http://mme.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک مدرس
اسفند ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۱۲ ص ص ۴۸-۵۵

مقاله پژوهشی کامل
تاریخ دریافت ۹۲/۳/٤
تاریخ پذیرش ۹۲/٤/۵
ارائه در سایت ۹۲/۹/۳۰

بررسی مقایسه‌ای تأثیر ارتعاش آلتراسونیک قطعه‌کار در فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM)

محمد رضا شبگرد[1*]، بهنام خسروزاده[2]، بابک سعدی زاده[3]، حامد کاکولوند[4]

۱- دانشیار مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز
۲- دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز
۴،۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه تبریز، تبریز
* تبریز، صندوق پستی ۵۱۶۶۶۱۶۴۷۱، mrshabgard@tabrizu.ac.ir

چکیده- در این پژوهش تأثیر ارتعاش آلتراسونیک بر روی دو جنس متفاوت قطعه‌کار (به صورت مقایسه‌ای) در زمان‌های روشنی پالس (Ti) و شدت جریان‌های مختلف (I) در فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) مورد بررسی قرار گرفته است. جنس قطعات ماشین‌کاری شده، فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴ می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار مستقل از جنس آن، باعث افزایش نرخ براده‌برداری، کاهش فرسایش نسبی ابزار و کاهش صافی سطح می‌شود. هم چنین نتایج نشان می‌دهد تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک در میزان افزایش نرخ براده‌برداری و مقدار کاهش فرسایش نسبی ابزار در ماشین‌کاری فلز جوش FW۴ بیش از فولاد ابزار AISI H۱۳ است.

کلیدواژگان: ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی، ارتعاشات آلتراسونیک، نرخ براده‌برداری، زمان روشنی پالس.

Comparative Study of the effect of ultrasonic vibration of workpiece in the electrical discharge machining (EDM)

M. Shabgard[1*], B. Khosrozadeh[2], B. Sadizadeh[3], H. Kakoulvand[4]

1- Assoc. Prof., Mech. Eng., Tabriz Univ., Tabriz, Iran
2- PhD Student, Mech. Eng., Tabriz Univ., Tabriz, Iran
3,4- MSc Student, Mech. Eng., Tabriz Univ., Tabriz, Iran
* P.O.B. 5166616471 Tabriz, Iran. mrshabgard@tabrizu.ac.ir

Abstract-In this study the interaction of material and ultrasonic vibration of workpiece at different pulse on times (Ti) and discharge currents (I) in the electrical discharge machining (EDM) has been studied. The materials of machined samples were AISI H13 tool steel and FW4 weld steel. The results show that ultrasonic vibration of workpiece, independent of workpiece material increase material removal rate (*MRR*) and reduce tool wear ratio (*TWR*) and surface roughness. Also the results indicate that the effect of ultrasonic vibration on the material removal rate increase of FW4 weld steel is higher than AISI H13 tool steel, and the reduction of tool wear ratio of 4FW weld steel is more than AISI H13 tool steel.

Keywords: Electrical Discharge Machining, Ultrasonic Machining, Material Removal Rate, Pulse on Time.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر در صنایع فولادسازی و قطعه‌سازی به منظور کاهش هزینه‌ها و بالا بردن راندمان تولید تلاش‌های زیادی برای افزایش عمر ابزارها، تجهیزات و قالب‌های مورد استفاده در عملیات مختلف شکل‌دهی دما بالا (بالای $۶۰۰^{\circ}c$) مانند آهنگری به عمل آمده است [۱]. در این راستا شرکت آهنگری

– تراکتورسازی ایران در فرایند ساخت قالبهای فورج اجزای موتور مانند میل لنگ و شاتون، به منظور کاهش میزان سایش و افزایش عمر قالبها، فلز جوش FW۴ را جایگزین فولاد آلیاژی AISI H۱۳ نموده است. در این روش جنس بدنهٔ ماتریس قالب آهنگری را از فولاد کم کربن با قابلیت ماشین‌کاری بالا انتخاب می‌کنند، و سپس محفظه قالب را توسط عملیات فرزکاری خالی نموده و توسط فرایند جوش‌کاری MIG[1] مجدداً آن را با استفاده از الکترود آلیاژی FW۴ پر می‌کنند و در ادامه به علت بالا بودن سختی فلز جوش FW۴، محل حفره مذکور را توسط فرایند EDM ماشین‌کاری می‌نمایند.

مقاومت به سایش و استحکام بالا از مزایای مهم فلز جوشFW۴ و پایین بودن راندمان ماشین‌کاری آن نسبت به فولاد آلیاژی AISI H۱۳ (در حد ۳۰٪) در روش EDM از معایب اصلی این فلز می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق بررسی امکان رفع این مشکل با استفاده از افزودن ارتعاشات آلتراسونیک به قطعه‌کار در فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) می‌باشد.

تحقیقات متعددی [۲-۴] در ارتباط با ترکیب فرایند EDM و ارتعاشات آلتراسونیک به عمل آمده است. مورتی و فیلیپ [۶،۵] با اضافه کردن کله گی آلتراسونیک به دستگاه اسپارک تحقیقات زیادی در رابطه با تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک ابزار مسی بر روی پارامترهای خروجی در فرایند ماشین‌کاری EDM فولاد آلیاژی انجام داده و افزایش نرخ براده‌برداری به میزان ۱۰ درصد را گزارش نموده‌اند. اگاشیر و همکارانش [۷] با مرتعش نمودن قطعه‌کار با فرکانس ۴۰kHz در دامنه‌های مختلف، افزایش نرخ براده‌برداری و فرسایش نسبی ابزار و بهبود کیفیت سطح ماشین‌کاری شده را گزارش کرده‌اند.

ون یوجیو [۸] تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک در فرایند EDM را با استفاده از ابزار مسی در ماشین‌کاری قطعه‌کار فولادی مطالعه نموده است. طبق نتایج وی تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک در نرخ براده‌برداری در عملیات پرداخت‌کاری بیشتر از عملیات خشن‌کاری است و این ارتعاشات موجب افزایش نرخ براده‌برداری و پرداخت سطح ماشین‌کاری شده است.

قریشی و همکارانش [۹] تأثیر ارتعاشات ابزار در فرکانس بالا و پایین را بر روی نرخ براده‌برداری فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی بررسی کرده‌اند. طبق نتایج کار آنها نرخ براده‌برداری در شرایط پرداخت‌کاری تا ۱۱ برابر، و در شرایط خشن‌کاری تا ۱/۸ برابر افزایش افزایش یافته است.

عبداله و همکارانش [۱۰] تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک ابزار را بر روی نرخ براده‌برداری قطعه‌کار از جنس کاربید تنگستن را مطالعه کرده‌اند و گزارش داده‌اند که فشار و مکش حاصل از ارتعاشات در گپ بین ابزار و قطعه‌کار موجب جریان بهتر دی الکتریک شده و جرقه‌هایی از نوع آرک را کاهش می‌دهد.

شبگرد و همکارانش [۱۱] تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک ابزار مسی را روی کیفیت سطح قطعه‌کار تنگستن کاربیدی (WC-10%CO) ماشین‌کاری شده در EDM را بررسی کرده و گزارش نموده‌اند که ارتعاشات آلتراسونیک ابزار سبب شستشوی بهتر گپ بین ابزار و قطعه‌کار شده و باعث کاهش پالس‌های ناپایدار و نامطلوب می‌شود.

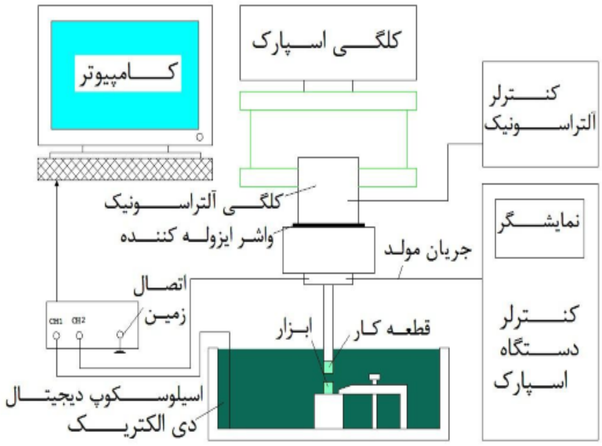
با توجه به این که تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک در میزان نرخ براده‌برداری، فرسایش نسبی ابزار و زبری سطح تابعی از جنس قطعه‌کار، عناصر و فازهای تشکیل دهنده آن می‌باشد، در تحقیقات اخیر در ارتباط با تأثیر متقابل ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار و جنس آن گزارشی ارائه نشده است هدف این پژوهش بررسی مقایسه‌ای تأثیر ارتعاش آلتراسونیک قطعه‌کار بر روی نتایج و مشخصه‌های خروجی (نرخ براده‌برداری، فرسایش نسبی ابزار و زبری سطح قطعه‌کار) در فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴ می‌باشد.

۲- مواد و روشهای انجام آزمایشها

برای انجام آزمایش‌های ماشین‌کاری EDM از دستگاه اسپارک شارمیلز روبوفرم ۲۰۰[2] با مولد ایزوپالس استفاده شد. به منظور اعمال ارتعاشات آلتراسونیک به قطعه‌کار از کله‌گی آلتراسونیک با توان ۲۰۰ W و فرکانس ارتعاش ۲۰ kHz استفاده شد. به منظور کنترل فرایند و مقایسه شکل پالس‌ها با و بدون ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار مدار الکترونیکی به کار گرفته شد تا ولتاژ گپ و تغییرات جریان در مقابل زمان، در یک رایانه ضبط و ذخیره شود. تصویر شماتیک تنظیم‌های مربوط به انجام تست‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

1. Metal Inert Gas

2. CHARMILLES ROBOFORM 200



شکل ۱ تجهیزات و تنظیمات مربوط به انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌های ماشین‌کاری، جنس قطعات از فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴ و جنس ابزار از گرافیت انتخاب شدند. بلوک‌های فولادی AISI H۱۳ به صورت نیمه آماده در ابعاد ۲۰۰×۲۰۰×۳۰ تهیه شده و قطعات خام فلز جوش FW۴، توسط روش جوش‌کاری MIG[1] آماده شدند. تمامی‌نمونه‌ها توسط دستگاه وایرکات به ابعاد (۱۵/۵mm × Ø۱۴) بریده شدند. سپس این قطعات با ماشین‌تراش CNC تا سایز (Ø۱۲/۷ × ۱۵/۵mm) ماشین‌کاری شده و توسط عملیات حرارتی، سخت‌کاری شده و در آخرین مرحله آماده‌سازی پیشانی و سطح قطعات سنگ‌زنی شدند. انتهای تمامی نمونه‌ها به طول ۷mm و قطر ۸mm رزوه گردید تا امکان اتصال آنها به کله‌گی آلتراسونیک فراهم شود. مشخصات مکانیکی و ترکیب درصد عناصر آلیاژی قطعات کار در جداول ۱ و ۲ و برخی از مشخصات فیزیکی و مکانیکی ابزار گرافیتی در جدول ۳ ارائه شده است.

سایر متغیرهای ورودی و پارامترهای تنظیمی آزمایش‌ها و دستگاه اسپارک در جدول ۴ آورده شده است.

وزن قطعات قبل و بعد از هر آزمایش توسط ترازوی دیجیتالی (سارتوریوس[2] با دقت ۰/۰۰۰۱ g) اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه (۱) نرخ براده‌برداری محاسبه شد.

$$MRR = \frac{M_1 - M_2}{\rho t} \times 10^6 \quad (۱)$$

1. Metal Inert GAS
2. Sartorius

جدول ۱ خواص مکانیکی فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴

خواص مکانیکی	FW۴	AISI H۱۳
هدایت حرارتی	۲۷/۲ W/mK	۲۸/۶ W/mK
مدول الاستیک	۲۱۰ GPa	۲۱۵ GPa
استحکام نهایی	۱۲۰۰ N/mm^2	۱۴۲۰ N/mm^2
نقطه ذوب	۲۶۷۰ °c	۲۶۷۰ °c
سختی	۴۲-۳۸ HRC	۵۳-۲۸ HRC
چگالی	۷/۸×۱۰^۳ kg/m^3	۷/۸×۱۰^۳ kg/m^3

جدول ۲ درصد عناصر آلیاژی فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴

نام عنصر	FW۴	AISI H۱۳
C	۰/۱۶	./۴۵-۰/۳۲
Mn	۱/۰۴	۰/۵-۰/۲
Si	۰/۳۸	۱/۲-۰/۸
Cr	۹/۳	۵/۵-۴/۷۵
Ni	۱/۶۶	۰/۳
Mo	۲/۶۵	۱/۱-۱/۷۵
V	۰/۰۳	۱/۲-۰/۸
Cu	۰/۰۴	۰/۰۳
P	۰/۰۰۱۳	۰/۰۳
S	۰/۰۰۹	

جدول ۳ مشخصات فیزیکی و مکانیکی ابزار گرافیتی

خواص	مقدار
چگالی	۱/۷۸ (gr/cm^3)
تخلخل	۱۲٪
اندازه دانه‌ها	۲۰ μm
سختی	۶۵ shore
مقاومت ویژه	۱۶۵۰ μΩcm
ابعاد	Ø ۱۲/ ۷ × ۱۵ mm

جدول ۴ متغیرهای ورودی و پارامترهای تنظیمی‌دستگاه اسپارک

متغیر	سطح آزمایش
زمان روشنی پالس (μS)	۱۲/۸، ۶/۴، ۲۵، ۵۰
شدت جریان (A)	۴/۸
دامنه ارتعاش (μm)	۱۵
زمان خاموشی پالس (μS)	۶.۴
ولتاژ مدار باز (v)	۲۰۰
فاصلهٔ گپ (μm)	۵۰
نوع دی الکتریک	Oil Flux ELF

در این رابطه MRR[1] مقدار نرخ براده‌برداری (mm^3/min)، M_1 جرم قطعه‌کار قبل از ماشین‌کاری (g)، M_2 جرم قطعه بعد از ماشین‌کاری (g)، t مدت زمان ماشین‌کاری (min) و ρ چگالی قطعه‌کار (gr/cm^3) است.

برای بررسی و مقایسه بهتر تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک بر روی نرخ براده‌برداری، از نسبت حجم براده‌برداری (MRR Ratio) در فرایند EDM_{US}[2] نسبت به فرایند EDM استفاده شد این نسبت به صورت زیر تعریف شده است:

$$MRR\ Ratio = \frac{MRR(\mathrm{EDM}_{US})}{MRR(\mathrm{EDM})} \quad (۲)$$

فرسایش نسبی ابزار TWR[3] شاخصی است که درصد حجم جدا شده از ابزار را نسبت به حجم جدا شده از قطعه‌کار را در هر آزمایش نشان می‌دهد، با توزین جرم ابزار قبل و بعد از هر آزمایش میزان فرسایش حجمی‌ابزار بر حسب میلی‌متر مکعب مشخص شده و از تقسیم این مقدار بر حجم مواد برداشته شده از قطعه‌کار، میزان فرسایش نسبی ابزار از روی رابطه (۳) به دست می‌آید. در این رابطه TRR[4] نرخ سایش حجمی‌ابزار و MRR نرخ براده‌برداری از قطعه‌کار است.

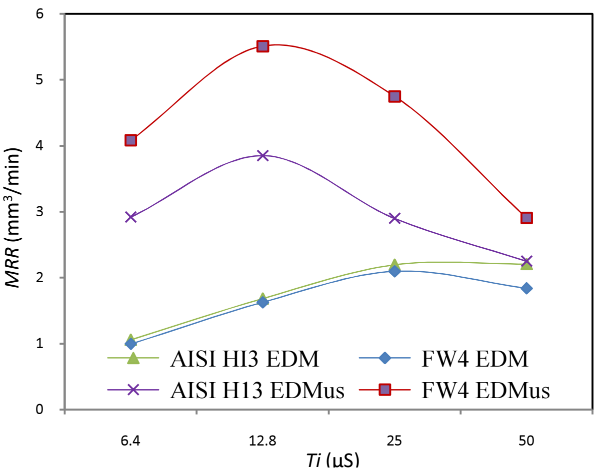
$$TWR\% = \frac{TRR}{MRR} \times 100 \quad (۳)$$

۳- نتایج و بحث

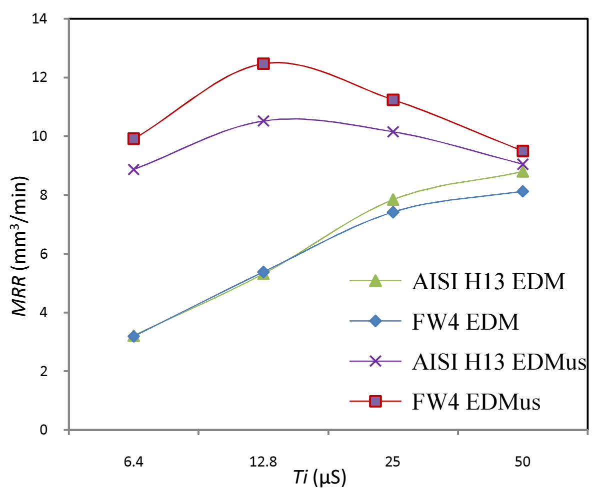
۳-۱- بررسی تأثیر ارتعاش آلتراسونیک قطعه‌کار بر روی نرخ براده‌برداری

شکل‌های ۲ و ۳ تأثیر ارتعاش آلتراسونیک قطعه‌کار را روی نرخ براده‌برداری برای دو جنس فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴ در زمان‌های روشنی پالس و شدت جریان‌های متفاوت نشان می‌دهد همان طور که ملاحظه می‌شود در فرایند EDM نرخ براده‌برداری برای هر دو جنس در مدت زمان روشنی پالس کم تقریباً یکسان است ولی در فرایند EDM_{US} تأثیر ارتعاش آلتراسونیک بر روی نرخ براده‌برداری جنس FW۴ بیشتر از جنس AISI H۱۳ است به نظر می‌رسد علت این امر وجود کاربیدها، سرباره و ناخالصی‌ها در ترکیب فلز جوشکاری FW۴ می‌باشد که در فرایند EDM ناپایداری فرایند را بیشتر کرده و امکان ایجاد پالس‌های آرک را بیشتر می‌کند به طوری که در فرایند EDM_{US} ارتعاش قطعه‌کار سبب خروج بهتر عوامل و آلودگی‌های مذکور از فاصله گپ می‌شود و از طرفی چون سختی فلز جوشکاری FW۴ بیشتر از فولاد ابزار AISI H۱۳ است، این امر سبب می‌شود میزان استهلاک ارتعاشات در فلز جوش مذکور کمتر از فولاد ابزار AISI H۱۳ شود در نتیجه تأثیر ارتعاشات مذکور در روی افزایش MRR در فلز جوش FW۴ بیشتر از فولاد ابزار AISI H۱۳ شود [۱۲].

همچنین شکل‌های ۴ و ۵ نسبت نرخ براده‌برداری در فرایند ترکیبی EDM_{US} را نسبت به EDM نمایش می‌دهد.

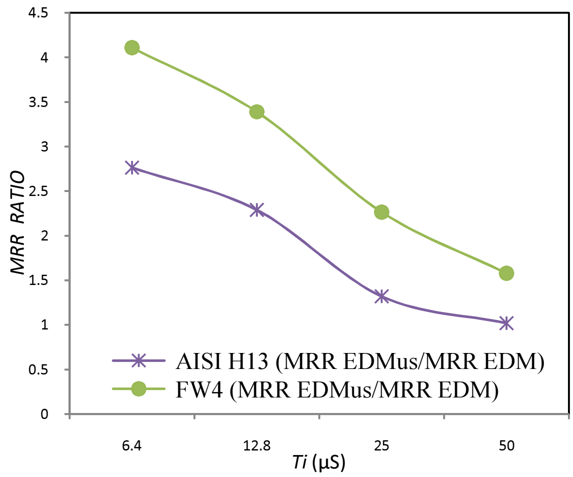


شکل ۲ تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار بر روی نرخ براده‌برداری فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴، $(I= 4\ A)$

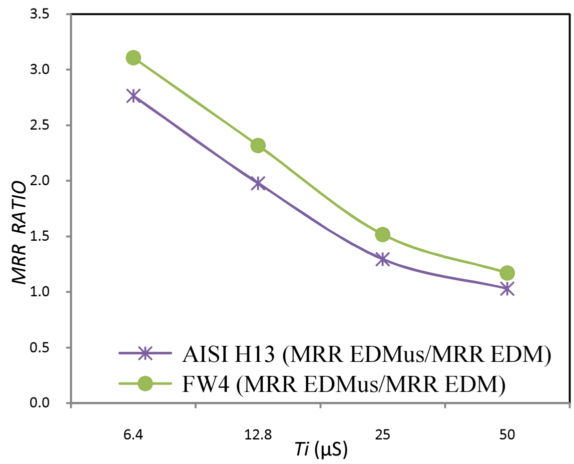


شکل ۳ تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار بر روی نرخ براده‌برداری فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴، $(I= 8\ A)$

1. Material Removal Rate
2. Ultrasonic Electrical Discharge Machinihg
3. Tool Wear Ratio
4. Tool Removal Rate



شکل ۴ نسبت نرخ براده‌برداری EDM_{US} به EDM، (I= 4 A)

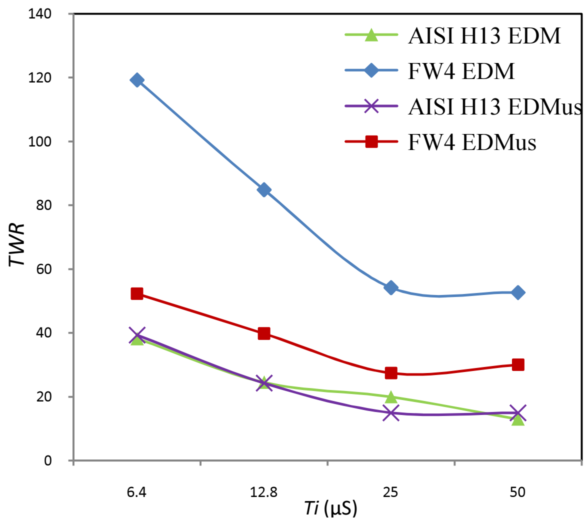


شکل ۵ نسبت نرخ براده‌برداری EDM_{US} به EDM، (I= 8 A)

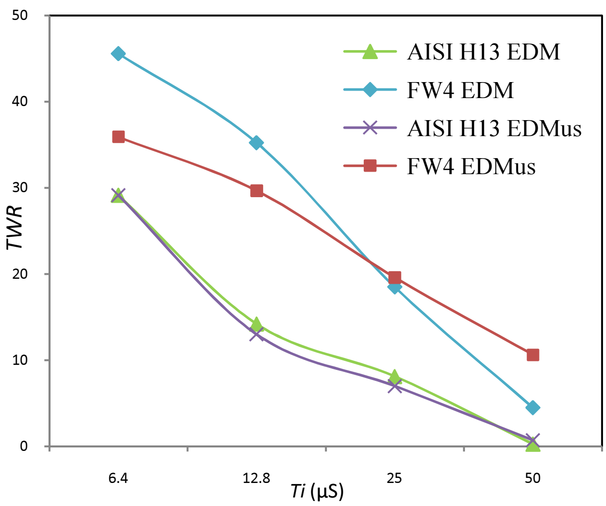
همان طور که ملاحظه می‌شود تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک روی *MRR* در تنظیم‌های پرداخت‌کاری (شدت جریان‌ها و زمان‌های روشنی پالس کمتر) بیشتر از حالت خشن‌کاری می‌باشد دلیل این امر را می‌توان این گونه بیان کرد که در شرایط خشن‌کاری با افزایش شدت جریان و مدت زمان روشنی پالس انرژی هر جرقه بیشتر شده و مقدار آلودگی‌های گپ نیز افزایش می‌یابد و ارتعاشات آلتراسونیک نمی‌تواند با افزایش میزان شستشوی گپ آلودگی‌های آنرا رفع کند در نتیجه تعداد پالس‌های آرک و اتصال کوتاه بیشتر شده و نرخ براده‌برداری کمتر می‌شود [۵،۳].

۳-۲ بررسی اثر متقابل ارتعاش آلتراسونیک و جنس قطعه‌کار بر روی فرسایش نسبی ابزار

شکل‌های ۶ و ۷ تأثیر ارتعاش آلتراسونیک قطعه‌کار روی میزان فرسایش نسبی ابزار در شدت جریان و زمان‌های روشنی پالس متفاوت را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار در هر دو جنس باعث کاهش مقدار فرسایش نسبی ابزار می‌شود. علت این امر را می‌توان این گونه بیان کرد با توجه به این که در این تحقیق، ارتعاش آلتراسونیک به قطعه‌کار اعمال شده است، لذا تأثیر آن در میزان خروج مواد از چاله مذاب در قطعه‌کار بیشتر از ابزار می‌باشد.



شکل ۶ تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک بر فرسایش نسبی ابزار در ماشین‌کاری فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴، (I= 4 A)



شکل ۷ تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک بر فرسایش نسبی ابزار در ماشین‌کاری فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴، (I= 8 A)

از طرفی همان طور که گفته شد چون تأثیر ارتعاشات

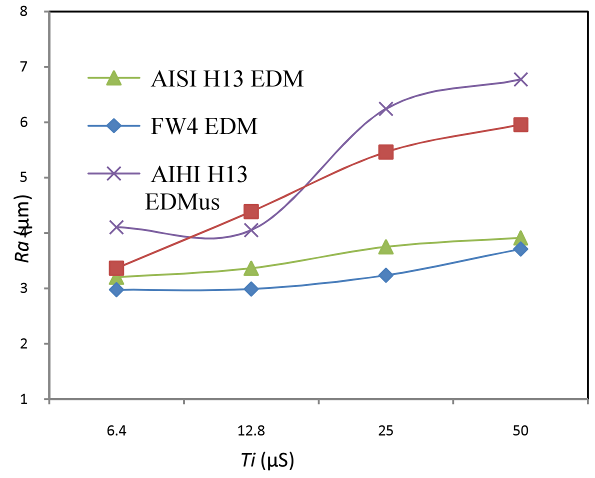
آلتراسونیک بر روی افزایش *MRR* در فلز جوش FW۴ بیشتر از فولاد ابزار AISI H۱۳ است، این امر موجب می‌شود مقدار کاهش فرسایش نسبی ابزار در فلز جوش FW۴ بیشتر از فولاد ابزار AISI H۱۳ شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد در هر دو جنس، با افزایش مدت زمان روشنی پالس شیب کاهش مقدار فرسایش نسبی ابزار کمتر می‌شود، این مسأله می‌تواند ناشی از کاهش نرخ براده‌برداری با افزایش مدت زمان‌های روشنی پالس باشد، بطوری که در این شرایط آلودگی‌های تولید شده در گپ به دلیل انرژی بیشتر جرقه‌ها افزایش یافته و ارتعاشات آلتراسونیک با افزایش میزان شستشوی گپ نمی‌توانند آلودگی‌های آنرا رفع نماید [۱۳].

۳-۳ بررسی تأثیر ارتعاش آلتراسونیک قطعه‌کار بر روی صافی سطح ماشین‌کاری شده

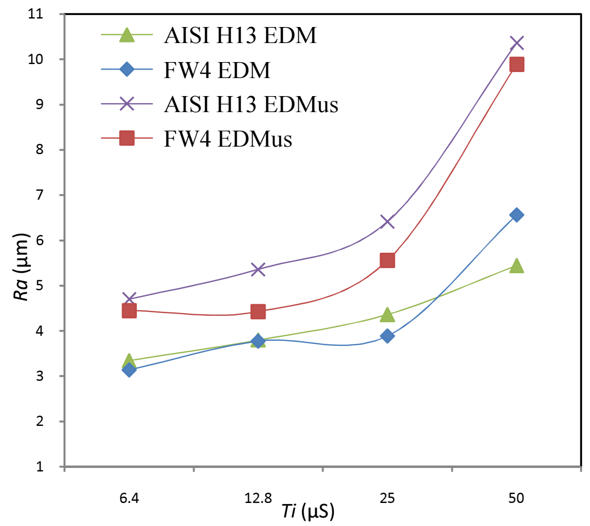
شکلهای ۸ و ۹ نتایج مربوط به زبری سطح را نشان می‌دهد همان طور که ملاحظه می‌شود نوسان آلتراسونیک قطعه‌کار در هر دو جنس موجب افزایش زبری سطح می‌گردد ازجمله دلایل آن میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

در روش EDM_{US} به واسطه شستشوی بهتر گپ و افزایش انرژی ذرات پلاسما، انرژی هر جرقه بیشتر می‌شود و در نتیجه حجم مذاب به ازای هر پالس جرقه بیشتر شده و در اثر جوشش حجمی‌مقدار بیشتری از مذاب به بیرون چاله پرتاب می‌گردد این امر باعث می‌شود عمق چاله‌ها بعد از انجماد بیشتر شده و در نتیجه زبری سطح قطعات ماشین‌کاری شده در EDM_{US} نسبت به EDM بیشتر می‌شود و این حالت برای هر دو جنس FW۴ و AISI H۱۳ صادق است.

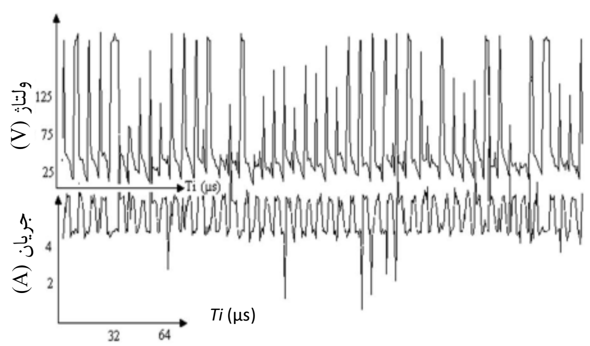
هم چنین از آنجا که سرعت و شتاب حرکت قطعه‌کار در اثر ارتعاش آلتراسونیک بسیار زیاد است، در اثر نوسان قطعه‌کار با این شتاب قطعه‌کار به عنوان یک پمپ عمل کرده و سبب افزایش حرکت سیال در گپ می‌شود، و در کوتاه‌ترین زمان دی الکتریک تازه جایگزین دی الکتریک آلوده در گپ می‌شود این عوامل سبب می‌شوند شرایط لازم برای تولید جرقه‌های آرک و اتصال کوتاه در گپ ماشین‌کاری از بین می‌رود، همان طور که در اشکال ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، تعداد جرقه‌های آرک و اتصال کوتاه به طور چشم‌گیری کاهش یافته و بر تعداد پالس‌های نرمال افزوده شده است و پایداری فرایند افزایش می‌یابد و این برای هر دو جنس قطعه‌کار صادق است [۱۴،۶].



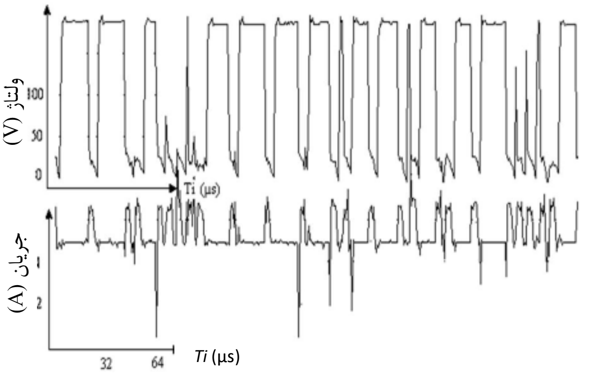
شکل ۸ تأثیر ارتعاشات التراسونیک بر روی صافی سطح (*Ra*) برای فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴، (*I*= 4 A)



شکل ۹ تأثیر ارتعاشات التراسونیک بر روی صافی سطح (*Ra*) برای فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴، (*I*= 8 A)



شکل ۱۰ نمونه‌ای از پالس‌های ولتاژ و جریان نسبت به زمان در فرایند EDM (جنس قطعه‌کار: FW ۴ ، *I*=8 A و *Ti*= 6.4 µs)



شکل ۱۱ نمونه‌ای از پالس‌های ولتاژ و جریان نسبت به زمان در فرایند EDM_{US} (جنس قطعه‌کار: FW۴ ، I=8 A و Ti= 6.4 µs)

در فرایند EDM_{US} ابزار با فرکانس معادل ۲۰kHz نوسان می‌کند در این فرایند در هر سیکل که قطعه‌کار به سمت بالا می‌رود موجب می‌شود نرخ افت فشار در مقایسه با EDM بیشتر شود و این امر باعث می‌شود مقدار مذاب بیشتری به بیرون از چاله پرتاب شود و این مسأله باعث افزایش عمق چاله‌ها و در نتیجه افزایش زبری سطح شود [۱۶،۱۵].

۳- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار در فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی بصورت مقایسه‌ای بررسی شده و نتایج زیر حاصل شد:

۱- در فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) برای هر دو جنس قطعه‌کار (فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴) ارتعاشات آلتراسونیک قطعه‌کار باعث افزایش نرخ براده‌برداری گردید، این افزایش برای فلز جوش FW۴ بیش از فولاد ابزار AISI H۱۳ می‌باشد.

۲- ارتعاش آلتراسونیک در هر دو جنس قطعه‌کار باعث کاهش میزان فرسایش نسبی ابزار می‌شود، مقدار این کاهش در تمامی‌شدت جریان‌ها برای فلز جوش FW۴ بیشتر از فولاد ابزار AISI H۱۳ است.

۳- ارتعاش آلتراسونیک قطعه‌کار در هر دو جنس (فولاد ابزار AISI H۱۳ و فلز جوش FW۴) سبب افزایش زبری سطوح ماشین‌کاری شده می‌شود و تأثیر آن روی مقدار زبری سطح در فولاد ابزار AISI H۱۳ بیش از فلز جوش FW۴ می‌باشد.

۴- افزودن ارتعاشات آلتراسونیک به قطعه‌کار در فرایند ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) مستقل از جنس قطعه‌کار، سبب کاهش تعداد جرقه‌های آرک و اتصال کوتاه شده و موجب افزایش تعداد پالس‌های نرمال می‌شود و به این طریق پایداری فرایند EDM افزایش می‌یابد.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌های بی دریغ مدیریت محترم شرکتهای توربین ماشین خاورمیانه و آهنگری تراکتورسازی ایران که در انجام این تحقیق نویسندگان مقاله را یاری نموده‌اند تشکر و سپاس‌گزاری می‌شود.

۶- مراجع

[1] Shabgard MR., Shotorbani RM., Alenabi SH., “Mathematical analysis of electrical discharge machining on FW4 weld metal”, *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* Istanbul, Turkey, July - 6, 2012

[2] Abdullah A, Shabgard MR, “Effect of Ultrasonic Vibration of tool on electrical discharge machining of cemented tungsten carbide (WC-Co)”, 2005, *International Manufacture Engineering Conf., Iran.*

[3] Kremer D, Lebrun JL, Hosari B, “Effects of ultrasonic vibrations on the performances in EDM”. *CIRP Ann* Vol. 38, No. 1, 1989, pp.199– 202.

[4] Kremer D, Lebrun JL, Hosari B and Mosan A., “Effect of Ultrasonic Vibrations on the Performances in EDM”, *Annals of CIRP,* Vol. 38, No. 1, *1989*, pp. 199-202.

[5] Murti, V.S., and Philip, P.K., “Pulse train analysis in ultrasonic assisted EDM", *Int. J. Mach. Tools Manufact,* 27, No. 4, 1987, pp. 469-477.

[6] Murti, V.S., and Philip, P.K., “An analysis of the debris in Ultrasonic assisted electrical discharge machining”, *Waer,* 117, 1987, pp.241-250.

[7] Egashira, K., Matsugasako, A., Tsuchiya, H., and Miyazaki, M., “Electrical discharge machining with ultra low discharge energy”, *Precision Engineering,* 30, 2006, pp. 414-420.

[8] Jywe W. “*Ultrasonic augmentation of electrical discharge machining*”, Master of science thesis, 1988, Mechanical Engineering department university of Manchester.

[9] Ghoreishi M., Atkinson J., “A comparative experimental study of machining characteristics in vibratory, rotary and vibro-rotary electro discharge machining”, *Journal of material processing*

technology, 2002, Vol. 120 pp 374- 384
[10] Abdullah A., Shabgard MR., “Effect of ultrasonic vibration of tool on electrical discharge machining of cemented tungsten carbide (WC-CO) .” 2006, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Springer online, London.*
[11] Shabgard MR., Ivanov A., Rees A., “Influence of EDM machining on surface integrity of WC-CO”. Manufacturing Engineering Centre, *Cardiff University,* 2006.
[12] Göken J., Bergmann K., Baetz W., Steinhoff K., “Functional gradation of gear shafts made of cementation steel and its influence on damping and microstructure”, *Materials Characterization* Vol. 57 pp. 137–149, 2006
[13] Mitskevich, M.K., “Effect of vibration of the electrode on the EDM process in: B.A. Krasyuk (Ed), Electrospark Machining of Metals”, *Consultant Bureau*, New York, Vol. 3, 1965, pp. 178-183.
[14] Zhang JH, Lee TC, Lav WS, “Spark erosion with ultrasonic frequency”, *Journal Mater Process Technol* Vol. 68, pp.83–88
[15] Shervani.T, MT., Abdullah, A., Shabgard, MR., “Numerical study on the dynamics of an electrical discharge generated bubble in EDM”, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 30: 503–514, 2006.
[16] Jones, H.M., and Kunhardt, E.E., “The Influence of Pressure and Conductivity on the Pulsed Breakdown of Water”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 1: No. 6, pp 1016-1025, 1994.