مجله مهندسی مکانیک مدرس، فروردین 1397، دوره 18، شماره 01، ص‌ص 69-74

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

افزایش سختی سطح آلومینیوم خالص با استفاده از آلیاژمونل 400 به‌وسیله فرآیند آلیاژسازی تخلیه الکتریکی (EDA)

هادی عیوضی باقری[1]، حمید گرجی[2*]، محمدرضا شبگرد[3]، سلمان نوروزی[4]

1- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

4- دانشیار، مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل

* بابل، صندوق‌پستی 71167- 47148, hamidgorji@nit.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 04 مهر 1396

پذیرش: 13 آذر 1396

ارائه در سایت: 08 دی 1396

کلید واژگان:

مونل

آلومینیوم

تخلیه الکتریکی

میکروسختی

چکیده

مهندسی سطح در بسیاری از صنایع تولید نقش مهمی در بهبود عملکرد محصولات و افزایش زمان کارکرد قطعات دارد. آلومینیوم خالص دارای رسانایی الکتریکی بسیار بالا، مقاومت خوردگی خوب و نسبت استحکام به وزن مناسبی می‌باشد، با این وجود به‌علت سختی و مقاومت به سایش بسیار کم کاربرد آن محدود شده است. لذا در این تحقیق امکان بهبود خواص سطحی آلومینیوم خالص با استفاده از عناصر مس و نیکل به‌عنوان عناصر آلیاژساز با استفاده از فرآیند تخلیه الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است. در این فرآیند زمان روشنی پالس و شدت جریان الکتریکی به‌عنوان پارامترهای ورودی و مقادیر سختی سطح ایجاد شده، بافت و زبری سطح لایه‌ی آلیاژی به‌عنوان پارامترهای خروجی در نظر گرفته شده‌اند. براساس نتایج میکروسختی به‌دست آمده در این روش به‌طور میانگین سختی سطح قطعات آلومینیومی بیش از 8 برابر شده و در برخی از نمونه‌ها از مقدار اولیه 38.5 تا مقدار 450 ویکرز رسیده است که براساس نتایج آنالیز (XRD) تشکیل ترکیبات بین فلزی Al_3Ni_2 ,ALCu و کاربید آلومینیوم Al_4C_3 در سطح عامل افزایش مقدار سختی سطح می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان روشنی پالس مقادیر سختی سطح افزایش یافته و مقدار زبری سطح نیز بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش شدت جریان الکتریکی تغییرات زبری سطح روندی صعودی دارد.

Increasing the surface hardness of pure aluminum using Monel 400 by Electrical Discharge Alloying (EDA)

Hadi Eivazi bagheri[1], Hamid Gorji[1*], Mohammad Reza Shabgard[2], Salman Nourouzi[1]

1-Department of Mechanical Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
2-Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*P.O.B. 47148 -71167, Babol, Iran, hamidgorji@nit.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 26 September 2017
Accepted 04 December 2017
Available Online 29 December 2017

Keywords:
Monel
Aluminum
Electrical Discharge
Microhardness

ABSTRACT

Surface engineering in many manufacturing industries plays an important role in improving product performance and increasing the operating time of parts. Pure aluminum has a very high electrical conductivity, good corrosion resistance and strength to weight ratio. However, due to very low hardness and wear resistance, its application is limited. Therefore, this paper is studied may improve the surface properties of pure aluminum using copper and nickel as alloying elements using electric discharge process. The pulse on time and pulse current as input parameters and surface hardness, alloyed layer texture and surface roughness as output parameters have been considered. According to the microhardness testing results, in this alloying method, the average hardness of the aluminum parts is about more than 8 times and in some parts of the 38.5 Vickers reached up to 450 Vickers, Based on the results of XRD analysis, the formation of intermetallic compounds Al_3Ni_2, ALCu, and Al_4C_3 increased surface hardness. The results show that by increasing the pulse on time surface hardness increased and surface roughness becomes greater. Also, Increasing pulse current the surface roughness increasing trend.

1-مقدمه

آلومینیوم و آلیاژهای آن به دلیل قابلیت‌های آن‌ها دارای کاربرد وسیعی در صنایع اتومبیل و هوافضا می‌باشند. از جمله ویژگی‌های آلومینیوم می‌توان شکل‌پذیری خوب، رسانایی الکتریکی و حرارتی بالا و وزن کم را نام برد. آلومینیوم به راحتی قابلیت فورج، نورد و اکستروژن دارد. اما در مقایسه با فولاد، بارزترین نقاط ضعف آلومینیوم، سختی کم، مقاومت به سایش ضعیف و خواص مکانیکی پایین می‌باشد. لذا با توجه به خواص تربیولوژیکی و مکانیکی پایین، قابلیت استفاده از آلیاژهای آلومینیوم علی‌رغم مزایای بیان شده، دچار محدودیت‌هایی می‌باشد. اما یک خاصیت بارز آلومینیوم تشکیل ترکیبات بین فلزی با سایر عناصر مانند: مس، تیتانیوم، کروم، کبالت، نیکل و آهن می‌باشد،

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

H. Eivazi bagheri, H. Gorji, M. R. Shabgard, S. Nourouzi, Increasing the surface hardness of pure aluminum using Monel 400 by Electrical Discharge Alloying (EDA), *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 18, No. 01, pp. 69-74, 2018 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1397.18.1.23.0]

که در پژوهش‌های اخیر ایجاد ترکیبات بین‌فلزی آلومینیوم با این عناصر مورد توجه می‌باشد. با توجه به این‌که شکست و فرسایش اکثر قطعات مهندسی از جمله آلومینیوم به‌دلیل شدت تنش‌های مکانیکی و محیطی از سطوح آن‌ها آغاز می‌شود، مهندسی سطح روشی است که با ایجاد تغییر در خواص سطحی قطعات، با افزایش دامنه کاربرد، زمان تخریب آن‌ها را نیز به تأخیر می‌اندازد [4-1].

امروزه روش‌های موجود جهت افزایش خواص مکانیکی، فیزیکی و تریبولوژیکی سطح قطعات مانند مقاومت به سایش، خوردگی، اکسیداسیون و غیره شامل روش‌های کربن‌دهی، نیتروژن‌دهی، کروم‌دهی، تکنیک رسوب‌دهی فیزیکی و شیمیایی بخار و پلاسما می‌باشند که اکثر این فرآیندها، فرآیندهای ثانویه محسوب می‌شوند و انجام آن‌ها نیازمند صرف زمان و هزینه می‌باشد. در مورد قطعاتی که با فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی[1] تولید می‌شوند برای انجام عملیات سخت‌کاری و پوشش‌دهی ابتدا بایستی لایه دوباره منجمد شده سطحی (که دارای خواص مکانیکی پایینی است) برداشته شده و سپس عملیات پوشش ثانویه بر روی سطح انجام شود. اما راه‌حل جایگزین پیش بینی بهینه‌سازی سطح یا آلیاژسازی سطحی همزمان با ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی است که نیاز به عملیات ثانویه برای انجام عملیات سطحی را رفع می‌کند. این روش دارای انعطاف‌پذیری بسیار زیاد و هزینه پایین است. به‌طوری‌که نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهند مقاومت به سایش قطعات بهبود یافته سطحی یا آلیاژ سطحی شده به روش آلیاژسازی تخلیه الکتریکی[2] سه برابر قطعاتی است که لایه موردنظر را ندارند [5].

لذا با این‌که فرآیند تخلیه الکتریکی یک فرآیند براده‌برداری است اما سعی می‌شود از این روش برای عملیات سطحی نیز استفاده شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که بالاترین لایه‌ی سطحی بعد از عملیات ماشین‌کاری یک لایه خنک شده با سرعت بالا است، که عمق این لایه به انرژی و مدت زمان پالس‌ها بستگی دارد. در زیر این لایه، یک لایه‌ی متأثر از ماشین‌کاری وجود دارد که ترکیب شیمیایی آن تغییر یافته و تغییرات فازی در آن دیده می‌شود [6]. لذا ترکیب لایه‌ی دوباره منجمد شده به‌وسیله مواد موجود در الکترود یا مایع دی‌الکتریک یک روش موثر برای بهبود کیفیت سطح می‌باشد. این نوع آلیاژسازی سطحی در لایه دوباره منجمد شده با انتخاب مواد مناسب و با اهداف افزایش سختی سطح، افزایش مقاومت به سایش، افزایش مقاومت به خوردگی انجام می‌شود [7]

اکثر تحقیقات انجام شده در مورد بهبود خواص سطحی آلومینیوم با استفاده از روش لیزر انجام شده است. از جمله می‌توان تحقیق ژیرو و همکاران [8] را بیان نمود. در تحقیق آن‌ها آلیاژسازی سطحی آلومینیوم خالص با استفاده از پودر مس، منگنز و منیزیم به ترتیب با نسبت 1:1:2 با هدف افزایش سختی سطح به روش لیزر مورد مطالعه قرار گرفته است. براساس نتایج این تحقیق حداکثر عمق به‌دست آمده از سطح آلیاژسازی شده 0.5 میلی‌متر و مقدار سختی سطح در بیشترین مقدار از 30 ویکرز به 430 ویکرز افزایش یافته است. ژیرو و همکاران [4] آلیاژسازی سطحی آلومینیم99% را با استفاده از پودر مس به روش لیزر مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که سختی سطح پس از آلیاژسازی سطحی از مقدار اولیه 60 ویکرز تا مقدار 156 ویکرز افزایش یافته است. مابهالی و همکاران [9] آلیاژسازی سطحی آلومینیوم AA1200 با استفاده از پودر نیکل به‌علاوه کاربید سیلیسیوم به روش لیزر را با هدف تولید لایه کامپوزیت سطحی[3] و تشکیل ترکیب بین فلزی آلومینیوم– نیکل مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج ارائه شده سختی از مقدار اولیه 24 ویکرز در بیشترین مقدار به 120 ویکرز در سطح رسیده است. با توجه به این‌که بهبود کیفیت سطح با استفاده فرآیند تخلیه الکتریکی از جدیدترین زمینه‌های پژوهشی در این حوزه از مهندسی ساخت و تولید می‌باشد و تحقیقات کمی در این خصوص انجام شده به‌طوری‌که معدود پژوهش‌های انجام شده معطوف به مطالعه بر روی فولادهای ابزار می‌باشد. سیمائو و همکارانش [5] آلیاژسازی سطحی فولاد ابزار H13 با استفاده از الکترود کامپوزیتی تنگستن کاربید– کبالت در داخل سیال هیدروکربنی مورد آزمایش قرار داده‌اند. براساس نتایج به‌دست آمده سختی سطح پس از انجام فرآیند آلیاژسازی نسبت به سختی اولیه (640HK) افزایش یافته و به مقدار 1319HK رسیده است. همچنین میزان ترک‌های سطحی نیز در سطح قطعه‌کار کاهش یافته است. کومار و همکارانش [10] بررسی مقایسه ای آلیاژسازی سطحی قطعات فولادهای ابزار گرم کار و سردکار[4] از طریق افزودن پودر تنگستن به مایع دی‌الکتریک را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در تحقیق آن‌ها برای طراحی آزمایش‌ها از روش تاگوچی استفاده شده و پارامترهای زمان روشنی و خاموشی پالس و شدت جریان به‌عنوان پارامترهای ورودی و پارامتر میکروسختی سطح به‌عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته شده اند. نتایج آنالیز اشعه ایکس[5] نشان از نفوذ پودر تنگستن به همراه کربن به سطح قطعات آلیاژسازی شده و افزایش سختی سطح تا 100% را برای هر سه نوع جنس فولاد دارد. براساس نتایج این تحقیق تنگستن کاربید در سطح به وجود آمده که نشان از تشکیل آن در داخل کانال پلاسما می‌باشد. جنیدمیر و همکارانش [11] مدل‌سازی زبری سطح در فرآیند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی فولاد ابزار گرم کار AISI H11 با روش افزودن پودر (آلومینیوم) به مایع دی الکتریک مورد بررسی قرار داده‌اند. در تحقیق آن‌ها پارامترهای زمان روشنی پالس، شدت جریان و غلظت پودرآلومینیوم افزوده شده به مایع دی الکتریک به‌عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده و از روش رویه پاسخ جهت بهینه‌سازی پارامترها استفاده شده است. براساس نتایج این تحقیق، روش رویه پاسخ یک روش مناسب برای مدل‌سازی فرآیند تخلیه الکتریکی بوده و از بین پارامترهای ورودی انتخاب شده، پارامترهای شدت جریان و غلظت پودر مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر روی زبری سطح قطعه‌کار می‌باشند. خدکار و همکارانش [12] آلیاژسازی و بهبود کیفیت سطح فولاد ابزار سردکار OHNS را با استفاده از افزودن پودر تنگستن به داخل مایع دی‌الکتریک مورد آزمایش قرار دادند. شدت جریان، زمان روشنی پالس و زمان خاموشی پالس به‌عنوان پارامترهای ورودی و سختی سطح به‌عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته شده است. نتایج سختی‌سنجی حکایت از افزایش سختی سطح قطعه‌کار از مقدار اولیه 506 ویکرز به مقدار 1090 ویکرز را دارد.

بررسی تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی در زمینه بهبود و افزایش خواص سطحی آلومینیوم و آلیاژهای آن به روش تخلیه الکتریکی و با استفاده از عناصر مس یا نیکل به روش افزودن پودر به داخل مایع دی‌الکتریک و یا استفاده از الکترود متالورژی پودر انجام نشده است. لذا این پژوهش قصد دارد بهبود خواص سطحی آلومینیوم خالص را از طریق آلیاژسازی سطحی با استفاده از عناصر مس و نیکل به‌طور همزمان (آلیاژ دوفازی مونل 400) به روش تخلیه الکتریکی با در نظر گرفتن پارامترهای

[1] EDM
[2] Electrical Discharge Alloying (EDA)

[3] Metal Matrix Composite (MMC)
[4] AISI D2 AISI H13, OHNS
[5] XRD

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1397.18.1.23.0]

ورودی زمان روشنی پالس و شدت جریان الکتریکی بر روی مقادیر سختی و زبری سطح آلومینیوم خالص مورد بررسی قرار دهد.

2- مواد و روش تست‌های تجربی

در این پژوهش جهت بهبود خواص سطحی آلومینیوم خالص (99%) به‌طور همزمان با استفاده از عناصر مس و نیکل، از الکترود آلیاژساز مونل 400 که آلیاژی دوفازی از مس و نیکل می‌باشد استفاده شده است. قبل از شروع فرآیند جهت اطمینان از ترکیب شیمیایی قطعه‌کار و الکترود آلیاژساز، آنالیز نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی نشری مشخص گردیده است. جدول 1 ترکیب شیمیایی قطعه‌کار مورد استفاده (آلومینیوم خالص) و جدول 2 ترکیب شیمیایی الکترود آلیاژساز (مونل 400) را نشان می‌دهند.

جهت آماده‌سازی قطعه‌کار آلومینیومی بر روی میلگرد تهیه شده عملیات برش اولیه، تراش‌کاری و سنگ‌زنی انجام شد و تعداد 16 عدد نمونه استوانه‌ای آلومینیومی با قطر 12mm و ارتفاع 14mm میلی‌متر آماده گردید. همچنین برای آماده‌سازی 16 عدد الکترود مونل 400 نیز عملیات برش‌کاری، ماشین‌کاری و پرداخت‌کاری انجام گردید و الکترودهای استوانه شکل با قطر 18mm و ارتفاع 20mm آماده شدند. "شکل 1" قطعه‌کار آلومینیومی و الکترود مونل را نشان می‌دهد.

در این آزمایش‌ها، زمان روشن پالس و شدت جریان الکتریکی هریک در چهار سطح به‌عنوان متغیرهای ورودی مستقل در نظر گرفته شدند که براساس طراحی آزمایش کامل، تعداد 16 آزمایش انجام شد. با توجه به این‌که این پژوهش با هدف بهبود خواص سطحی آلومینیوم انجام شده است لذا جهت کاهش فرسایش قطعه‌کار آلومینیومی و افزایش فرسایش الکترود آلیاژساز، قطب منفی به مونل 400 و قطب مثبت به آلومینیوم (قطعه‌کار) اختصاص داده شده است. تمامی نمونه‌ها توسط دستگاه اسپارک شارمیلز[1] در

جدول 1 ترکیب شیمیایی آلومینیوم خالص (درصد وزنی)

Table 1 Chemical composition of pure Aluminum ((%wt))

Al	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr
99.80	0.003	0.118	0.006	0.04	0.003	0.004

جدول 2 ترکیب شیمیایی مونل 400 (درصد وزنی)

Table 2 Chemical composition of Monel 400 ((%wt))

Ni	Cu	Fe	Cr	Al	Zr	Ti
66.64	28.09	1.65	0.095	0.14	0.035	0.032

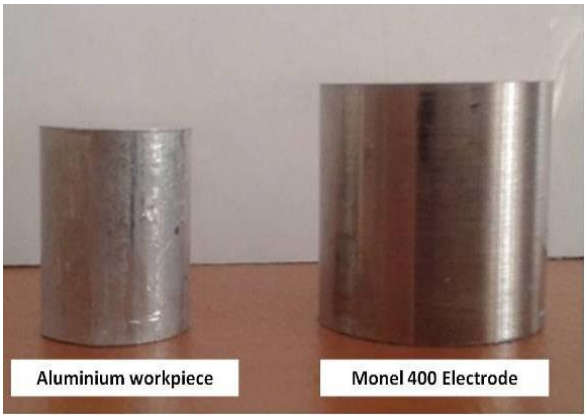

Fig. 1 Monel Electrode and workpiece

شکل 1 الکترود مونل و قطعه کار آلومینیومی

[1] CNC-EDM

حالت ایزوپالس به مدت 20 دقیقه تحت عملیات تخلیه الکتریکی قرار گرفتند. جهت ایجاد شرایط یکسان شستشو در تمام آزمایش‌ها، از روش شستشوی غوطه‌وری استفاده گردیده است. "شکل 2" نحوه‌ی بستن الکترودها قبل از شروع عملیات آلیاژسازی تخلیه الکتریکی و جدول 3 پارامترهای ورودی و شرایط انجام آزمایش ها رانشان می‌دهند.

پس از فرآیند آلیاژسازی به روش تخلیه الکتریکی، زبری سطح قطعات آلومینیومی با استفاده از دستگاه زبری‌سنج دیجیتالی اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرارگرفت. "شکل 3" تصویر دستگاه اندازه‌گیری و روش کار را نشان می‌دهد.

Fig. 2 Setting the electrode to electrical discharge process

شکل 2 نحوه‌ی بستن الکترودها قبل از شروع عملیات تخلیه الکتریکی

جدول 3 پارامترهای ورودی و شرایط انجام آزمایش ها

Table 3 Input parameters and Tests condition

سطوح تغییرات	متغیرهای ورودی
نفت سفید	مایع دی الکتریک
50,100,200,400	زمان روشنی پالس(µs)
160	ولتاژ (V)
70	ولتاژ مرجع (V)
12,16,24,32	شدت جریان(A)
-	قطبیت الکترود مونل
800	زمان خاموشی پالس(µs)

Fig. 3 Surface roughness Measurement after discharge operations

شکل 3 اندازه‌گیری زبری سطح پس از عملیات تخلیه الکتریکی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1397.18.1.23.0]

پس از زبری‌سنجی جهت مطالعه‌ی سختی سطح و تصویربرداری میکروسکوپی، نمونه‌ها مانت‌گیری شده و پس از انجام عملیات متالوگرافی از مقطع جانبی و پولیش نهایی، عملیات میکروسختی‌سنجی توسط دستگاه المپیوس (LM700) از لایه سطحی ایجاد شده در نزدیک‌ترین نقاط به سطح انجام شد. تصاویر میکروسکپی از سطح آلیاژسازی شده توسط میکروسکوپ الکترونی[1] تهیه گردید. همچنین جهت تعیین فازهای تشکیل شده در سطح، از دستگاه اشعه ایکس زیمنس (D5000) استفاده شده است.

3- نتایج و بحث

در این تحقیق پارامترهای ورودی مورد مطالعه زمان روشنی پالس (T_{on})، شدت جریان الکتریکی (I) می‌باشند، در ادامه تأثیر هریک از آن‌ها بر روی پارامترهای خروجی مذکور به طور جداگانه بررسی خواهد شد.

3-1- تأثیر شدت جریان الکتریکی و زمان روشنی پالس بر روی سختی سطح ایجاد شده

"شکل‌های 4 و 5" تأثیر مقدار زمان روشنی پالس بر روی مقدار سختی سطح قطعه‌کار آلومینیومی بعد از عملیات تخلیه الکتریکی توسط الکترود مونل 400 را نشان می‌دهند. همچنین در "شکل 6" تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع جانبی لایه‌ی بهبود یافته سطحی نشان داده شده است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود با افزایش زمان روشنی پالس، مقادیر سختی در سطح قطعه‌کار بسیار افزایش یافته و با توجه به سختی اولیه قطعات آلومینیومی 38.5 ویکرز مقدار سختی سطح به‌طور متوسط بیش از 8 برابر شده است. مکانیزم بهبود خواص سطح در این روش افزایش سختی از طریق تشکیل ترکیبات بین فلزی بین فلز زمینه و عناصر آلیاژساز، تشکیل کاربید و سخت شدن در اثر آلیاژسازی محلول جامد می‌باشد. به‌طور کلی مکانیزم فرآیند بهبود خواص سطحی یا آلیاژسازی سطحی به روش تخلیه الکتریکی را بدین صورت می‌توان بیان نمود که بعد از تشکیل کانال پلاسما و انجام تخلیه الکتریکی، پدیده ذوب و تبخیر و همچنین پدیدهٔ جوشش حجمی[2] در محل اتصال کانال پلاسما به الکترودها حادث می‌گردد، که البته میزان ذوب و تبخیر قطب منفی بسیار بیشتر از قطب مثبت خواهد بود. ذوب و تبخیر الکترود آلیاژساز موجب می شود، در بستری مناسب به لحاظ دما و فشار و در اثر پدیده نفوذ اتمی عناصر موجود در ترکیب شیمیایی الکترود ابتدا وارد لایه‌ی دوباره منجمد شده گشته و سپس به لایه‌های سطحی قطعه‌کار نفوذ می‌کنند و با تشکیل ترکیب با فاز زمینه، موجب آلیاژسازی در سطح نمونه ها

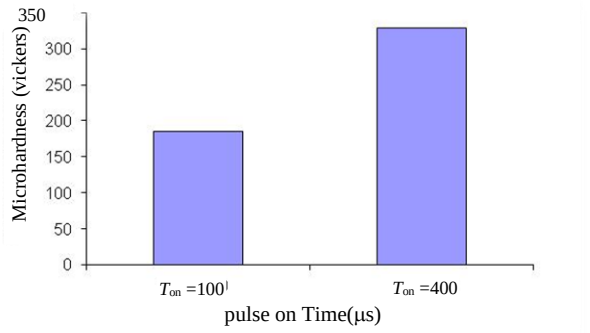

Fig. 4 Effect of pulse on time on the surface hardness (I=16A)

شکل 4 تأثیر زمان روشنی پالس بر روی سختی سطح قطعه کار (I=16A)

[1] Cam Scan MV23003

[2] Bulk boiling

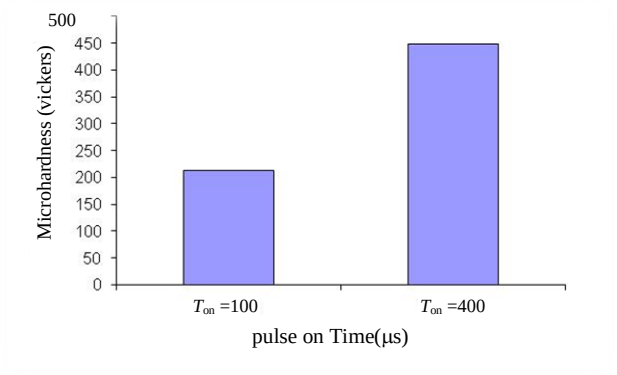

Fig. 5 Effect of pulse on time on the surface hardness (I=24A)

شکل 5 تأثیر زمان روشنی پالس بر روی سختی سطح قطعه کار (I=24A)

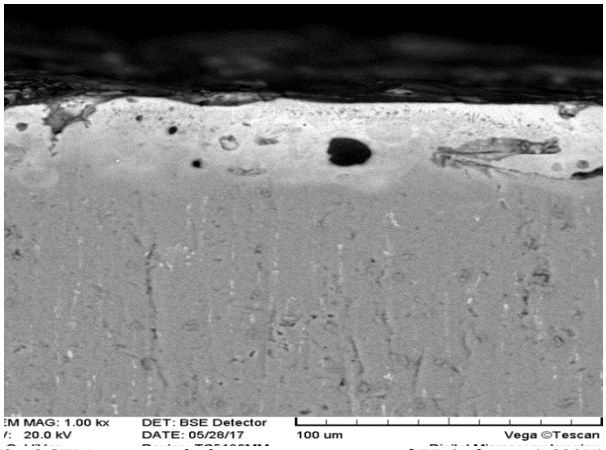

Fig. 6 SEM micrograph showing cross-section of EDAed piece(1000X)

شکل 6 تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع جانبی سطح آلیاژسازی شده (1000X) (Ti=400, I=16A)

گردند [14,13]. مطابق نتایج آنالیز اشعه ایکس از سطح قطعه‌ی آلیاژسازی شده (شکل 7)، در اثر مکانیزم این فرآیند، عناصر مس و نیکل از آلیاژ مونل و کربن از طریق مایع دی‌الکتریک وارد سطح قطعه آلومینیومی شده و ترکیبات بین فلزی ALCu, Al_3Ni_2 و کاربید آلومینیوم Al_4C_3 درسطح نمونه تشکیل شده است.

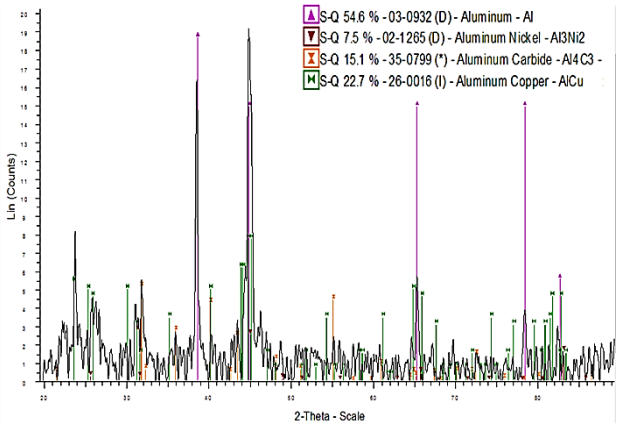

Fig. 7 XRD pattern of the alloyed layer after Electrical discharge Alloying

شکل 7 آنالیز اشعه ایکس از سطح قطعه‌ی آلیاژسازی شده پس از عملیات تخلیه الکتریکی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1397.18.1.23.0]

با توجه به این‌که مطابق رابطه (1) پارامترهای اصلی تأثیرگذار بر روی انرژی جرقه‌ها در فرآیند تخلیه الکتریکی زمان روشنی پالس (T)، شدت جریان ورودی (I) و ولتاژ (U) می‌باشند، لذا با افزایش زمان روشنی پالس تا یک حد بهینه، به‌دلیل افزایش انرژی جرقه‌ها، نرخ ذوب و تبخیر افزایش یافته و میزان ذوب الکترود آلیاژساز بیشتر می‌شود. همچنین با توجه به این‌که یکی از عوامل موثر بر پدیده‌ی نفوذ اتمی پارامتر زمان می‌باشد افزایش زمان روشنی پالس باعث افزایش طول زمان فرآیند تخلیه الکتریکی و در نتیجه افزایش سختی سطح می‌گردد [15,3].

$$\int_0^{T_{on}} U(I_i)I(T_i)dT_i \qquad (1)$$

"شکل‌های 8 و 9" تأثیر مقدار شدت جریان الکتریکی بر روی مقدار سختی سطح قطعه کار آلومینیومی بعد از عملیات تخلیه الکتریکی توسط الکترود مونل 400 را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش شدت جریان الکتریکی، مقادیر سختی سطح افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که مطابق رابطه (1) پارامتر دیگر موثر بر روی انرژی جرقه‌ها شدت جریان ورودی می‌باشد، لذا با افزایش شدت جریان ورودی، افزایش انرژی ورودی باعث افزایش ذوب الکترود آلیاژساز شده و به‌دلیل افزایش دمای سطح، حجم بیشتری از ذرات و عناصر آلیاژساز را وارد چاله‌های مذاب ایجاد شده در سطح آلومینیوم می‌کند. ضمن این‌که پارامتر موثر دیگر بر پدیده‌ی نفوذ اتمی، دما می‌باشد لذا افزایش دمای سطح به‌دلیل افزایش چگالی جریان الکتریکی، باعث افزایش نفوذ عناصر آلیاژساز به سطح و در نتیجه افزایش سختی می‌شود [17,16].

3-2- تأثیر شدت جریان الکتریکی و زمان روشنی پالس بر روی زبری سطح ایجاد شده

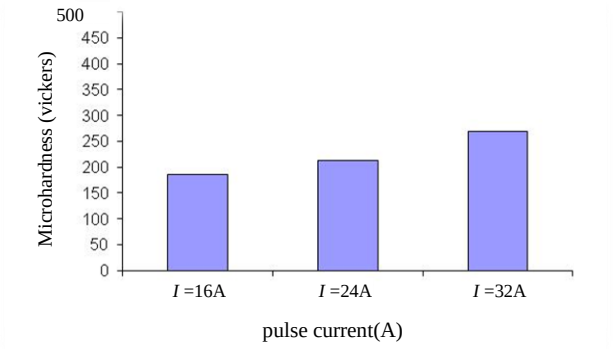

Fig. 8 Effect of pulse current on the surface hardness (T_{on}=100µs)

شکل 8 تأثیر شدت جریان الکتریکی بر روی سختی سطح قطعه‌کار (T_{on}=100µs)

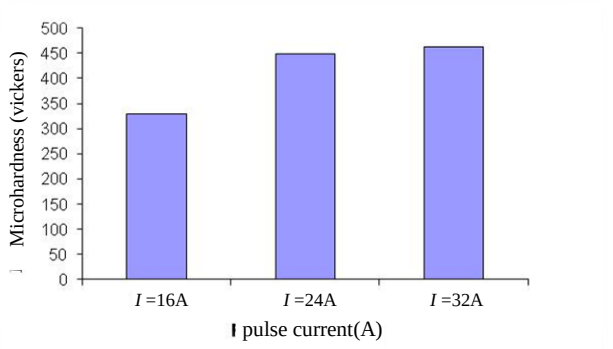

Fig. 9 Effect of pulse current on the surface hardness (T_{on}=400µs)

شکل 9 تأثیر شدت جریان الکتریکی بر روی سختی سطح قطعه‌کار (T_{on}=400µs)

"شکل‌های 10 و 11" به ترتیب تغییرات زبری سطح قطعات بعد از بهبود سختی سطح را نسبت به تغییرات زمان روشنی پالس و شدت جریان نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش زمان روشن پالس و شدت جریان، مقدار زبری میانگین سطح (R_a) افزایش می‌یابد. دلیل این مسأله را این‌طور می‌توان توضیح داد که با افزایش زمان روشنی پالس طول زمان ماشین‌کاری و انرژی جرقه‌ها بیشتر شده و شعاع کانال پلاسما افزایش می‌یابد و در نتیجه چاله‌های مذاب بزرگتری در سطح تشکیل می‌شود که منجربه افزایش زبری سطح می‌گردد. همچنین افزایش شدت جریان الکتریکی، شدت برخورد جرقه‌ها به سطح را افزایش داده و به‌دلیل افزایش عمق متأثر از جرقه‌ها، چاله‌های مذاب عمیق‌تر و بزرگتری در روی سطح به وجود می‌آیند که باعث افزایش زبری سطح قطعه‌کار آلومینیومی می‌گردد [19,18].

4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق بهبود خواص سطحی آلومینوم خالص با استفاده از آلیاژ مونل 400 به روش نوین آلیاژسازی تخلیه الکتریکی با در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای ورودی (زمان روشنی پالس و شدت جریان) بر روی پارامترهای خروجی (تغییرات سختی سطح و مقادیر زبری) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مهم زیر به‌دست آمد:

- با افزایش زمان روشنی پالس، مقادیر سختی ایجاد شده در سطح افزایش می‌یابد.
- استفاده از مونل 400 جهت آلیاژسازی سطحی آلومینیوم خالص به روش تخلیه الکتریکی با ایجاد ترکیبات بین فلزی در سطح، سبب افزایش سختی سطح می گردد.
- با افزایش زمان روشنی پالس و شدت جریان الکتریکی، مقادیر زبری متوسط سطح (Ra) بیشتر می شود.

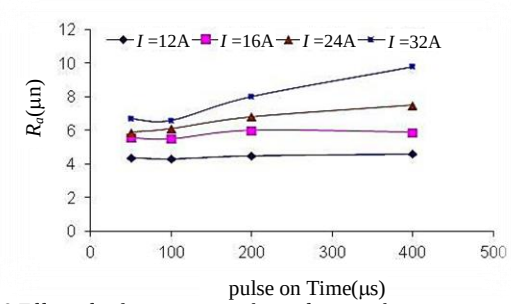

Fig. 10 Effect of pulse on time on the surface roughness

شکل 10 تأثیر زمان روشنی پالس بر روی زبری سطح ایجاد شده

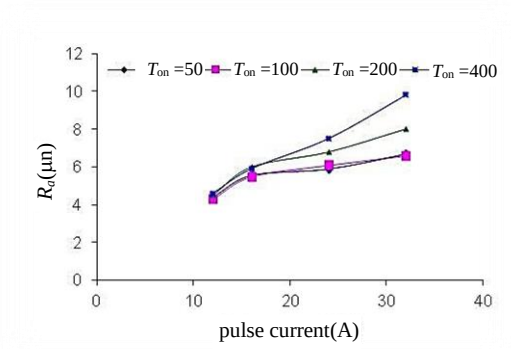

Fig. 11 Effect of pulse current on the surface roughness

شکل 11 تأثیر شدت جریان بر روی زبری سطح ایجاد شده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1397.18.1.23.0]

- شیب نمودارهای زبری به‌دست آمد نشان می‌دهد تأثیر شدت جریان الکتریکی بر روی زبری سطح بیشتر از پارامتر زمان روشنی پالس می‌باشد.
- بیشترین مقدار سختی سطح به‌ازای زمان روشنی پالس 400 میکروثانیه و شدت جریان 32 آمپر حاصل شده است.

5- تقدیر و تشکر

با توجه به این‌که این پژوهش با حمایت مالی سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران انجام شده است، لذا نویسندگان مقاله از آن سازمان به جهت حمایت انجام شده تقدیر و تشکر می‌نمایند.

6- مراجع

[1] Y. Ab. Alwafi, N. Bidin, R. Hussin, M. Shkhawat, D. Gustiono, Michrohardness evaluation of pure aluminum substrate after laser surface alloying with iron and copper, *Journal of Materials Science Engineering*, Vol. B 1, No. 1, pp. 200-205, 2011.

[2] A. P. I. Popoola, S. L. Pityana, T. Fedotova, O. M. Popoola, Quantitative study of the hardness property of laser surface alloyed aluminium AA1200, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 111, No. 1, pp. 335-344, 2011.

[3] T. G. Rambau, A. P. I. Popoola, C. A. Loto, T. Mathebula, M. Theron, Tribological and corrosion characterization of Al/(Stellite- 6+Zirconium) laser alloyed composites, *International Journal of Electrochemical Science*, Vol. 8, No. 1, pp. 5515-5528, 2013.

[4] W. G. Jiru, M. R. Sankar, U. S. Dixit, Surface alloying of aluminum with copper using Co_2 laser**,** *Proceedings of The 5th International and 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference*, India, December 12-14, 2014.

[5] J. Simao, H. G. Lee, D. K. Aspinwall, R. C. Dewes, E. M. Aspinwall, Workpiece surface modification using electrical discharge machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, No. 2, pp. 121-128, 2003.

[6] S. Kumar, R. Singh, T. P. Singh, B. L. Sethi, Surface modification by electrical discharge machining: A review, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, No. 8, pp. 3675-3687, 2009.

[7] Ph. Bleys, J. P. Kruth, B. Lauwers, B. Schacht, Surface and sub-surface quality of steel after EDM, *Advanced Engineering Materials*, Vol. 8, No. 1, pp.15-25, 2006.

[8] W. Jiru, M. R. Sankar, U. S. Dixit, Laser Surface alloying of copper, manganese and magnesium with pure aluminum substrate, *Journal of Materials Engineering and performance*, DOI:10.1007/s1166-016-1922-x, 2016.

[9] L. A. Mabahali, S. L. Pitiyana, N. Sacks, Laser surface alloying of Aluminum with Ni and SiC powders, *Materials and Manufacturing Processes*,Vol. 25, No. 12, pp. 1397-1403, 2010.

[10] S. Kumar, U. Batra, Surface modification of die steel materials by EDM method using tungsten powder-mixed dielectric, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 14, No. 1, pp. 35-40, 2012.

[11] M. J. Mir, Kh. Sheikh, B. Singh, N. Malhotra, Modeling and analysis of machining parameters for surface roughness in powder mixed EDM using RSM approach, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 4, No. 3, pp. 45-52, 2012.

[12] N. K. Khedkar, T. P. Singh, V. S. Jatti, Material migration and surface improvement of OHNS die steel material by EDM method using tungsten powder-mixed dielectric, *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, Vol. 9, No. 1, pp. 161-166, 2014.

[13] Ph. T. Eubank, M. R. Patel, M. A. Barrufet, Theoretical models of the electrical discharge machining process, I. A simple cathode erosion model, *Journal of Applied Physics*, Vol. 66, No. 9, pp. 4095-4103, 1989.

[14] M. R. Shabgard, H. Eivazi Bagheri, A. Afsari, R. Rhamani, The study of the input parameters on the depth of heat affected zone (HAZ) of AISI H13 steel in electrical discharge machining process (EDM), *Journal of New Materials*, Vol. 2, No. 1, pp. 23-34, 2011. (in Persian فارسی)

[15] D. Pradhan, S. C. Jayswal, Behaviour of copper and aluminium electrodes on EDM of EN-8 alloy steel, *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 3, No. 7, pp. 5492-5499, 2011.

[16] A. Descoeudres, *Characterization of Electrical Discharge Machining Plasmas*, PhD Thesis, University of Lausanne, India, 2006.

[17] B. H. Yan, Y. Ch. Lin, F. Y. Huang, Ch. Wang, Surface modification of SKD 61 during EDM with metal powder in dielctric, *Materials Transactions*, Vol. 42, No. 12, pp. 2597-2604, 2011.

[18] H. T. Lee, F. Ch. Hsu, T. Y. Tai, Study of surface integrity using the small area EDM process with a copper-tungesten electrode, *Material Science and Engineering*, Vol. 364, No. 1, pp. 346-356, 2004.

[19] J. P. Davim, *Surface Integrity In Machining*, Springer, pp. 55-56, 2010.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1397.18.1.23.0]