

طراحی و ساخت دستگاه تراشکاری با جت الکتروشیمیایی و بررسی عوامل موثر آن

امین میراحمدی^۱، نادر شرفی^۲
Nadersharafi@gmail.com

چکیده

با توجه به تقاضای روز افزون صنعت برای استفاده قطعات با استحکام و سختی زیاد، کاربرد ماشینکاری الکتروشیمیایی نیز روز به روز بیشتر می‌شود. در ماشینکاری الکتروشیمیایی که بصورت معمول انجام می‌شود از یک ابزار که به شکل پروفیل مورد نظر است، استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر از یک نازل که الکترولیت را به شکل یک جت الکتروشیمیایی به گپ ماشینکاری می‌رساند، برای ماشینکاری قطعات استوانه‌ای، استفاده شده است. با حرکت جت الکتروشیمیایی بر روی قطعه کار در حال دوران پروفیل مورد نظر بر روی آن ایجاد می‌شود. از تفاوت‌های مهم این روش با سایر روش‌های متداول ECM استفاده از ولتاژهای بالا و گپ ماشینکاری بزرگ می‌باشد.

کلیدواژه:

جت الکتروشیمیایی - ماشینکاری الکتروشیمیایی - تراشکاری با جت الکتروشیمیایی - ECM - ECJT

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- کارشناس ارشد ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۱- مقدمه

بر روی پولیشکاری الکتروشیمیایی قطعات استوانه‌ای تحقیقاتی داشته‌اند. هوچنگ و پا در سال ۲۰۰۱ با ساخت یک دستگاه آزمایشگاهی به بررسی استفاده از ابزارهای دیسکی شکل برای پولیشکاری الکتروشیمیایی قطعات استوانه‌ای شکل پرداختند [۶].



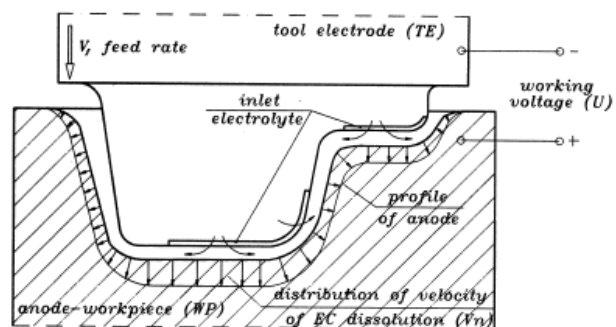
شکل (۲): تولید اشکال پیچیده با استفاده از ماشینکاری الکتروشیمیایی [۴]

آنها در سال ۲۰۰۲ دستگاه خود را طوری تغییر دادند تا بتوانند از ابزارهای تراشکاری برای پولیشکاری استفاده نمایند تا موجب صرفه‌جویی در هزینه پولیشکاری شوند. آنها به راحتی توانستند با استفاده از این روش‌ها به زبری سطح حدود ۰/۴ میکرون دست پیدا کنند [۷]. در سال ۲۰۰۷ ابید و التاول از غلتک‌های پرداختکاری برای بهبود کیفیت سطح در پولیشکاری الکتروشیمیایی بصورت موفقیت‌آمیزی استفاده نمودند [۸]. ولی تمام دانشمندان نامبرده شده برای ماشینکاری قطعات از روش ECM سنتی استفاده کرده‌اند، در حالی که در روش ارائه شده در این تحقیق برای اولین بار از جت الکتروشیمیایی برای ماشینکاری قطعات استفاده شده است که وجه تمایز عمده آن با سایر روش‌های ECM می‌باشد.

۲- استفاده از جت الکتروشیمیایی

معمولاً در ماشینکاری الکتروشیمیایی که ابزار و قطعه‌کار در الکترولیت غوطه‌ور هستند، اثر جریان‌های سرگردان جدی است، مگر اینکه با شیوه‌های خاصی از تاثیر آنها کاسته شود. یک راه موثر برای کاهش این جریان‌های سرگردان استفاده از جت الکتروشیمیایی می‌باشد که شماتیک آن در شکل (۳) نشان داده شده است [۹]. در دستگاه ساخته شده برای تراشکاری الکتروشیمیایی به علت اینکه ابزار و قطعه‌کار در الکترولیت غوطه‌ور نیستند از جت الکتروشیمیایی برای تراشکاری استفاده شده است، که

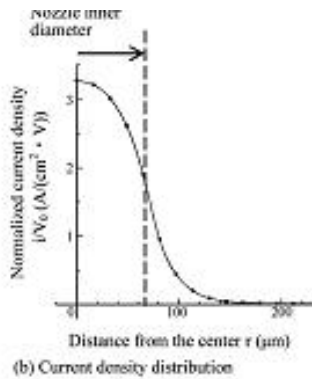
یکی از این روش‌های ماشینکاری مدرن، ماشینکاری الکتروشیمیایی (Electrochemical Machining (ECM)) می‌باشد. این فرآیند بر پایه کنترل فرآیند انحلال آندی قطعه کار می‌باشد. در این فرآیند ابزار کاتد (-) و قطعه کار آند (+)، در طول فرآیند در یک سلول الکترولیتی قرار می‌گیرند. اصول این فرآیند در شکل (۱) نشان داده شده است [۱]. منبع تغذیه ولتاژ پایین و جریان بالا و الکترولیت از اجزای اصلی سیستم ECM هستند. معمولاً الکترولیت یک محلول نمک معدنی مانند کلرید سدیم (NaCl) و یا نیترات سدیم (NaNO_3) می‌باشد [۲]. این روش یک تکنولوژی مهم برای ماشینکاری مواد سخت و اشکال پیچیده و منحنی‌ها و پروفیل‌های پیچیده می‌باشد [۱۳]. در شکل (۲) قطعه‌ای نشان داده شده است که با روش ماشینکاری الکتروشیمیایی تولید شده است [۴]. با این فرآیند می‌توان مواد مقاوم به خوردگی شیمیایی نظیر تیتانیوم، آلیاژهای مس، سوپرآلیاژها و فولاد زنگ‌نزن را ماشینکاری کرد [۵]. فرآیند برداشت ماده غیرمکانیکی، ماشینکاری الکتروشیمیایی را برای ماشینکاری هر ماده رسانای الکتریسیته، بدون توجه به خواص مکانیکی آن از قبیل سختی، الاستیسیته و تردی را ممکن می‌سازد [۱].



شکل (۱): اصول ماشینکاری الکتروشیمیایی [۱]

هر گاه ماشینکاری الکتروشیمیایی در شرایطی انجام شود که قطعه‌کار در حال دوران باشد به آن تراشکاری الکتروشیمیایی (Electrochemical Turning) گفته می‌شود.

در این تحقیق برای اولین بار ماشینکاری الکتروشیمیایی با استفاده از جت الکتروشیمیایی برای قطعات گرد در حال دوران انجام شده است. بدین ترتیب که با حرکت ابزار (جت الکتروشیمیایی) بر روی قطعه‌کار در حال دوران پروفیل مورد نظر در آن ایجاد خواهد شد. تا کنون تحقیقات زیادی بر روی موضوع تراشکاری الکتروشیمیایی انجام نشده است و محققین اندکی مانند هوچنگ (Hocheng) [۶و۷]، پا (Pa) [۶و۷]، ابید (Ebied) [۸] و التاول (El-Taweel) [۸]

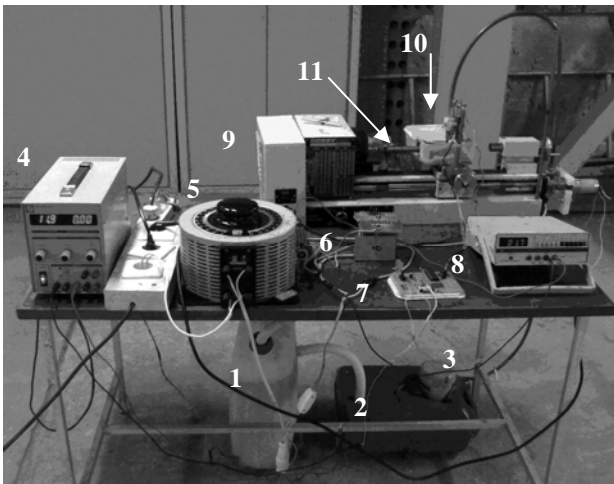


(b) Current density distribution

شکل (۴): (a) توزیع پتانسیل الکتریکی و (b) توزیع دانسیته جریان در جت الکتروشیمیایی [۱۰]

۳- ساخت سیستم ECJT

در این تحقیق با استفاده از جت الکتروشیمیایی (بعنوان ابزار) عملیات تراشکاری الکتروشیمیایی انجام می‌شود که تصویر دستگاه ساخته شده در شکل (۵) و اجزا و وظایف آنها نیز در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. اجزای مورد نیاز در این روش شامل ابزار، سیستم نگهدارنده و سیستم حرکتی ابزار، منبع تغذیه ولتاژ بالا، سیستم کنترل، الکترولیت و مخزن برای نگهداری آن، پمپ برای رساندن الکترولیت به محل ماشینکاری و در نهایت مکانیزمی برای دوران قطعه کار، می‌باشد.

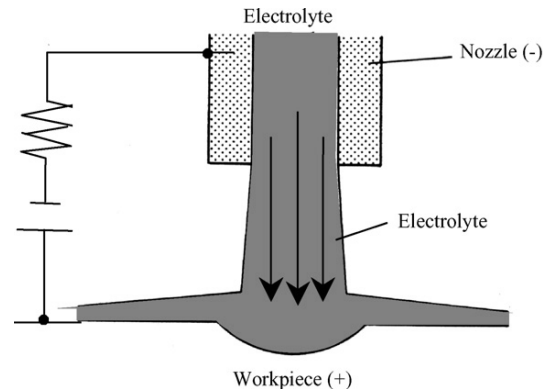


(1,2- Tank, 3- Pump, 4- DC Power supply, 5-Transformer, 6-Bridge Diode, 7- Control Unit, 8- Multimeter, 9- Turning machine 10- Nozzle, 11- Workpiece)

شکل (۵): تصویر دستگاه تراشکاری الکتروشیمیایی ساخته شده در آزمایشگاه

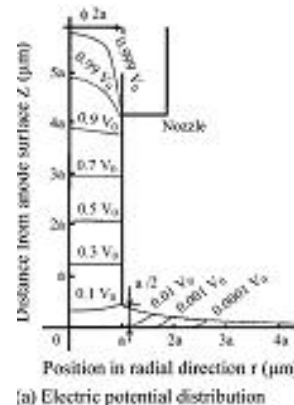
استفاده از جت الکتروشیمیایی در این دستگاه موجب می‌شود که با کنترل مسیر حرکت آن در دو جهت طولی و عرضی دستگاه بتوان پروفیل مورد نظر را بر روی قطعه کار در حال دوران ایجاد کرد.

به آن تراشکاری با جت الکتروشیمیایی (Electrochemical jet turning (ECJT)) می‌گفته می‌شود. بدین ترتیب هم از تاثیر جریان‌های سرگردان کاسته می‌شود و هم مانند یک ابزار یونیورسال می‌توان از آن بهره برد. یکی از مزایای این روش این است که مقدار برداشت ماده فقط به جریان کاری بستگی دارد و در یک جریان کاری ثابت اندازه گپ تاثیری بر مقدار برداشت ماده تاثیری نخواهد داشت.

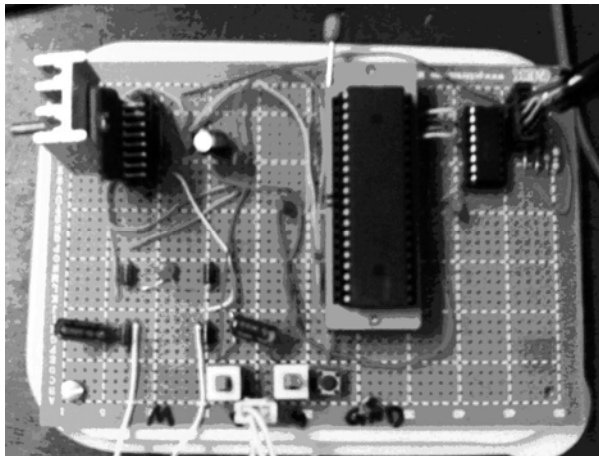


شکل (۳): استفاده از جت الکتروشیمیایی در ماشینکاری الکتروشیمیایی [۹]

بنابراین برای ریزماشینکاری نیازی به سیستم کنترلی پیچیده برای تنظیم گپ ماشینکاری نمی‌باشد. توزیع پتانسیل الکتریکی و دانسیته جریان الکتریکی در جت الکتروشیمیایی برای ماشینکاری سطح یک قطعه کار تخت توسط یاپیسی (Yapici) و همکارانش [۹] و همچنین یوندا (Yoneda) و کونیدا (Kunieda) [۱۰] محاسبه و در شکل (۴) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که پیک-های جریان در مرکز جت الکتروشیمیایی می‌باشند و با دور شدن از مرکز به شدت کاهش پیدا می‌کنند. بنابراین فقط ماده‌ای که در زیر جت الکتروشیمیایی واقع شده است، خورده می‌شود، زیرا جریان در اطراف جت الکتروشیمیایی بسیار کم می‌شود [۹]. در این روش مقدار برداشت ماده به آسانی توسط جریان و مکان جت الکتروشیمیایی کنترل می‌شود.

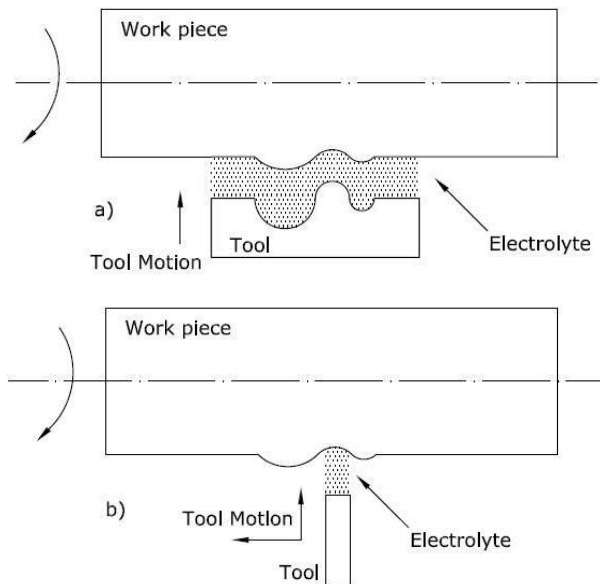


(a) Electric potential distribution



شکل (۷): بورد میکروپروسسور ساخته شده برای کنترل دستگاه

بطور کلی در فرآیند تراشکاری با جت الکتروشیمیایی، نازل بصورت پروفیلی و یا یونیورسال (غیرپروفیلی) می‌باشد. برای انجام تراشکاری الکتروشیمیایی با استفاده از ابزار پروفیلی، ابتدا باید ابزار را بصورت پروفیل دو بعدی شکلی که می‌خواهد بر روی قطعه کار ایجاد شود، ساخته بشود (شکل ۸a). بنابراین برای تراشکاری قطعات با پروفیل‌های متفاوت نیاز به ساخت ابزارهای متفاوت می‌باشد. بنابراین زمان و هزینه زیادی صرف می‌شود که عیب عمده این نوع ابزارها است. ولی با استفاده از ابزارهای یونیورسال می‌توان فقط با استفاده از یک ابزار که مانند قلم تراشکاری برای ایجاد پروفیل مورد نظر بر روی قطعه کار استوانه‌ای حرکت می‌کند، آن را به پروفیل دلخواه تبدیل کند (شکل ۸b).

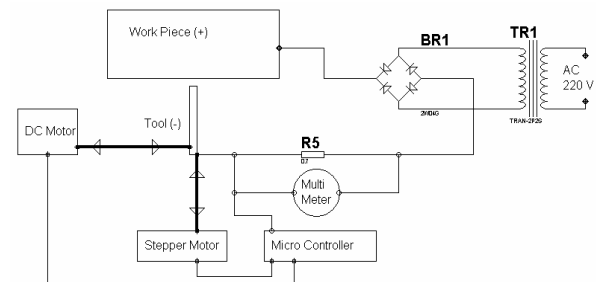


شکل (۸): استفاده از (a) ابزار پروفیلی (b) یونیورسال برای تراشکاری با جت الکتروشیمیایی

جدول (۱): اجزای تشکیل دهنده دستگاه تراشکاری با جت الکتروشیمیایی

ردیف	اجزا	وظایف
۱ و ۲	مخزن الکترولیت	نگهداری و تصفیه کردن الکترولیت
۳	پمپ	رساندن الکترولیت به گپ ماشینکاری
۴	منبع تغذیه جریان مستقیم	تامین انرژی سیستم کنترل
۵	ترانسفورماتور	افزایش ولتاژ برق شهری
۶	پل دیودی	تبدیل جریان متناوب با ولتاژ بالا به جریان مستقیم با ولتاژ بالا
۷	واحد کنترل	کنترل حرکت جت الکتروشیمیایی
۸	مولتی متر	نظارت بر جریان و ولتاژ ماشینکاری
۹	دستگاه تراشکاری رومیزی	تامین حرکت دورانی قطعه کار
۱۰	نازل	برای تحویل جت الکترولیت به گپ ماشینکاری

برای کنترل این حرکات جت الکتروشیمیایی از یک بورد کنترلی به همراه میکروپروسسور استفاده شده است که در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌اند. بدین ترتیب نیازی به طراحی ابزارهایی که دارای پروفیل پیچیده و گران قیمت هستند، نیازی نمی‌باشد.



شکل (۶): شماتیک مدار کنترلی دستگاه ساخته شده

در روش‌های متداول و مرسوم ماشینکاری الکتروشیمیایی از ولتاژهای مستقیم و یا مستقیم پالسی کمتر از ۳۰ ولت و گپ ساخته شده از گپ‌های بزرگتر از ۱۱ میلیمتر، از ولتاژ مستقیم بالای ۶۰ ولت برای ماشینکاری استفاده می‌شود. بنابراین در روش‌های متداول ماشینکاری الکتروشیمیایی، احتمال وقوع جرقه و یا اتصال کوتاه در اثر برخورد ابزار به قطعه کار وجود دارد و اندازه گپ در طول ماشینکاری باید بوسیله یک سیستم نظارتی دقیق ثابت نگه داشته شود. استفاده از گپ بزرگتر موجب ساده‌تر شده کنترل حرکت ابزار می‌شود زیرا امکان اتصال کوتاه و تشکیل جرقه را کاهش می‌دهد.

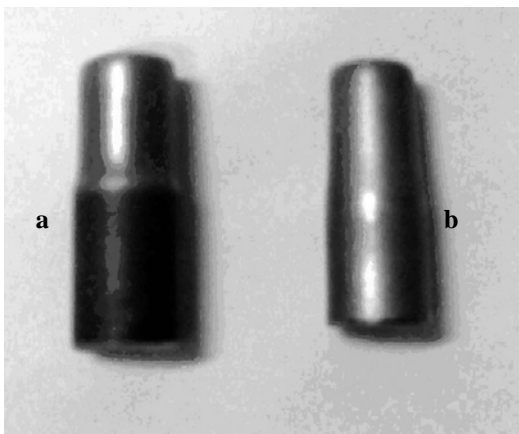
که D_i قطر داخلی قطعه در بالای سوراخ یا شیار و D_o قطر خارجی جت الکتروشیمیایی می‌باشد.

تاثیر ابعاد جت الکتروشیمیایی بر گشادی کناری: هر جسمی که جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهد، دارای یک مقاومت اهمی می‌باشد که مقدار آن از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

که R مقاومت الکتریکی بر حسب اهم (Ω)، ρ مقاومت ویژه بر حسب $\frac{\Omega}{cm}$ ، L طول جسم بر حسب cm و A سطح مقطع جسم بر حسب cm^2 می‌باشند.

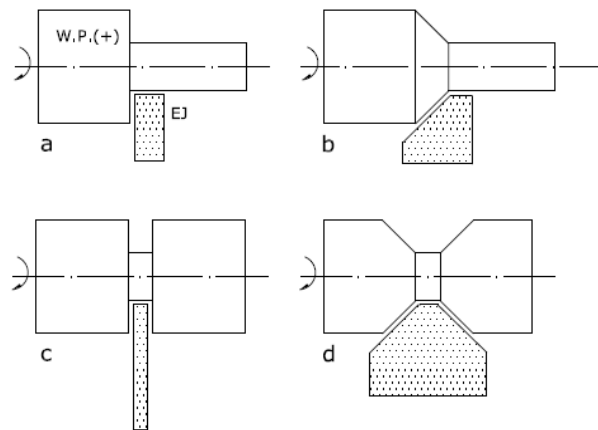
بنابراین جت الکتروشیمیایی نیز مانند یک مقاومت، در برابر عبور جریان الکتریکی مقاومت می‌کند. طبق رابطه فوق میزان مقاومت جت الکتروشیمیایی با عکس سطح مقطع آن متناسب است، یا به عبارت دیگر به عکس توان دوم قطر جت متناسب می‌باشد. بنابراین هر چقدر قطر جت الکتروشیمیایی کوچکتر شود، میزان مقاومت آن نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه میزان افت ولتاژ در جت نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه این افت ولتاژ میزان جریان عبوری از جت نیز کاهش یافته و در نتیجه میزان برداشت ماده کمتر شده و به طبع آن مقدار گشادی کناری نیز کمتر خواهد شد. بنابراین مقدار گشادی کناری حاصل شده از یک جت الکتروشیمیایی به قطر آن بستگی دارد، به عبارت دیگر هر چقدر قطر جت کوچکتر باشد، مقدار گشادی کناری ایجاد شده در قطعه کار، کوچکتر خواهد شد. شکل (۱۰) دو قطعه با جنس فولاد ساختمانی را نشان می‌دهد که با دو جت الکتروشیمیایی با قطرهای مختلف تراشکاری شده‌اند. همانطور که از شکل پیدا است مقدار گشادی کناری قطعه ۱۰a بسیار کمتر از قطعه ۱۰b می‌باشد.



شکل (۱۰): (a) قطعه تراشکاری شده با جت الکتروشیمیایی به قطر ۲/۵mm (b) ۱۰mm

از مزایای استفاده از الکتروود ابزار یونیورسال، حذف قیمت زیاد ابزار و شکل پیچیده آن و رسیدن به صحت ماشینکاری بیشتر و کیفیت سطح بهتر قطعه کار می‌باشد. این مزیت‌ها به علت کاهش فضای ماشینکاری الکتروود ابزار می‌باشد که به مقدار زیادی تاثیر حرارت و حباب‌های گازی را در الکتروولیت بین گپ ماشینکاری کاهش می‌دهد.

همانطور که در شکل (۹) دیده می‌شود، در تراشکاری الکتروشیمیایی می‌توان جت الکتروشیمیایی را به شکل پروفیل دلخواه ایجاد کرد. مزیت این روش این است که اگر بخواهیم قطعات زیادی را با یک شکل دلخواه تولید کنیم، کافی است که یک بار نازلی برای جت الکتروشیمیایی به شکل دلخواه طراحی کنیم. بدین ترتیب بدون نیاز به سیستم کنترلی نیز می‌توان قطعات با پروفیل پیچیده را تولید کرد که علاوه بر صرفه جویی در زمان و هزینه تولید می‌توان قطعاتی به صحت بالا تولید کرد.



شکل (۹): استفاده از جت الکتروشیمیایی با اشکال هندسی به شکل پروفیل قطعه کار در تراشکاری با جت الکتروشیمیایی

۴- نتایج و بحث

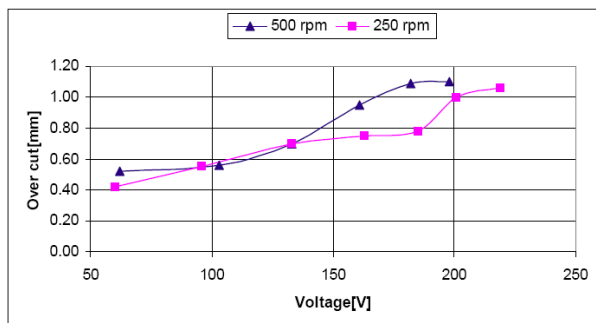
۴-۱- بررسی عوامل موثر بر گشادی کناری

یکی از فاکتورهایی که برای بررسی صحت شیارها و سوراخ‌های تولید شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد گشادی کناری (over cut) می‌باشد. علت اصلی بوجود آمدن گشادی کناری، وجود جریان‌های سرگردان در منطقه ماشینکاری می‌باشد. این فاکتور بیان کننده میزان عمود بودن لبه‌های شیارها می‌باشد، که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$overcut = \frac{D_i - D_t}{2} \quad (1)$$

که دلیل دیگری بر کاهش مقدار گشادی کناری می‌باشد. باید به این نکته توجه داشت که با افزایش گپ ماشینکاری مقدار نرخ برداشت ماده نیز کاهش یافته و ولتاژ مورد نیاز برای ماشینکاری افزایش می‌یابد، بنابراین از لحاظ عملی امکان افزایش گپ ماشینکاری تا مقدار مشخصی امکان‌پذیر می‌باشد.

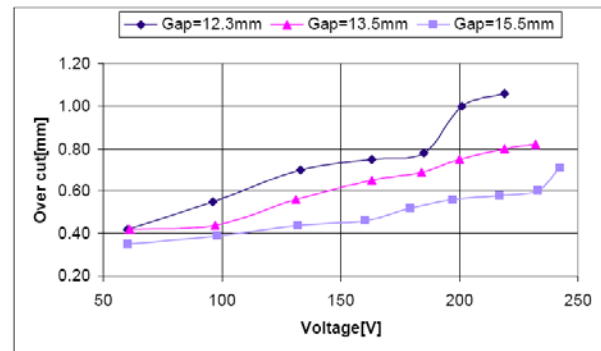
تاثیر سرعت دورانی قطعه‌کار بر گشادی کناری: برای بررسی تاثیر سرعت دورانی قطعه‌کار بر گشادی کناری تعداد ۳۱ آزمایش در سرعت‌های دورانی ۲۵۰ و ۵۰۰ دور بر دقیقه انجام شده است که نتایج آنها در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده‌اند. از روی شکل (۱۲) می‌توان دریافت که در ولتاژهای کمتر میزان گشادی کناری مستقل از سرعت دورانی قطعه‌کار می‌باشد زیرا در ولتاژهای کم در حین ماشینکاری جرقه‌ای تشکیل نمی‌شود. ولی با افزایش ولتاژ مقدار گشادی کناری برای سرعت دورانی ۵۰۰ rpm بیشتر از ۲۵۰ rpm می‌باشد. علت این پدیده ایجاد جرقه در سرعت‌های دورانی بیشتر می‌باشد، زیرا با افزایش سرعت دورانی قطعه‌کار میزان پاشش الکترولیت به سمت نازل جت الکتروشیمیایی بیشتر شده که موجب تشکیل جرقه‌های ناخواسته‌ای می‌شود که این جرقه‌ها نیز همانند اسپارک عمل کرده و موجب برداشت ماده از قطعه‌کار می‌شوند و در نتیجه مقدار گشادی کناری افزایش می‌یابد.



شکل (۱۲): تاثیر سرعت دورانی قطعه‌کار بر گشادی کناری در گپ ماشینکاری ۱۲/۳ mm (جنس قطعه‌کار فولاد ساختمانی و الکترولیت کلرید سدیم در دبی ۰/۶۵ L/min و قطر جت الکتروشیمیایی ۲/۵ mm می‌باشند)

از سوی دیگر در شکل (۱۳) می‌توان مشاهده نمود که مقدار گشادی کناری برای هر دو سرعت دورانی تقریباً یکسان می‌باشد. علت این موضوع را بدین صورت می‌توان توضیح داد که با افزایش گپ ماشینکاری احتمال تشکیل جرقه بین نازل و قطعه‌کار کمتر شده و بدین ترتیب برداشت ماده ناخواسته کمتر شده و در نتیجه گشادی کناری، نیز کاهش می‌یابد.

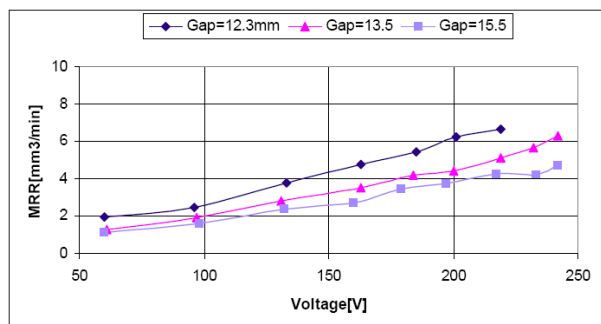
تاثیر ولتاژ ماشینکاری بر گشادی کناری: برای بررسی تاثیر ولتاژ بر گشادی کناری تعداد ۴۸ آزمایش انجام شد. در تمام این آزمایش‌ها سعی شده است که در مدت ۲۰ دقیقه و بدون حرکت طولی ابزار، یک شیار در قطعه‌کارهایی از جنس فولاد ساختمانی، ایجاد شود. تمام این آزمایش‌ها برای قطعه‌ای به قطر ۱۵ mm با جت ۲/۵ mm و الکترولیت کلرید سدیم که با دبی ۰/۶۵ L/min در جریان است، انجام شده است و نتایج آن در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۱۱): نمودار مقدار گشادی کناری بر حسب تغییرات ولتاژ در سرعت دورانی ۲۵۰ rpm (جنس قطعه‌کار فولاد ساختمانی و الکترولیت کلرید سدیم در دبی ۰/۶۵ L/min و قطر جت الکتروشیمیایی ۲/۵ mm می‌باشند)

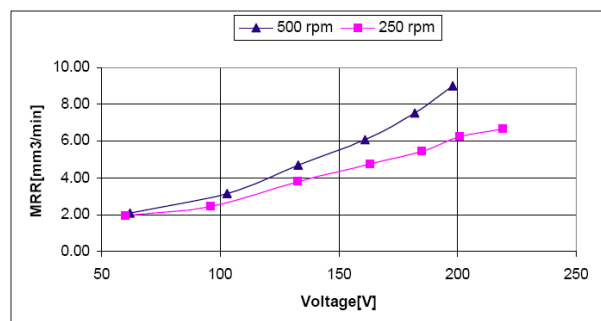
همانطور که دیده می‌شود، با افزایش ولتاژ کاری مقدار گشادی کناری نیز افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش ولتاژ کاری مقدار جریان الکتریکی عبوری از جت الکتروشیمیایی نیز افزایش می‌یابد و طبق قانون فارادی با افزایش جریان کاری مقدار برداشت ماده نیز بیشتر می‌شود. از دیگر سو با افزایش ولتاژ کاری احتمال وقوع جرقه نیز بیشتر می‌شود. بنابراین به علت برداشت ماده بیشتر و افزایش احتمال وقوع جرقه در حین ماشینکاری، مقدار گشادی کناری افزایش می‌یابد.

تاثیر گپ ماشینکاری بر گشادی کناری: با توجه به شکل (۱۱) می‌توان دید که با افزایش گپ ماشینکاری مقدار گشادی کناری کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش گپ ماشینکاری به علت افزایش فاصله بین نازل مسی و قطعه‌کار احتمال وقوع جرقه بین آنها کاهش می‌یابد. دلیل دیگر این است که با افزایش گپ ماشینکاری مطابق رابطه (۲) مقدار مقاومت جت الکتروشیمیایی افزایش پیدا می‌کند. با افزایش مقاومت جت الکتروشیمیایی میزان افت ولتاژ در جت نیز بیشتر شده و در نتیجه طبق قانون اهم، جریان عبوری نیز کاهش پیدا کرده و بنابراین مقدار برداشت ماده کمتر شده و طبیعتاً مقدار گشادی کناری نیز کمتر می‌شود. از سوی دیگر با کاهش جریان ماشینکاری احتمال وقوع جرقه در منطقه ماشینکاری نیز کمتر شده



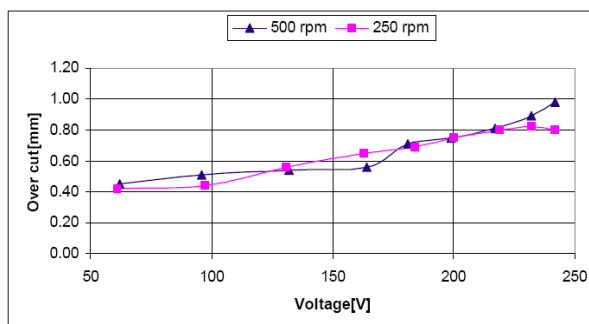
شکل (۱۴): نمودار مقدار نرخ برداشت ماده بر حسب تغییرات ولتاژ در سرعت دورانی ۲۵۰ rpm (جنس قطعه کار فولاد ساختمانی و الکترولیت کلرید سدیم و قطر جت الکتروشیمیایی ۲/۵mm می باشد)

تأثیر ابعاد جت الکتروشیمیایی بر نرخ برداشت ماده: همانطور که بیان شد، با افزایش سطح مقطع جت الکتروشیمیایی مقاومت آن کم می شود. بنابراین مقدار افت ولتاژ در طول جت الکتروشیمیایی کمتر می شود و جریان کاری بیشتر خواهد شد. طبق قانون فارادی نیز مقدار برداشت ماده متناسب با جریان کاری می باشد. پس می توان نتیجه گرفت که با افزایش سطح مقطع جت الکتروشیمیایی می توان نرخ برداشت ماده را افزایش داد. برای مواردی مانند خشن کاری که حجم براده برداری زیاد است می توان از جت الکتروشیمیایی با شکل به غیر از دایره استفاده کرد. زیرا در این موارد شکل جت باید به گونه ای باشد که در هر لحظه حجم الکترولیت بیشتری را به روی قطعه کار منتقل کند. بدین ترتیب در هر لحظه تعداد یون های بیشتری به قطعه کار برخورد کرده و حجم واکنش های الکتروشیمیایی زیاد شده که منجر به نرخ برداشت ماده بیشتری خواهد شد. برای این موارد می توان از ابزارهایی که دارای سوراخ مستطیلی و یا بیضی شکل می باشند، استفاده نمود.



شکل (۱۵): تأثیر سرعت دورانی قطعه کار بر نرخ برداشت ماده در گپ ماشینکاری ۱۲/۳ mm (جنس قطعه کار فولاد ساختمانی و الکترولیت کلرید سدیم در دبی ۰/۶۵L/min و قطر جت الکتروشیمیایی ۲/۵mm می باشد)

تأثیر سرعت دورانی قطعه کار بر نرخ برداشت ماده: تأثیر سرعت دورانی قطعه کار بر نرخ برداشت ماده در شکل های (۱۵) و (۱۶) نشان داده شده است. از شکل (۱۵) می توان دریافت که در

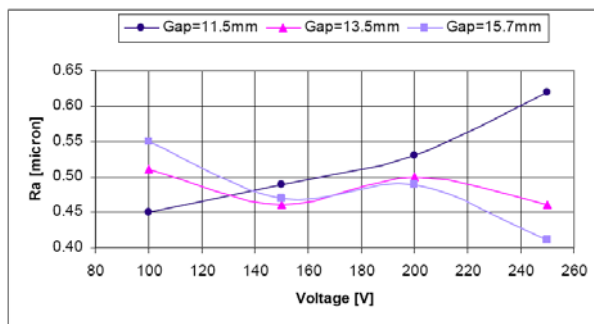


شکل (۱۳): تأثیر سرعت دورانی قطعه کار بر گشادی کناری در گپ ماشینکاری ۱۳/۵ mm (جنس قطعه کار فولاد ساختمانی و الکترولیت کلرید سدیم در دبی ۰/۶۵L/min و قطر جت الکتروشیمیایی ۲/۵mm می باشد)

۲-۴- بررسی عوامل موثر بر نرخ برداشت ماده از قطعه کار

تأثیر ولتاژ و گپ ماشینکاری بر نرخ برداشت ماده: برای بررسی تأثیر ولتاژ بر روی قطعاتی از جنس فولاد ساختمانی در مدت زمان ۲۰ دقیقه شیارهایی ایجاد شد. سپس با اندازه گیری ابعاد شیار مقدار حجم ماده برداشته شده از قطعه کار تعیین می شود و با توجه به مشخص بودن زمان تراشکاری نرخ برداشت ماده حساب شده است که نتایج آن در شکل (۱۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل می توان دید که با افزایش ولتاژ کاری نرخ برداشت ماده (MRR) افزایش می یابد. زیرا با افزایش ولتاژ مقدار جریان عبوری از جت الکتروشیمیایی نیز افزایش می یابد و طبق قانون فارادی افزایش جریان منجر به برداشت ماده بیشتری از قطعه کاری خواهد شد. ولی باید توجه داشت که اگر ولتاژ از یک مقدار معین بیشتر شود، منجر به تولید جرقه در منطقه ماشینکاری می شود و همانطور که در قسمت های قبل بیان شد افزایش جرقه نیز باعث کاهش صحت قطعه کار تولیدی می شود. بنابراین افزایش ولتاژ تا آنجا که منجر به تولید جرقه نشود مفید است. با افزایش ولتاژ باید مسایل ایمنی برای جلوگیری از بروز خطرات احتمالی برای اپراتور را در نظر گرفت. برای دستیابی به نرخ برداشت ماده بیشتر باید اندازه گپ ماشینکاری را کوچک انتخاب کرد. ولی با کاهش اندازه گپ احتمال وقوع جرقه در منطقه ماشینکاری افزایش می یابد و می دانیم که با افزایش تعداد جرقه ها در گپ زبری سطح و گشادی کناری افزایش پیدا می کنند که موجب از بین رفتن صحت قطعه کار تولیدی می شوند. بنابراین باید مصالحه ای بین نرخ برداشت ماده و صحت ماشینکاری مورد نیاز برقرار کرد. ولی در شرایطی که هدف خشن کاری است تا حدودی که به صحت نهایی مورد نظر برای قطعه کار لطمه ای وارد نشود، تا حدود زیادی می توان از وجود جرقه ها در گپ ماشینکاری صرف نظر کرد.

از ۰/۱ میکرون زبری سطح کاهش می‌یابد). علت این کاهش ۰/۱ میکرونی را نیز می‌توان با افزایش جریان ماشینکاری (به علت افزایش ولتاژ ماشینکاری) توضیح داد. زیرا طبق قانون فارادی با افزایش مقدار جریان کاری مقدار برداشت ماده در ECM بیشتر شده و در این حالت کیفیت سطح بهبود می‌یابد. (در ماشینکاری ECM بر خلاف سایر روش‌های ماشینکاری دیگر هر چقدر نرخ برداشت ماده بیشتر شود کیفیت سطح بهتر می‌شود).



شکل (۱۷): نمودار زبری سطح قطعه‌کار در ولتاژها و گپ‌های گوناگون (جنس قطعه‌کار فولاد ساختمانی و الکترولیت کلرید سدیم در دبی ۰/۶۵L/min و قطر جت الکتروشیمیایی ۲/۵mm می‌باشند)

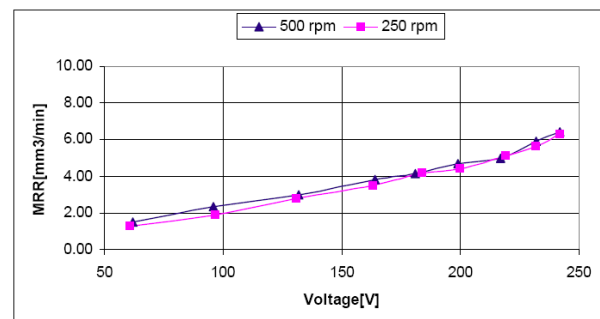
۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالبی که در بخش‌های پیشین بیان شد، بطور خلاصه می‌توان نتایج زیر را بیان کرد:

- در تراشکاری الکتروشیمیایی از جت الکتروشیمیایی استفاده می‌شود که بدون نیاز به هر گونه عایق کاری برای کاهش اثر جریان‌های سرگردان، می‌تواند به راحتی در هر نقطه دلخواه بر روی قطعه متمرکز شده و عملیات تراشکاری را انجام دهد.
- برای ماشینکاری پروفیل‌های ساده می‌توان نازلی به شکل آن تهیه کرد. بدین ترتیب بدون نیاز به سیستم کنترلی خاصی به سادگی و با هزینه کمی می‌توان عملیات ماشینکاری را انجام داد.
- مقدار گشادی کناری به قطر جت الکتروشیمیایی وابسته است. یعنی هر چقدر قطر جت الکتروشیمیایی بزرگتر باشد مقدار گشادی کناری که در قطعه‌کار ایجاد می‌شود نیز بزرگتر خواهد شد و بر عکس.
- با افزایش گپ ماشینکاری مقدار گشادی کناری ایجاد شده در قطعه‌کار کاهش خواهد یافت.
- با افزایش ولتاژ ماشینکاری مقدار گشادی کناری افزایش می‌یابد.

ولتاژهای کم سرعت دورانی قطعه‌کار تاثیری بر نرخ برداشت ماده ندارد. ولی با افزایش ولتاژ مشاهده می‌شود که در سرعت‌های دورانی بیشتر نرخ برداشت ماده بیشتر است.

علت این تفاوت در نرخ برداشت ماده را می‌توان جرقه‌هایی دانست که در حین ماشینکاری تشکیل می‌شوند. زمانیکه الکترولیت (که یک سیال مایع است) بر روی قطعه‌کار در حال دوران ریخته می‌شود، سیال اطراف قطعه‌کار پیچیده شده و به اطراف و به سمت بالا پرتاب می‌شود، حال در شرایطی که گپ ماشینکاری به اندازه کافی زیاد نباشد، این عمل موجب ایجاد جرقه‌هایی بین نازل مسی و قطعه‌کار می‌شود که باعث کاهش کیفیت سطح ماشینکاری شده می‌شوند. به همین علت است که در شکل (۱۶) که گپ ماشینکاری به اندازه کافی بزرگ انتخاب شده که در حین ماشینکاری جرقه‌ای تشکیل نشود، تطابق بسیار خوبی بین نرخ برداشت ماده برای سرعت‌های دورانی گوناگون دیده می‌شود.



شکل (۱۶): تاثیر سرعت دورانی قطعه‌کار بر نرخ برداشت ماده در گپ ماشینکاری ۱۳/۵ mm (جنس قطعه‌کار فولاد ساختمانی و الکترولیت کلرید سدیم در دبی ۰/۶۵L/min و قطر جت الکتروشیمیایی ۲/۵mm می‌باشند)

۴-۳- بررسی عوامل موثر بر زبری سطح قطعه‌کار

برای بررسی عوامل موثر بر زبری سطح تعداد ۱۲ آزمایش در ولتاژها و گپ‌های ماشینکاری گوناگون انجام شده است که نتایج آن در شکل (۱۷) نشان داده شده است. از روی این شکل می‌توان دید که در گپ‌های کوچک‌تر با افزایش ولتاژ مقدار زبری سطح نیز افزایش می‌یابد که علت آن افزایش جرقه‌های ایجاد شده در حین ماشینکاری می‌باشد. به علت گردش قطعه‌کار در حین ماشینکاری و پاشش الکترولیت به سمت نازل، زمانیکه فاصله بین نازل و قطعه‌کار کوچک است جرقه‌هایی تشکیل شده که باعث افزایش زبری سطح می‌شوند. ولی زمانیکه گپ ماشینکاری افزایش می‌یابد به علت دورتر شدن فاصله بین نازل و قطعه‌کار در حین ماشینکاری جرقه‌ای ایجاد نشده و همانطور که از شکل (۱۷) پیدا است در این حالت تغییرات در زبری قطعه‌کار به علت افزایش ولتاژ بسیار ناچیز می‌باشد (کمتر

۶- مراجع

- در گپ‌های ماشینکاری بیشتر و ولتاژهای کمتر مقدار گشادی کناری کمتر می‌باشد و مستقل از سرعت دورانی قطعه‌کار است.
 - علت افزایش گشادی کناری در گپ‌های کمتر و ولتاژهای بالاتر، تشکیل جرقه در حین ماشینکاری می‌باشد. علاوه بر این جرقه‌های ایجاد شده می‌توانند موجب خراب شدن و از بین رفتن نازل نیز بشوند.
 - با افزایش سطح مقطع جت الکتروشیمیایی نرخ برداشت ماده افزایش می‌یابد.
 - برای کارهای خشن تراشی استفاده از جت الکتروشیمیایی با سطح مقطع مستطیلی و یا بیضوی توصیه می‌شود تا بتوان به نرخ برداشت ماده بیشتری دست پیدا کرد.
 - سرعت دورانی قطعه‌کار تاثیری بر نرخ برداشت ماده از قطعه‌کار ندارد. ولی اگر گپ ماشینکاری کوچک انتخاب شود به علت احتمال بیشتر تشکیل جرقه در سرعت‌های دورانی بالاتر، نرخ برداشت ماده با افزایش سرعت دورانی قطعه‌کار افزایش می‌یابد.
 - در گپ ماشینکاری کوچک به علت ایجاد جرقه در حین ماشینکاری، با افزایش ولتاژ ماشینکاری مقدار زبری سطح قطعه‌کار نیز افزایش می‌یابد.
 - با افزایش گپ ماشینکاری به علت کاهش جرقه‌ها کیفیت سطح ماشینکاری شده بهتر می‌شود. ولی زمانیکه اندازه گپ به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود که جرقه‌ای در حین ماشینکاری تشکیل نشود، اندازه گپ تاثیر بسیار کوچکی بر زبری سطح دارد که می‌توان از اثر آن چشم‌پوشی کرد.
- [1] J. Kozak, "Computer simulation system for electrochemical shaping", Journal of Material Processing Technology 109, pp. 354-359, 2001.
- [2] João Cirilo da Silva Neto, Evaldo Malaquias da Silva and Macio Bacci da Silva, "Intervening variables in electrochemical machining", Journal of Materials Processing Technology 179, pp. 92-96, 2006.
- [3] J. Kozak, "Thermal models of pulse electrochemical machining", Bulletin Of The Polish Academy Of Science, Technical Sciences, Vol. 52, No. 4, 2004.
- [4] M. Valenti, "Making the cut", Mechanical Engineering, pp. 64-67, 2001.
- [5] B. Bhattacharyya, M. Malapati and J. Munda, "Experimental study on electrochemical micromachining", Journal of Material Processing Technology 169, pp. 485-482, 2005.
- [6] H. Hocheng and P. S. Pa, "Electropolishing of cylindrical workpiece of tool materials using disc-form electrodes", Journal of Materials Processing Technology 142, pp. 203-212, 2003.
- [7] H. Hocheng and P. S. Pa, "The application of turning tool as the electrode in electropolishing", Journal of Material Processing Technology 120, pp. 6-12, 2002.
- [8] S. J. Ebeid and T. A. El-Taweel, "Surface improvement through hybridization of electrochemical turning and roller burnishing based on the Taguchi technique", Proc. IMechE, Vol. 219, Part B: J. Engineering Manufacture, pp. 423-430, 2005.
- [9] S. Yapici, S. Kuslo, C. Ozmetin, H. Ersahan and T. Pekdemir, "Surface shear stress for a submerged jet impingement using electrochemical technique", Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 29, pp. 185-190, 1999.
- [10] W. Natsu, T. Ikeda and M. Kunieda, "Generating complicated surface with electrolyte jet machining", Precision Engineering, Vol. 31, pp. 33-39, 2007.