Vol. 6, pp. 338–343, 2013.

[4] G. Skrabalak, J. Kozak, M. Zybura, Optimization of dry EDM milling process, *Procedia CIRP*, Vol. 6, pp. 332 – 337, 2013.

[5] A. Gholipoor, H. Baseri, M. Shakeri, Experimental investigation of near dry EDM process, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 99, No. 9, pp. 9-99, 9999, 2013. (In Persian)

[6] A. K. Vijh, IEEE Trans, EI-12, 313, 1997.

[7] K. P. Brand, IEEE Trans, EI-17, 451, 1982.

[8] B. A. Vedensky, B. M. Vul, Encyclopedia Dictionary in Physics, *Soviet Encyclopedia Publishing House,* vol. 4, 1965.

[9] C. L. Yaws, Handbook of Transport Property Data: Viscosity,Thermal Conductivity, and Diffusion Coefficients of Liquids and Gases, *Gulf Publishing Company*, 1995.

www.SID.ir