مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۳٤۹-۳۵۳

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 قابلیت ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) ترکیب بین فلزی γ -TiAl

بهزاد جباری‌پور[1*]، مهرداد مطلب‌پور علیشاهی[2]، ماکان پاینده آزاد[2]

۱- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران
۲- دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران
*تهران، صندوق پستی ۲۸۵۹۸، beh.jabbaripour@iauctb.ac.ir

چکیده

ترکیب بین‌فلزی γ-TiAl به علت خواصی همچون مدول الاستیسیته بالا، مقاومت زیاد در برابر اکسیداسیون، خوردگی، احتراق و خزش در دمای کاری بالا، در صنعت هوا و فضا، ساخت توربین و اتومبیل‌سازی اخیرا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات بسیار کمی درمورد ماشین‌کاری این ترکیب بین فلزی صورت گرفته است. در این تحقیق به بررسی برخی مشخصات خروجی فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) مانند نرخ براده‌برداری و نرخ سایش ابزار پرداخته می‌شود. در مطالعه جاری دو پارامتر اصلی ماشین‌کاری یعنی جریان و زمان روشنی پالس تغییر داده می‌شوند و سایر پارامترهای ورودی در حین آزمایشات ثابت نگه داشته می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که نرخ براده‌برداری متناسب با جریان و زمان روشنی پالس در حین تخلیه الکتریکی تغییر می‌کند. همچنین به دلیل وجود پدیده آرک با افزایش جریان، شیب افزایش نرخ براده‌برداری، کاهش می‌یابد. در مورد نرخ سایش ابزار با افزایش جریان، نرخ سایش ابزار نیز افزایش پیدا می‌کند در حالی که با افزایش زمان روشنی پالس، نرخ سایش ابزار در ابتدا افزایش می‌یابد ولی در ادامه کاهش پیدا می‌کند. به علاوه جریان پالس موثرتر از زمان روشنی پالس، منجر به تغییرات نرخ سایش از سطح الکترود ابزار می‌گردد.

کلید واژگان: ترکیب بین‌فلزی γ–TiAl، ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی، نرخ سایش ابزار، نرخ براده‌برداری

Investigating the electrical discharge machinability of γ-TiAl intermetallic compound

Behzad Jabbaripour*, Mehrdad Motallebpouralishahi, Makan Payandehazad

Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran
* Tehran, P.O.B. 28598, beh.jabbaripour@iauctb.ac.ir

ABSTRACT

Aerospace, automotive and turbine manufacturing industry has recently shifted its attention toward intermetallic compound of γ-TiAl due to its high modulus of elasticity, high resistance against oxidation, corrosion, ignition and creep in a high temperature working environment. Few researches have been done on this intermetallic compound. In this research, some output characteristics of Electrical Discharge Machining (EDM) like material removal rate and tool wear ratio are investigated. In the following study, two main input parameters of pulse current and pulse on time have been changed and the rest of the input parameters have been set to be constant as they are throughout the test. The results showed that the material removal rate is proportional to pulse current and pulse on time during the electrical discharge machining. Also, slope of material removal rate graph decreases as the pulse current increases due to occurrence of arc phenomenon. As the pulse current increases, the tool wear ratio goes up as well. While pulse on time increases, tool wear ratio rises at first but then decreases as the process continues. It is worth mentioning that pulse current has more effect on tool wear ratio variations, compared to pulse on time.

Keywords: Electrical Discharge Machining, Material Removal Rate, Tool Wear Ratio, γ-TiAl Intermetallic Compound.

۱- مقدمه

ماشین‌کاری به کمک تخلیه الکتریکی[1] که به فرسایش جرقه‌ای نیز موسوم است یک روش براده‌برداری غیرسنتی است که در آن بین دو الکترود به نام ابزار و قطعه‌کار که در فاصله معین و کنترل شده‌ای از یکدیگر قرار دارند و فضای بین آن‌ها را سیالی به نام دی‌الکتریک پر کرده است، در نزدیک‌ترین فاصله بین ابزار و قطعه‌کار، جرقه الکتریکی تولید و باربرداری صورت می‌گیرد. با این روش می‌توان مواد هادی و نیمه هادی را ماشین‌کاری نمود که در شکل ۱ تصویر شماتیک این فرآیند به طور مختصر نشان داده شده است. از مزیتهای این روش عدم وابستگی به سختی ماده، پلیسه‌دار نبودن قطعه‌کار، عدم نیاز به نیروی مکانیکی، امکان ماشین‌کاری در زوایا و جهات مختلف و نیز در مواردی عدم نیاز به قید و بند، را می‌توان نام برد.

گسترش فرآیندهای تبدیل انرژی و افزایش راندمان، همواره با پیشرفت صنعت مورد نیاز بوده است. طراحی پیشرفته این فرآیندها براساس دماهای سرویس‌دهی بالاتر، وزن‌های پایین‌تر و سرعت‌های عملیاتی بیشتر می‌باشد. سیستم‌های فلزی مورد استفاده در صنعت نزدیک به ۵۰ سال است که گسترش یافته‌اند و تا نزدیک محدودیت‌هایی که در کاربردهایشان وجود دارد بهبود یافته‌اند و برای رسیدن به پیشرفت‌های بیشتر در این زمینه به نسل-های جدیدی از مواد نیاز است. آلیاژهای آلومیناید تیتانیوم به عنوان موادی که از قابلیت بالایی برای برطرف کردن نیازهای طراحی گفته شده در بالا برخوردارند، شناخته می‌شوند [۱].

ترکیبات بین‌فلزی[2]، مخصوصا آن‌هایی که از عناصری سبک مانند تیتانیوم و آلومینیوم تشکیل شده‌اند، بدلیل چگالی کم و استحکام زیاد در دمای بالا

1. Electrical Discharge Machining (EDM)

2. Intermetallic compounds

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

B. Jabbaripour, M. Motallebpour alishahi, M. Payandehazad, Investigating the Electrical Discharge Machinability of γ-TiAl Intermetallic Compound, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 349-353, 2015 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.107.7]

مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲]. خواص برجسته این مواد از جمله چگالی پایین، مدول الاستیسیته بالا، پایداری ساختاری خوب، مقاومت خوب در برابر اکسیداسیون و خوردگی، مقاومت بالا در برابر احتراق، زمانی که با آلیاژهای متداول تیتانیوم مقایسه شوند، استحکام کششی و خزشی در دمای بالا، به دلیل ماهیت شدیدا منظم و پیوندهای جهت‌دار ترکیبات آن‌ها است. براساس این خواص، ترکیبات بین‌فلزی آلومیناید تیتانیوم می‌توانند در محدوده‌ی وسیعی از قطعات در صنعت هوا و فضا، ساخت توربین و اتومبیل‌سازی به کار گرفته شوند [۱]. در ارتباط با ماشین‌کاری این نوع ترکیب بین‌فلزی، تحقیقات بسیار کمی انجام گرفته که در این ارتباط سارکار و همکاران [۳-۵] ماشین‌کاری γ-TiAl را به روش وایرکات مورد مطالعه قرار داده‌اند، نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که ماشین‌کاری این ماده را می‌توان به روش تخلیه الکتریکی انجام داد.

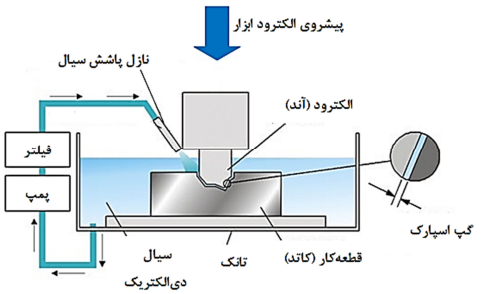
در تحقیق جاری به منظور تعیین قابلیت ماشین‌کاری ترکیب بین فلزی γ-TiAl، با تغییر دو پارامتر اصلی ورودی یعنی جریان پالس (پنج سطح) و زمان روشنی پالس (چهار سطح) و ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای ورودی ماشین‌کاری، مشخصات خروجی فرآیند مانند نرخ براده‌برداری و نرخ سایش ابزار در ماشین‌کاری EDM نمونه‌های TiAl مورد بررسی قرار می‌گیرد و بهینه‌ترین حالت برای هرکدام از مشخصات خروجی تعیین می‌گردد.

۲- شرایط تجربی آزمایشات

پس از تهیه شمش‌های γ-TiAl، برای این‌که بتوان از شمش‌های موردنظر که با هزینه و عملیات زیادی به دست آمده است، حداکثر استفاده را کرد، با استفاده از روش وایرکات ۲۰ نمونه مکعبی شکل به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ میلی‌متر از هر شمش ریخته‌گری شده، به دست آمد که در شکل ۲ تعدادی از آنها نمایش داده شده‌اند. در آزمایش‌های ماشین‌کاری از الکترودهای مسی استوانه‌ای با قطر ۱۸ mm و طول ۴۰ mm به عنوان ابزار استفاده شده است. شکل ۳ تعدادی از ابزارهای مسی مورد استفاده در آزمایش‌های ماشین‌کاری را نشان می‌دهد. چگالی الکترودهای مس مورد استفاده برابر با (g/cm^3) ۸/۹۳ می‌باشد و قبل از انجام آزمایشات ماشین‌کاری، دو طرف الکترودهای ابزار تا شماره ۶۰۰ سمباده‌زنی شده بودند.

جهت انجام تست‌ها از ماشین اسپارک شارمیلز-روبوفرم ۲۰۰ با کنترلر عددی استفاده گردید که تصویر آن در شکل ۴ آورده شده است و سیال دی‌الکتریک مورد استفاده Oil flux-Elf 2 می‌باشد.

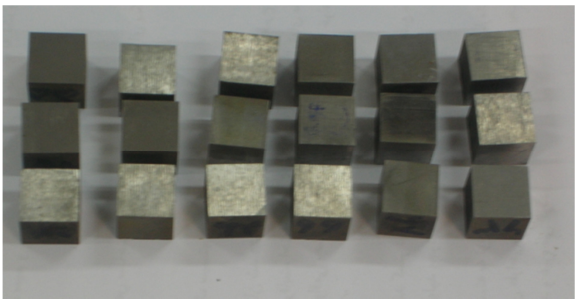
تمامی تست‌ها در حالت ایزوپالس دستگاه انجام شده است و در این مرحله جهت بررسی مشخصه‌های خروجی، دو پارامتر ورودی اصلی جریان پالس و زمان روشنی پالس در سطوح مختلف تغییر داده شدند و سایر پارامترها و شرایط کاری در تمام مراحل آزمایشات ثابت نگه‌داشته شدند، شرایط کاری در جدول ۱ آورده شده است.



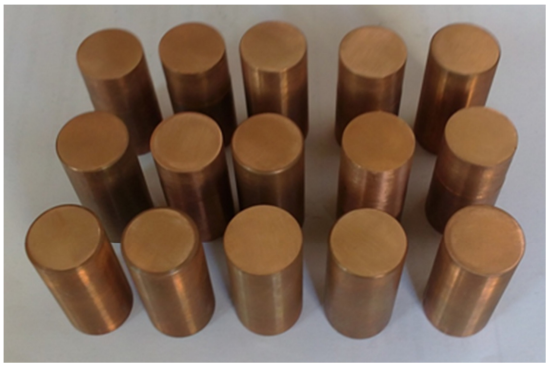
شکل ۱ نمایش شماتیک فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی

جدول ۱ پارامترهای ماشین‌کاری مورد استفاده در آزمایشات

پارامترهای ورودی	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴	سطح ۵
جریان پالس (A)	۳	۶	۱۲	۲۴	۶۴
زمان روشنی پالس (μs)	۶/۴	۲۵	۵۰	۱۰۰	------
ولتاژ مدار باز (V)	۱۲۰	------	------	------	------
ولتاژ ماشین‌کاری (V)	۳۵	------	------	------	------
زمان خاموشی پالس (μs)	۲۵	------	------	------	------
قطبیت قطعه‌کار	منفی	------	------	------	------
نحوه شستشوی دی‌الکتریک	غوطه وری در سیال به همراه شستشوی جانبی[1] با فشار ثابت				



شکل ۲ برخی نمونه‌های قطعه‌کار آماده شده TiAl از هر شمش



شکل ۳ الکترودهای مسی مورد استفاده در آزمایش‌های ماشین‌کاری

شکل ۴ دستگاه اسپارک مورد استفاده در آزمایشات

1. Side Flushing

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.107.7]

برای طراحی آزمایشات از روش عاملی کامل استفاده می‌شود و با توجه به پارامترها ورودی ذکر شده و سطوح آن‌ها تعداد آزمایشات برابر است با ۵×۴=۲۰ حالت. زمان ماشین‌کاری هر نمونه ۲۰ دقیقه می‌باشد. در شکل ۵ نحوه بستن و به‌کارگیری الکترود ابزار و قطعه‌کار نشان داده شده است. برای بستن الکترود ابزار مسی به کلگی دستگاه از یک کولت ۱۸ استفاده گردیده است، این کولت به واسطه یک رینگ رزوه‌دار بر روی کله‌گی دستگاه بسته می‌شود. قبل از انجام هر تست سطح نمونه قطعه‌کار در جهات X و Y در زیر سطح الکترود ابزار، ساعت و تنظیم می‌شود.

۳- نتاج و بحث

۳-۱- نرخ براده‌برداری

در این آزمایش‌ها، جریان پالس و زمان روشنی پالس تغییر داده می‌شوند و با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب[1] به تحلیل نتایج تجربی مقادیر نرخ براده‌برداری و نرخ سایش ابزار پرداخته می‌شود. در شکل ۶، نمودار اثرات اصلی[2] پارامترهای ورودی بر روی مقادیر نرخ براده‌برداری نشان داده شده است.

می‌توان روابط تجربی بعد را برای بررسی نرخ براده‌برداری بیان کرد [۶]:

$$MRR = kP^n \quad (۱)$$

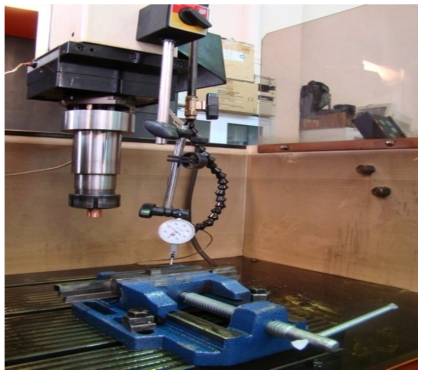
$$P = \left(\frac{I_{dis} \times T_{dis}}{T_{on} + T_{off}}\right) \times V_{dis} \quad (۲)$$

$$T_{dis} = T_{on} - T_d \quad (۳)$$

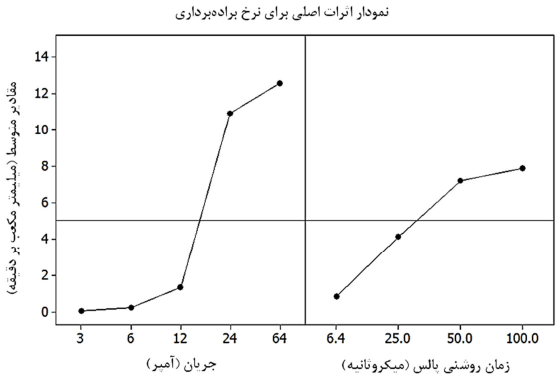
همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود و همچنین روابط (۱) و (۲) و (۳) نیز آن را تایید می‌کنند، نرخ براده‌برداری متناسب با جریان و زمان روشنی پالس در حین تخلیه الکتریکی است. از آن‌جا که نیروی محرکه ضربه‌ای حاصل از تبخیر سیال دی‌الکتریک، وابسته به انرژی تخلیه الکتریکی است. هر چه انرژی جرقه بیشتر شود، نیروی محرکه برای خارج کردن براده‌ها از مرکز حفره‌های حاصل از ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی بیشتر می‌شود و در نتیجه اندازه حفره‌های حاصل از اسپارک در سطح نمونه بزرگتر می‌شود و به ازای هر تخلیه الکتریکی مقادیر بیشتری از ماده قطعه‌کار جدا می‌شود [۷]. به عبارتی با افزایش جریان، نرخ براده‌برداری از قطعه‌کار بیشتر می‌گردد، ولی شکل ۶ نشان می‌دهد که مقدار تغییرات نرخ براده‌برداری با توجه به جریان بیشتر از مقدار تغییرات نرخ براده‌برداری با توجه به زمان روشنی پالس است و همچنین در این شکل نرخ تغییرات با توجه به جریان بیشتر از نرخ تغییرات با توجه به زمان است، چرا که شیب کلی نمودار جریان بیشتر از شیب کلی نمودار زمان است و این بیانگر این است که جریان پالس موثرتر از زمان روشنی پالس، منجر به تغییرات نرخ براده‌برداری از سطح قطعه‌کار می‌گردد.

برای درک بهتر تغییرات نرخ براده‌برداری با توجه به تغییرات جریان و زمان روشنی پالس، نمودارهای خطی[3] در شکل ۷ و در شکل ۸ ارائه می‌گردند.

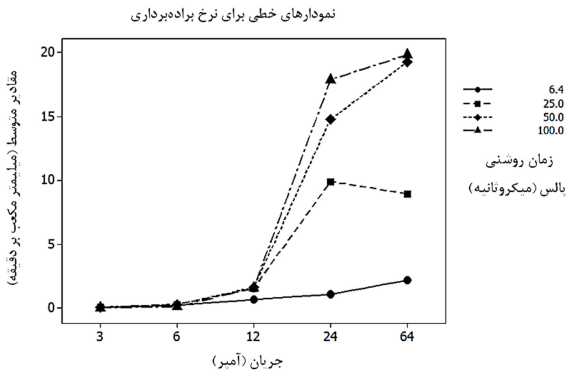
همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود برای تمام زمان‌های روشنی پالس، با افزایش جریان، نرخ براده‌برداری از قطعه‌کار نیز افزایش می‌یابد، ولی به غیر از حالت (زمان روشنی پالس ۶/۴ میکروثانیه)، برای سایر زمان‌های روشنی پالس بعد از جریان ۲۴ آمپر، آهنگ افزایش نرخ براده‌برداری کاهش پیدا می‌کند و به وضوح دیده می‌شود که شیب نمودارها کاسته شده است. عموما



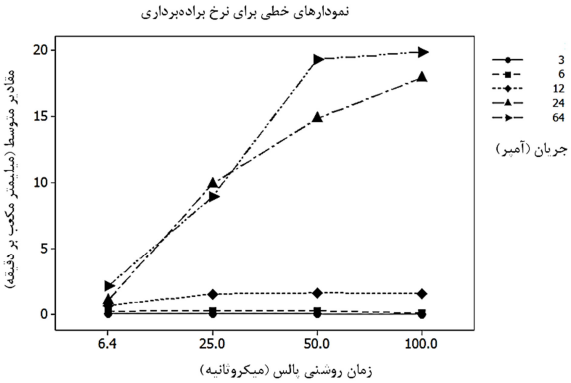
شکل ۵ نحوه بستن و ساعت کردن الکترود ابزار و قطعه‌کار



شکل ۶ نمودار اثرات اصلی پارامترهای ورودی بر روی مقادیر نرخ براده‌برداری



شکل ۷ نمودار خطی تغییرات نرخ براده‌برداری با توجه به تغییرات جریان پالس



شکل ۸ نمودار خطی تغییرات نرخ براده‌برداری با توجه به تغییرات زمان روشنی پالس

1. Minitab
2. Main Effects Plot
3. Line Plots

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.107.7]

با افزایش بیش از حد جریان، به دلیل این‌که نرخ براده‌برداری نیز افزایش یافته است و دانسیته حجمی براده‌ها و مواد جدا شده از قطعه‌کار در فاصله گپ بین ابزار و قطعه‌کار افزایش یافته است، منجر به ناپایداری در فرآیند تخلیه الکتریکی می‌شود و احتمال بروز آرک و اتصال کوتاه بیشتر می‌گردد و در چنین حالتی از تعداد تخلیه‌های الکتریکی موثر و پایدار بر روی سطح قطعه‌کار کاسته می‌شود که به دنبال آن، آهنگ افزایش براده‌برداری نیز کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود، به غیر از جریان‌های ۳ و ۶ آمپر، در سایر جریان‌ها با افزایش زمان روشنی پالس، نرخ براده‌برداری نیز افزایش می‌یابد. عموما در اکثر مواقع با افزایش زمان پالس، مقدار انرژی حرارتی بیشتری به سطح قطعه‌کار منتقل می‌گردد و مواد بیشتری ذوب می‌گردند و نرخ براده‌برداری بیشتر می‌شود و این اثر غالب است، مگر این‌که افزایش زمان پالس به حدی باشد که گسترش کانال پلاسما در مراحل پایانی خود باشد و منجر به تضعیف شدت تخلیه الکتریکی گردد و نهایتا بر نرخ براده‌برداری اثر کاهشی بگذارد [۸].

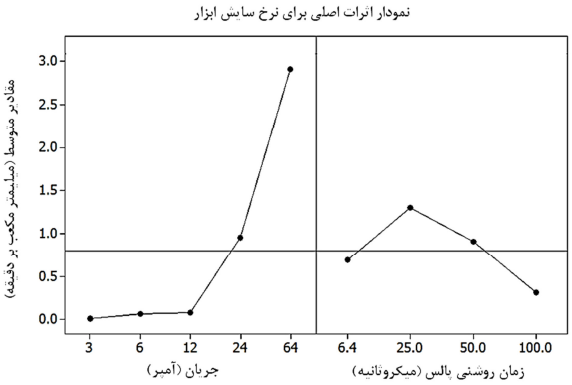
نکته قابل توجه دیگری که در شکل ۸ وجود دارد این است که در جریان‌های پالس ۳ و ۶ آمپر، علی‌رغم افزایش زمان روشنی پالس، تغییری در نرخ براده‌برداری از سطح قطعه‌کار مشاهده نمی‌گردد و مقادیر براده‌برداری از سطح کار به ازای این دو جریان بسیار ناچیز می‌باشد و بیانگر این است که فرآیند پرداخت‌کاری بر روی γ-TiAl که اصولا در جریان پایین باید انجام شود، دشوار، زمان بر و به‌عبارتی پر هزینه می‌باشد ولی در جریان‌های پالس بیشتر (۱۲، ۲۴ و۶۴ آمپر) چنین شرایطی وجود ندارد و به بیان دیگر فرآیند خشن‌کاری بر روی γ-TiAl مشکل خاصی ندارد و به‌صورت بهینه نیز انجام پذیر است.

۳-۲- نرخ سایش ابزار

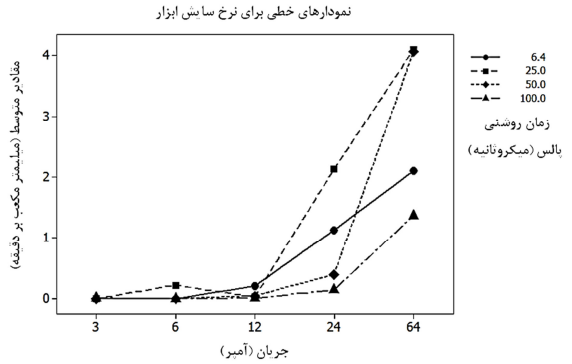
در شکل ۹ نمودار اثرات اصلی پارامترهای ورودی بر روی مقادیر نرخ سایش ابزار نشان داده شده است. در شکل ۹ مشاهده می‌شود که با افزایش جریان، نرخ سایش ابزار نیز افزایش پیدا می‌کند و با افزایش زمان روشنی پالس، نرخ سایش ابزار در ابتدا افزایش می‌یابد ولی در ادامه کاهش پیدا می‌کند، شکل ۹ نشان می‌دهد که مقدار تغییرات نرخ سایش ابزار با توجه به جریان بیشتر از مقدار تغییرات نرخ سایش ابزار با توجه به زمان روشنی پالس است و همچنین در این شکل نرخ تغییرات با توجه به جریان بیشتر از نرخ تغییرات با توجه به زمان است، چرا که شیب کلی نمودار جریان بیشتر از شیب کلی نمودار زمان است و این بیانگر این است که جریان پالس موثرتر از زمان روشنی پالس، منجر به تغییرات نرخ سایش از سطح الکترود ابزار می‌گردد. برای درک بهتر تغییرات نرخ سایش ابزار با توجه به تغییرات جریان و زمان روشنی پالس، نمودارهای خطی در شکل ۱۰ و شکل ۱۱ ارائه می‌گردند.

همان‌طور که در شکل ۱۰ نیز دیده می‌شود و براساس رابطه (۲) با افزایش جریان، انرژی تخلیه الکتریکی بیشتر می‌شود و این سبب براده‌برداری بیشتر از ابزار یا به مفهوم دیگر نرخ سایش بیشتر ابزار می‌گردد و همچنین در این شکل دیده می‌شود که در جریان‌های پایین، نرخ سایش ابزار به ازای تمام زمان‌های روشنی پالس بسیار ناچیز است.

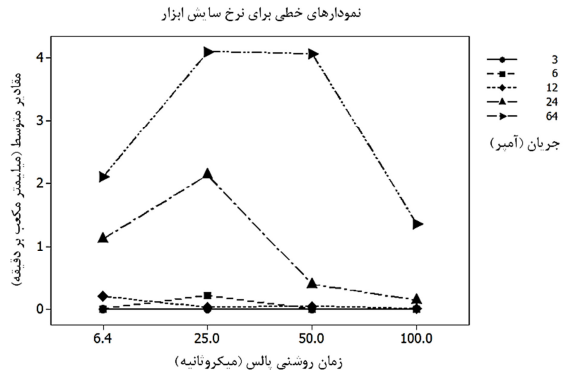
براساس رابطه (۲) نیز افزایش زمان روشنی پالس منجر به افزایش انرژی تخلیه الکتریکی می‌شود که این امر سبب افزایش نرخ سایش ابزار می‌گردد، ولی همان‌گونه که در شکل ۹ و شکل ۱۱ دیده می‌شود، عموما با افزایش زمان پالس، نرخ سایش ابزار در ابتدا افزایش پیدا می‌کند و در ادامه این روند



شکل ۹ نمودار اثرات اصلی پارامترهای ورودی بر روی مقادیر نرخ سایش ابزار



شکل ۱۰ نمودار خطی تغییرات نرخ سایش ابزار با توجه به تغییرات جریان پالس



شکل ۱۱ نمودار خطی تغییرات نرخ سایش ابزار براساس تغییرات زمان روشنی پالس

کاهش می‌یابد و این امر در مورد جریان‌های بیشتر (۲۴ و ۶۴ آمپر)، شدت بیشتری دارد. همان‌طور که در شکل ۱۱ دیده می‌شود، پس از زمان روشنی پالس (۲۵ میکروثانیه) به ازای تمام جریان‌های پالس با افزایش زمان، نرخ سایش ابزار کاهش یافته است. دلیل این است که در ابتدای تخلیه الکتریکی، الکترون‌های سبک به دلیل لختی کمتر، در اثر میدان الکتریکی شروع به حرکت به سمت آند (قطب مثبت) می‌نمایند و الکترود را بمباران می‌کنند، که این باعث ذوب شدن بخش کوچکی از سطح الکترود می‌شود، با گذر زمان نیروی میدان الکتریکی به لختی بیشتر یون‌های مثبت که سنگین‌تر می‌باشند، غلبه می‌کنند و با حرکت آن‌ها به سمت کاتد (قطب منفی) و بمباران آن، براده‌برداری از قطعه‌کار آغاز می‌شود [۶]. از آن‌جا که در آزمایشات انجام شده، قطعه‌کار دارای قطبیت منفی (کاتد) و الکترود ابزار دارای قطبیت مثبت (آند) می‌باشد، در نتیجه با افزایش زمان روشنی پالس،

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.107.7]

نسبت براده‌برداری از الکترود ابزار به نسبت براده‌برداری از قطعه‌کار کمتر می‌شود، که این امر نیز در شکل ۱۱ به صورت کاهش نرخ سایش ابزار با توجه به افزایش زمان روشنی پالس قابل مشاهده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق دو پارامتر اصلی ورودی فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی یعنی جریان پالس و زمان روشنی پالس در چند سطح تغییر داده شدند و سایر پارامترهای ورودی ثابت نگه داشته شده‌اند. در ادامه مشخصات خروجی فرآیند از جمله نرخ براده‌برداری و نرخ سایش ابزار مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند که در زیر به نتایج حاصل پرداخته می‌شود:

۱) نرخ براده‌برداری متناسب با جریان و زمان روشنی پالس در حین تخلیه الکتریکی تغییر می‌کند، اما مقدار تغییرات نرخ براده‌برداری با توجه به جریان بیشتر از مقدار تغییرات نرخ براده‌برداری با توجه به زمان روشنی پالس است.

۲) برای تمام زمان‌های روشنی پالس، با افزایش جریان، نرخ براده‌برداری از قطعه‌کار نیز افزایش می‌یابد، ولی به غیر از حالت (زمان روشنی پالس ۶/۴ میکروثانیه)، برای سایر زمان‌های روشنی پالس بعد از جریان ۲۴ آمپر، آهنگ افزایش نرخ براده‌برداری کاهش پیدا می‌کند. دلیل این پدیده، افزایش احتمال رخ دادن آرک یا اتصال کوتاه می‌باشد که در اثر افزایش جریان، دانسیته حجمی براده‌ها و مواد جدا شده از قطعه کار منجر به ناپایداری در فرآیند تخلیه الکتریکی می‌شود.

۳) در جریان‌های پالس ۳ و ۶ آمپر، علی‌رغم افزایش زمان روشنی پالس تغییری در نرخ براده‌برداری از سطح قطعه‌کار مشاهده نمی‌گردد و مقادیر براده‌برداری از سطح کار به ازای دو جریان بسیار ناچیز می‌باشد و بیانگر این است که فرآیند پرداخت‌کاری بر روی *γ-TiAl* که اصولا در جریان پایین باید انجام شود، دشوار، زمان بر و پر هزینه می‌باشد.

۴) نرخ سایش ابزار با افزایش جریان افزایش پیدا می‌کند و با افزایش زمان روشنی پالس، نرخ سایش ابزار در ابتدا افزایش می‌یابد ولی در ادامه کاهش پیدا می‌کند.

۵) مقدار تغییرات نرخ سایش ابزار با توجه به جریان بیشتر از مقدار تغییرات نرخ سایش ابزار با توجه به زمان روشنی پالس است و این بیانگر این است که جریان پالس موثرتر از زمان روشنی پالس، منجر به تغییرات نرخ سایش از سطح الکترود ابزار می‌گردد.

۵- فهرست علائم

I_{dis}	جریان تخلیه الکتریکی (A)
K	مقدار ثابت تجربی
MRR	نرخ براده‌برداری (mm^3/min)
n	مقدار ثابت تجربی
P	توان ماشین‌کاری (kW)
T_d	زمان تاخیر جرقه (μs)
T_{dis}	زمان تخلیه الکتریکی (μs)
T_{off}	زمان خاموشی پالس (μs)
T_{on}	زمان روشنی پالس (μs)
V_{dis}	ولتاژ تخلیه الکتریکی (V)

۶- مراجع

[1] C. Leyens, M. Peters, *Titanium and Titanium Alloys, Fundamentals and Applications*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2003.
[2] G. Lütjering, J.C. Williams, Titanium, *Engineering Materials and Processes,* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
[3] S. Sarkar, S. Mitra, B. Bhattacharyya, Parametric analysis and optimization of wire electrical discharge machining of γ-titanium aluminide alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 159, pp. 286–294, 2005.
[4] S. Sarkar, S. Mitra, B. Bhattacharyya, Parametric optimisation of wire electrical discharge machining of γ titanium aluminide alloy through an artificial neural network model, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 27, pp. 501–508 , 2006.
[5] S. Sarkar, M. Sekh, S. Mitra, B. Bhattacharyya, Modeling and optimization of wire electrical discharge machining of γ-TiAl in trim cutting operation, *Journal of materials processing technology*, Vol. 205, pp. 376–387, 2008.
[6] M. Esmaeilian, M. Ghoreyshi, *Electrical discharge machining parameter optimization of titanium workpieces by test design technique,* Master's Thesis, K.N.Toosi University of Technology, 2006. (In Persian)
[7] B.H. Yan, H.C. Tsai, F.Y. Huang, The effect in EDM of a dielectric of urea solution in water on modifying the surface of titanium, *Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 45, pp. 194-200, 2005.
[8] A. Hasclik, U. Caydas, Electrical discharge machining of titanium alloy (Ti-6Al-4V), *Journal of Applied Surface Science*, Vol. 253, pp. 9007-9016, 2007.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.107.7]