تاثیر پارامترهای عملیاتی برش وایرکات بر روی میکروسختی لایه آلیاژی سطحی

علی اکبر لطفی نیستانک[۱]،سعید دانشمند[۲] و سعید ادیب نظری[۳]
Aklotfi@gmail.com

چکیده

امروزه یکی از اهداف فرایند ماشینکاری قطعات بهبود خواص مکانیکی آنها متناسب با نوع کاربرد آنها می باشد. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی اثرات پارامترهای عملیاتی ماشینکاری بر روی لایه های میکرونی سطح قطعه کار پرداخته شده است. برای این منظور با توجه به انجام ذوب مجدد، آلیاژسازی سطحی و لایه دوباره منجمد شده درسطح قطعه کار ماشینکاری شده با ماشین وایرکات، تغییرات میکروسختی سطح قطعه کار با تغییرات پارامترهای عملیاتی مورد بررسی قرار داده شده است. تحقیق انجام شده نشان داده با استفاده از پدیده آلیاژ سازی سطحی، با نفوذ مواد سیم در سطح ماشینکاری شده و با انتخاب پارامترهای عملیاتی و انتخاب سیم برش مناسب، می توان خواص مکانیکی سطح قطعه کار را همزمان با پروسه ماشینکاری بهبود داد. در این تحقیق نشان داده شده با تغییر پارامترهای عملیاتی نظیر افزایش توان موثر، ولتاژ مدار باز، می توان نفوذ مواد سیم در لایه سطحی قطعه کار را افزایش داد در حالیکه با افزایش زمان خاموشی پالس و فشار دی الکتریک، نفوذ مواد سیم در لایه سطحی قطعه کار را می توان کاهش داد و در نهایت با افزایش این پارامترهای عملیاتی و با تغییر آلیاژ شکل گرفته بر روی سطح و نیز مورفولوژی آن، می توان میکروسختی لایه سطحی را متناسب با نیاز تغییر داد.

کلیدواژه:

وایرکات- میکروسختی- ذوب مجدد- آلیاژسازی سطحی- ولتاژ مدار باز- توان موثر

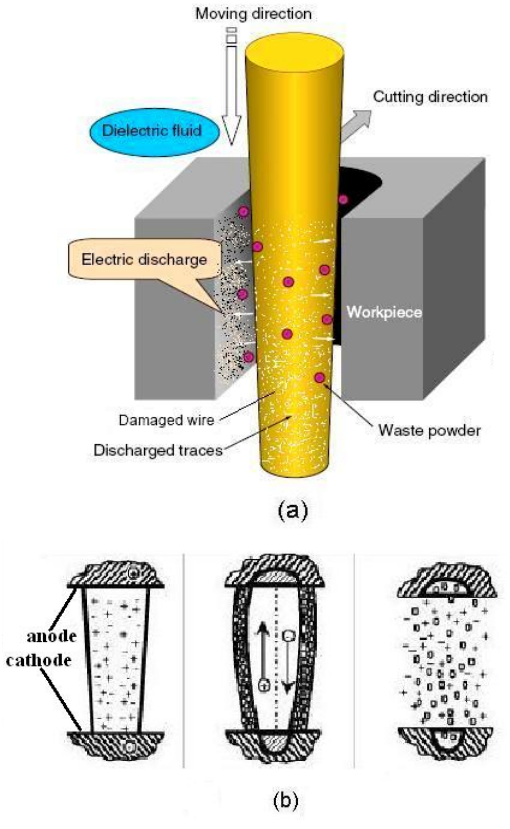
۱- عضو هیات علمی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری
۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک و هوا فضا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک و هوا فضا ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۱- مقدمه

براده برداری با تخلیه الکتریکی یک پروسه الکترومال بوده که حرارت و الکتریسیته در آن دخیل هستند.[۱] در وایرکات[۴] باربرداری از قطعه کار با برقراری ولتاژ پالسی و منقطع برقرار شده بین دو الکترود (سیم و قطعه کار) ،که در سیالی بنام دی الکتریک غوطه ور می باشند(آب دی یونیزه) و با زدن جرقه در سرتاسر کانال ما بین دو الکترود انجام می‌شود. با هرجرقه، جزء کوچکی از ماده از سطح قطعه کار، و جزء کوچکتری هم از سطح سیم جدا می گردد. (که با توجه به اندازه و سایز کوچکی که دارد آوار[۵] نام گرفته است). در نهایت با تعداد زیادی جرقه عمل ماشینکاری انجام شود[۱،۲]. برداشت مواد در این روش مبتنی بر اثر فرسایشی جرقه های الکتریکی بوده و لذا تئوری ترموالکتریک[۶] تائید شده ترین مدل کار وایرکات است. این تئوری با توجه به دمای بالای ایجاد شده در دانسیته بالای انرژی بر روی سطح، سبب ذوب و تبخیر شدن در روی سطح قطعه کار و ایجاد حوضچه های بسیار کوچک و در نهایت ایجاد دهانه‌های آتش فشانی[۷] می باشد [۶ ، ۳]. در شکل(۱) نشان داده شده پس از متلاشی شدن حباب گازی و بر داشته شدن فشار از روی حوضچه های مذاب شکل گرفته بر روی سطح قطعه و سیم، ذرات از سیم با سرعت بالائی از حوضچه های ایجاد شده در اثر جرقه خارج شده و بر اثر برداشته شدن فشار ستون پلاسما بطور تصادفی با سرعت بسیار زیاد به حرکت در آمده و به بدنه قطعه کار برخورد خواهند کرد[۷، ۴]. لذا در سطح برش، آلیاژسازی با ذوب مجدد[۸] زمینه و مخلوط شدن عناصر آلیاژی موجود در سطح با زمینه انجام می شود. در حین آلیاژسازی در حوضچه مذاب یک جریان جابه‌جایی سریع صورت می‌گیرد و توزیع مجدد عناصر آلیاژی در این ناحیه را سبب می‌شود. در سطح برش، لایه‌ای دارای ضخامت تقریباً $20-50\mu m$ تشکیل خواهد داد و لذا چنانچه لایه آلیاژی غنی از عناصر آلیاژی باشد، در نتیجه دارای خواص بالاتر نسبت به زمینه خواهد شد. در این حالت صافی سطح نسبت به حالت اولیه کمتر می باشد. صافی سطح وابستگی شدیدی به اختلاط یکنواخت عناصر آلیاژی در حوضچه مذاب دارد. مخلوط شدن یکنواخت عناصر آلیاژی نیز به شدت جابجایی جرم در حوضچه مذاب وابسته است. در مرز بین مذاب و زمینه یک لایه نازک نفوذی نیز تشکیل می شود که دارای ضخامت تقریباً $10\mu m$ می باشد. این پدیده بدلیل نفوذ کانالهای باریک فاز مذاب در مرزدانه ها می باشد[۸].

4- Wire Electro Discharge Machining (WEDM)
5 - Debris
6 - Thermo-Electric Theory
7 - Craters
8 - Re-Cast Mmaterials

در شکل(۲) آنالیز سطح قطعه قبل از کار برش و آنالیز سطح قطعه بعد از برش با سیم برنجی مشاهده می شود، به وضوح می توان نفوذ مواد سیم در سطح قطعه کار را مشاهده نمود. اما با توجه به آنچه گفته شده و با توجه به سایز و تعداد دهانه های آتش فشانی ایجاد شده و یا به عبارت دیگر درصد آوارهای برداشته شده از سطح سیم و همچنین قطعه کار، می بایستی به این نکته توجه کرد که، درصد این آوارها که با سرعت بسیار زیاد به سطح قطعه کار می‌رسند و بر روی آن قرار می‌گیرند، در پارامترهای مختلف متفاوت است.



شکل(۱): تصویر شماتیک از:
(a). فرسایش سیم و قطعه کار در حین فرایند بار برداری
(b). دهانه آتش فشانی شکل گرفته بر روی سیم

۲- مواد و روش تحقیق

در تحقیق حاضر آزمایشات بوسیله ماشین وایرکات ONA سری PRIMA S250 انجام شده است. در جدول (۱) نیز رنج پارامترهای عملیاتی ماشین فوق آورده شده است. آزمایشات با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف بر روی پدیده نفوذ مواد سیم در قطعه کار انجام گرفته اند. لذا با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف نظیر توان موثر، ولتاژ مدار باز، فشار دی الکتریک، زمان خاموشی پالس بر

روی فرآیند، آزمایشات با ثابت در نظر گرفتن تمام پارامترها به جزء پارامتر مورد مطالعه، و تغییر پارامتر مذکور انجام شده است. همچنین به منظور یکسانی کار در تمام آزمایشات قطعه کار تحت ماشینکاری، از جنس St37-3G ، با توجه به نداشتن عناصر آلیاژی در قطعه کار خام قبل از برش و همچنین الکترود سیمی نیز با درصد آلیاژی ثابت از برنج CuZn37 و با قطر یکسان (0.25mm) مورد استفاده قرار گرفته است.

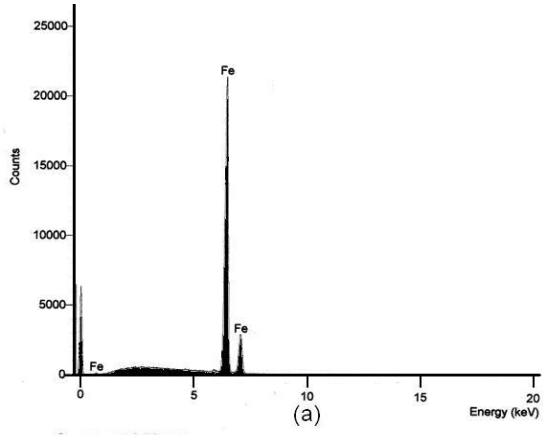
همچنین با توجه به تاثیر هدایت الکتریکی دی‌الکتریک، مقدار آن در تمام آزمایشات با کنترل میزان هدایت الکتریکی آب دی یونیزه شده، ثابت بوده است. پس از انجام برش نیز نمونه‌ها پس از خشک شدن به منظور جلوگیری از اکسیداسیون بوسیله میکروسکوپ SEM از لحاظ مورفولوژی سطحی مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین به منظور بررسی نفوذ مواد سیم درسطح قطعه کار و بررسی لایه آلیاژی شکل گرفته از XRF، EDXA جذب اتمی استفاده شده است. سختی سطح نمونه ها نیز بوسیله دستگاه میکروسختی با بار ۲۵g و در مدت زمان ۲۰s مورد تست قرار داده شده است. در این تست برای هر نمونه میانگین سختی دست کم ۵ تست از نقاط مختلف سطحی مد نظر قرار داده شده است.

۳- نتایج و بحث

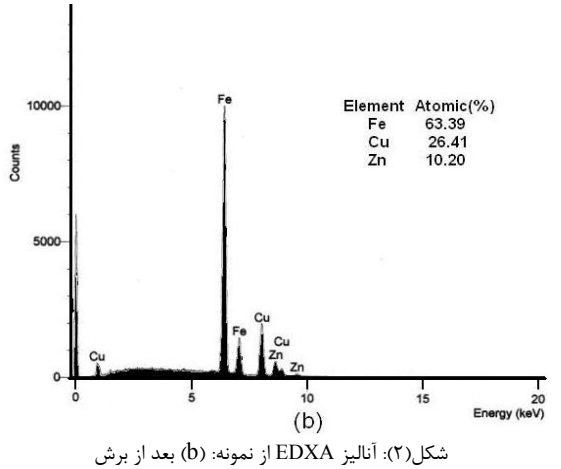
۳-۱- تاثیر پارامترهای مختلف عملیاتی بر روی مورفولـوژی، ترکیب شیمیائی و میکروسختی سطح برش

در این بخش از مطالعـه آزمایـشگاهی، سـطح بـرش خـورده توسـط وایرکات با توجه به رفتار جرقه و تولید دهانه‌هـای آتـش فـشانی در روی سطح قطعه کار، مورد بررسی کیفی و کمی قـرار گرفتـه اسـت. لذا سطح کار شده و همچنین مقطع عرضی آن تحـت میکروسـکوپ الکترونی و آنالیزهای مختلف X-Ray مورد بررسی واقع شـده‌انـد. بـا ایجاد جرقه در گـپ بـین الکترودهـا در کوتـاهترین فاصـله بـین دو الکترود، دهانه‌های آتش فشانی بر روی سطح حاصل از بـرش ایجـاد می‌گردند. لذا با توجه به پارامترهای انتخابی، سایز ایـن دهانـه‌هـای آتش فشانی و همچنین حاشیه برجـسته‌ای کـه بـا ذوب مجـدد بـه صورت ریم در اطراف دهانه‌های آتش فشانی موجود هستند، متفاوت از یکدیگر خواهد بود.

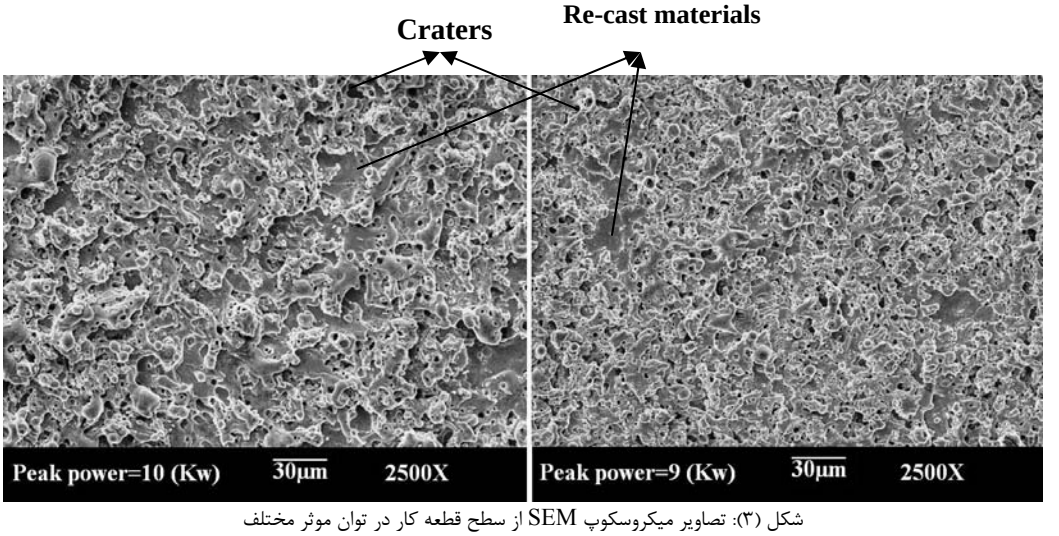
با توجه به نوع پروسه، می توان مدل بار برداری توسط تبخیر شـدن و تشکیل آوارهای بسیار کوچک را عامل اصلی نفـوذ مـواد سـیم در سطح قطعه کار دانست. که با توجه به مورفولـوژی سـطحی قطعـات مختلف، و ضخامت بر جستگی کناره دهانه‌های آتش فشانی می‌توان ایـن مـسئله را در تـصاویر میکروسـکپی قطعـات کـار بـا انتخـاب پارامترهای مختلف به وضوح مشاهده کرد(اشکال ۳ تا ۷). همچنـین در این تصاویر دیده می‌شود که، با ایجـاد جرقـه‌هـای پـی‌درپـی در زمانهای کم، دهانه‌های آتش فشانی بر روی هم افتـاده انـد و پدیـده روی هم افتادگی (Over Lap) را ایجادنموده‌اند. لذا با افزایش درصد آوارهای جدا شده از سطح سیم با مکانیزم تبخیـر، غلظـت مـواد بـه منظور نفوذ بر روی سطح برش افزوده شده اسـت. لـذا بـا توجـه بـه اینکه برخی از پارامترها بر این امر تاثیر گذار هستند. تغییر آنها مـی تواند بار برداری را با درصد بیشتری از بخـار حوضـچه مـذاب ایجـاد کند، و علاوه بر افزایش غلظت مواد نفوذ کننـده، توزیـع مناسـبی از این مواد را بر روی سطح برش ایجاد نماید.



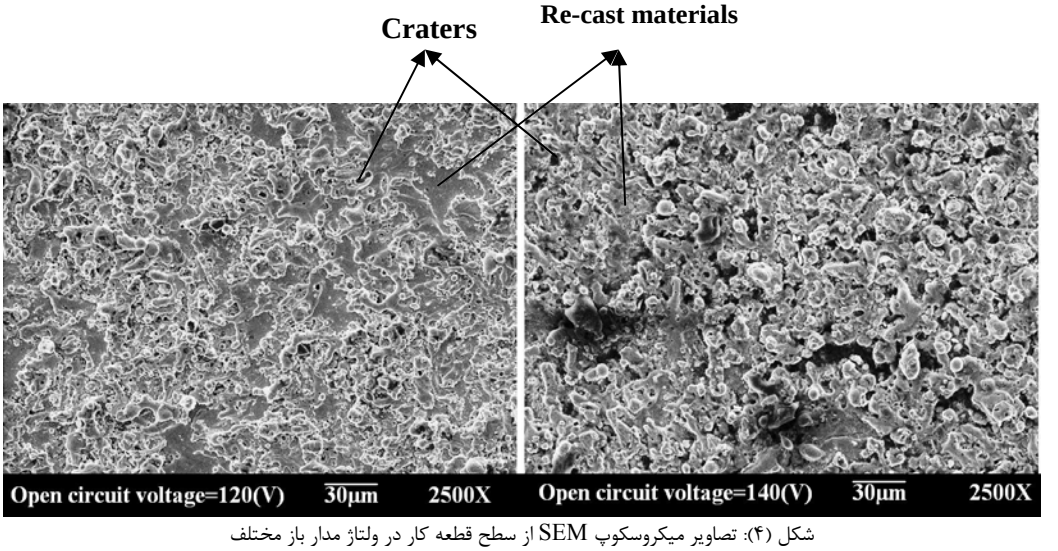
(a) قبل از انجام برش



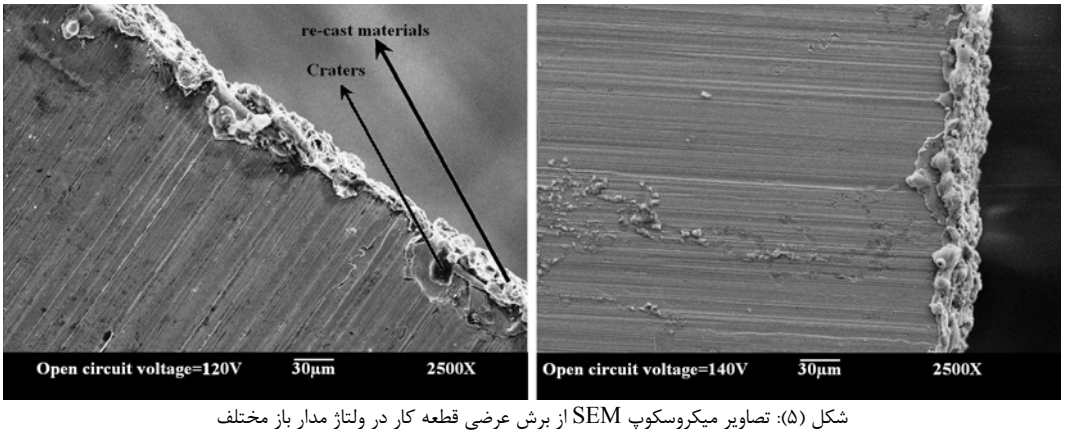
شکل(۲): آنالیز EDXA از نمونه: (b) بعد از برش



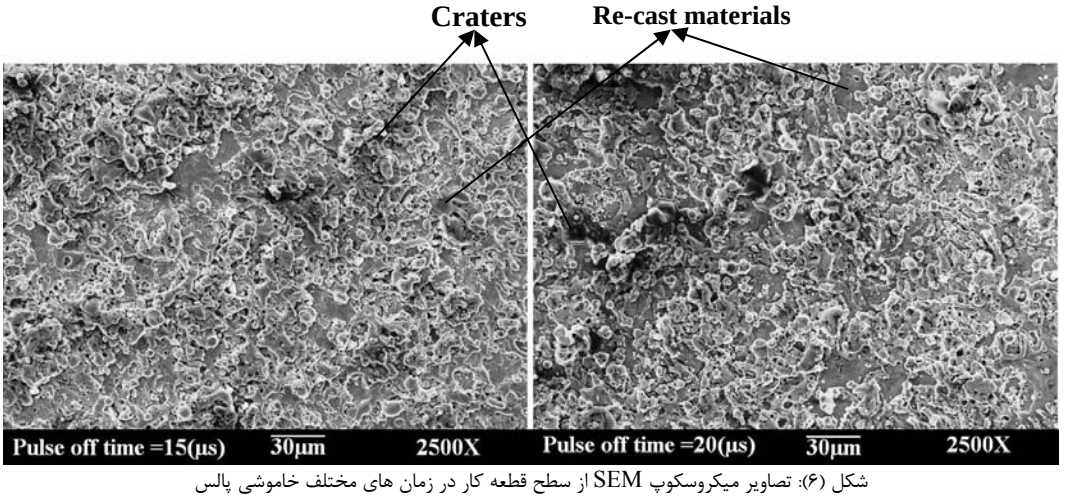
شکل (۳): تصاویر میکروسکوپ SEM از سطح قطعه کار در توان موثر مختلف



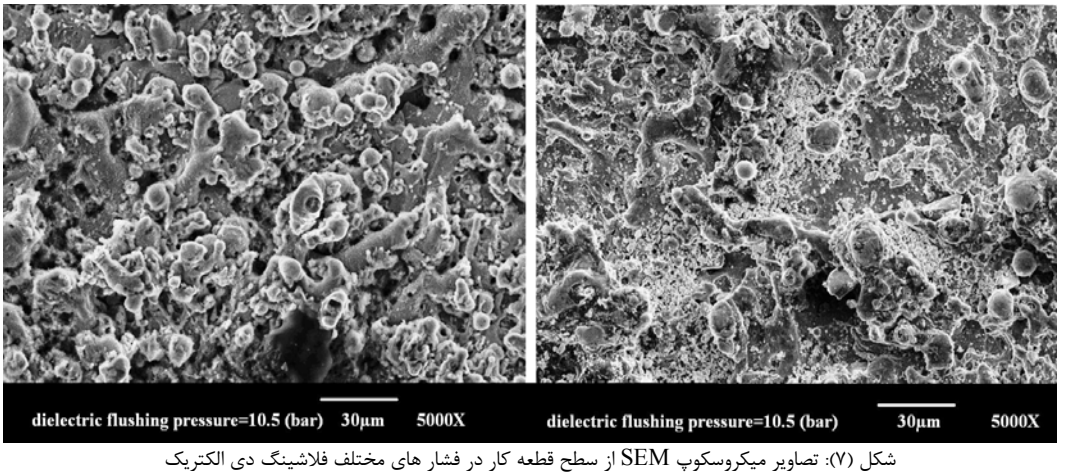
شکل (۴): تصاویر میکروسکوپ SEM از سطح قطعه کار در ولتاژ مدار باز مختلف



شکل (۵): تصاویر میکروسکوپ SEM از برش عرضی قطعه کار در ولتاژ مدار باز مختلف



شکل (۶): تصاویر میکروسکوپ SEM از سطح قطعه کار در زمان های مختلف خاموشی پالس



شکل (۷): تصاویر میکروسکوپ SEM از سطح قطعه کار در فشار های مختلف فلاشینگ دی الکتریک

۳-۱-۱- توان و ولتاژ مدار باز

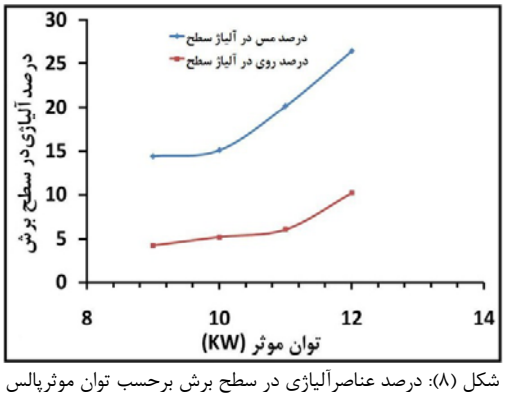
با افزایش در توان و ولتاژ مدار باز، با توجه به افزایش دانسیته انرژی پالسها و افزایش حرارت محیط کاری، سطح تصویر برداری شده با میکروسکوپ الکترونیکی روبشی، با توجه به افزایش درصد بخارشدن دهانه‌های آتش فشانی میبایستی از برجستگی‌های سطحی کمتری برخوردار باشد، ولی بخاطر افزایش قدرت باربرداری و افزایش سایز و عمق دهانه‌های آتش‌فشانی و دمای حرارت بالا با افزایش این دو پارامتر سطح ناصاف تری حاصل شده است، بطوریکه ذوب مجدد عمق بیشتری در حین انجام فرآیند برش داشته است (شکل۳،۴و۵). همچنین با افزایش توان و ولتاژ مدار باز، با توجه به دمای بالای محیط کاری و افزایش غلظت آوارهای حمله ور شده از سیم به سطح قطعه کار بر روی دهانه های عمیق آتش فشانی ایجاد شده در سطح، درصد نفوذ عناصر مس و روی که از آلیاژ برنج سیم بر روی قطعه کار نفوذ کرده اند نیز افزایش یافته است(شکل ۸ و ۹).

جدول (۱): رنج پارامتر های عملیاتی

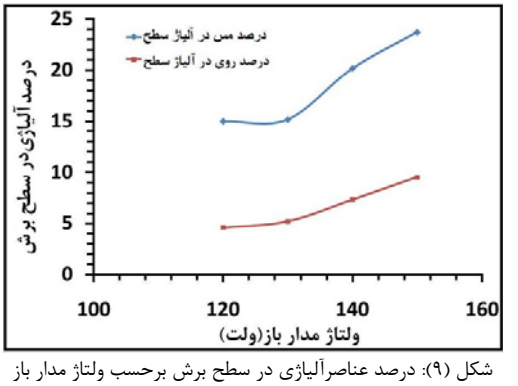
No	Operational Parameters	Machining Condition	Condition in This Study
1	Peak Power (Kw)	0-15	9-12
2	Pulse off time (μs)	1-127	7-20
3	Pulse on time (μs)	0.7	0.7
4	Servo Voltage (V)	1-256	30
5	Dielectric Flushing Pressure (bar)	0-10.5	3.5-10.5
6	Open circuit voltage(V)	100-250	120-150
7	Wire Speed(m/min)	0-15	4
8	Wire Tension(N)	0-31	31

لذا در نهایت با افزایش هر دو پارامتر عملیاتی توان و ولتاژ مدار باز با افزایش درصد مس و روی نفوذ کرده در لایه سطحی حاصل از برش، آلیاژ سطحی شکل گرفته چنانکه در نمودارهای اشکال (۱۰و۱۱) نیز مشاهده می شود با افزایش میکروسختی سطحی همراه شده است.

همچنین در منحنی شکل (۱۲) که میکروسختی تا عمق ۳۰۰ میکرونی از سطح انجام شده نیز مشاهده می شود میکروسختی در سطح و تا تقریبا عمق ۳۰میکرونی از سطح تا چند برابر سختی قطعه قبل از برش افزایش داشته است که دلیل این امر سرد کردن سریع لایه ذوب مجدد شده و انجام آلیاژسازی در سطح برش می باشد که با افزایش عناصر آلیاژی همانند مس و روی به سطح و نیز انجماد سریع لایه آلیاژی شکل گرفته با فلاشینگ آب دی یونیزه، با توجه به سرعت انجماد بسیار بالا در حد چند میکروثانیه، لایه سطحی سطح برش سختی بالاتری را به نسبت قطعه پایه داراست.



شکل (۸): درصد عناصرآلیاژی در سطح برش برحسب توان موثرپالس

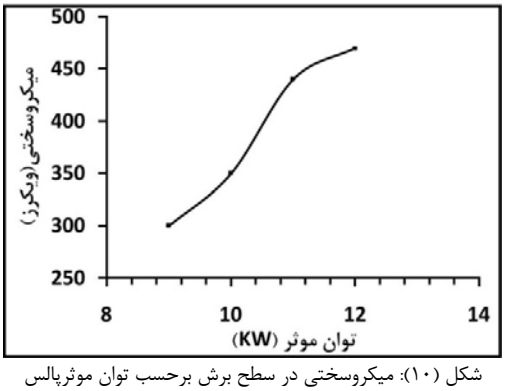


شکل (۹): درصد عناصرآلیاژی در سطح برش برحسب ولتاژ مدار باز

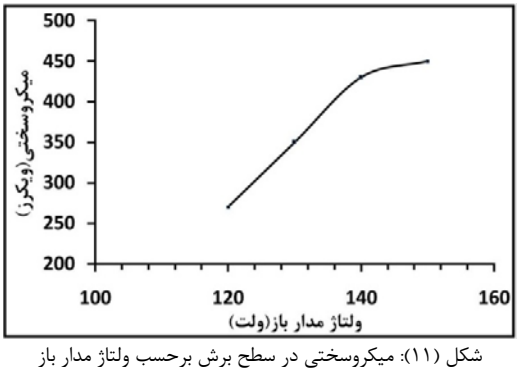
۳-۱-۲- زمان خاموشی پالس

سطح قطعه کار با افزایش زمان خاموشی پالس با توجه به کاهش تعداد جرقه ها و کاهش دمای محیط کاری دارای تعداد کمتری دهانه آتش فشانی در روی سطح قطعه کار شده و به علت پائین آمدن تعداد جرقه‌ها، دهانه‌ها ی آتش فشانی، بطور گسسته تری از هم قرار گرفته‌اند. و به عبارت دیگر پدیده روی هم قرار گرفتن دهانه های آتش فشانی کاهش داده شده است شکل(۶).

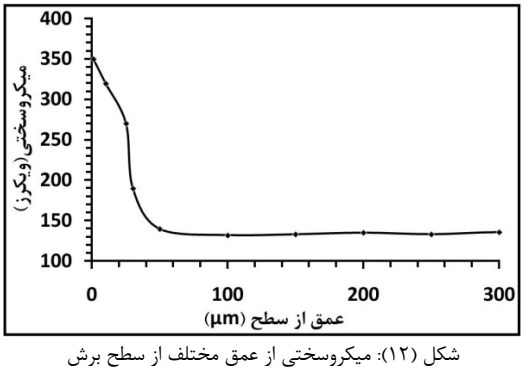
همچنین با افزایش زمان خاموشی پالس، تعداد جرقه ها در واحد زمان کاهش یافته و این کاهش تعداد دهانه‌های آتش فشانی در سطح برش و نیز کاهش درصد آوارها در منطقه کاری را در پی دارد. همچنین خنک کاری بهتر گپ را سبب شده که این امر نیز کاهش درصد مس و روی نفوذ کرده در سطح برش را در پی دارد (شکل۱۳). با کاهش درصد مس و روی نفوذ کرده آلیاژ سطحی شکل گرفته چنانچه در نمودار شکل نیز مشاهده می شود با کاهش میکروسختی سطحی همراه شده است(شکل۱۴).



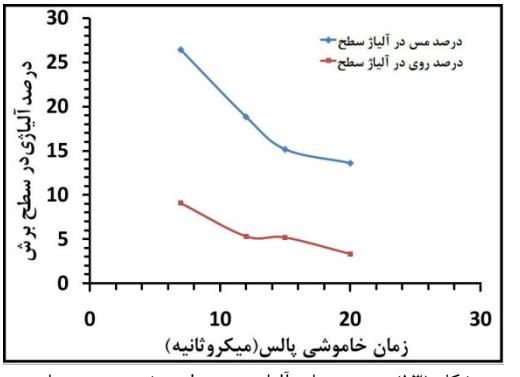
شکل (۱۰): میکروسختی در سطح برش برحسب توان موثرپالس



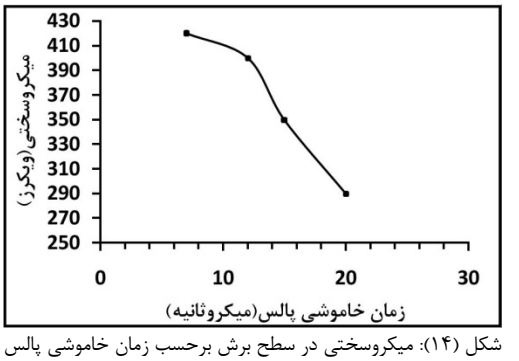
شکل (۱۱): میکروسختی در سطح برش برحسب ولتاژ مدار باز



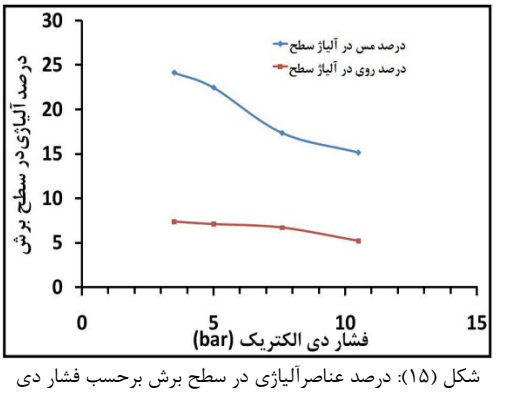
شکل (۱۲): میکروسختی از عمق مختلف از سطح برش



شکل (۱۳):. درصد عناصرآلیاژی در سطح برش برحسب زمان خاموشی



شکل (۱۴): میکروسختی در سطح برش برحسب زمان خاموشی پالس



شکل (۱۵): درصد عناصرآلیاژی در سطح برش برحسب فشار دی الکتریک

شکل (۱۶): میکروسختی در سطح برش برحسب زمان فشار دی الکتریک

۳-۱-۳- فشار دی الکتریک

با افزایش فشار دی‌الکتریک با توجه به افزایش توان خنک کنندگی سطح قطعه کار و افزایش میزان مذاب خارج شده از درون دهانه‌های آتش فشانی، برجستگی های کناره دهانه ها، افزایش پیدا کرده است(شکل۷). همچنین افزایش میزان آوارهای خارج شده از محیط کاری سبب کاهش غلظت آوارها در گپ کاری شده و در نهایت کاهش میزان مهاجرت آوارهای جدا شده از سیم به سمت سطح برش خورده از قطعه کار را سبب شده که این امر کاهش درصد عناصر آلیاژی از مواد سیم در لایه منجمد شده سطحی را در پی دارد(شکل۱۵). لذا این امر خود باعث کاهش میکروسختی در سطح برش خواهد بود ولی در نمودار شکل (۱۶) عکس این مطلب مشاهده می شود. بطوری که با افزایش فشار دی الکتریک سختی سطحی نیز افزایش داشته است. که علت این افزایش را میتوان افزایش سرعت انجماد لایه آلیاژی ذوب مجدد شده دانست، که با افزایش فشار دی الکتریک و افزایش قدرت خنک کاری گپ کاری لایه سطحی با سرعت بالاتری منجمد شده و این امر سبب تشکیل فازهایی با سختی بیشتر در سطح شده و سختی لایه سطحی را افزایش داده است.

۴- نتیجه گیری

۴-۱- خواص شیمیایی و فیزیکی لایه آلیاژی سطحی

با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف بر روی افزایش و یا کاهش درصد نفوذ مواد سیم در سطح قطعه کار و با توجه به جنس سیم و نیز پارامترهای موثر بر روی سرعت سرد کردن آلیاژ می توان عملیات نفوذ بر روی سطح قطعه کار را به منظور آلیاژسازی سطحی، برای بدست آوردن سطحی مناسب تر از لحاظ فیزیکی و شیمیایی در ضمن عملیات برش داشت.

۴-۲- خواص مکانیکی لایه آلیاژی سطحی

با توجه به خواص مکانیکی مناسب لایه آلیاژی سطحی ایجاد شده بر اثر نفوذ مواد سیم در سطح قطعه کار و انجماد سریع آن می توان یکی از کاربردهای نو مهندسی برای ماشین وایرکات را پوشش دهی سطحی و ایجاد لایه‌ای با سختی مطلوب تر از قطعه کار دانست، لذا با توجه به تاثیر پارامترهای مختلف عملیاتی بر روی افزایش و یا کاهش میکروسختی سطح قطعه کار، با تنظیم این پارامترها می توان به سطحی با خواص مکانیکی مناسب تر یا سختی سطحی بالاتر برای کاربردهای خاص مهندسی، در ضمن عملیات برش رسید.

۴-۳- نتایج

لذا با بررسی های انجام گرفته در این مطالعه ، نتایج زیر حاصل شده است:

۱- افزایش پارامترهائی نظیر، توان موثر جرقه و ولتاژ مدار باز، بر اثر افزایش شدت انرژی حاصل از جرقه و افزایش دما و غلظت آوارهای مناسب برای نفوذ در سطح قطعه کار، درصد مواد نفوذ کرده بر روی سطح قطعه کار را افزایش داده است. که این خود سبب افزایش خواص مکانیکی سطح از نظر سختی سطحی می باشد.

۲- افزایش پارامتر فشار دی الکتریک، حتی با کاهش غلظت آوارهای مناسب برای نفوذ در سطح کار باعث افزایش سختی سطحی بوده که دلیل این امر افزایش سرعت سرد کردن آلیاژ ذوب مجدد سطحی می باشد.

۳- افزایش پارامتر زمان خاموشی پالس با توجه به کاهش تعداد جرقه ها در واحد زمان و کاهش دمای محیط کاری و نیزکاهش درصد مس و روی نفوذ کرده در سطح برش، کاهش خواص مکانیکی سطح از نظر سختی سطحی را در پی دارد. لذا در زمانیکه سختی سطحی مطلوب نظر نباشد میتوان برش را در زمان‌های خاموشی بالاتری انجام داد.

۵- مراجع

[1] McGeough, J. A., "Advanced Methods of Machining", Springer, Chapman & Hall, London, 1988, pp. 178.

[2] Sommer, C. and Sommer, S., "Complete EDM Handbook", Advance Publishing, 2005, pp. 235.

[3] Jameson, E. C., "Description and Development of Electrical Discharge Machining", Electrical Discharge Machining Conference, SME, Michigan, 2001, pp.16.

[4] Rahimifard, S., Newman, S. T. and Allen, R. D., "State of the Art in WEDM", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 44, 2004, pp.1247.

[5] Joseph, R. D., "Metals Handbook Machining", ASM International; 9th edition, Vol. 16, USA, 1989, pp. 213.

[6] Tosun, N., Cogun, C. and Pihtili, H., "The Effect of Cutting Parameters on Wire Crater Sizes in Wire EDM", International Journal Advanced Manufacturing Technology,Vol. 21,2003, pp. 857, 865.

[7] Dehghan, G. H. and Lotfi Neyestanak, A. A., "Comparative Morphological Studies of Spark Eroded Surfaces on WEDM and SEDM", TICME Conference, December 12-15, Tehran, Iran, 2005, pp. 578- 584.

[8] Reidenbach, F., "ASM Handbook Surface Engineering", ASM International, USA, Vol. 5, 1994, pp. 157.