

## بررسی پارامترهای ماشینکاری بر صافی سطح و سرعت ماشینکاری تنگستن کارباید در فرآیند تخلیه الکتریکی با سیم (WEDM)

مهدی جعفریان<sup>۱</sup>، غلامحسین دهقان<sup>۲</sup> و عباس وفائی صفت<sup>۳</sup>  
Jafarian\_mahdi@yahoo.com

### چکیده

صافی سطح یکی از مهمترین پارامترهای ماشینکاری است که نقش بسزایی در کیفیت محصولات مهندسی ایفا می‌کند. یک سطح با کیفیت خوب، باعث بهبود مقاومت خستگی، خوردگی و مقاومت به سایش قطعه کار می‌شود. از طرفی افزایش سرعت ماشینکاری و کاهش زمان ماشینکاری از دیگر مطلوبیت‌های سازندگان می‌باشد که به منظور کاهش هزینه اقتصادی و افزایش نرخ تولید به دنبال آن می‌باشند. با توجه به اهمیت این دو موضوع، داشتن سطحی خوب با هزینه کم مستلزم شناخت صحیحی از پارامترهای ماشینکاری وایرکات می‌باشد که در این مقاله تاثیر پارامترهای توان، زمان خاموشی پالس، ولتاژ و سرو ولتاژ را بر روی تنگستن کارباید بررسی خواهیم کرد.

### کلیدواژه:

تخلیه الکتریکی با سیم (وایرکات) - صافی سطح و سرعت ماشینکاری - تنگستن کارباید

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، عضو باشگاه پژوهشگران جوان تاکستان

۲- استادیار، دانشکده لیزر و اپتیک، سازمان تحقیقات علمی- صنعتی هسته ای

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه امام حسین (ع)

## ۱- مقدمه

ماشینکاری تخلیه الکتریکی با سیم (وایرکات)، یکی از مهمترین روش‌های ماشینکاری غیر سنتی می باشد که بطور گسترده‌ای در صنایع مختلف هوافضا، خودروسازی و قالب سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه وایرکات با پیشرفت سریعی که داشته، روشی پیشگام در برش فلزات، خصوصاً در ساخت قطعات پیچیده که نیازمند صحت و دقت بالا هستند، می‌باشد [۱]. وایرکات فرم ویژه‌ای از ماشینکاری بوسیله تخلیه الکتریکی است، با این تفاوت که در این ماشین، سیمی با حرکت مداوم و پیوسته به عنوان الکتروود نقش برداشت مواد در نتیجه ایجاد جرقه بر روی مواد را انجام می‌دهد [۲]. تحقیقات بسیاری بوسیله محققین بر روی مواد مختلف به منظور مطالعه پارامترهای ماشینکاری صورت گرفته است. Gokler یکسری آزمایشات بر روی ۳ فولاد مختلف (2738-2379) تحت ضخامت‌های متفاوت جهت رسیدن به صافی سطح مطلوب انجام داد. تحقیقات وی نشان می‌دهد، افزایش ضخامت قطعه کار موجب پایداری بیشتر و صافی سطح بهتری از قطعه کار می‌گردد. همچنین در این آزمایش به تاثیر جنس مواد در کیفیت سطح نیز اشاره شده است [۳]. Kokanlayasiri به بررسی پارامترهای موثر روی صافی سطح فولاد جدیدی بنام DC53 پرداخته‌اند. پارامترهایی که مورد مطالعه قرار دارند شامل زمان روشنایی پالس، زمان خاموشی پالس، جریان و کشش سیم می‌باشد. نتایج وی نشان می‌دهد که زمان روشنایی پالس و جریان متغیرهایی هستند که بر روی کیفیت سطح اثر می‌گذارند [۴]. Jiang, Han در آزمایشات خود تاثیر جریان تخلیه را به تنهایی روی سطح بررسی کرده‌اند آنها پالس‌هایی با ارزشی یکسان منتهی یکی با زمان روشنایی پالس کوتاه و جریان بالا و دیگری با زمان طولانی و جریان کم استفاده کردند که نتایج آنها نشان می‌دهد که زمان پالس کم و مقدار پیک بالا کیفیت سطح بهتری را ایجاد می‌کند. ماده‌ای را که آنها بررسی کرده‌اند فولاد Cr12 بوده است [۵]. Takino و همکارانش برش تک کریستال سیلیکون را در دو سیال آب و روغن با هدف ایجاد صافی سطح بالا بررسی کردند. آنها ترک‌های سطحی به وجودآمده را با انجام برش نهایی در روغن از بین بردند [۶]. در این مقاله به اثر پارامترهای ماشینکاری چون توان، زمان خاموشی پالس، ولتاژ و سرو ولتاژ بر روی کیفیت سطح و سرعت برش فولاد تنگستن کارباید پرداخته شده است.

## ۲- آزمایشات

## ۱-۱- مواد

مواد مختلف، بدلیل نقطه ذوب، تبخیر و ضریب هدایت حرارتی متفاوتی که دارند تحت شرایط یکسان ماشینکاری، کیفیت سطح و سرعت بار برداری‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. ماده‌ای که در آزمایشات از آن استفاده شده است، تنگستن کارباید می‌باشد. تنگستن کارباید جزء کاربیدهای سماتنه است که به کاربید فلزی معروفند. ویژگی اصلی این ماده سختی بالا، مقاومت شیمیایی بالا و هدایت حرارتی و الکتریکی خوب است. همچنین استحکام دمای بالای بسیار مناسبی دارد. به دلیل سختی بالایی که دارد ماشینکاری آن به روش سنتی بسیار مشکل می‌باشد. لذا با توجه به اینکه وایرکات یک پروسه حرارتی است و سختی ماده در آن تاثیر ندارد، بهترین گزینه برای ماشینکاری تنگستن کارباید می‌تواند باشد. ابعاد قطعه با مقطع  $10 \times 10$  میلی‌متر و به طول ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

## ۲-۲- نحوه آزمایش

وایرکات دارای پارامترهای مختلفی می‌باشد. با توجه به پژوهش‌های قبلی و شرایط دستگاه، متغیرهای آزمایش، توان (power)، زمان خاموشی پالس ( $T_{off}$ )، ولتاژ مدار باز (voltage) و سرو ولتاژ (servo) در نظر گرفته شده است و پارامترهایی چون سرعت تغذیه سیم (Wire speed)، قطر سیم (Wire diameter) و کشش سیم (Wire Tension) در این آزمایش ثابت در نظر گرفته شده‌اند (جدول (۱ و ۲)).

جدول (۱): پارامترهای متغیر آزمایش و سطوح آن

واحد	سطح ۴	سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	پارامترها
kw	۱۱	۹	۷	۵	توان (P)
$\mu s$	۲۰	۱۴	۸	۵	زمان خاموش پالس ( $T_{off}$ )
v	-	۱۳۰	۱۲۰	۱۰۰	ولتاژ (v)
v	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	سرو ولتاژ (sv)

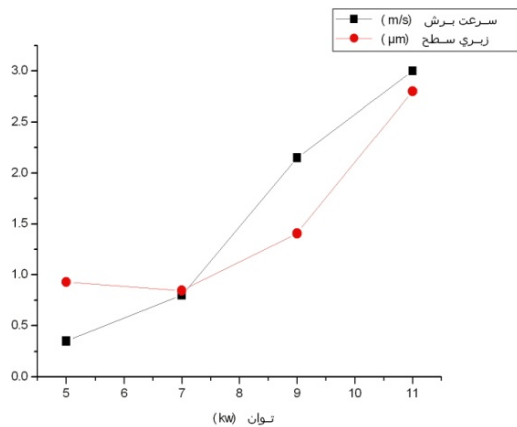
جدول (۲): پارامترهای ثابت آزمایش

سرعت تغذیه سیم	۴ m/s
قطر سیم	۰/۲۵ Mm
کشش سیم	۹۰۰ N/mm <sup>2</sup>

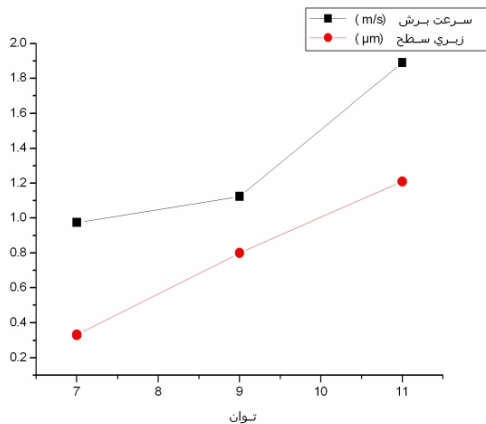
جهت انجام آزمایشات از دستگاه ONA R250 5Aix-CNC استفاده شده است. سرعت ماشینکاری با توجه به ثابت بودن مقطع قطعه کار (۱۰ میلی‌متر)، با اندازه گیری مدت زمان ماشینکاری به کمک کرنومتر، از تقسیم طول قطعه به مدت زمان برش به دست می‌آید. به منظور اندازه گیری زبری سطح از دستگاه Perthometer M1 شرکت Mahr استفاده شده است. معیار اندازه گیری Ra می‌باشد.

### ۳-۱- اثر توان

با افزایش توان، انرژی جرقه‌های افزایش یافته، در نتیجه حجم دهانه‌های آتش فشانی ایجاد شده در روی سطح قطعه کار افزایش می‌یابد. درجه حرارت روی سطح قطعه کار بسیار بالا می‌رود و در اثر این جرقه‌های بزرگ، حفره‌های بزرگتری از تبخیر و ذوب مواد ایجاد می‌گردد. در نتیجه همانطور که در شکل‌های (۳ و ۴) نشان داده شده است افزایش توان باعث افزایش سرعت براده برداری و کاهش صافی سطح می‌گردد.



شکل (۳): اثر توان تحت پارامترهای  $T=5\mu s$  و  $V=100v$  و  $Sv=50v$

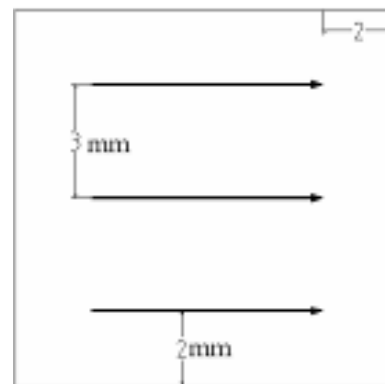


شکل (۴): اثر توان تحت پارامترهای  $T=20\mu s$  و  $V=100v$  و  $Sv=50v$

### ۳-۲- اثر زمان خاموشی پالس

مشاهده می‌شود در توان‌های بالا افزایش در زمان خاموشی به بهبود کیفیت سطح منجر شده است. ولی این رفتار در توان‌های پایین بالعکس می‌باشد. افزایش زمان با افزایش توان اجازه شستشو فضای گپ و کاهش حرارت سطح قطعه کار را می‌دهد. افزایش زمان

نحوه اندازه‌گیری سطوح، همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود در ۳ راستا به فواصل معین ۳ میلی‌متر از مرکز قطعه کار و همچنین در جهت عمود بر این راستا صورت گرفته و میانگین زبری در هر جهت به دست آورده شده است [۳]. عدد زبری بزرگتر، معرف زبری آن سطح در نظر گرفته شده است. به دلیل ناپایداری فرآیند برش در شروع کار، در اندازه‌گیری زبری سطح از لبه‌های قطعه کار به اندازه ۲ میلی‌متر افست در نظر می‌گیریم. با توجه به تعداد نمونه‌ها و همچنین به منظور کاهش خطا و دقت در اندازه‌گیری، فیکسچری طراحی شده است که با نصب قطعه در آن، از حرکت و لرزش قطعه کار ممانعت نموده و در اندازه‌گیری تسریع می‌شود (شکل (۲)).



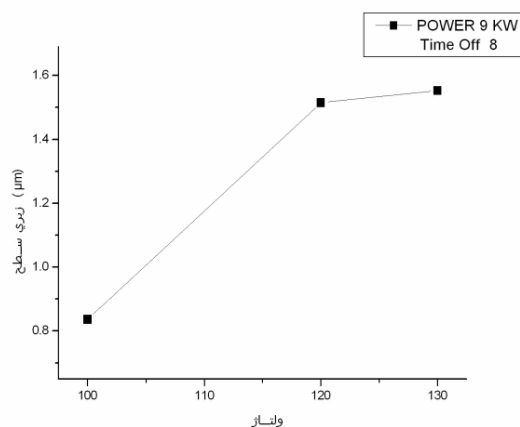
شکل (۱): نحوه اندازه‌گیری زبری سطح روی قطعه کار



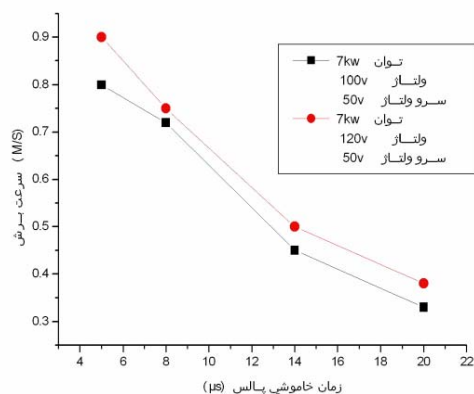
شکل (۲): فیکسچر برای نگهداری قطعه کار

### ۳-۳- تجزیه و تحلیل نتایج

پس از انجام آزمایشات با مطالعه اثر هر یک از پارامترها بر روی سرعت ماشینکاری و صافی سطح روابط زیر مشاهده گردید:



شکل (۷): افزایش زبری سطح با افزایش ولتاژ

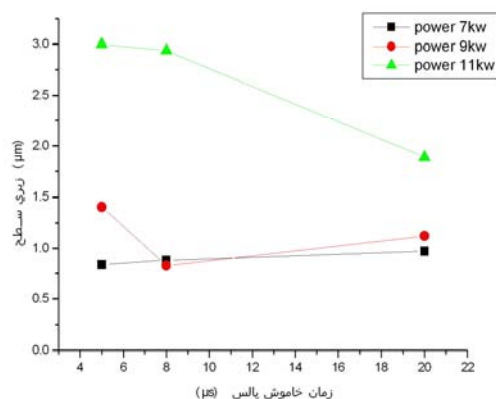


شکل (۸): افزایش ولتاژ و افزایش سرعت برش

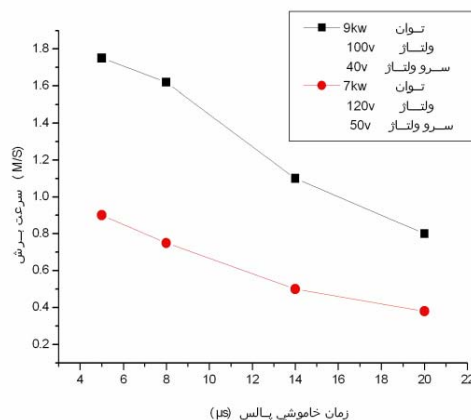
### ۳-۴ - اثر سرو ولتاژ

افزایش سرو ولتاژ، باعث افزایش گپ ماشینکاری می‌شود. در این حالت انرژی جرقه‌ها کاهش یافته و پایداری ماشینکاری پایین می‌آید. کاهش بیش از حد آن باعث نزدیک شدن زیاد سیم به قطعه کار و احتمال گسیختگی سیم، عدم توانایی خروج آوارها و شستشوی نامناسب گپ می‌گردد. به همین دلیل فاصله اپتیمی وجود دارد که شرایط ماشینکاری پایدار است. همانطور که شکل (۹) نشان می‌دهد در  $Sv=40V$  کیفیت سطح بهتری را شاهد خواهیم بود. افزایش سرو باعث کاهش سرعت باربرداری می‌شود (شکل ۱۰).

خاموشی فاصله بین جرقه‌ها را افزایش داده در نتیجه سرعت ماشینکاری افت می‌کند.



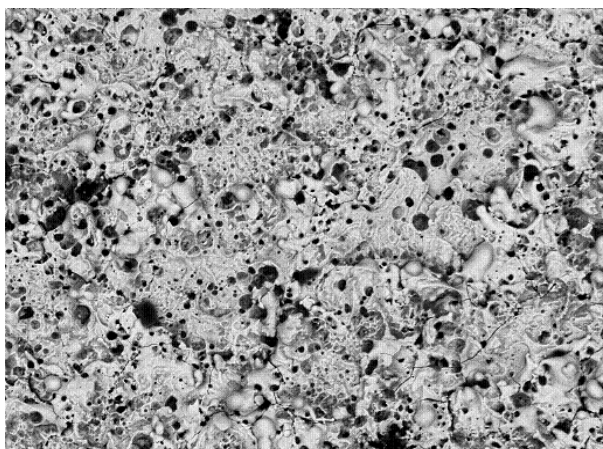
شکل (۵): اثر زمان خاموشی تحت توان های مختلف



شکل (۶): اثر زمان خاموشی تحت شرایط مختلف ماشینکاری

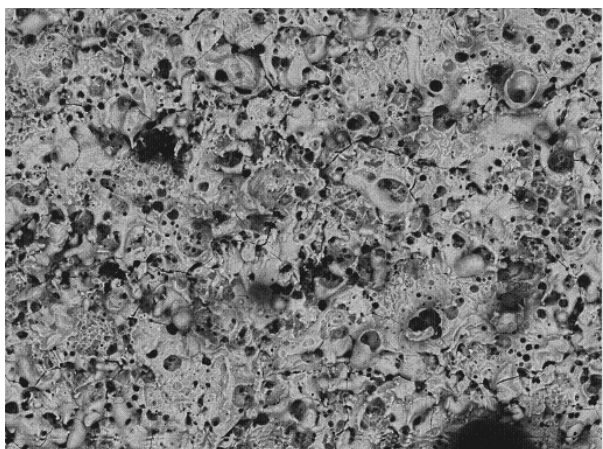
### ۳-۳ - اثر ولتاژ

چنانچه در شکل (۷) نشان داده شده است افزایش ولتاژ مدار باز باعث افزایش زبری سطح گردیده است. افزایش ولتاژ، افزایش انرژی تخلیه را در بر داشته و افزایش انرژی تخلیه، افزایش قدرت جرقه‌ها را منجر می‌شود. همچنین همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ، سرعت ماشینکاری نیز افزایش پیدا می‌کند.



Power=7kw, Toff=14μs, Vol=100v, Sv=40v

شکل (۱۲): تصویر SEM با سرو ۴۰ ولت با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر



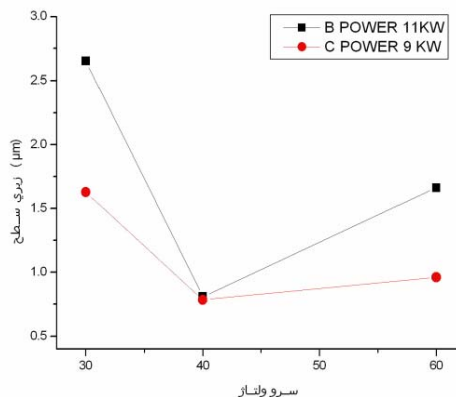
Power=9kw, Toff=14μs, Vol=100v, Sv=40v

شکل (۱۳): تصویر SEM تحت توان ۹ کیلووات با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر

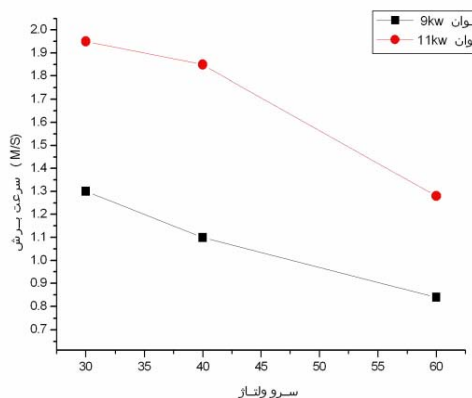
همانطور که در شکل (۱۱ و ۱۲) مشاهده می‌شود با افزایش سرو ولتاژ حفره های سطح افزایش پیدا کرده و در نتیجه زبری سطح افزایش یافته است.

**نتایج زیر را می توان از آزمایشات فوق بدست آورد:**

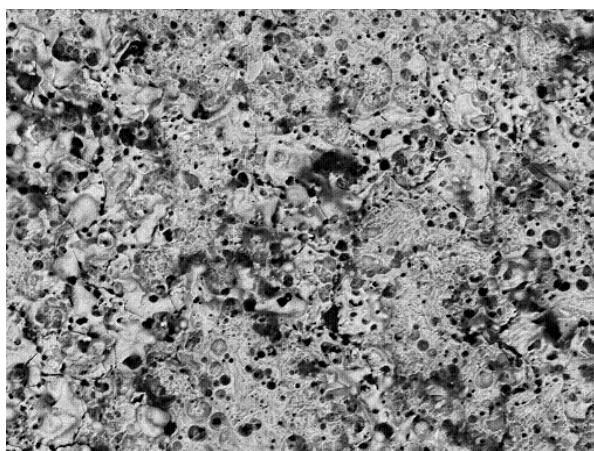
- ۱- افزایش توان، باعث افزایش انرژی تخلیه و تعداد جرقه‌های ساطع شده می‌گردد که موجب افزایش حرارت در سطح قطعه کار می‌شود. در نتیجه سرعت ماشینکاری بالا رفته و کیفیت سطح کاهش می‌یابد.
- ۲- زمان خاموشی، رفتار دوگانه‌ای دارد. در توان های بالا به دلیل انرژی زیاد جرقه‌ها و افزایش حرارت روی سطح قطعه کار، افزایش زمان خاموشی، منجر به کیفیت سطح بهتری می‌شود. چون فاصله جرقه‌های پالس‌ها افزایش یافته و فرصت خنک کاری سطح قطعه، به کمک دی



شکل (۹): اثر سرو ولتاژ بر روی زبری سطح



شکل (۱۰): اثر سرو ولتاژ بر روی سرعت برش



Power=7kw, Toff=14μs, Vol=100v, Sv=60v

شکل (۱۱): تصویر SEM با سرو ۶۰ ولت با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر

## ۵- مراجع

- [۱] م. جعفریان، غ. ح. دهقان و ا. احمدی، " پارامترهای موثر بر وایرکات "، مجله قالب سازان، ش ۴۶، ص ۲۰ تا ۲۸، ۱۳۸۶.
- [2] C. Sommer and S. Sommer, " Complete EDM Handbook" , Advance Pub., 2005.
- [3] M. I. Gokler and A. M. Ozanozgu, "Experimental investigation of effects of cutting parameters on surface roughness in the WEDM process", Int Journal of Machine Tools & Manufacture 40, pp.1831-1848, 2000.
- [4] K.Kanlayasiri and S.Boonmung, "An investigation on effects of wire-EDM machining parameters on surface roughness of newly developed DC53 die steel", Journal of Materials Processing Technology, pp. 26-29 , 2007.
- [5] F. Han, J. Jiang and D. Yu , " Influence of machining parameters on surface roughness in finish cut of WEDM" ,The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer London, 34, No. 5, pp. 538-546, 2006.
- [6] H. Takino, T. Ichinohe, K. Tanimoto and S. Yamaguchi, "High-quality cutting of polished single-crystal silicon by wire electrical discharge machining", Precision Engineering 29, pp. 423-430, 2005.

الکتریک داده می شود. در توان های پایین با افزایش زمان خاموشی، انرژی جرقه ها کاهش یافته و موجب کاهش سرعت ماشینکاری می شود. اما به دلیل بدتر شدن شرایط ماشینکاری افت می کند.

۳- افزایش ولتاژ موجب افزایش نیروهای جرقه و انرژی آن شده و زبری سطح را افزایش می دهد، ولی با توجه به این موضوع سرعت ماشینکاری افزایش می یابد.

۴- سرو ولتاژ فاصله گپ ماشینکاری مناسب را تعیین می کند. با توجه به آزمایشات در مقدار ۴۰ ولت شاهد مقدار کمینه ای برای زبری سطح هستیم.

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله اثر هر یک از پارامترهای ماشینکاری بر روی کیفیت سطح و سرعت برش بر روی تنگستن کارباید بررسی گردید. از آزمایشات مشاهده گردید که پارامتر زمان خاموشی و توان بیشترین تاثیر را بر روی کیفیت سطح و سرعت ماشینکاری دارند. همچنین با توجه به رابطه معکوسی که بین کیفیت سطح و سرعت ماشینکاری برقرار می باشد، می توان برای مقادیر سرعت و کیفیت سطح دلخواه با توجه به اهمیت هر یک از توابع هدف، پارامتر توان، زمان خاموشی، ولتاژ و سرو ولتاژ متناسب با آن را تنظیم کرد.