



## مطالعه تجربی اثر امواج التراسونیک بر روی پارامترهای فرایند پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی

مهدی کیانی مجد<sup>۱</sup>، علیرضا حاجی علی محمدی<sup>۲\*</sup>، علیرضا رعیت رکن آبادی<sup>۱</sup>، سپهر گلباز<sup>۳</sup>

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳- فارغ‌التحصیل کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: ahajiali@semnan.ac.ir

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### مقاله پژوهشی

دریافت: ۵ مهر ۱۴۰۲

پذیرش: ۱ آبان ۱۴۰۲

#### کلیدواژگان:

پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی

امواج التراسونیک

نرخ براده برداری

پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی یکی از روش‌هایی است که معمولاً برای از بین بردن اضافه‌های تراشکاری در مقیاس کوچک و میکرونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه تأثیر اعمال امواج التراسونیک روی پارامترهای فرایند پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی بررسی شده است. پارامتر نرخ براده‌برداری در دو حالت با و بدون استفاده از امواج التراسونیک مورد بررسی قرار گرفت. جریان الکتریکی، دمای الکترولیت و توان التراسونیک متغیرهای ورودی هستند و سایر پارامترهای فرایند، ثابت در نظر گرفته شده‌اند. برای انجام آزمایش از الکترولیت، شش لیتر آب و ۲۰ گرم سدیم نیترات در ظرف استیل، ترانسدایوسر التراسونیک با فرکانس ۲۸ کیلوهرتز و قطعه کار از جنس آلیاژ برنج C86300 استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش جریان الکتریکی، نرخ براده برداری در هر دو مورد با و بدون التراسونیک روند افزایشی دارد و پس از اعمال یک جریان مشخص ثابت می‌ماند. در موردی که امواج التراسونیک اعمال شد، نرخ براده برداری در جریان ۲،۷ و ۲ آمپر به ترتیب از ۲۰ تا ۱۰۰ درصد نسبت به حالت بدون امواج التراسونیک افزایش می‌یابد. چگونگی تغییر جریان الکتریکی با افزایش دما از ۲۵ °C تا ۴۰ °C در دو حالت اعمال امواج التراسونیک و بدون امواج التراسونیک بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش دما در هر دو حالت مذکور منجر به افزایش جریان الکتریکی می‌شود. همچنین در هر دمای مشخص میزان افزایش جریان الکتریکی در حالت با اعمال امواج التراسونیک نسبت به حالت بدون التراسونیک مقدار بیشتری است و بیشترین افزایش جریان الکتریکی به میزان ۴۰٪ به ازای دمای ۲۵ °C رخ داده است.

## Experimental study of the effect of ultrasonic waves on the parameters of the electrochemical deburring process

Mehdi KianiMajd<sup>1</sup>, Alireza Hajjalimohammadi<sup>2\*</sup>, Alireza Raiat Roknabadi<sup>1</sup>, Sepehr Golbaz<sup>3</sup>

1- MSc Graduate, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

3- BSc Graduate, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

\* Corresponding Author's Email: ahajiali@semnan.ac.ir

### Article Information

#### Original Research Paper

Received: 27 September 2023

Accepted: 23 October 2023

#### Keywords:

Electrochemical Deburring

Ultrasonic

Material Removal Rate

### Abstract

Electrochemical deburring is a common method for removing small and micron scale turning additives. This study investigated the impact of ultrasonic waves on the parameters of the electrochemical deburring process. The parameter of material removal rate was investigated in two cases with and without the use of ultrasonic waves. Electric current, electrolyte temperature and ultrasonic power were input variables and other process parameters were considered constant. In the experiments, electrolyte of 6 liters of water and 20 grams of sodium nitrate, an ultrasonic transducer with a frequency of 28 kHz and a workpiece made of brass alloy C86300 were used. According to the results, the material removal rate increases with an increase in electric current in both cases without and with ultrasonic and remains constant after applying a specific current. where ultrasonic waves were applied, the material removal rate in the current of 2.7 and 2 amps increases from 20 to 100%, respectively, compared to the case without applying ultrasonic waves. The investigation examined the changes in the electric current as temperature increases from 25 °C to 40 °C in both in both mentioned cases. The results showed that the increase in temperature in both cases leads to an increase in electric current. Also, at any given temperature, the amount of increase in electric current in the state with the application of ultrasonic waves is greater than in the case without ultrasound, and the highest increase in the electric current has occurred by 40% for a temperature of 25 °C.

### Please cite this article using:

Kiani Majd M, Hajjalimohammadi A, Raiat Roknabadi A, Golbaz S. Experimental study of the effect of ultrasonic waves on the parameters of the electrochemical deburring process. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2023 Apr 21;10(2):1-6. doi: 10.22034/IJME.2023.417555.1836 [In Persian]

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

## ۱- مقدمه

تحولات اخیر در تولید دقیق همراه با کوچک‌سازی قطعات، الزامات سختگیرانه‌ای را برای فرآیندهای لبه و سطح ایجاد کرده است. این موضوع نه تنها به سطوح تمیز و بدون نقص نیاز دارد بلکه باید دقت ابعاد تولیدشده قبلی بر روی مواد مهندسی پیشرفته را نیز حفظ کند [۱، ۲]. پلیسه‌نگران‌کننده‌ترین مانع مکانیزه‌کردن فرآیندهای ماشین‌کاری است. پلیسه به برجستگی‌های کوچک، تیز و ناخوشایندی که بر روی یک قطعه پس از فرایند ساخت باقی می‌ماند گفته می‌شود که اثر مهمی در کیفیت و عملکرد قطعات فلزی و امنیت کار دارد؛ بنابراین واضح است که تا حد امکان می‌بایست از به‌وجود آمدن پلیسه جلوگیری کرد؛ اما به هر حال در اکثر روش‌های تولیدی به عنوان یک محصول جانبی پلیسه ایجاد می‌شود و در اغلب موارد به‌وجود آمدن پلیسه اجتناب‌ناپذیر است [۳]. با گذشت سال‌ها، پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی<sup>۱</sup> به عنوان ابزاری برای پلیسه‌گیری، بدون آسیب رساندن به دقت ابعادی معرفی شده است. کاملاً مشخص است که فرایند پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی برای مواد رسانا و در کاربردهای خاص کار می‌کند. تاکنون محققان زیادی روش‌های پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی را مورد مطالعه قرار داده‌اند که یکی از روش‌های نوین، پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی با کمک امواج التراسونیک می‌باشد که این روش باعث افزایش نرخ حذف مواد و افزایش جریان می‌شود که در نتیجه منجر به بهبود کیفیت سطح و افزایش سرعت پلیسه‌گیری می‌شود [۴]. در حمام التراسونیک، اعمال جریان توسط منبع تغذیه به پیزوالکتریک سبب ایجاد امواج فراصوت می‌شود. این امواج در مایع داخل محفظه، حباب یا حفره‌های میکروسکوپی ایجاد می‌کنند. انفجار این حباب‌های ایجاد شده باعث تمیز شدن قطعه کار می‌شود [۵، ۶]. شریستها و همکاران [۷] نتیجه گرفتند، استفاده از امواج التراسونیک باعث کاهش سایش ابزار، افزایش بهره‌وری و کاهش تنش پسماند در قطعه کار می‌شود. وانگ و همکاران [۸] تأثیر امواج التراسونیک بر میکروسوراخکاری با استفاده از روش الکتروشیمیایی را بررسی نموده و نتیجه گرفتند دقت سوراخکاری با استفاده از این روش افزایش پیدا خواهد کرد. ساتیشا پارابهو و همکاران [۹]، پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی Al6082 با الکترولیت NaCl را بررسی نمودند. آن‌ها در این تحقیق از کلرید سدیم (NaCl) به عنوان یک الکترولیت خنثی برای نمونه Al6082 استفاده کردند. شریستها و همکاران [۱۰]، تغییر هدایت الکتریکی منابع مختلف آب با دما و غلظت محلول الکترولیت NaCl را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه‌ی این تحقیق نشان داد که هدایت الکتریکی منابع مختلف آب با افزایش دما و غلظت محلول الکترولیت افزایش می‌یابد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی همیشه سطح آلودگی و خلوص آب را به همراه دارد. افزایش دمای محلول باعث کاهش ویسکوزیته و افزایش تحرک یون‌ها در محلول می‌شود. کادام و میترا [۱۱]، به بررسی جامع پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی پرداخته و نتایج این بررسی نشان داد که جریان در پلیسه‌گیری با افزایش هیدروکسیدهای فلز، کاهش می‌یابد. برای افزایش دقت پلیسه‌گیری، نیترات سدیم به مراتب بهتر از کلرید اسید است. پارابهو و کومار [۱۲]، ابزار با پوشش نیکل برای پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی Al6082 را مورد بررسی نمودند. در این بررسی به این نتایج رسیدند که رسانایی به نوبه خود به ترکیب الکترولیت بستگی دارد که عامل غالب برای انحلال الکتروشیمیایی است. برای ماشینکاری با زمان کوتاهتر (۱۰ ثانیه) پلیسه‌ها به طور کامل برداشته نمی‌شوند، جریان بیشتر در غلظت‌های بالاتر استفاده می‌شود،  $\text{NaNO}_3$  سطح صاف با خطوط کمتر و شعاع تخریب یکنواخت ایجاد می‌کند، پوشش‌های ابزاری در میکروماشینکاری الکتروشیمیایی سرعت حذف مواد، سطح و کیفیت ساییدگی را بهبود بخشیده است و هدایت الکتریکی تنگستن-مس در مقایسه با پوشش‌های نیکل بسیار زیادتر است. وانگ و همکاران [۱۳]، مدل‌سازی ریاضی پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با کاهش حجم معادل الکتروشیمیایی، هدایت الکترولیت و ولتاژ ماشینکاری افزایش پیدا می‌کند و با افزایش فاصله‌ی الکترود با قطعه‌ی کار زمان پلیسه‌گیری افزایش پیدا می‌کند. میترا و همکاران [۱۴]، فرآیند تجربی پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه نشان داد که در پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی، بدون توجه به سختی پلیسه، می‌توان سرعت ماشینکاری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطح ماشینکاری بعد از فرایند پلیسه‌گیری را ثابت نگه‌داشت. افزایش فاصله‌ی اولیه بین الکترودها باعث کاهش چگالی جریان بین آن‌ها و در نتیجه باعث کاهش و تغییر در ارتفاع پلیسه می‌شود. در این مقاله سرعت جریان الکترولیت و غلظت آن به ترتیب ۴/۵ لیتر در دقیقه و ۲۵ گرم در لیتر، فرض شده است، بنابراین رسانایی محیط الکترولیت بدون تغییر باقی مانده و منجر به جریان تخلیه‌ی بالاتر در ولتاژهای بالاتر می‌شود. شکاف اولیه بین الکترود و زمان ماشینکاری با سرعت جریان ثابت و غلظت ثابت الکترولیت (۲۵ گرم در هر لیتر محلول نمک نیترات سدیم)، تأثیرات غالب در کنترل تغییر در ارتفاع پلیسه و سرعت پلیسه‌گیری دارد.

<sup>1</sup> Electro Chemical Deburring

جویی و کیم [۱۵]، ویژگی‌های پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی را از طریق آزمایشات بررسی نمودند. در نتیجه این آزمایشات هر چه چگالی جریان بیشتر به گپ بین الکتروود و قطعه‌ی کار القا شود، سرعت انحلال قطعه‌ی کار مستقل از سختی یا سایر مشخصات فلز بیشتر می‌شود. اگر گپ ماشینکاری در یک فاصله کم حفظ شود ماشینکاری الکتروشیمیایی می‌تواند در ولتاژ کمتری رخ دهد. هنگامی که توان ارائه شده در ۱۰ و ۱۰۰ ولت باشد، شکاف تعادل به ترتیب  $0/3$  و  $3/1$  میلی‌متر می‌شود، زیرا فاصله‌ی تعادل متناسب با مقدار ولتاژ، ارائه شده است. همچنین، هرچه گپ اولیه کمتر باشد، جریان بیشتر خواهد بود زیرا الکتروولیت به عنوان نوعی مقاومت عمل می‌کند، بنابراین فاصله زیاد، مقاومت را افزایش می‌دهد. در پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی، حفظ فاصله بین قطعه‌ی کار و الکتروود سودآور است، اما باید از فاصله بسیار کم، جلوگیری کرد زیرا این امر باعث ایجاد جرقه و اتصال کوتاه می‌شود.

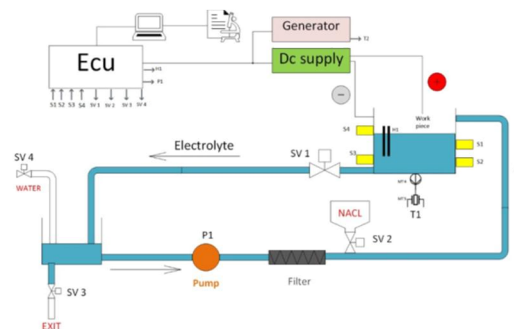
در این مطالعه تأثیر امواج التراسونیک روی پارامتر نرخ براده‌برداری در دو حالت با و بدون استفاده از امواج التراسونیک نشان داده خواهد شد. نتایج ناشی از تغییر جریان بر نرخ براده‌برداری و نیز نحوه تأثیر تغییر دما بر جریان الکتریکی ارائه می‌شود. در پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی مشکلاتی از قبیل سرعت پلیسه‌گیری، جریان الکتریکی و شستشوی پلیسه‌های گیر افتاده در قطعات وجود دارد. علیرغم تلاش برای کم کردن جریان الکتریکی جهت کیفیت سطح، نرخ براده‌برداری نیز کاهش پیدا می‌کند، این مشکل تأثیر منفی بر روی زمان تولید می‌گذارد. برای از بین بردن این مشکل بزرگ در فرایند پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی از روش هیبرید (تلفیق فرآیند الکتروشیمیایی و التراسونیک) استفاده می‌شود که زمان تولید را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. بهبود کیفیت پلیسه‌گیری نیز یکی از خروجی‌های مهم این تحقیق می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

عملکرد فرایند پلیسه‌گیری با روش الکتروشیمیایی با کمک التراسونیک وابسته به پارامترهای متعددی است که هر یک از این پارامترها به سهم خود بر روی نتایج خروجی تأثیرگذار می‌باشند؛ بنابراین، تنها پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر روی اهداف تحقیق یعنی نرخ حذف مواد، زمان تولید و بهبود کیفیت پلیسه‌گیری دارند، مورد بررسی قرار گرفته است. از این‌رو، پارامترهای جریان الکتریکی، دمای الکتروولیت، توان التراسونیک را به عنوان متغیرهای ورودی و سایر پارامترهای فرایند، ثابت در نظر گرفته شده است. پس از تعیین پارامترهایی ورودی و آماده‌سازی نمونه‌ها، اندازه‌ی پلیسه براساس g-value و وزن قطعه قبل از فرایند اندازه‌گیری شد و در نهایت نیز، نتایج با استفاده از میکروسکوپ، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. همچنین به منظور افزایش دقت و جلوگیری از بروز خطا، هر آزمایش چهار مرتبه تکرار شد و از میانگین ارقام بدست آمده برای بیان نتایج، بهره گرفته شده است. در تحقیق حاضر آلیاژ برنج C86300 با قطر خارجی ۵۰ میلی‌متر، قطر داخلی ۱۷ میلی‌متر و با ضخامت  $0/3$  میلی‌متر به عنوان قطعه‌ی کار انتخاب شده است. C86300 یک آلیاژ مس و روی با استحکام و سختی بالا است. استحکام کششی حدود ۷۶۰ مگاپاسکال را ارائه می‌دهد که کمی بهتر از آلیاژ C86200 است. این آلیاژ حاوی ۶۳ درصد مس و ۲۵ درصد روی است و در کاربردهای سنگین با سرعت کم، برتری دارد. در این پژوهش، جهت پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی با کمک التراسونیک توسط منبع تغذیه با ولتاژ ثابت ۱۲٫۷ ولت و با جریان و دمای متغیر انجام شد، همچنان منبع تغذیه التراسونیک با یک ترانس‌دوسر، ولتاژ ۴۰۰ ولت با جریان  $0/6$  آمپر و توان ۲۰۰ وات و آزمایشات، راه اندازی شد. در شکل ۱، تصویر شماتیک دستگاه و چیدمان آزمایشگاهی دستگاه ساخته شده ارائه گردیده است.



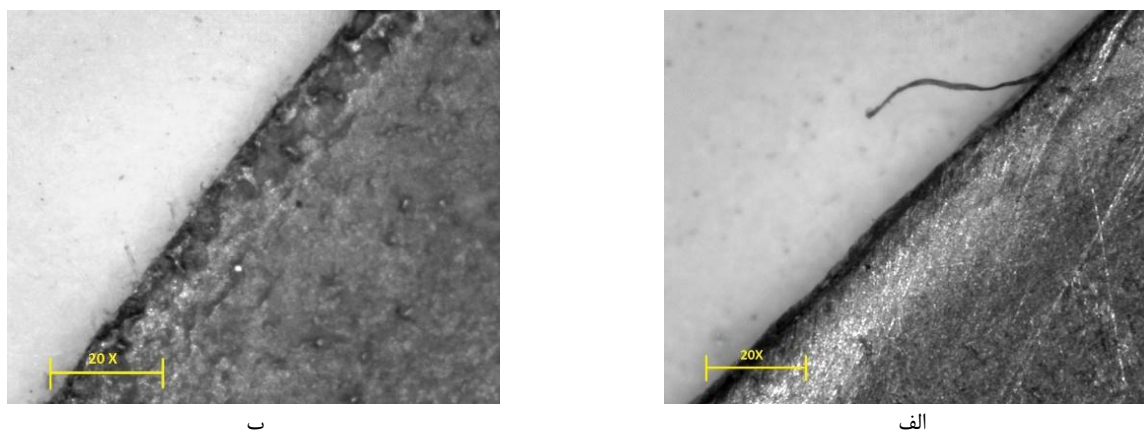
ب



الف

شکل ۱ الف) شماتیک دستگاه طراحی شده، ب) چیدمان آزمایشگاهی

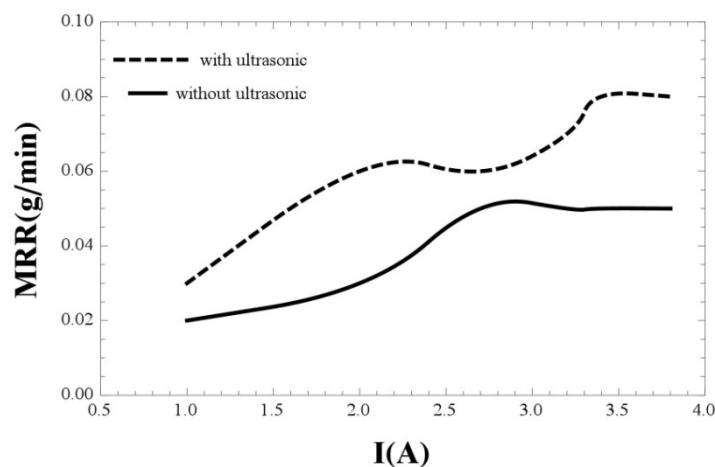
نمونه‌ی قطعه‌ی کار در شکل ۲-الف قطعه قبل از انجام فرایند و شکل ۲-ب قطعه کار پس از انجام فرایند التراسونیک و پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی نشان داده شده است.



شکل ۲ نمایی از قطعه کار (الف) قبل از فرایند، (ب) بعد از فرایند التراسونیک و پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی

### ۳- نتایج و بحث

به منظور بررسی تأثیر پارامترهای پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی با کمک امواج التراسونیک بر روی نمونه‌ها، جریان الکتریکی با کمک امواج التراسونیک افزایش پیدا می‌کند که باعث بالا رفتن نرخ براده‌برداری با کمک امواج التراسونیک می‌گردد. لذا برای قطعات حساس که احتیاج به جریان کمتری دارند کیفیت سطح بهتری نسبت به پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی بدون امواج التراسونیک خواهیم داشت. در شکل ۳ تغییر پارامتر نرخ براده‌برداری با تغییر جریان ارائه شده است که می‌توان مشاهده کرد که با افزایش جریان، نرخ براده‌برداری در هر دو مورد با و بدون امواج التراسونیک روند افزایشی دارد و پس از اعمال یک جریان مشخص، ثابت می‌ماند. مقدار این جریان در حالت بدون التراسونیک و با التراسونیک به ترتیب برابر  $2/7$  و  $3/4$  آمپر می‌باشد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که به ازای یک جریان مشخص، نرخ براده‌برداری در استفاده از امواج التراسونیک نسبت به بدون استفاده از امواج التراسونیک افزایش یافته‌است. میزان درصد این افزایش در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس اطلاعات ارائه شده در این جدول به ازای جریان  $I=2A$  نرخ براده‌برداری دو برابر شده‌است به عبارت دیگر وجود التراسونیک سبب افزایش صد در صدی نرخ براده‌برداری شده است. همچنین می‌توان مشاهده نمود که میزان درصد افزایش به ازای جریان‌های  $I=3/4 A$ ,  $3/8 A$  به میزان  $60\%$  می‌باشد. کمترین درصد افزایش نرخ براده‌برداری در جریان  $I=2/7A$  با میزان  $20\%$  است.

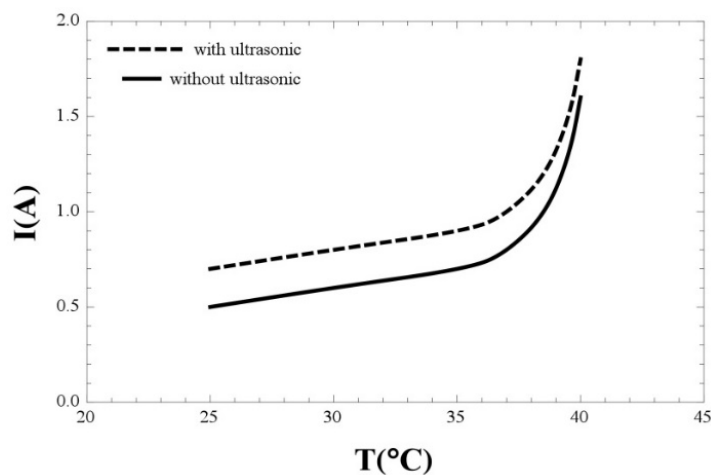


شکل ۳ تغییر پارامتر MRR با تغییر جریان

جدول ۱ میزان افزایش پارامتر MRR به ازای جریان های مختلف بدون و با التراسونیک

$I=3/8$ A	$I=3/4$ A	$I=3/2$ A	$I=2/7$ A	$I=2$ A	$I=1$ A	
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	بدون التراسونیک
۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۳	با التراسونیک
۶۰٪	۶۰٪	۴۰٪	۲۰٪	۱۰۰٪	۵۰٪	درصد افزایش

در شکل ۴ نمودار تغییر جریان الکتریکی با افزایش دما از  $25^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$  در دو حالت با و بدون امواج التراسونیک نمایش داده شده است. شکل نشان می‌دهد که افزایش دما در هر دو مورد با و بدون التراسونیک منجر به افزایش جریان الکتریکی می‌شود. همچنین در هر دمای مشخص میزان افزایش جریان الکتریکی در حالت با امواج التراسونیک نسبت به حالت بدون التراسونیک مقدار بیشتری می‌باشد. میزان این افزایش جریان الکتریکی در حالت با التراسونیک را می‌توان به صورت درصدی در جدول ۲ مشاهده نمود. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین افزایش جریان الکتریکی به میزان ۴۰٪ به ازای دمای  $40^{\circ}\text{C}$  رخ داده است.



شکل ۴ تغییر جریان براساس تغییر دما

جدول ۲ میزان افزایش جریان الکتریکی به ازای دماهای مختلف بدون و با التراسونیک

$T=40^{\circ}\text{C}$	$T=39.5^{\circ}\text{C}$	$T=38.5^{\circ}\text{C}$	$T=37^{\circ}\text{C}$	$T=35^{\circ}\text{C}$	$T=30^{\circ}\text{C}$	$T=25^{\circ}\text{C}$	
۱/۶	۱/۳	۱	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	بدون التراسونیک
۱/۸	۱/۵	۱.۲	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	با التراسونیک
۱۲.۵٪	۱۵٪	۲۰٪	۲۵٪	۲۸.۶٪	۳۳.۳٪	۴۰٪	درصد افزایش

#### ۴- نتیجه گیری

این تحقیق، به منظور بررسی تأثیر امواج التراسونیک بر روی فرایند پلیسه‌گیری الکتروشیمیایی انجام شده است. نتایج نشان داد که جریان الکتریکی با کمک امواج التراسونیک افزایش پیدا می‌کند که باعث بالا رفتن نرخ براده‌برداری درحالت اعمال امواج التراسونیک می‌گردد. با افزایش جریان، نرخ براده‌برداری در هر دو مورد با و بدون امواج التراسونیک روند افزایشی دارد و پس از اعمال یک جریان مشخص ثابت می‌ماند. مقدار این جریان در حالت بدون التراسونیک و با التراسونیک به ترتیب برابر  $2/7$  و  $3/4$  آمپر می‌باشد. به ازای یک جریان مشخص، نرخ براده‌برداری با التراسونیک نسبت به بدون التراسونیک، افزایش یافته است. به ازای جریان  $I=2\text{A}$  نرخ براده‌برداری دو برابر شده است و کمترین درصد افزایش نرخ براده‌برداری در جریان  $I=2.7\text{A}$  به میزان ۲۰٪ است. افزایش دما در هر دو

مورد با و بدون التراسونیک منجر به افزایش جریان الکتریکی می‌شود. همچنین در هر دمای مشخص میزان افزایش جریان الکتریکی با امواج التراسونیک نسبت به بدون التراسونیک مقدار بیشتری می‌باشد. بیشترین افزایش جریان الکتریکی به میزان ۴۰٪ به ازای دمای ۲۵ °C رخ داده است.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از حمایت‌های مالی و معنوی شرکت رینگ خودرو پارس و شرکت فن‌آفرینان علم‌گستر که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

### References

- [1] Choi IH, Kim JD. Electrochemical deburring system using electroplated CBN wheels. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1998 Jan 1;38(1-2):29-40. doi: 10.1016/S0890-6955(97)00027-8
- [2] Saligheh A, Hajjalimohammadi A, Abedini V. Cutting forces and tool wear investigation for face milling of bimetallic composite parts made of aluminum and cast iron alloys. *International Journal of Engineering*. 2020 Jun 1;33(6):1142-8. doi: 10.5829/IJE.2020.33.06C.12
- [3] Lee K, Dornfeld DA. Micro-burr formation and minimization through process control. *Precision Engineering*. 2005 Apr 1;29(2):246-52. doi: 10.1016/j.precisioneng.2004.09.002
- [4] Gillespie LK. Deburring precision miniature parts. *Precision Engineering*. 1979 Oct 1;1(4):189-98. doi: 10.1016/0141-6359(79)90099-0
- [5] Mason TJ. Ultrasonic cleaning: An historical perspective. *Ultrasonics sonochemistry*. 2016 Mar 1;29:519-23. doi: 10.1016/j.ultsonch.2015.05.004
- [6] Fuchs FJ, Kramlick JD. Ultrasonic cleaning. In *Power Ultrasonics*. Woodhead Publishing; 2023. doi: 10.1016/B978-0-12-820254-8.00019-1
- [7] Kumar P, Jadhav P, Beldar M, Jadhav DB, Sawant A. Review paper on ECM, PECM and ultrasonic assisted PECM. *Materials Today: Proceedings*: 2018 Jan 1;5(2):6381-90. doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.249
- [8] Wang L, Wang Y, Wang Y. Investigation on Machining Accuracy of Micro-Holes with Ultrasound Disturbed Electrolyte in Electrochemical Machining. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Applied Mechanics, Mechatronics and Intelligent Systems (AMMIS2015)*; 2016. p. 115-120. doi: 10.1142/9789814733878\_0018
- [9] Prabhu S, Kumar A, Badheka VJ. Electrochemical Deburring of Al6082 Using NaCl Electrolyte: An Exploratory Study. In *Innovations in Infrastructure: Proceedings of ICIIF 2018*; Singapore: Springer; 2019. p. 445-457. doi: 10.1007/978-981-13-1966-2\_40
- [10] Shrestha AK, Basnet N, Bohora CK, Khadka P. Variation of electrical conductivity of the different sources of water with temperature and concentration of electrolyte solution NaCl. *International Journal of Recent Research and Review*: 2017 Sep;10(3):24-6.
- [11] Kadam SP, Mitra S. Electrochemical deburring-A comprehensive review. *Materials Today: Proceedings*: 2021 Jan 1;46:141-8. doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.059
- [12] Prabhu S, Kumar A. Investigation of nickel coated tool for electrochemical deburring of Al6082. *International Journal of Surface Engineering and Interdisciplinary Materials Science (IJSEIMS)*: 2018 Jan 1;6(1):17-31. doi: 10.4018/IJSEIMS.2018010102
- [13] Xu WJ, Wang W, Wang XY, Pang GB. Mathematical modeling of electrochemical deburring. *Advanced Materials Research*: 2010 Sep 8;126:545-50. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.545
- [14] Mitra S, Sarkar S, Shome D. Experimental Study of Electro-Chemical Deburring (ECD) Process. In *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2005 (ICME2005)*; 2005 December 28-30; Dhaka, Bangladesh.
- [15] Choi IH, Kim JD. A study of the characteristics of the electrochemical deburring of a governor-shaft cross hole. *Journal of materials processing technology*. 1998 Mar 1;75(1-3):198-203. doi: 10.1016/S0924-0136(97)00365-8