ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):125-129.

Feasibility Study of Creating Chrome and Copper Coatings on Stainless Steel Using Electric Discharge Coating Method

ARTICLE INFO

Authors
Oskueyan S.[1],
Hajialimohammadi A.[1*],
Tyagi R.[2]

[1]Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.
[2] University centre for research and development, Chandigarh university, India.

*** Correspondence**
Address: Mechanical Engineering Faculty, Semnan University, Technical & Engineering Complex, In Front of Sokan Park, Semnan, Iran.
ahajiali@semnan.ac.ir

How to cite this article
Oskueyan S, Hajialimohammadi A, Tyagi R. Feasibility Study of Creating Chrome and Copper Coatings on Stainless Steel Using Electric Discharge Coating Method. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):125-129.

ABSTRACT

electrical discharge coating (EDC) is the simplest way to deposit a thin or thick coating on the surface of a substrate to change the properties of this undesirable layer. In the EDC process, the molten pool produced due to sparking in electrical discharge is combined with material particles from the loosely bonded compacted electrode (green compacted) and then rapidly cooled to form a coated layer. Extensive methods for coating the surface of the substrate exist such as electroplating, electroless plating, vapor deposition methods, thermal spraying and many others. These processes have disadvantages such as high capital costs, complexity, higher setup complexity and space requirements that limit their implementation to some extent. Among all coating methods, EDC has advantages over other coating methods. For EDC, there is no need to set up any equipment to create a vacuum or isolation environment around the bed. Also, only by changing the different variables of the machine, the thickness can be changed and the characteristics of the coating layer can be controlled. This study focuses on chrome ceramic coatings formed in the EDC process on stainless steel substrates (ST37) with process parameters with 8 amp current and 100 µs on time. The results showed that the hardness of stainless steel coated with chromium and copper increased to 1284 (HV) in electrical discharge.

Keywords Electrical Discharge Coating (EDC), Green compact electrode, stainless steel (St37), Coating thickness, Microhardness

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۲۵-۱۲۹.

مطالعه امکان سنجي ایجاد پوشش کروم و مس روي فولاد ضد زنگ با استفاده از روش پوشش دهی تخلیه الکتریکی

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
سعید اسکوئیان[۱]
علیرضا حاجی علی محمدی[۱*]
راشی تیاگی[۲]
[۱] دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه سمنان، سمنان
[۲] دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه چاندیگار، چاندیگار

*** نویسنده مسئول**
آدرس: سمنان، روبروی پارک سوکان، پردیس شماره یک، سازمان مرکزی دانشگاه سمنان
ahajiali@semnan.ac.ir

چکیده

پوشش تخلیه الکتریکی (EDC) ساده‌ترین راه برای رسوب پوشش نازک یا ضخیم بر روی سطوح زیرلایه است تا خواص این لایه نامطلوب را تغییر دهد. در فرآیند پوشش دهی تخلیه الکتریکی، حوضچه مذاب تولید شده به دلیل جرقه زدن در تخلیه الکتریکی با ذرات ماده جدا شده از الکترود فشرده با پیوند سست (فشرده سبز) ترکیب می‌شود و سپس آنها به سرعت سرد می‌شوند تا یک لایه پوشش داده شده را تشکیل دهند. روش های مختلفی برای پوشش سطح زیرلایه وجود دارد مانند آبکاری الکتریکی، آبکاری الکترولس، روش های رسوب بخار، پاشش حرارتی و بسیاری موارد دیگر. این فرآیندها دارای معایبی مانند هزینه سرمایه بالا، پیچیدگی فرآیند، پیچیدگی راه اندازی، دمای بالاتر و نیاز به جایی هستند که اجرای آنها را تا حدی محدود می کند. در بین تمامی روش های پوشش دهی تخلیه الکتریکی نسبت به سایر روش های پوشش دهی مزایایی دارد. برای این فرایند، نیازی به هیچ نوع تنظیم خاصی از تجهیزات برای ایجاد خلاء یا محیط ایزوله در اطراف بستر نیست. همچنین تنها با تغییر پارامترهای متغیر ماشین می توان ضخامت را تغییر داد و خواص مختلف لایه پوشش را کنترل کرد. این تحقیق در مورد پوشش های سرامیکی کروم تشکیل شده در فرآیند EDC بر روی بسترهای فولادی ضد زنگ (St37) بر پارامترهای فرآیند با جریان ۸ آمپر و روشنایی پالس ۱۰۰ میکروثانیه متمرکز شده است. نتایج نشان داد سختی فولاد ضد زنگ با پوشش کروم و مس در تخلیه الکتریکی به ۱۲۸٤ ویکرز بالا رفته است.

کلیدواژه‌ها پوشش دهی تخلیه الکتریکی (EDC)، الکترود فشرده سبز، فولاد ضد زنگ St37، ضخامت پوشش، میکروسختی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.20.3]

۱- مقدمه

ماشینکاری تخلیه الکتریکی یک روش براده برداری نوین است که در آن بین دو الکترود به نامهای ابزار و قطعه کار که در فاصله معین و کنترل شدهای از یکدیگر قرار دارند و فضای بین آنها را سیالی به نام دی الکتریک پر کرده است، در نزدیکترین فاصله بین آنها جرقه الکتریکی تولید شده و در اثر حرارت بالای آن بار-برداری صورت میگیرد. با این روش میتوان مواد هادی و نیمه هادی را ماشینکاری نمود[1] .

یکی دیگر از مؤلفه های اصلی سلامت سطح در قطعات پر مخاطره مقاومت خوردگی و سایش سطح است که در فرآیندEDM تغییر میکند. با توجه به اهمیت بررسی رفتار خوردگی و سایش قطعات پس از فرایند EDM به ویژه در صنایع مهمی مانند هوافضا، انرژی هستهای، صنایع ایمپلنت دندانی و بیوپزشکی تحقیقات جامعی در این زمینه صورت نگرفته است. به همین دلیل مطالعات موجود درباره رفتار مقاومت به خوردگی و سایش سطوح ماشینکاری شده به روش EDM ناقص و ناکافی است[2].

همچنین لایه بازسازی شده تشکیل شده توسط فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM) به طور کلی حاوی ترک هایی به دلیل وقوع تنش های پسماند است که مستقیماً بر مقاومت در برابر خوردگی و سایش اجزا تأثیر می‌گذارد.

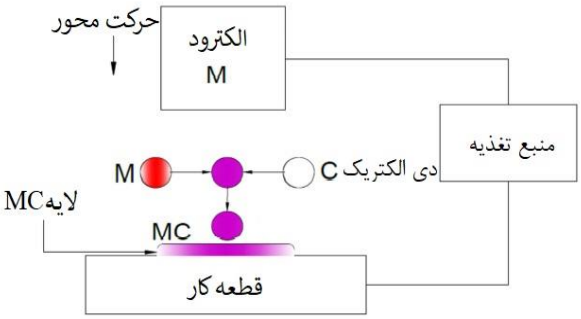
پوشش تخلیه الکتریکی (EDC) ساده ترین راه برای رسوب پوشش نازک یا ضخیم بر روی سطوح زیرلایه است. اصلاح سطح با سیال دی الکتریک هیدروکربنی یا آب دیونیزه شده توسط الکترودهای فلزی ساخته شده از فرآیند متالورژی پودر برای پوشش تخلیه الکتریکی (EDC) روی سطح کار استفاده می شود. در فرآیند EDC، نوعی کاربید سخت (مانند TiC یا WC) در محل از طریق واکنش شیمیایی بین مواد فرسوده الکترود و ذرات کربن تجزیه شده از سیال دی‌الکتریک در دمای بالا تشکیل می‌شود. کاربید فلز الکترود به سرعت روی قطعه کار با بار مخالف انباشته می شود و در عرض چند دقیقه به یک لایه سخت از سرامیک یا فلز تبدیل می شود.این مستلزم آن است که سرعت حذف قطعه کار کمتر از نرخ سایش ابزار الکترود باشد. به طور کلی الکترود فشرده سبز پودری دارای ویژگی هایی است که برای رسوب گذاری مناسب است. EDC به تجهیزات پیچیده نیاز ندارد. لایه سرامیکی را می توان در مکان های مختلف قطعه کار ایجاد کرد. مقاومت در برابر خوردگی، سختی میکرو و سایر خواص سطح ممکن است با این تکنیک اصلاح سطح بهبود یابد[3].

سطوح روانکاری جامد از طریق فرآیند تخلیه الکتریکی با استفاده از الکترودهای فشرده سبز تهیه شده از مخلوط پودر دی سولفید تنگستن (WS2) و مس (Cu) تولید شدند. اثر پارامترهای تجربی مانند ضریب وظیفه، شدت جریان و نسبت مخلوط پودر بر رفتار سایش و یکپارچگی سطح پوشش بررسی شد. نتایج نشان داد، ضخامت پوشش با درصد بالاتر محتوای WS2 در الکترود فشرده سبز افزایش یافت[4]. پوشش تخلیه الکتریکی به عنوان وسیله ای برای بهبود مقاومت در برابر سایش سطح رول در نورد آزمایشگاهی انجام شد. ویژگی های پوشش لایه ساخته شده توسط پوشش تخلیه الکتریکی با استفاده از یک الکترود متخلخل Tic به صورت تجربی از نظر شرایط تخلیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد لایه سخت با سختی ویکرز بیش از Hv1500 با پوشش تخلیه الکتریکی فولاد ۲٪ کروم با الکترود سینتر شده Tic تشکیل داد. همچنین مقاومت در برابر سایش رول های روکش دار Tic تولید شده توسط پوشش تخلیه الکتریکی نسبت به رول های روکش کروم معمولی برتر است[5].

با توجه به اینکه پوشش دهی کروم روی فولاد ضدزنگ با استفاده از روش تخلیه الکتریکی تاکنون انجام نشده است، هدف از این مقاله بررسی امکان سنجی ایجاد این پوشش روی فولاد ضدزنگ با استفاده از روش EDC می باشد.

۱-۱- مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمایش‌ها در روش تخلیه الکتریکی، از نمونه های فولادی از جنس St-37 استفاده شد. شکل (1) نمایش شماتیک EDC را نشان می دهد. نمونه ها به صورت ورق و در ابعاد (5×30×30) میلیمتر بریده شده‌اند. ابزار مسی به قطر 16 و ارتفاع 70 میلیمتر با عملیات تراش کاری تهیه و پولیش داده شد.



شکل ۱) شماتیک فرایند پوشش دهی تخلیه الکتریکی [3]

جهت انجام آزمایش تخلیه الکتریکی از دستگاه اسپارک پیشرانه مدل 511 با ژنراتور ایزوپالس استفاده شد. پارامترهای ورودی شامل شدت جریان تخلیه الکتریکی، درصد تناسب پودر مس و کروم در الکترود سبز، زمان روشنی پالس و قطبیت بودند.

۱-۲- ساخت الکترود سبز

در این تحقیق از پودر کروم برای پوشش دهی بر روی قطعه فولادی ضد زنگ آزمایش شده است. برای تثبیت متالورژی پودر به همراه کروم درصد مشخصی پودر مس اضافه شده است. فشارهای مورد استفاده در فرایند متراکم سازی بسته به نوع ماده و کاربرد معمولاً بین ۴۰ تا ۱۶۵۰ مگاپاسکال قابل تغییر است و دامنه ۱۴۰ تا ۶۹۰ مگاپاسکال متداول‌ترین فشارهای مورد استفاده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.20.3]

است. اعمال فشار برای پودرهای مختلف مقدار بهینه ای دارد که برای فشار مناسب قالب پودر کروم از جدول (۱) که مربوط به میزان فشار متعارف برای کاربرد های مختلف است کمک گرفته شده است.

جدول۱) فشارهای متراکم سازی متداول پودر برای کاربردهای مختلف[6] .

کاربرد	فشار(مگاپاسکال)
فلزات متخلخل و فیلتر ها	۴۰-۷۰
فلزات دیر گداز و کاربید ها	۱۰-۲۰۰
یاتاقان‌های متخلخل	۱۴۶-۳۵۰
اجزای ماشین (آهن و فولاد با چگالی متوسط)	۲۷۵-۶۹۰
قطعات مس و آلومینیوم با چگالی بالا	۲۵۰-۲۷۵
قطعات آهن و فولاد با چگالی بالا	۷۰۰-۱۶۵۰

در شکل ۲ مراحل ساخت الکترود سبز به وسیله پودر کروم با قطر ذره ۶۳ و مس با اندازه ۲۰ میکرومتر نمایش داده شده است. پودر کروم و مس ابتدا به وسیله همزن مغناطیسی به خوبی ترکیب شده اند سپس به وسیله قالب سنبه و ماتریسی که به وسیله کمربند حرارتی دمای ۲۰۰ درجه‌ای آن تامین و فشار هیدرولیکی همزمان برای ساخت الکترود سبز انتخاب شد. در پوشش دهی با تخلیه الکتریکی دمای اطراف قالب فشرده سازی پودر متغیر دیگری است که بسته به روش انتخابی از دمای اتاق تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد تغییر می کند. نمایشگر حرارت توسط سنجش لیزری از مجموعه قالب سنبه و ماتریس و عملکرد کمربند حرارتی سرامیکی در فرایند فشرده سازی پودر در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۲) شماتیک فرایند ساخت الکترود سبز

شکل ۳) کمربند حرارتی سرامیکی

۱-۲-۱- فرآیند آزمایشات

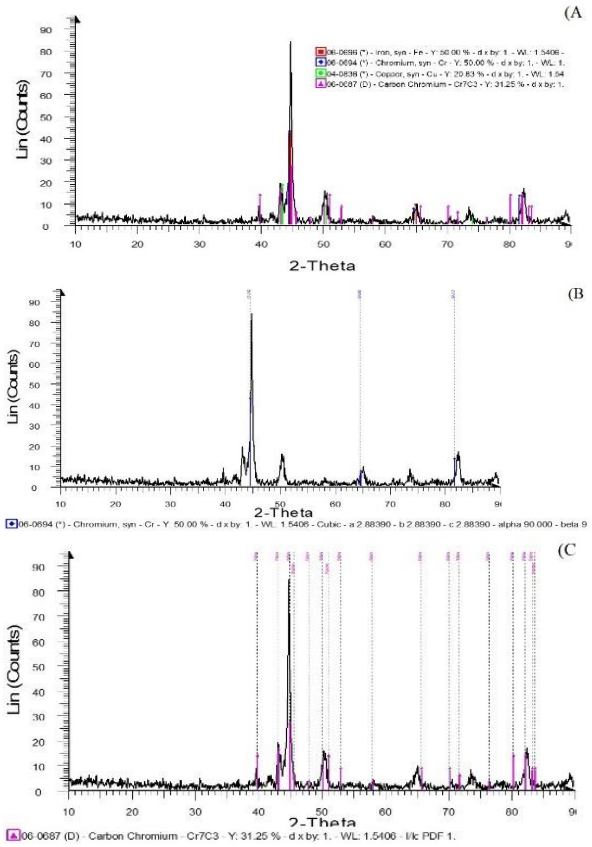
در آزمایشات پوشش‌دهی با روش تخلیه الکتریکی شدت جریان ۸ آمپر، ۱۰۰ میکروثانیه خاموش پالس، ۵۰ ثانیه روشنی پالس تعیین و همچنین قطبیت الکترود دستگاه در کانال منفی قرار داده شده است. برای نوع و آنالیز مواد پوشش تشکیل شده در سطح قطعه کار از دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) دانشگاه سمنان استفاده شد.

۱-۳- نتایج و بحث‌ها

تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس برای تایید انتقال مواد ابزار بر روی سطح کار و همچنین برای شناسایی فازهای هر ترکیب تشکیل شده در طول فرآیند EDC انجام شد .نمودار پراش اشعه ایکس از بالای لایه رسوب داده شده از نمونه های مختلف پردازش شده است.

۲- تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس (XRD)

طیف XRD برای نمونه تحقیقاتی شکل ۴ و در قسمت (A-B-C) نشان داده شده است. پیک‌های اشعه ایکس به ترتیب در زوایای (۴۰-۴۳-۴۴-۴۵-۵۰-۶۵-۷۰-۸۳) شکل گرفته شده است که در بخش A آنالیز آن را میتوان مشاهده کرد. ۴ عنصر در آنالیز پراش اشعه ایکس رویت شد که قله گسترده و شدید آن از ۴۴ درجه تا ۴۶ درجه را می توان مشاهده کرد.



شکل ۴) آنالیز XRD، A) آنالیز کل از ترکیب عناصر شیمیایی B) ساختار کروم در پراش اشعه ایکس C) ساختار کاربید کروم

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.20.3]

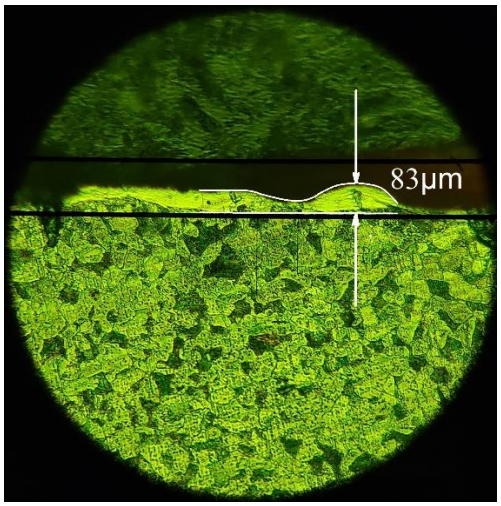
نمای کلی شکل آنالیز پراش اشعه ایکس در قسمت A از شکل ۴ مشخص شده است. که از مابین ۴ عنصر، نشان می دهد تشکیل کریستال کروم داده است که در یک پیک بلند در شکل B مشخص شده است. یک ساختار شیمیایی دیگر از دسته کاربید کروم با ساختار (Cr7C3) در پوشش ظاهر شده است. این ساختار سختی و مقاومت سایشی بالایی دارد و یک شانه کوچک از قله در ۴۰، ۴۳، ۴۵، ۵۰، ۷۰، ۸۰ درجه ظاهر می شود که نشان دهنده ظاهر احتمالی Cr7C3 در قست C از شکل ۴ است. ساختار شیمیایی Cr7C3 بدلیل وجود مایع دی الکتریک در کانال پلاسما است و ساختار شیمیایی کاربیدی از کربن موجود در دی الکتریک نفت سفید تشکیل می‌شود. یک قله کوچک در حدود ۴۵ درجه پیدا شده است که نشان دهنده وجود Fe است. پیک های Cr و Cu علاوه بر پیک های Fe به وضوح قابل مشاهده هستند، این نشان می دهد که Cu وCr در حالت عنصری و همچنین به صورت کاربید از ابزار منتقل می شود و روی سطح کار رسوب می کند و لایه سختی از کامپوزیت را تشکیل می دهد. پیک های کروم و مس و آهن شکل‌های پراش اشعه ایکس را نشان می دهند، که در آن شدت پراکندگی به عنوان تابعی از θ۲ (زاویه پراکندگی) رسم می شود.

در مطالعه حاضر ریزسختی در هر نسبت اختلاط اندازه گیری شد که در مقایسه با فولاد ضد زنگ معمولی بالاتر بود. از این بین، حداکثر مقدار ۱۲۸۴ ویکرز در سختی گزارش شد که حضور فاز کاربید سخت کروم حداکثر بود که منجر به ریزسختی بالاتر در پوشش شد. جدول (۲) عدد سختی و همچنین موقعیت سختی در مناطق مختلف پوشش را نشان می‌دهد. گزارش سختی در این تحقیق با بار اعمالی ۱۰ گرم و زمان ۲۰ ثانیه انجام گردید.

جدول ۲) موقعیت و عدد سختی سنجی

موقعیت سختی	عدد سختی راکول HRC	عدد سختی ویکرز HV
سختی در منطقه پوشش	۷۲/۵	۱۲۸۴
	۷۰/۹	۱۱۵۹
	۶۹/۶	۱۰۵۱
فصل مشترک	۶۱/۸	۷۴۱
	۶۰/۹	۷۱۳
زیر لایه	۲۵/۵	۲۶۹
	۱۵/۳	۲۱۹
	۱۳/۸	۲۱۲

آزمایش میکروسختی سنجی یکی از روش‌های سختی سنجی است که به طور گسترده ای، مورد استفاده قرار می گیرد. در روش میکرو ویکرز از فرورونده (Indenter) الماسه‌ای که شکل آن به صورت هرمی مربع القاعده با زاویه راس ۱۳۶° استفاده می‌شود. الماسه با یک نیروی مشخص بر سطح نمونه نفوذ می‌کند و اثری به شکل مربع مستطیل که دارای قطرهای d1 و d2 می‌باشد به وجود می‌آورد. قطرهای d1و d2 در آزمایش سختی سنجی گرفته شده به ترتیب ۸/۲ تا ۸/٤ میکرون اندازه گیری شده است. در شکل (۵) تصویر نمونه‌ها را در آزمایش متاگرافی می‌توانید مشاهده کنید. ضخامت لایه ها از ۳۰ تا ۸۳ میکرون متغیر بوده است. عدد سختی میکرو ویکرز و یا ویکرز (HV) از تقسیم نیرو به سطح اثر (F/A) به دست می‌آید که نیرو بر حسب کیلوگرم‌نیرو و سطح بر حسب میلی‌متر مربع محاسبه می‌شود.



شکل ۵) متالوگرافی تصویر سطح پوشش دهی تخلیه الکتریکی

۳- نتیجه گیری

این تحقیق در مورد پوشش های سرامیکی کروم تشکیل شده در فرآیند EDC بر روی بسترهای فولاد ضد زنگ بر پارامترهای فرآیند کلیدی جریان و پالس روشنایی متمرکز شده است. داده‌های پراش اشعه ایکس سختی متغیر این پوشش‌های نانوساختار را نشان می‌دهند که در درجه اول به تغییر محتوای کروم و مس در پوشش‌های توسعه یافته مربوط می‌شود که حاوی مخلوط‌های پیچیده همراه با Cr7C3 است.

- مشاهدات مورفولوژی سطح نشان داد که پوشش، سلسله مراتبی با تعداد زیادی برآمدگی با ارتفاع های مختلف به دست آمد که نسبت مناسبی از کاربیدهای سخت را نشان می‌دهد.
- آزمایش ریزسختی نشان داد که سختی فولاد ضد زنگ پوشش دهی شده با الکترود سبز با ترکیب کروم و مس در مقایسه با فولاد ضد زنگ معمولی بیشتر شده و سختی این عدد به ۱۲۸۴ ویکرز بالا رفته است.

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان این مقاله تایید می نمایند که این مقاله تماما حاصل دستاورد های تحقیقی این گروه می باشد و درصورت استفاده از دستاورد های دیگران مرجع استفاده از آن ذکر شده است و

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.20.3]

همینطور این مقاله فقط برای مجله مهندسی مکانیک مدرس ارسال شده است.

تعارض منافع: این مقاله حاصل استخراج از موضوع تحقیقاتی دوره تخصصی دکتری جناب آقای مهندس سعید اسکوئیان با موضوع " مطالعه امکان سنجي ایجاد پوشش کروم و مس روي فولاد ضد زنگ با استفاده از روش پوشش دهی تخلیه الکتریکی " می باشد.

منابع مالی: هزینه های پژوهش بر عهده دانشگاه سمنان بوده است.

مراجع

1- Descoeudres A. Characterization of electrical discharge machining plasmas. EPFL; 2006.

2- Sidhom H, Ghanem F, Amadou T, Gonzalez G, Braham C. Effect of electro discharge machining (EDM) on the AISI316L SS white layer microstructure and corrosion resistance. The international journal of advanced manufacturing technology. 2013 Mar;65(1):141-53.

3- Wang ZL, Fang Y, Wu PN, Zhao WS, Cheng K. Surface modification process by electrical discharge machining with a Ti powder green compact electrode. Journal of Materials Processing Technology. 2002 Oct 11;129(1-3):139-42.

4- Tyagi R, Das AK, Mandal A. Electrical discharge coating using WS2 and Cu powder mixture for solid lubrication and enhanced tribological performance. Tribology International. 2018 Apr 1;120:80-92.

5- Ueno M, Fujita N, Kimura Y, Nakata N. Evaluation of coating and wear characteristics of roll surface coated with TiC by electrical discharge coating. Journal of Materials Processing Technology. 2016 Oct 1;236:9-15.

6- Black JT, Kohser RA. DeGarmo's materials and processes in manufacturing. John Wiley & Sons; 2020.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.20.3]