ماهنامه علمى پژوهشى



دانگاه ترمیت مدس

mme.modares.ac.ir

مطالعه تجربی راندمان برادهبرداری و بافت سطحی ماشین کاری شده در قرآیند اسپارک بر روی آلیاژ تیتانیوم آلومیناید

بهزاد جباریپور^{1*}، مهرداد مطلبپورعلیشاهی²

1– استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران 2– دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران * تهران، صندوق پستی 82598، beh.jabbaripour@iauctb.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیدہ
مقاله پژوهشی کامل دریافت: 15 مرداد 1396 پذیرش: 17 آبان 1396 ارائه در سایت: 10 آذر 1396	ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما جزو گروه اندکی از مواد جدید است که قابلیت استفاده در کاربردهای سازمای در دمای بالا را دارا میباشد، چرا که نسبت استحکام به چگالی و نسبت مدول الاستیسیته به چگالی، بسیار بالایی دارد. در این تحقیق برای دو نوع سیال دیالکتریک نفت سفید و آب دییونیزه، تأثیر مهمترین پارامترهای ورودی فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی یعنی شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس بر
<i>کلید واژگان:</i> ماشین کاری تخلیه الکتریکی سیال دیالکتریک ترکیب بین فلزی تیتانیوم آلومیناید قابلیت ماشین کاری یکپارچگی سطح	روی مشخصههای خروجی فرآیند مانند نرخ برادهبرداری، فرسایش نسبی ابزار و برخی شاخصهای یکپارچگی سطح قطعه کار مانند زبری سطح، توپوگرافی سطح و ترکهای سطحی تشکیل شده بعد از ماشین کاری بررسی میشود. نتایج این تحقیق نشان میدهد که خشن کاری ترکیب بین فلزی تیتانیوم آلومیناید بر خلاف پرداخت کاری آن به روش تخلیه الکتریکی، با راندمان بسیار بالاتری انجامپذیر است. به دلیل هدایت حرارتی بیشتر آب نسبت به نفت، هدررفت انرژی و گسترش شعاع کانال پلاسما در آب نسبت به نفت بیشتر است و این عامل باعث میگردد که انرژی حرارتی بیشتر و متمرکزتری به سطح نمونههای ماشین کاری شده در نفت وارد شود. در نتیجه، میزان دانسیته ترکهای سطحی، مقدار زبری سطح و شدت تغییر توپوگرافی سطح بر روی سطح نمونه ماشین کاری شده در نفت وارد شود. در نتیجه، میزان دانسیته ترکهای سطحی، میارز زبری مقدار قابل نرخ برادهبرداری با دیالکتریک نفت سفید بسیار بیشتر از آب دییونیزه است و فرسایش نسبی ابزار در حین ماشین کاری با نفت به مقدار قابل نرخ برادهبرداری با دیالکتریک نفت سفید بسیار بیشتر از آب دییونیزه است و فرسایش نسبی ابزار در حین ماشین کاری با نفت به

Experimental Investigation of Metal Removal Efficiency and Machined Surface Texture in EDM of Titanium Aluminide Compound

Behzad Jabbaripour^{1*}, Mehrdad Motallebpouralishahi²

1- Department of Mechanical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Khajeh Nasiraldin Toosi University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

* P.O.B. 28598, Tehran, Iran, beh.jabbaripour@iauctb.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper Received 06 August 2017 Accepted 08 November 2017 Available Online 01 December 2017

Keywords: Electrical discharge machining Dielectric fluid Titanium aluminide intermetallic compound Machinability Surface integrity

The intermetallic compound of gamma titanium aluminide is a kind of recently developed material which has outstanding potential for utilization in high temperature structural applications due to higher ratios of strength to density and also elasticity modulus to density. In this study with considering two dielectric fluids of kerosene and de-ionized water, the effects of the most important input parameters of electrical discharge machining including pulse current and pulse on time on the output characteristics of material removal rate, tool wear ratio, some surface integrity criteria such as surface roughness and cracks, are investigated. The results indicate that, rough machining of titanium aluminide in contrary to finishing of this material, is performed efficiently. As the result of more thermal conductivity coefficient of water comparing with kerosene, the energy dissipation or loss and also plasma channel radius expansion in water is noticeably more than kerosene. This issue leads to more concentration and higher rates of thermal energy on the machined surface in the case of kerosene. Consequently, the density of surface cracks, surface roughness and intensity of surface topography alterations for the machined surface in kerosene is more than the samples which are machined in de-ionized water, but in contrary, the material removal rate with kerosene is much more than MRR in de-ionized water and also the tool wear ratio during machining process by means of kerosene is significantly less than the de-ionized water

پالسی و منقطع بین دو الکترود ابزار و قطعهکار که در سیالی موسوم به دیالکتریک غوطهور میباشند، برقرار میشود. سپس جرقهای در نزدیکترین فاصله بین ابزار و قطعهکار ایجاد گردیده و هر جرقه بخش بسیار کوچکی را از سطح قطعهکار جدا میکند و در نهایت بعد از تعداد زیادی جرقه شکل مکمل

¹ Electrical Discharge Machining (EDM)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1- مقدمه

B. Jabbaripour, M. Motallebpouralishahi, Experimental Investigation of Metal Removal Efficiency and Machined Surface Texture in EDM of Titanium Aluminide Compound, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 12, pp. 47-55, 2018 (in Persian)



پیشانی ابزار با ایجاد حفرهای در قطعهکار حک می گردد. در طول این فرآیند همواره ابزار در فاصله نزدیک و کنترل شدهای از قطعه کار نگه داشته می شود.

در حالت عادی ماده دیالکتریک یک سیال است و معمولاً در ماشینهای نوع اسپارک از سیالات هیدروکربنی و در ماشینهای نوع وایرکات از آب دىيونيزه استفاده مىشود. مشخصه اصلى سيال دىالكتريك اين است که این سیال یک عایق جریان الکتریسیته است و تا زمانی عایق باقی میماند که یک ولتاژ الکتریکی کافی اعمال شود و موجب گردد که این سیال به یک هادی الکتریسیته تبدیل شود. سیالهای دیالکتریک مورد استفاده پس از اعمال ولتاژ، به جز در نزدیکترین فاصله بین الکترود ابزار و قطعهکار، عایق جريان الكتريسيته باقى مىمانند. اعمال ولتاژ باعث مىشود كه سيال دیالکتریک در این نقاط به یک هادی تبدیل شود و سپس جرقهزنی رخ دهد [1]. هر جرقه كه مابين الكترود ابزار و قطعه كار رخ مىدهد، به استحكام سیال دیالکتریک بستگی دارد. استحکام دیالکتریک برای یک سیال هیدروکربنی معمولی در حدود 170 ولت در میل^۱ میباشد. یک میل برابر با 0.001 اينچ (0.025 ميلىمتر) است. در طول زمان پيشروى الكترود ابزار، ولتاژی بین الکترود و قطعه کار اعمال می شود. از آن جایی که هیچ جریان الكتريسيتهاي بين الكترود و قطعه وجود ندارد، اين ولتاژ، ولتاژ مدار باز ناميده مي شود. زماني كه اختلاف پتانسيل الكتريكي بين الكترود ابزار و قطعه کار برقرار است ولی الکترود ابزار به اندازه کافی به قطعه کار نزدیک نیست تا جرقهزنی انجام شود، نشان دهنده ولتاژ مدار باز میباشد. در حالی که ولتاژ اعمال و اندازه گیری شده در حین جرقهزنی، ولتاژ ماشین کاری یا ولتاژ رفرنس ناميده مي شود. ولتاژ مدار باز معمولاً در محدوده 300-100 ولت و ولتاژ ماشین کاری معمولاً در محدوده 50-20 ولت قرار دارد [1]. مهمترین پارامترهای ورودی و تنظیمی فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی شامل ولتاژ مدار باز، ولتاژ ماشین کاری (ولتاژ رفرنس)، شدت جریان پالس، زمان روشنی و زمان خاموشى پالس، قطبيت، جنس الكترود ابزار و نوع سيال دىالكتريك مي باشد [2].

ماشین کاری تخلیه الکتریکی بر روی سطح قطعه کار، چند لایه متمایز از ماده پایه^۳قطعه کار ایجاد می کند. هنگامی که مواد مذاب در پایان زمان روشنی پالس به بیرون از حفرههای حاصل از ماشین کاری فوران می کنند، بخشی از مواد الکترودها به شکل برجستگیها و زائدههای سطحی بر روی قطعه کار مینشیند. این بخشها عموماً بعد از ماشین کاری با پولیش و پرداخت کاری از بین میروند. علاوه بر این لایه سطحی، قطعه ماشین کاری شده دارای دو لایه مهم دیگر نیز خواهد بود. این دو لایه شامل لایه انجماد مجدد[†] و لایه متأثر از حرارت⁶ میباشد. در پایان زمان روشنی پالس، بخشی از فلز مذاب خارج شده و مواد مذاب باقيمانده مجدداً منجمد شده و لايه انجماد مجدد را ایجاد میکنند. لایه انجماد مجدد به دلیل این که به سختی اچ میشود و در زیر میکروسکوپ نوری به رنگ سفید دیده میشود، لایه سفید^۶ نیز نامیده می شود. این لایه به سرعت سرد شده است و ضخامت آن به انرژی پالس بستگی دارد. از ویژگیهای این لایه می توان به سختی زیاد آن اشاره کرد و به دلیل همین ویژگی، میکروترکها به سادگی در این لایه شکل می گیرند. اگر این لایه بسیار ضخیم باشد توسط عملیات پرداخت و پولیش از بین نخواهد رفت و می تواند باعث بروز مشکلاتی در عملکرد قطعه کار گردد.

در زیر لایه انجماد مجدد یک لایه دیگر وجود دارد که در اثر افزایش دما ذوب نشده و فقط حرارت دیده است. این لایه را لایه متأثر از حرارت یا لایه آنیل شده^۷نیز مینامند. ترکیب شیمیایی و فازهای متالوژیکی موجود در لایه متأثر از حرارت دچار تغییراتی می شود و این منطقه یکپارچگی سطح^ قطعه كار را تحت تأثير قرار مىدهد. ضخامت اين لايه به قابليت انتقال حرارت ماده و توان مصرفی برای ماشین کاری بستگی دارد [5-3].

اکمکی و همکاران [4] تأثیر نوع سیال دیالکتریک و الکترود ابزار بر ساختار لایه سفید و سطح ماشین کاری شده به روش تخلیه الکتریکی را با در نظر گرفتن آستنیت باقیمانده و تنشهای تسلیم، مطالعه نمودند. آنها آزمایشهای ماشین کاری را با دو جنس مختلف الکترود (مس و گرافیت) و دو نوع سيال دىالكتريك (نفت سفيد و آب دىيونيزه) تحت شرايط عملياتى مشابه انجام دادند و عنوان نمودند که صرف نظر از نوع الکترود، سطح ماشین کاری شده با سیال دیالکتریک نفت از کربن اشباع شده است. زمانی که ماشین کاری در آب دی یونیزه انجام شده است، به واسطه کربن حاصل از الكترود گرافیتی، در سطح آستنیت باقیمانده ایجاد شده است. آنها گزارش کردند که نتایج آشکاری از وجود تنشهای پسماند در زیر لایه سفید مشاهده نشده است. ژانگ و همکاران [6] خواص لایه انجماد مجدد تشکیل شده در امولسيون آب/نفت به عنوان دىالكتريك را با لايه انجماد مجدد تشكيل شده در دیالکتریکهای نفت و آب دییونیزه مقایسه نمودند. آنها گزارش کردند که لایه انجماد مجدد شکل گرفته در امولسیون آب/نفت در مقایسه با لایه شکل گرفته در نفت و آب دی یونیزه، زبری، ضخامت و میکروسختی بیشتری دارد. آنها در لایه انجماد مجدد شکل گرفته در امولسیون آب/نفت، فازهای کاربایدی و اکسیدی شناسایی کردند، در حالی که در لایه شکل گرفته در نفت فقط كاربايد وجود داشت. علاوه بر اين عنوان نمودند كه به دليل فوق اشباع شدن بیشتر گازها در مواد مذاب، لایه تشکیل شده در امولسیون آب/نفت دارای تخلخل بیشتری نسبت به آب دی یونیزه و نفت بوده است.

با توجه به اینکه توسعه سیستمهای تبدیل انرژی پیشرفته و بهبود راندمان عملكردي آنها همواره مورد تقاضا بوده است، طراحي اين سيستمها بر اساس دمای کارکردی بالاتر، وزن سبکتر و سرعت عملیاتی بیشتر انجام می شود تا نیازهای فوق را بر طرف نماید. سیستمهای فلزی مرسوم بیش از 50 سال است که توسعه یافتهاند و برای دست یافتن به پیشرفتهای بیشتر در این زمینه، به کلاسهای جدیدی از مواد که الزامات مذکور را برآورده کنند نیاز است. در میان آلیاژهای مختلف فلزی، ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما^۹ از قابلیت بالایی برای برآورده کردن نیازهای طراحی اشاره شده، برخوردار است. تیتانیوم آلومیناید گاما چگالی کم و استحکام زیادی دارد و خواص خود را در دماهای بالا حفظ می کند و می توان از آن در محدوده وسیعی از قطعات در صنایع خودروسازی، هوافضا، توربینهای نیروگاه برق و موتورهای توربین گازی استفاده نمود. این ترکیبات بینفلزی برای کاربرد در سیستمهای پیشرفته تبدیل انرژی به جای سوپرآلیاژهای پایه آهن یا سوپرآلیاژهای سنگین پایه نیکل در محدوده مشخصی از تنش کاری در دماهای بالا، در نظر گرفته شدهاند [7-10].

یکی از مباحث مطرح در زمینه ساخت و تولید قطعاتی از جنس ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما، فرآیند ماشینکاری آن است. چقرمگی شکست این مواد در دمای اتاق پایین است و به دلیل شکل پذیری پایینی که

DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.12.24.6

48

¹ Mil

Open circuit voltage Bulk material

Recast layer

⁵ Heat Affected Zone (HAZ)

⁶ White layer

⁷ Annealed layer

Surface integrity

⁹ Gamma titanium aluminide intermetallic compound (γ-TiAl)

دارند از نظر ماشین کاری به عنوان مواد سخت طبقهبندی میشوند. تحقیقات بسیار محدودی در ارتباط با ماشین کاری این ماده به عمل آمده است.

در این ارتباط وینرت و همکاران [11] با هدف تولید شاتون از جنس تیتانیوم آلومیناید گاما مطالعهای در زمینه قابلیت ماشین کاری این ماده انجام دادهاند. آنها ابتدا شمش تیتانیوم آلومیناید گاما را بوسیله فرآیند ریخته گری تحت خلاء تولید نموده و سپس فرآیندهای سوراخ کاری، قلاویز کاری، فرز کاری و بورینگ را برای تولید شاتون انجام دادهاند. آنها گزارش کردند که بعدلیل سختی، تردی و استحکام بالای تیتانیوم آلومیناید گاما تنها میتوان از ابزارهایی با جنس کاربایدهای پوششدار و یا مواد برشی سخت تر مانند سی-بیان¹ و الماس چندکریستال² برای ماشین کاری این ماده استفاده نمود. علاوه بر این شکل لبه برشی نیز باید مناسب باشد تا عمر ابزار طولانی تر گردد. سارکار و همکاران [12-14] ماشین کاری تیتانیوم آلومیناید گاما را به

روش وایرکات مورد مطالعه قرار دادهاند. نتایج آنها نشان میدهد که ماشینکاری این ماده به روش وایرکات با راندمان مناسب امکان پذیر است.

اسپینوال و همکاران [15] مطالعاتی را در زمینه روشهای مختلف ماشین کاری تیتانیوم آلومیناید گاما انجام دادهاند. بررسی آنها نشان میدهد که از نظر سایش ابزار، نیروهای برشی، دما، قابلیت تولید و مهمتر از همه یکپارچگی سطح قطعه کار، ماشین کاری سنتی این ترکیب بین فلزی بسیار مشکل تر از آلیاژهای تیتانیوم است. همچنین آنها گزارش دادهاند که برای ماشین کاری این ماده، فرآیند تراش کاری باعث بهوجود آمدن ترکهای بسیار زیادی بر روی سطح شده و در فرآیند سوراخ کاری نیز مشکلات یکپارچگی سطح اجتناب ناپذیر است. بهدلیل استحکام بالای تیتانیوم آلومیناید گاما و هدایت حرارتی پایین آن فرسایش ابزارهای برشی بسیار بالاست و این مشکل در فرزکاری نیز مشاهده میشود. در فرآیندهای سنگزنی و ماشین کاری سرعت بالا می توان به سطوح نسبتاً عاری از عیب دست یافت ولی راندمان ماشین کاری پایین است.

در اینجا لزوم استفاده از فرآیندهای ماشینکاری غیرسنتی مطرح می شود و در این مورد می توان از روش های ماشین کاری الکتروشیمیایی و ماشین کاری تخلیه الکتریکی استفاده نمود. مطالعات بسیار محدود در زمینه ماشین کاری تخلیه الکتریکی این ماده، تحقیقات گستردهای در این مورد را ایجاب می کند. خوشبختانه اخیرا در سطح داخل کشور نظر به کاربردهای بسیار پیشرفته و روزافزون صنعتی این آلیاژ در سطح دنیا، ماشین کاری این آلیاژ مدرن مورد توجه برخی از محققان و متخصصان حوزه ماشین کاری قرار گرفته است، از این جمله شبگرد و همکاران [16] تأثیر پارامترهای ورودی شدت جریان و زمان روشنی پالس در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما بر روی مشخصههای خروجی نرخ برادهبرداری"، نرخ سایش ابزار[†]، بافت سطحی، عناصر و فازهای شیمیایی و متالوژیکی تشکیل شده بر روی سطح ماشینکاری شده را بررسی نمودند. نتايج تحقيق آنها نشان مىدهد كه فرآيند ماشينكارى، يكپارچكى سطح نمونههای تیتانیوم آلومیناید را تحت تاثیر قرار میدهد و حتی در کمترین مقدار انرژی تخلیه الکتریکی، بر روی سطوح قطعه کار ترک ایجاد می گردد. افزایش انرژی تخلیه الکتریکی منجر به شکل گیری ترکهایی طویل تر و با دهانه پهنتر شده است. بهدلیل نفوذ کربن و اکسیژن به سطح نمونه قطعه کار، ترکیب شیمیایی و فازهای متالوژیکی سطوح ماشین کاری شده تغییر کرده

جباری پور و همکاران نیز در قالب چندین کار پژوهشی منتشر شده داخلی و خارجی به جنبههای ماشین کاری مختلف ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید پرداختهاند که در ادامه ارائه می گردند. آن ها در تحقیقی [17] تأثیر انواع مختلف الکترودهای ابزار گرافیت، آلومینیوم و مس را بر روی نرخ برادهبرداری، نرخ سایش ابزار، زبری سطح، آنالیز عنصری و آنالیز فازی سطح ماشین کاری شده تیتانیوم آلومیناید بررسی نمودند. در تحقیقی دیگر [18] اثر افزودن انواع پودرهای گرافیت، آلومینیوم، سیلیکونکارباید، آهن و کروم با غلظت ذرات پودر مختلف مخلوط شده در سیال نفت سفید و چگونگی تأثیر آن بر روی نرخ برادهبرداری، زبری سطح و همچنین مقاومت به خوردگی الكتروشيميايى سطح ماشين كارى شده تيتانيوم آلومينايد را بررسى و نسبت به یکدیگر و همچنین حالت ماشینکاری بدون پودر مقایسه نمودند. در تحقیقی دیگر [19] مورفولوژی، ترکها و توپوگرافی سطح ماشینکاری شده در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی به کمک انواع پودر مخلوط شده در سیال دیالکتریک نفت سفید را بررسی نمودهاند و همچنین، در پژوهشی ديگر [20] چگونگی تاثير تغييرات غلظت ذرات پودر آلومينيوم مخلوط شده در سیال نفت سفید را بر روی ناپایداریهای تخلیه الکتریکی همچون آرک، اتصال کوتاه و یکپارچگی سطح ماشین کاری شده بررسی کردهاند.

در تحقیق جاری جهت تکمیل تر کردن دادههای تجربی برای ارزیابی گستردهتر قابلیت ماشینکاری ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما و به منظور ارائه راهنمای فنی و کاربردی قابل استفاده بخش صنعت در حوزه ماشینکاری تخلیه الکتریکی آلیاژ تیتانیوم آلومیناید گاما، تأثیر مهمترین پارامترهای ورودی فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی یعنی شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس تحت شرایط دو نوع مختلف سیال دیالکتریک نفت سفید و آب دییونیزه، بر روی مشخصههای خروجی فرآیند مانند نرخ برادهبرداری، فرسایش نسبی ابزار و برخی شاخصهای یکپارچگی سطح قطعهکار مانند زبری متوسط سطح^۵، توپوگرافی سطح و ترکهای سطحی تشکیل شده بعد از ماشینکاری بررسی میشود، سپس نتایج ارائه و مقایسه می گردند.

2- تجهيزات، تنظيمات و طراحي آزمايشها

جهت آزمایشهای ماشین کاری از الکترودهای مسی استوانهای شکل به قطر ۲۹۳ او طول mm 40 به عنوان ابزار استفاده شده است. چگالی الکترودهای مورد استفاده برابر با 8.93 gr/cm³ میباشد و قبل از انجام آزمایشات ماشین کاری، دو طرف الکترودهای ابزار تا شماره 600 سمبادهزنی شده بودند. برای نمونههای قطعه کار از ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما استفاده گردید. چگالی نمونه مورد استفاده برابر با 3.78 gr/cm³ میباشد. با استفاده از وایرکات نمونههایی به ابعاد 10×10×10 میلیمتر از شمش ریخته گری شده، بریده شدند.

تمامی آزمایشهای ماشین کاری بر روی ماشین اسپارک با کنترلر عددی مدل شارمیلز روبوفرم⁶ که به یک ژنراتور آیزوپالس مجهز است، انجام گردیده است. تغییرات جرم ابزار و قطعه کار، قبل و بعد از هر تست ماشین کاری به وسیله ترازوی دقیق دیجیتال^۲ با دقت 0.0001 گرم و زبری سطح متوسط به وسیله

¹ Cubic Boron Nitride (CBN)

² Polycrystalline Diamond (PCD)

³ Material Removal Rate (MRR)

⁴ Tool Wear Ratio (TWR)

است و طبق مشاهدات آنها فازهای تردی همچون Ti3Al و TiC بر روی سطوح ماشین کاری شده، تشکیل شده است.

⁵ Roughness Average

⁶ CNC- CHARMILLES ROBOFORM 200

⁷ CP224S- Surtorius

دستگاه زبریسنج^۱ با دقت 0.001 میکرومتر اندازهگیری شده است. به منظور بررسی توپوگرافی سطح و ترکهای سطحی تشکیل شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۲ استفاده گردیده است.

در آزمایشهای ماشینکاری، بهمنظور بررسی تأثیر نوع سیال دیالکتریک بر مشخصههای خروجی فرآیند، آب دییونیزه و نفت سفید به عنوان دو نوع سیال دیالکتریک مورد استفاده قرار گرفت. بهمنظور انجام آزمایشها از یک مخزن ویژه که بر روی میز ماشین اسپارک شارمیلز قرار می گرفت استفاده شد و برای ایجاد جریان مناسب در سیال دیالکتریک از دو پمپ استفاده گردید. نمونههای قطعه کار بر روی یک گیره رومیزی دقیق سمته شده و گیره در داخل مخزن قرار می گرفت. سطح پایینی مخزن از یک صفحه فولادی سنگ زنی شده ساخته شد تا انحرافی در موازی بودن سطوح قطعه کار و ابزار ایجاد نشود. حجم سیال دیالکتریک مورد استفاده در هر آزمایش برابر با 12 لیتر بود که پس از انجام هر آزمایش تعویض می شد. شکل 1 تصاویری از نحوه چیدمان مجموعه مخزن ویژه ماشین کاری، پمپها، گیره



a) Outside view of special tank on the table of EDM machine الف) نمای بیرونی مخزن ویژه بر روی میز ماشین اسپارک



b) Inside view of special tank



c) Performing machining tests in the special tank

ج) انجام آزمایشهای ماشین کاری درون مخزن ویژه Fig. 1 Layout of special machining tank, pumps, vise and performing machining tests

شکل 1 نحوه چیدمان مجموعه مخزن ویژه ماشینکاری، پمپها، گیره و انجام آزمایشهای ماشینکاری

¹ Mahr- Perthomether M2

² Scanning Electronic Microscope (SEM)- Cam Scan 2300 MV

در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما، دو پارامتر اصلی فرآیند ماشین کاری یعنی شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس بهعنوان پارامترهای ورودی انتخاب شدند. برای بررسی اثر این سفید، شدت جریان و زمان روشنی پالس هر کدام در سه سطح تغییر داده سفید، شدت جریان و زمان روشنی پالس هر کدام در سه سطح تغییر داده شدند و به این ترتیب 18 آزمایش ماشین کاری انجام شد. نتایج نرخ براده-موند شدند و به این ترتیب 18 آزمایش ماشین کاری انجام شد. نتایج نرخ براده-شدند و به این ترتیب 18 آزمایش ماشین کاری انجام شد. نتایج نرخ براده-گرفته شدند. همچنین پارامترهای زبری متوسط، توپوگرافی و ترکهای سطحی بر روی نمونه ماشین کاری شده بهعنوان مؤلفههای یکپارچگی سطح مورد بررسی قرار گرفتند. نرخ برادهبرداری و فرسایش نسبی ابزار (نسبت مورد بررسی قرار گرفتند. نرخ برادهبرداری و فرسایش نسبی ابزار (نسبت استفاده از روابط (1) و (2) محاسبه گردیدند. همچنین شرایط ثابت و متغیرهای آزمایشهای ماشین کاری مورد نظر، در جدول 1 ارائه شده است. MRR = $\frac{\Delta m_{W.P.}}{\rho_{W.P.} \times t}$

 $TWR = \frac{\Delta m_{T.} \times \rho_{W.P.}}{\Delta m_{W.P.} \times \rho_{T.}} \times 100$ ⁽²⁾

در روابط (1) و (2)، MRR و TWR به ترتیب نرخ برادهبرداری برحسب (م) و (2)، $\Delta m_{\rm T}$ و $\Delta m_{\rm T}$ به ترتیب (*mm³/min*) و فرسایش نسبی ابزار برحسب (*//)، \Delta m_{\rm W.P.} و \Delta m_{\rm W.P.} (gr) اختلاف جرم قطعه کار و ابزار، قبل و بعد از هر تست ماشین کاری (gr/cm³)، \rho_{\rm T} (min) به ترتیب چگالی قطعه کار و ابزار (gr/cm³) و t زمان ماشین کاری (min) میباشد.*

آزمایشهای طراحی شده به صورت تصادفی و بدون هیچگونه ترتیب خاصی انجام شده است. پس از انجام آزمایشها و استخراج نمودارهای مربوط به مشخصههای خروجی، نقاطی از نمودار که دارای روند متفاوتی از سایر قسمتهای آن بوده و نتایج آنها مورد تردید بوده است، دو مرتبه دیگر تکرار شده و پس از اطمینان از انحراف کم نتایج آزمایشهای تکرار شده از همدیگر، میانگین سه مرتبه انجام تست موردنظر، لحاظ شده است.

3- تأثیر نوع دیالکتریک بر روی مشخصههای خروجی فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی

در جدول 2 نتایج حاصل از آزمایشهای ماشین کاری تخلیه الکتریکی نشان داده شده است که شامل تأثیر شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس بر روی مشخصههای خروجی فرآیند، هنگام استفاده از سیالهای دیالکتریک

جدول 1 شرایط ثابت و متغیرهای فرآیند در آزمایشهای ماشین کاری Table 1 Constant conditions and process parameters in machining

tests		
مقادیر و شرایط	واحد	متغيرها
24, 12, 6	А	شدت جريان پالس
25, 12.8, 6.4	μs	زمان روشنى پالس
50	μs	زمان خاموشی پالس
120	V	ولتاژ مدار باز
70	V	ولتاژ ماشين كارى
15	min	زمان ماشین کاری
منفى		قطبيت قطعهكار
آب دىيونيزە، نفت سفيد		سيال دىالكتريك
غوطهوري به همراه ايجاد جريان متلاطم		نوع شستشو

DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.12.24.6

آب دییونیزه و نفت سفید میباشد. در ادامه تحقیق جاری، نتایج حاصل از این آزمایشها، به تفکیک، مورد بحث و بررسی قرار گرفتهاند.

1-3- تأثیر نوع دیالکتریک بر روی نرخ برادهبرداری در شدت جریانها و زمانهای روشنی پالس مختلف

"شکل 2"، اثر تغییرات شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس را بر روی نرخ برادهبرداری برای دو دیالکتریک آب دییونیزه و نفت سفید نشان میدهد.

با افزایش شدت جریان، بهواسطه افزایش چگالی جریان و در پی آن افزایش انرژی حرارتی ایجاد شده در محل تخلیه، نرخ برادهبرداری در هر دو دیالکتریک افزایش یافته است. مطابق شکل، قابلیت برادهبرداری در دیالکتریک نفت سفید بسیار بیشتر از آب دییونیزه است و در برخی از تنظیمات افزایش چند برابری را نشان میدهد. استحکام دیالکتریک^۱ و

جدول 2 تنظیمات فرآیند و نتایج حاصل از آزمایشهای ماشین کاری تخلیه الکتریکی با استفاده از سیالهای دی الکتریک آب دی یونیزه و نفت سفید -Table 2 Process settings and results of FDM tests by means of de

Table 2 I	Process setting	s and result	s of EDM	tests by	means of	of de-
ionized wa	ater and kerose	ne dielectric	s			
زبرى					A.	

	فرسايش	نرخ	زمان	شدت	
متوسط	نسبى	بر ادەبر دار ى	روشنى	جريان	دى-
سطح	ابزار (/)	(mm ³ /min)	پالس	پالس	الكتريك
(µm)	TWR	MRR	(US)	(A)	
Ra	IWK	mar	(1)	()	
3.136	17.56	0.5914	6.4	6	
4.073	13.45	0.6649	12.8	6	
4.805	11.24	1.0257	25	6	
3.972	15.33	1.1006	6.4	12	آب دی-
4.726	6.52	2.308	12.8	12	0 .
5.472	4.19	3.0252	25	12	يونيزه
4.388	22.25	4.7822	6.4	24	
5.955	9.73	9.1234	12.8	24	
6.905	6.18	11.6098	25	24	
4.296	3.86	1.5363	6.4	6	
5.586	2.35	2.5642	12.8	6	
6.127	1.68	3.6592	25	6	
5.113	2.71	3.8075	6.4	12	
6.273	1.24	7.8775	12.8	12	نفت سفيد
7.426	0.69	13.776	25	12	
6.432	4.92	6.7122	6.4	24	
7.341	3.18	19.249	12.8	24	
8.478	2.43	37.7352	25	24	



Fig. 2 The effects of pulse current and pulse on time variations on the material removal rate for de-ionized water and kerosene

شکل 2 اثر تغییرات شدت جریان و زمان روشنی پالس بر روی نرخ برادهبرداری برای آب دییونیزه و نفت سفید

هدایت حرارتی^۲ از جمله خواص فیزیکی سیال دیالکتریک هستند که اثر زیادی بر نرخ برادهبرداری دارند. استحکام دیالکتریک در مورد آب دییونیزه تقریبا 1.87 برابر استحکام دیالکتریک نفت سفید میباشد [22,21]. بیشتر بودن استحکام آب دییونیزه باعث میشود که هنگام ماشینکاری در این سیال، زمانهای تأخیر جرقه نسبت به زمانی که ماشینکاری در نفت سفید انجام میشود، بیشتر باشد. به بیان سادهتر تخلیه الکتریکی در نفت سفید راحتتر از آب دییونیزه انجام میشود و به همین دلیل زمانیکه از نفت سفید استفاده میشود، راندمان ماشینکاری بیشتر است. از طرف دیگر هدایت حرارتی آب در دمای محیط تقریبا 3.86 برابر هدایت حرارتی نفت سفید در این دما میباشد [23].

این مطلب به این معنی است که مقدار انرژی که در اثر انتقال حرارت در دی الکتریک هدر می رود، در آب دی یونیزه بسیار بیشتر از نفت است و بهواسطه این کاهش انرژی، نرخ برادهبرداری در آب کمتر از نفت می باشد.

افزایش زمان روشنی پالس باعث می گردد که انرژی حرارتی بیشتری به قطعه کار اعمال شود و انتظار میرود که این افزایش انرژی به افزایش نرخ برادهبرداری منجر گردد. اما در مورد آب دییونیزه مشاهده می شود که افزایش زمان روشنی پالس در شدت جریان کم 6 آمیر، تأثیر بسیار ناچیزی بر افزایش نرخ برادهبرداری داشته است. همچنین در مورد نفت سفید نیز مشاهده می گردد که افزایش زمان روشنی پالس در شدت جریان زیاد 24 آمپر، منجر به افزایش بسیار قابل توجه نرخ برادهبرداری شده است. برای انجام ماشین کاری مؤثر به روش تخلیه الکتریکی به حداقلی از شدت جریان نیاز است تا انرژی موردنیاز جهت برادهبرداری از سطح قطعهکار تأمین شود. همان طور که بیان شد به دلیل هدایت حرارتی دی الکتریک، بخشی از انرژی حرارتی کانال پلاسما به اطراف منتشر می شود و باعث افزایش حرارت دىالكتريك پيرامون كانال پلاسما و حباب گاز مىگردد. با افزايش زمان روشنی پالس، این انرژی باعث تبخیر بخش بیشتری از دیالکتریک شده و حباب گاز اطراف کانال پلاسما را بزرگتر مینماید که در نهایت به افزایش شعاع كانال پلاسما و كاهش تمركز انرژى حرارتى در محل تخليه الكتريكى منجر می گردد. به طوری که افزایش انرژی حرارتی (در اثر افزایش زمان روشنی پالس) فقط سبب گسترش منطقه حرارت دیده می شود. به همین علت هرچقدر هدایت حرارتی دیالکتریک بیشتر باشد، حداقل شدت جریان مورد نیاز برای برادهبرداری مؤثر نیز بیشتر خواهد بود تا کاهش تمرکز انرژی که در اثر هدررفت انرژی حرارتی و همچنین افزایش شعاع کانال پلاسما ایجاد می شود، جبران گردد. با توجه به "شکل 2" مشخص است زمانی که از آب دىيونيزه (با هدايت حرارتى بيشتر) استفاده شده است، افزايش زمان روشنى پالس تا شدت جریان 12 آمپر تأثیر محسوسی بر افزایش نرخ برادهبرداری نداشته است ولی هنگامی که از نفت سفید (با هدایت حرارتی کمتر) استفاده می گردد، افزایش زمان روشنی پالس در شدت جریان 6 آمپر نیز باعث افزایش نرخ برادهبرداری شده است.

3-2- تأثیر نوع دیالکتریک بر روی فرسایش نسبی ابزار در شدت جریانها و زمانهای روشنی پالس مختلف

"شکل 3"، اثر تغییرات شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس را بر فرسایش نسبی ابزار را برای دو دیالکتریک آب دییونیزه و نفت سفید نشان میدهد. طبق این نمودار با افزایش شدت جریان، فرسایش نسبی ابزار ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته است. دو عامل بر فرسایش نسبی ابزار تأثیر

¹ Dielectric strength

² Thermal conductivity

زیادی دارد که شامل هدایت حرارتی و دمای ذوب ابزار و قطعه کار می شود. به دلیل اینکه ضریب هدایت حرارتی ابزار مسی تقریبا 17.73 برابر هدایت حرارتی ترکیب بینفلزی تیتانیوم آلومیناید گاما است [21,15]، با افزایش شدت جریان پالس تا یک حد بهینه، مقدار انرژی حرارتی تلف شده بهواسطه رسانش حرارتی در بدنه ابزار مسی نسبت به قطعه کار افزایش می یابد و باعث کاهش تمر کز حرارتی و در نتیجه کاهش فرسایش نسبی ابزار می گردد، ولی بعد از آن حد بهینه، با افزایش چگالی جریان و انتقال انرژی حرارتی متمرکزتر و بیشتر به ابزار و همچنین به دلیل کمتر بودن دمای ذوب ابزار مسی (2° 108) نسبت به قطعه کار تیتانیوم آلومیناید گاما (2° 150)

با توجه به این که نرخ برادهبرداری در نفت بسیار بیشتر از مقدار آن در آب است، نسبت حجم برداشته شده از ابزار به حجم برداشته شده از قطعه کار (فرسایش نسبی ابزار) در مورد نفت کمتر از آب خواهد بود و به همین دلیل مشاهده می شود که فرسایش نسبی ابزار در مورد قطعات ماشین کاری شده در آب دی یونیزه بسیار بیشتر از نفت سفید است. همان طور که در "شکل 3" مشاهده می شود به ازای هر شدت جریان معین، با افزایش زمان روشنی پالس در هر دو سیال، فرسایش نسبی ابزار به طور یکنواخت کاهش یافته است. در فرآیند تخلیه الکتریکی با قطبیت مثبت ابزار، مکانیزم غالب برادهبرداری در زمانهای روشنی پالس کوتاه، حرکت الکترونها از سوی قطب منفی (قطعه-کار) به طرف قطب مثبت (ابزار) میباشد که در این شرایط حجم بیشتری از ابزار فرسایش می یابد. ولی با افزایش زمان روشنی پالس که به گسترش شعاع کانال پلاسما منجر می شود، حرکت یون های مثبت از طرف ابزار (قطب مثبت) به طرف قطعه کار (قطب منفی) آسانتر شده و مکانیزم غالب برادهبرداری، برخورد یونهای مثبت با سطح قطعه کار خواهد بود و این عامل باعث كاهش درصد فرسایش نسبی ابزار همزمان با افزایش زمان روشنی پالس مىشود.

3-3- تأثیر نوع دیالکتریک بر زبری سطح ماشینکاری شده در شدت جریانها و زمانهای روشنی پالس مختلف

"شکل 4"، اثر تغییرات شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس را بر روی زبری سطح ماشین کاری شده برای آب دییونیزه و نفت نشان میدهد. طبق این نمودار مشاهده میشود که برای هر دو سیال دیالکتریک نفت سفید و آب دییونیزه، با افزایش جریان و زمان روشنی پالس، انرژی تخلیه الکتریکی بهطور پیوسته افزایش مییابد. با افزایش جریان پالس، انرژی تخلیه الکتریکی



Fig. 3 The effects of pulse current and pulse on time variations on the tool wear ratio for de-ionized water and kerosene

بیشتر میشود و نیروهای ضربهای روی سطح ماشین کاری شده بیشتر می گردد و سبب می شود که مواد مذاب بیشتری خارج گردد که منجر به تولید حفرههای عمیقتر و بزرگتر و به تبع آن افزایش زبری سطح میشود. همچنین با افزایش زمان روشنی پالس، طول زمان ماشینکاری و انرژی جرقهها بیشتر شده و شعاع کانال پلاسما افزایش مییابد. با افزایش انرژی جرقهها و شعاع کانال پلاسما، عمق و قطر چالههای به وجود آمده در قطعه کار افزایش یافته و چالههای بزرگتری در سطح نمونه ایجاد می گردند که باعث افزایش مقدار زبری سطح می شود. با توجه به "شکل 4"، مشاهده می شود که به ازای هر حالت تنظیمی جریان پالس و زمان روشنی پالس، زبری سطح نمونه ماشین کاری شده در نفت سفید نسبت به نمونه ماشین کاری شده در آب دی یونیزه بیشتر است، چرا که بهواسطه هدایت حرارتی بالاتر آب نسبت به نفت، مقدار انرژی که در اثر انتقال حرارت در دیالکتریک هدر می-رود، در آب دی یونیزه بسیار بیشتر از نفت است، لذا انرژی جرقههای حاصل از تخلیه الکتریکی و شار حرارتی متمرکز شده بر روی سطح قطعهکار، در حالت آب دییونیزه کمتر بوده و حفرهها یا چالههایی با عمق کمتر بر روی سطح ماشین کاری شده ایجاد می گردد که این امر به مفهوم کاهش زبری سطح برای نمونههای ماشین کاری شده در آب دییونیزه میباشد.

3–4- تأثیر نوع دیالکتریک بر توپوگرافی سطح در شدت جریانها و زمانهای روشنی پالس مختلف

در "شکلهای 5، 6 و 7" توپوگرافی و مورفولوژی سطح برخی از نمونههای ماشین کاری شده در دیالکتریکهای آب دییونیزه و نفت سفید نشان داده شده است. لازم به ذکر است برای بررسی توپوگرافی سطوح ماشین کاری شده، تقریباً بخش میانی سطح نمونههای قطعه کار لحاظ گردیده است. با شده در سطح نمونههای ماشین کاری شده در نفت سفید عمق بیشتری شده در سطح نمونههای ماشین کاری شده در آب دییونیزه دارند. چرا که به واسطه هدایت حرارتی بالاتر آب نسبت به نفت، هدررفت انرژی تخلیه الکتریکی در آب دییونیزه بیشتر بوده و لذا حفرههایی با عمق کمتر بر روی سطح نمونه، ایجاد شده است و این تصاویر توپوگرافی سطحی بهطور کلی تایید کننده و متناظر با نتایج زبریسنجی نمونههای ماشین کاری شده در سیالهای دیالکتریک آب دییونیزه و نفت سفید میباشند که در "شکل 4"



Fig. 4 The effects of pulse current and pulse on time variations on the surface roughness for de-ionized water and kerosene

شکل 4 اثر تغییرات شدت جریان و زمان روشنی پالس بر روی زبری سطح برای آب دییونیزه و نفت سفید

شکل 3 اثر تغییرات شدت جریان و زمان روشنی پالس بر روی فرسایش نسبی ابزار برای آب دییونیزه و نفت سفید



magnification for the 6.4 µs pulse on time شکل 5 توپوگرافی سطوح ماشین کاری شده به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی 200 برابر برای زمان روشنی پالس 6.4 میکروثانیه



c) De-ionized water, 24 A d) Kerosene, 24 A د) نفت سفيد، 24 آمپر **ج**) آب دىيونيزە، 24 آمپر

Fig. 6 Machined surface topography by SEM images with 200 X magnification for the 12.8 µs pulse on time شکل 6 توپوگرافی سطوح ماشین کاری شده به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی 200 برابر برای زمان روشنی پالس 12.8 میکروثانیه

3-5- تأثير نوع دىالكتريک بر ترکھاى سطحى در شدت جريانھا و زمانهای روشنی پالس مختلف

در "شکلهای 8، 9 و 10" تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی 500 برابر مربوط به سطح برخی از نمونههای ماشینکاری شده نشان داده شده است. همچنین برای بررسی ترکهای سطحی، بخش میانی سطح نمونههای ماشین کاری شده لحاظ گردیده است. مقایسه این تصاویر



magnification for the 25 µs pulse on time **شکل 7** توپوگرافی سطوح ماشین کاری شده به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمايي 200 برابر براي زمان روشني پالس 25 ميكروثانيه

نشان میدهد که بهطور کلی با افزایش شدت جریان، ترکهای سطحی در نمونههای ماشین کاری شده در آب کمتر می شود ولی در نفت افزایش می یابد. همچنین مشاهده می شود که به ازای هر شدت جریان تنظیمی معین، تغییرات زمان روشنی پالس تأثیر چندانی بر ترکهای سطحی ندارد. با توجه به این که هدایت حرارتی آب نسبت به نفت بیشتر است، سرعت خنک شدن قطعه هنگام ماشین کاری در آب دی یونیزه بیشتر از نفت سفید می باشد. به همین دلیل مشاهده می شود در شدت جریان های کم در سطح نمونه های ماشین کاری شده در آب دی یونیزه ترک ایجاد شده است ولی نمونههای ماشین کاری شده در نفت سفید تقریبا فاقد ترک هستند. با افزایش شدت جریان، انرژی حرارتی بیشتر و متمرکزتری به قطعه وارد شود و باعث افزایش تنشهای حرارتی در سطح قطعه کار می گردد. به همین دلیل مشاهده می شود هنگامی که شدت جریان افزایش مییابد، مقدار ترکهای سطحی در قطعات ماشین کاری شده در نفت سفید افزایش می یابد. ولی از آن جایی که با افزایش شدت جریان، شعاع کانال پلاسمای تشکیل شده در آب دییونیزه به شدت افزایش می یابد، تمرکز انرژی حرارتی کاهش یافته و در نتیجه تنشهای حرارتی کمتری در سطح ایجاد می گردد، لذا با افزایش شدت جریان، میزان ترکهای سطحی در نمونههای ماشینکاری شده در آب دییونیزه کمتر شده است.

4- نتايج

در تحقیق جاری، پس از انجام آزمایشهای ماشینکاری طراحی شده، جهت ارزيابى قابليت ماشينكارى تركيب بينفلزى تيتانيوم ألومينايد گاما تحت شرایط دو سیال دیالکتریک آب دییونیزه و نفت سفید، نرخ برادهبرداری و فرسایش نسبی ابزار بررسی شده است و با استفاده از تجهیزات زبریسنج و میکروسکوپ الکترونی روبشی، تأثیر دو متغیر اصلی فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی یعنی شدت جریان پالس و زمان روشنی پالس، بر روی برخی مشخصههای یکپارچگی سطح مانند زبری سطح، توپوگرافی سطح و ترکهای



الف) آب دىيونيزە، 6 آمپر





d) Kerosene, 24 A

د) نفت سفيد، 24 آمپر ج) آب دىيونيزە، 24 آمپر Fig. 8 Investigating surface cracks by SEM images with 500 X magnification for the 6.4 µs pulse on time **شکل 8** بررسی ترکهای سطحی به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی با

بزرگنمایی 500 برابر برای زمان روشنی پالس 6.4 میکروثانیه



a) De-ionized water, 6 A **الف**) آب دىيونيزە، 6 آمپر



d) Kerosene, 24 A د) نفت سفيد، 24 آمپر

c) De-ionized water, 24 A **ج**) آب دىيونيزە، 24 آمپر Fig. 9 Investigating surface cracks by SEM images with 500 X

magnification for the 12.8 µs pulse on time **شکل 9** بررسی ترکهای سطحی به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمايي 500 برابر براي زمان روشني پالس 12.8 ميكروثانيه

سطحی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج کلی در ذیل ارائه می گردند:

در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی، خشنکاری (ماشینکاری تحت جریانها و زمانهای روشنی پالس بالا) ترکیب بینفلزی تيتانيوم ألومينايد برخلاف پرداختكارى أن (ماشينكارى تحت جریانها و زمانهای روشنی پالس پایین)، با راندمان بسیار بالاتری انجام پذير است.



د) نفت سفيد، 24 آمپر ج) آب دىيونيزە، 24 آمپر Fig. 10 Investigating surface cracks by SEM images with 500 X magnification for the 25 µs pulse on time **شکل 10** بررسی ترکهای سطحی به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی با

بزرگنمایی 500 برابر برای زمان روشنی پالس 25 میکروثانیه

- استحکام دیالکتریک و هدایت حرارتی سیال دیالکتریک اثر زیادی بر نرخ برادهبرداری دارند. بیشتر بودن استحکام دیالکتریک آب دی یونیزه باعث می شود که هنگام ماشین کاری در این سیال، زمان-های تأخیر جرقه نسبت به زمانی که ماشینکاری در نفت سفید انجام مى شود، بيشتر باشد. لذا تخليه الكتريكي در نفت سفيد راحت-تر از آب دی یونیزه انجام می شود و به دنبال آن نرخ براده برداری بیشتر است.
- هدایت حرارتی آب به مقدار قابل توجهی بیشتر از هدایت حرارتی نفت سفید میباشد، لذا مقدار هدررفت انرژی حرارتی در دیالکتریک آب دی یونیزه بسیار بیشتر از نفت است و به واسطه این کاهش انرژی حاصل از تخلیه الکتریکی، نرخ برادهبرداری در آب کمتر از نفت مے باشد.
- با افزایش شدت جریان پالس تا یک حد بهینه، مقدار انرژی حرارتی تلف شده بهواسطه رسانش حرارتی در بدنه ابزار مسی نسبت به قطعه کار افزایش می یابد و باعث کاهش تمرکز حرارتی و در نتیجه کاهش فرسایش نسبی ابزار می گردد ولی بعد از آن حد بهینه، با افزایش چگالی جریان و انتقال انرژی حرارتی متمرکزتر و بیشتر به ابزار و همچنین به دلیل کمتر بودن دمای ذوب ابزار مسی نسبت به قطعه كار تيتانيوم آلومينايد گاما، مقدار فرسايش نسبى ابزار افزايش مییابد. به ازای هر شدت جریان معین، با افزایش زمان روشنی پالس، در هر دو سیال دیالکتریک، فرسایش نسبی ابزار بهطور يكنواخت كاهش مىيابد.
- با افزایش شدت جریان، ترکهای سطحی در نمونههای ماشین کاری شده در آب کمتر می شود ولی در نمونه های ماشین کاری شده در نفت افزایش می یابد. همچنین مشاهده می شود که تغییرات زمان روشنی پالس تأثیر چندانی بر ترکهای سطحی ندارد. در شدت

- [8] G. Lutjering, J. C. Williams, Titanium, Engineering Materials and Processes, pp. 217-246, Germany: Springer-Verlag, 2007.
- F. Appel, U. Brossmann, U. Christoph, S. Eggert, P. Janschek, U. Lorenz, J. [9] Müllauer, M. Oehring, J. D. H. Paul, Recent progress in the development of gamma titanium aluminide alloys, Advanced Engineering Materials, Vol. 2, No. 11, pp. 699-720, 2000.
- [10] H. Clemens, H. Kestler, Processing and applications of intermetallic γ-TiAlbased alloys, Advanced Engineering Materials, Vol. 2, No. 9, pp. 551-570, 2000.
- [11] K. Weinert, S. Bergmann, C. Kempmann, Machining sequence to manufacture a y-TiAl-conrod for application in combustion engines, Advanced Engineering Materials, Vol. 8, No. 2, pp. 41-47, 2006.
- [12] S. Sarkar, S. Mitra, B. Bhattacharyya, Parametric analysis and optimization of wire electrical discharge machining of γ -titanium aluminide alloy, Materials Processing Technology, Vol. 159, No. 3, pp. 286-294, 2005.
- [13] S. Sarkar, S. Mitra, B. Bhattacharvva, Parametric optimisation of wire electrical discharge machining of γ titanium aluminide alloy through an artificial neural network model, Advanced Manufacturing Technology, Vol. 27, No. 6, pp. 501-508, 2006.
- [14] S. Sarkar, M. Sekh, S. Mitra, B. Bhattacharyya, Modeling and optimization of wire electrical discharge machining of \gamma-TiAl in trim cutting operation, Materials Processing Technology, Vol. 205, No. 3, pp. 376-387, 2000.
- [15] D. K. Aspinwall, R. C. Dewes, A. L. Mantle, The machining of γ -TiAl intermetallic alloys, CIRP Annals-Manufacturing Technology, Vol. 54, No. 1, pp. 99-104, 2005.
- [16] M. R. Shabgard, H. Faraji, B. Khosrozadeh, K. Amini, M. Seyedzavvar, Experimental investigation into the EDM process of y-TiAl, Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, Vol. 38, No. 2, pp. 231-239, 2014.
- [17] B. Jabbaripour, M. H. Sadeghi, M. R. Shabgard, Sh. Faridvand, Investigating the effects of tool materials on the properties of electrical discharge machining of y-TiAl intermetallic, Modares Mechanical Engineering, Vol. 11, No. 2, pp. 135-146, 2011. (in Persian فارسى)
- [18] B. Jabbaripour, M. H. Sadeghi, M. R. Shabgard, H. Faraji, Investigating surface roughness, material removal rate and corrosion resistance in PMEDM of y-TiAl intermetallic, Manufacturing Processes, Vol. 15, No. 1, p. 56-68, 2013
- [19] B. Jabbaripour, M. H. Sadeghi, M. R. Shabgard, H. Faraji, Investigating output characteristics in powder mixed electrical discharge machining of y-TiAl Intermetallic, Modares Mechanical Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. (فارسى 74-86, 2012. (in Persian)
- [20] B. Jabbaripour, M. H. Sadeghi, M. R. Shabgard, Sh. Shajari, H.Hassanpour, Investigating the effects of powder mixed electrical discharge machining on the surface quality of y-TiAl intermetallic, Advanced Materials Research, Vol. 11, No. 2, pp. 135-146, 2015. [21] D. R. Lide, CRC Handbook of Chemistry and Physics, pp. 589-607, United
- States of America: Taylor & Francis Group, 2010.
- [22] S. Biswal, Basic Electronics, pp. 292-311, India: Atlantic Publishers and Distributors, 2001.
- [23] Thermal Conductivity of common Materials and Gases, Accessed on 11 July 2017; http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html.

جریانهای کم در سطح نمونههای ماشینکاری شده در آب دی یونیزه ترک ایجاد شده است ولی نمونههای ماشین کاری شده در نفت سفید تقریباً فاقد ترک هستند. با افزایش شدت جریان و به دنبالش افزایش انرژی حرارتی، مقدار ترکهای سطحی در قطعات ماشین کاری شدہ در نفت سفید افزایش می یابد.

به دلیل هدایت حرارتی بیشتر آب نسبت به نفت، هدررفت انرژی و گسترش شعاع کانال پلاسما در آب نسبت به نفت بیشتر است و این عامل باعث می گردد که انرژی حرارتی بیشتر و متمرکزتری به سطح نمونههای ماشین کاری شده در نفت وارد شود. به همین جهت میزان دانسیته ترکهای سطحی، مقدار زبری سطح و شدت تغییر توپوگرافی سطح قطعه کار در نفت سفید بیشتر از سطح نمونه مربوط به آب دییونیزه میباشد ولی در مقابل نرخ برادهبرداری با دىالكتريك نفت سفيد بسيار بيشتر از آب دىيونيزه است و فرسایش نسبی ابزار در حین ماشین کاری با نفت به مقدار قابل توجهی کمتر از آب دییونیزه است.

5- مراجع

- [1] E. C. Jameson, Electrical Discharge Machining, pp. 147-159, United States of America: Society of Manufacturing Engineers, 2001. [2] S. Kumar, R. Singh, T. P. Singh, B. L. Sethi, Surface modification by
- electrical discharge machining: A review, Materials Processing Technology, Vol. 209, No. 8, pp. 3675-3687, 2009.
- [3] A. Hasçalik, U. Çaydaş, Electrical discharge machining of titanium alloy (Ti-6Al-4V), Applied Surface Science, Vol. 253, No. 22, pp. 9007-9016, 2007.
- [4] B. Ekmekci, Residual stresses and white layer in electric discharge machining (EDM), Applied Surface Science, Vol. 253, No. 23, pp. 9234-9240, 2007.
- [5] H. Ramasawmy, L. Blunt, K. P. Rajurkar, Investigation of the relationship between the white layer thickness and 3D surface texture parameters in the die sinking EDM process, Precision Engineering, Vol. 29, No. 4, pp. 479-490, 2005
- Y. Zhang, Y. Liu, R. Ji, B. Cai, Study of the recast layer of a surface machined by sinking electrical discharge machining using water-in-oil emulsion as dielectric, Applied Surface Science, Vol. 257, No. 14, pp. 5989-5997, 2011.
- [7] C. Leyens, M. Peters, Titanium and Titanium Alloys, Fundamentals and Applications, pp. 478-515, Germany: Wiley-VCH Verlag, 2003.

Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-19