

# مطالعه تأثیر پارامترهای ورودی بر روی کیفیت سطحی فولاد ابزار AISI H13 در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی

هادی عیوضی باقری و روح الله رحمانی

باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

محمد رضا شبگرد

گروه مهندسی ساخت و تولید، دانشگاه تبریز

احمد افسری

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

( دریافت مقاله : ۸۹/۱۲/۲۱ - پذیرش مقاله : ۹۰/۰۸/۳۰ )

## چکیده

در این مقاله تأثیر پارامترهای ورودی فرآیند EDM ( زمان روش پالس، سیکل وظیفه و قطبیت ابزار) بر روی فاکتورهای ارزیابی سلامتی سطح (زبری سطح، چگالی ترکهای سطحی و ضخامت لایه سفید) در ماشینکاری فولاد ابزار AISI H13 مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می دهد در قطبیت مثبت ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی در زمانهای روشنی پالس کمتر، بیشتر از حالتی است که قطبیت ابزار منفی انتخاب شده است، در صورتی که در قطبیت منفی در زمان های روشنی پالس بیشتر، چگالی ترکهای سطحی و ضخامت لایه سفید در روی قطعه کار بیشتر است. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که در هر دو حالت قطبیت ابزار همزمان با افزایش سیکل وظیفه، چگالی ترکهای سطحی و متوسط ضخامت لایه سفید کاهش یافته و با افزایش زمان روشنی پالس مقدار زبری سطح افزایش می یابد.

واژه های کلیدی: زمان روشنی پالس، قطبیت ابزار، سیکل وظیفه، زبری سطح.

## A study on the effects of input parameters on the surface integrity of AISI H13 tool steel in Electrical discharge machining

M. R. Shabgard

Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz

H. Eivazi-Bagheri and R. Rahmany

Young Researchers Club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz

A. Afsari

Department of Engineering, Islamic Azad University branch of Shiraz

(Received 11 March 2011, accepted 20 November 2011)

### Abstract

In this paper the effect of input parameters of the EDM process (pulse on-time, duty cycle and tool polarity), on the surface integrity (surface roughness, density of surface crack, and white layer thickness) in the machining AISI H13 tool steel has been studied. The result of this research shows that in the positive tool polarity the white layer thickness and density of surface cracks in the low pulse on-time are higher than that of the tool polarity chosen to be negative. However in the negative polarity in the high pulse on-time, density of surface cracks and the thickness of the white layer are higher on the machined surface. Moreover, according to the obtained results, density of surface cracks and the average of the white layer thickness is reduced when the duty cycle increases in the two conditions of tool polarity. By the increase in the pulse on time, the amount of surface roughness is increased.

**Keywords:** Pulse on Time, Tool Polarity, Duty Cycle, Surface Roughness

E-mail of corresponding author: mrshabgard@tabrizu.ac.ir

## مقدمه

منجمد می گردند، در نتیجه تنشهای حرارتی بسیار بالایی در مواد دوباره منجمد شده سطحی ایجاد می شود. در صورتی که مقادیر این تنشها (که بیشتر از نوع کششی هستند) از استحکام شکست مواد منجمد شده بالاتر باشد، موجب ایجاد ترکهای ریز سطحی می گردند. مقدار این تنشها، بستگی به انرژی جرقه و حجم موادی دارد که به ازای یک جرقه تبدیل به مذاب شده و پس از اتمام زمان روشنی پالس دوباره منجمد می شود. درحقیقت چگالی ترکهای سطحی بستگی به ضخامت لایه سفید ایجاد شده دارد و روند تغییرات آن مشابه تغییرات متوسط ضخامت لایه سفید است [۳].

ماهیت سطح ماشین کاری شده توسط تخلیه الکتریکی از پارامترهای مهم خروجی است که کیفیت آن بسیار حایز اهمیت است. بطور کلی ماهیت این سطوح توسط دو مولفه مهم ارزیابی و مطالعه می گردد. یکی از این مولفه ها بافت سطح است که بیانگر پستی بلندیهای سطح ماشین کاری شده است و مولفه دوم خواص متالورژیکی سطح است که تغییرات ایجاد شده در لایه ها و زیرلایه های سطحی قطعه کار را معرفی می نماید. شکل (۱-۱) لایه ها و زیر لایه های حاصل از فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی را نشان می دهد.

تحقیقات متعددی در ارتباط با تأثیر پارامترهای ورودی بر روی مشخصه های خروجی فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی بعمل آمده است. آزمایشهای صورت گرفته توسط لی<sup>۷</sup> و همکاران [۳] بر روی دونوع فولاد ابزار نشان دهنده این مطلب است که با افزایش زمان روشنی پالس و شدت جریان جرقه، مقدار زبری سطح، متوسط ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی افزایش می یابد. ایوبانک<sup>۸</sup> و همکاران [۴]، با مدل سازی کاتد<sup>۹</sup> و آند<sup>۱۰</sup> در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی به این نتیجه رسیدند که، هنگام تخلیه الکتریکی شکل گیری کانال پلاسما ابتدا بر روی آند آغاز می شود و در نتیجه ابتدا آند ذوب شده و سپس امتداد کانال پلاسما به کاتد می رسد، این پدیده باعث بزرگ تر شدن شعاع کانال پلاسما

فولادهای ابزار گرمکار به سه دسته تنگستنی، مولبدنی و کرومی تقسیم می شوند، از بین این فولادها، فولادهای گرمکار بر پایه کرم (H11-H19) بیشترین کاربرد را در ساخت قالبهای آهنگری و همچنین قالبهای ریخته گری تحت فشاردارند [۱]. فولاد ابزار H13 به علت داشتن استحکام و سختی بالا یکی از مواد پرکاربرد در ساخت قالبها و ابزارهای مهندسی است که روز به روز بر کاربرد این فولاد به علت خواص منحصر به فرد آن، افزوده می گردد.

فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی یک روش ترموالکتریکی است، یعنی پدیده های حرارتی و الکتریکی بیشترین نقش را در مکانیزم باربرداری آن ایفا می کنند، لذا بر خلاف پروسه های سنتی که در آنها استحکام نهایی، حد تسلیم و همچنین خواصی نظیر مدول الاستیسیته و سختی مواد، در نرخ براده برداری و شیوه ماشین کاری قطعات تأثیر گذار هستند، این فرآیند بیشتر با خواص ترمودینامیکی و فیزیکی مواد نظیر نقطه جوش، گرمای نهان ذوب، ضریب انتقال حرارت و غیره در ارتباط است. با توجه به ماهیت پالسی جریان و ولتاژ در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی<sup>۱</sup>، هنگام قطع جریان در اثر افت سریع فشار در کانال پلاسما و پدیده جوشش حجمی<sup>۲</sup>، درصد کمی از حجم مذاب به بیرون از چاله مذاب پرتاب شده و بقیه دوباره منجمد می گردد، مواد دوباره منجمد شده بر روی سطح قطعه کار لایه ای را تشکیل می دهند که به سختی قابل اچ<sup>۳</sup> بوده و لایه سفید نامیده می شود [۲]. مشخصه بارز لایه سفید در همه نمونه های ماشین کاری شده، ترکهای ریز سطحی می باشد که بیشتر به صورت عمودی تا عمق قطعه کار ادامه یافته اند. پس از اتمام زمان روشنی پالس<sup>۴</sup>، مواد مذاب به دلیل تماس با مایع دی الکتریک<sup>۵</sup> بسیار سریع کوئنچ<sup>۶</sup> شده و به صورت غیر تعادلی

<sup>1</sup> Electrical Discharge Machining (EDM)

<sup>2</sup> Bulk Boiling

<sup>3</sup> Etching

<sup>4</sup> Pulse-on time

<sup>5</sup> Dielectric

<sup>6</sup> Quenching

<sup>7</sup> H. T. Lee

<sup>8</sup> Philip. T. Eubank

<sup>9</sup> Cathode

<sup>10</sup> Anode

استحکام و سختی کمتر پیشنهاد شده است. پاندی و سینک<sup>۶</sup> [۹]، زمان روشنی پالس (فاصله زمانی تنظیمی وصل شدت جریان تا قطع آن)، زمان خاموشی پالس، فاصله بین ابزار و قطعه کار، سیکل وظیفه (نسبت زمان روشنی پالس به مجموع زمانهای روشنی و خاموشی پالس) و قطبیت را به عنوان پارامترهای مهم ورودی با ماهیت الکتریکی و چرخش الکترو، نوع شستشو، شکل و جنس ابزار را به عنوان پارامترهایی با ماهیت غیر الکتریکی ورودی معرفی کرده اند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، افزایش سیکل وظیفه به شرطی که موجب کاهش پایداری فرآیند نشود میزان براده برداری را بیشتر می کند.

کیاک و چاکیر<sup>۷</sup> [۱۰] آزمایشاتی را جهت بررسی تأثیر پارامترهای ماشین کاری زمان روشنی پالس، زمان خاموشی پالس و شدت جریان بر روی زبری سطح قطعه کار و ابزار در ماشین کاری بوسیله تخلیه الکتریکی فولاد گرمکار AISI P20 انجام داده اند. نتایج مطالعات آنها نشان می دهد که زبری سطح قطعه کار از فاکتور زمان روشنی پالس بسیار تأثیر پذیر است و با زیاد شدن آن زبری سطح افزایش می یابد. همچنین بر اساس این تحقیق، با کاهش کیفیت سطح ابزار (زبرتر شدن سطح ابزار)، زبری سطح قطعه کار به علت چگالتر شدن شدت جریان پالس افزایش می یابد. هدف این پژوهش مطالعه تأثیر زمان روشنی پالس، سیکل وظیفه<sup>۸</sup> و قطبیت ابزار<sup>۹</sup> بر روی بافت و کیفیت سطح قطعه کار فولاد (AISI H13) است که از نکات برجسته و جدید در این زمینه بشمار می رود.

#### مواد و روش آزمایش ها

ابتدا توسط عملیات برش اولیه، ماشین کاری و سنگ زنی تعداد ۴۸ عدد نمونه فولادی آماده شد، سپس جهت دستیابی به سختی مورد نظر (۴۵-۵۲ HRC) عملیات سخت گردانی

بر روی قطب مثبت نسبت به قطب منفی می شود. کوكوبو<sup>۱</sup> و همکاران [۵]، تأثیر دو نوع دی الکتریک (نفت سفید و آب دی یونیزه<sup>۲</sup>)، قطبیت ابزار و زمان های روشنی پالس متفاوت را بر روی حجم ماده برداشته شده و ضخامت لایه سفید ایجاد شده در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی فولاد AISI 1049 بررسی کرده و گزارش نموده اند که با افزایش زمان روشنی پالس در هر دو حالت قطبیت ابزار، عمق ذوب و حجم ماده برداشته شده افزایش می یابد. همچنین ضخامت لایه سفید ایجاد شده با افزایش زمان روشنی پالس افزایش یافته و ضخامت آن در قطبیت منفی بیشتر است. تنگ لی<sup>۳</sup> و همکاران [۶]، تأثیر پارامترهای ورودی بر روی نرخ براده برداری، صافی سطح، گشادی کناری و متوسط ضخامت لایه سفید را در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایشهای صورت گرفته نشان می دهد که با افزایش زمان روشنی پالس مقدار زبری سطح و نرخ براده برداری افزایش می یابد. همچنین دسکودرس<sup>۴</sup> [۷] ویژه گی - کانال پلاسمای تشکیل شده در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی مورد مطالعه قرار داده است، نتایج این تحقیق نشان دهنده وجود اختلاف دما بین سطح آند و کاتد در فرآیند ماشین کاری تخلیه الکتریکی می باشد، بنحوی که دمای سطح کاتد بسیار گرمتر از سطح آند گزارش شده است. تبنی<sup>۵</sup> و همکاران [۸]، تغییرات نرخ براده برداری، زبری سطح و ضخامت لایه سفید ایجاد شده در عملیات ماشین کاری تخلیه الکتریکی قطعه کارهای فولادی با ابزارهای مسی و گرافیتی را با در نظر گرفتن تأثیر (شدت جریان ورودی، زمان روشنی پالس و زمان خاموشی پالس) مورد بررسی قرار داده اند. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش انرژی تخلیه، زبری سطح افزایش یافته و کیفیت سطح پایین تر می آید، همچنین شدت جریان و زمان روشنی پالس پایین برای ماشین کاری مواد با

1. H. Kokubo

2. De-ionized Water

3. Hwa-Teng LEE

4. A. Descoedres

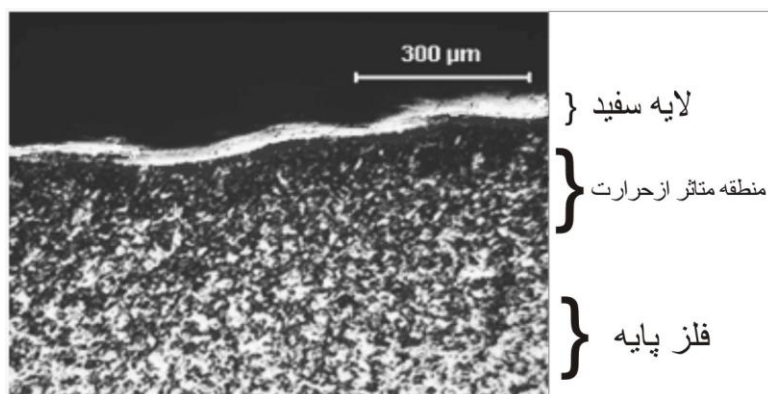
5. W. Tebni

6. A. pandey and Sh. Singh

7. Kiyak and Cakir

8. Duty cycle

9. Tool Polarity



شکل ۱. ساختار متالورژیکی لایه ها و زیر لایه های حاصل از ماشین کاری تخلیه الکتریکی [۱۱].

جدول ۱. ابعاد و جنس قطعه کار و ابزار

قطر (میلیمتر)	طول (میلیمتر)	جنس	مواد
۱۸	۲۰	مس	ابزار (الکتروود)
۲۰	۲۰	AISI H13 Tool Steel	قطعه کار

عملیات ماشین کاری تخلیه الکتریکی جهت مطالعه وضعیت سطح مقطع قطعات از نظر سلامتی سطح، قطعات ماشین کاری شده ابتدا توسط دستگاه ایرکات<sup>۳</sup> با دقت (۰/۰۱) میلیمتر به ارتفاع ۸ میلیمتر از سطح ماشین کاری شده، برش داده شده و سپس سمت برش خورده قطعات با هم و بطور یکسان تحت عملیات سنگ زنی تخت قرار گرفته و از تمامی سطوح به اندازه (۰/۱) میلیمتر باربرداری گردید.

به منظور بررسی سطح مقطع قطعه کارهای ماشین کاری شده، نمونه ها پس از مانیت گیری، سمباده زنی شده و در نهایت هر کدام به مدت ۲۰ دقیقه پولیش زده شدند. جهت مشاهده سطح مقطع قطعات توسط میکروسکوپ نوری، نمونه های پولیش شده با محلول الکل و اسید نیتریک اچ شده و بلافاصله شسته شده و توسط جریان هوای گرم، خشک گردیدند. سپس از تمامی نمونه ها توسط دستگاه میکروسکوپ نوری (Olympus PMG3) عکسهای متالوگرافی تهیه شد. مطابق منابع [۳ و ۶]، جهت محاسبه چگالی ترکهای سطحی از پارامتر بدون بُعد چگالی ترکهای سطحی (نسبت مجموع طول ترکها در یک تصویر بخش بر

نمونه های فولادی با دقت انجام پذیرفت. همچنین برای آماده سازی ۴۸ عدد ابزار مسی نیز عملیات برش کاری، ماشین کاری و پرداخت کاری انجام گردید. جدول ۱ جنس و ابعاد ابزار و قطعه کارهای آماده شده را نشان می دهد.

در این آزمایشها زمان روشن پالس، سیکل وظیفه و قطبیت ابزار بعنوان متغیرهای ورودی مستقل در نظر گرفته شدند، زمان روشن پالس در شش سطح و سیکل وظیفه در چهار سطح تغییر کرده است. بدین ترتیب (۲۴ = ۶×۴) آزمایش در حالت قطبیت مثبت و ۲۴ آزمایش نیز با حالت قطبیت منفی صورت پذیرفته است. تمامی نمونه ها توسط دستگاه اسپارک (تهران-اکرام) در حالت ایزوپالس<sup>۱</sup> به مدت ۲۰ دقیقه تحت عملیات ماشین کاری قرار گرفتند. همچنین جهت ایجاد شرایط یکسان شستشو در تمام آزمایشها، از روش شستشوی غوطه وری استفاده گردید. جهت اندازه گیری زبری سطح قطعات ماشین کاری شده از پارامتر زبری میانگین سطح<sup>۲</sup> استفاده شده و مقادیر آن توسط دستگاه (maher- perthometer M2) اندازه گیری شده است. پس از انجام

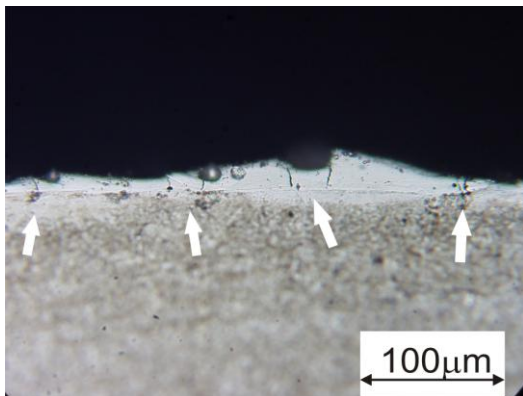
<sup>۱</sup>. Iso Pulse

<sup>۲</sup>. Roughness Average

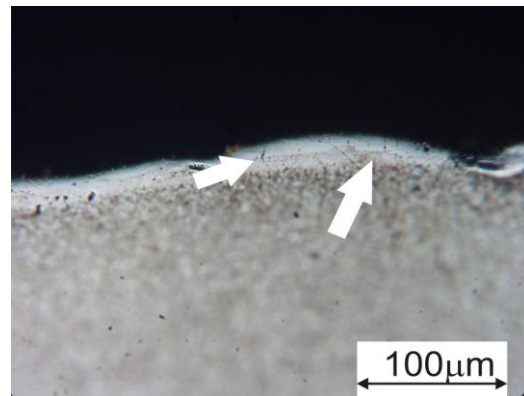
<sup>۳</sup>. Wire Cutting EDM

جدول ۲. پارامترهای ورودی و شرایط انجام آزمایش ها

دی الکتریک	نفت سفید
زمان روشنی پالس (میکروثانیه)	۲۶،۱۰،۱۵،۲۵،۵۰
ولتاژ ورودی (ولت)	۲۰۰
شدت جریان (آمپر)	۱۶
سیکل وظیفه (درصد)	۲۰،۳۰،۴۰،۵۰

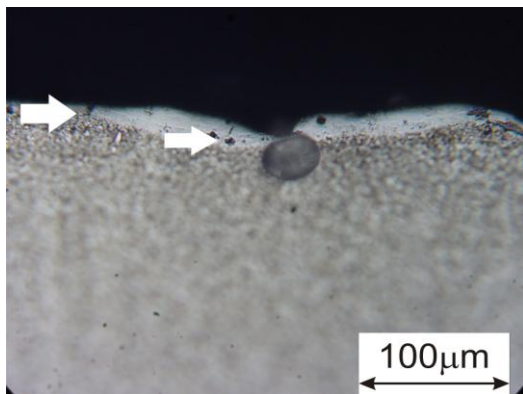


(ب)

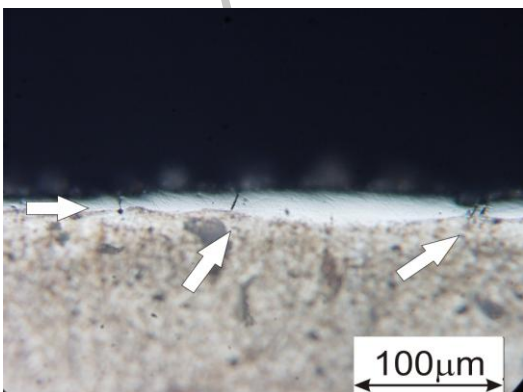


(الف)

شکل ۲. تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۵۰۰X (الف) زمان روشنی پالس : ۲۵ میکروثانیه (ب) زمان روشنی پالس : ۵۰ میکروثانیه (قطبیت منفی و سیکل وظیفه : ۳۰٪)



(الف)



(ب)

شکل ۳. تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۵۰۰X (الف) قطبیت مثبت (ب) قطبیت منفی (زمان روشنی پالس : ۵۰ میکروثانیه و سیکل وظیفه : ۲۰٪)

طول تصویر) استفاده شده است. همچنین در هر نمونه بصورت تصادفی در پنج نقطه ضخامت لایه سفید اندازه گیری گردید و میانگین آنها به عنوان معیار متوسط ضخامت لایه سفید در نظر گرفته شد. جدول ۲ پارامترهای ورودی جهت انجام آزمایش ها را نشان می دهد.

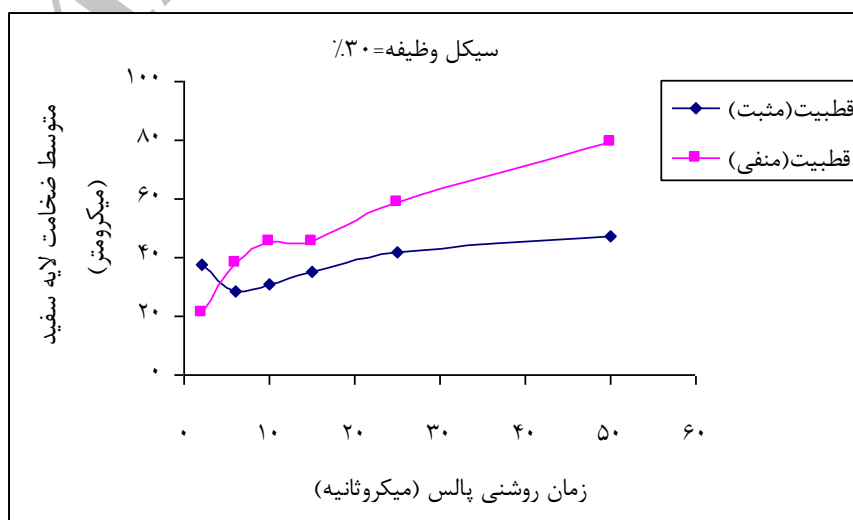
### نتایج و بحث

تأثیر زمان روشنی پالس و قطبیت ابزار بر روی ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی شکل های ۲ و ۳ تأثیر زمان روشنی پالس و قطبیت ابزار بر روی ضخامت لایه دوباره منجمد شده و ترکهای به وجود آمده بعد از عملیات ماشین کاری تخلیه الکتریکی را نشان می دهند. همانطوری که مشاهده می شود با افزایش زمان روشنی پالس، ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی افزایش یافته و در حالت قطبیت منفی ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی بیشتر از قطبیت مثبت است.

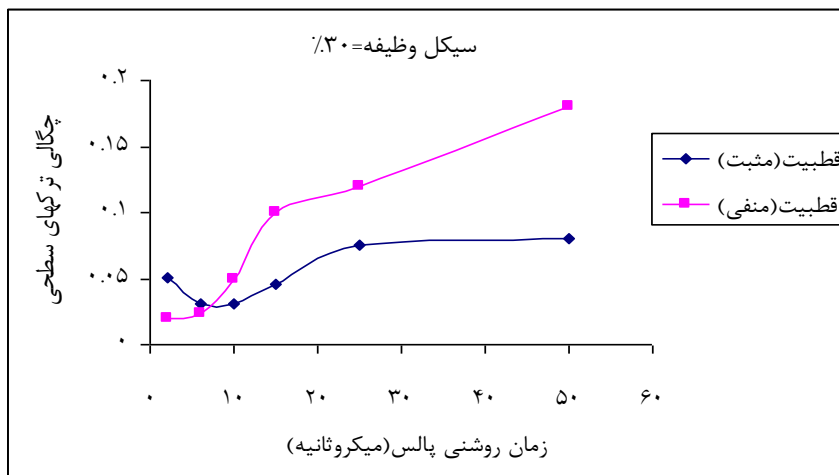
نتایج به دست آمده مشخص شده است که در زمان های روشنی پالس پایین حجم برداشت ماده از قطعه کار در قطبیت منفی بیشتر بوده و در نتیجه متوسط ضخامت لایه سفید بر روی قطعه کار در قطبیت منفی کمتر است. بخش دوم منحنی نشان می دهد که همزمان با افزایش زمان روشنی پالس و در نتیجه افزایش انرژی جرقه ها و بزرگتر شدن شعاع کانال پلاسما امکان حرکت یون های مثبت بیشتر شده و محل برخورد یون ها با سطح قطعه کار (کاتد) منطقه اصلی براده برداری است، لذا با افزایش زمان روشنی پالس متوسط ضخامت لایه سفید در قطبیت مثبت نیز روند صعودی و یکنواختی پیدا می کند.

همچنین شکل ۴ تأثیر قطبیت ابزار بر روی تغییرات ساختاری لایه های حاصل از عملیات تخلیه الکتریکی را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در زمان های روشنی بالاتر متوسط ضخامت لایه سفید در قطبیت منفی بیشتر از حالتی است که قطبیت ابزار مثبت انتخاب شده است، دلیل اصلی این موضوع را می توان بدین صورت بیان کرد که با توجه به اینکه دمای سطح کاتد گرمتر از سطح آند می باشد، در حالتی که قطبیت ابزار منفی انتخاب شده است نقطه گرمتر بر روی ابزار مسی قرار گرفته و رسانایی گرمایی بالای مس باعث اتلاف گرمای تولیدی شده و در نتیجه موجب کاهش فشار داخل کانال پلاسما که مستقیماً با دمای آن مرتبط است

همانطور که ملاحظه می شود در قطبیت منفی با افزایش زمان روشنی پالس متوسط ضخامت لایه سفید بطور یکنواخت افزایش می یابد شکل ۴. این مسأله را اینگونه می توان توجیه کرد که همزمان با افزایش زمان روشنی پالس به دلیل افزایش انرژی جرقه ها و در نتیجه افزایش عمق ذوب بر روی قطعه کار، متوسط ضخامت لایه سفید ایجاد شده افزایش می یابد. در واقع هنگامی که قطبیت ابزار منفی انتخاب شده است، قطعه کار (آند) همواره در معرض برخورد الکترونها است، به همین خاطر همزمان با افزایش زمان روشنی پالس و در نتیجه افزایش عمق ذوب، متوسط ضخامت لایه سفید بطور یکنواخت افزایش می یابد. اما همچنان که شکل ۴ نشان می دهد در قطبیت مثبت نمودار را می توان به دو بخش تقسیم کرد، در بخش اول ضخامت لایه سفید در زمان روشنی پالس=۲ میکروثانیه بیشتر از حالتی است که در آن قطبیت ابزار منفی انتخاب شده است، دلیل این امر را می توان بدین صورت بیان کرد که در زمان های روشنی پالس پایین به دلیل خاصیت تحرک پذیری زیاد الکترون ها، حرکت غالب در ستون پلاسما توسط الکترون ها صورت می پذیرد، لذا در این زمان ها به دلیل برخورد الکترونها، میزان ذوب در قطب مثبت (آند) بیشتر از قطب منفی (کاتد) است. بنابراین در زمان های روشنی پالس خیلی پایین (۲-۵ میکروثانیه) محل برخورد الکترون ها، منطقه اصلی براده برداری است که با توجه به



شکل ۴. تغییرات متوسط ضخامت لایه سفید نسبت به مقدار مدت زمان روشنی پالس



شکل ۵. تغییرات چگالی ترکهای سطحی نسبت به مقدار مدت زمان روشنی پالس

دلیل افزایش یکنواخت متوسط ضخامت لایه سفید، چگالی ترکهای سطحی نیز افزایش می یابد.

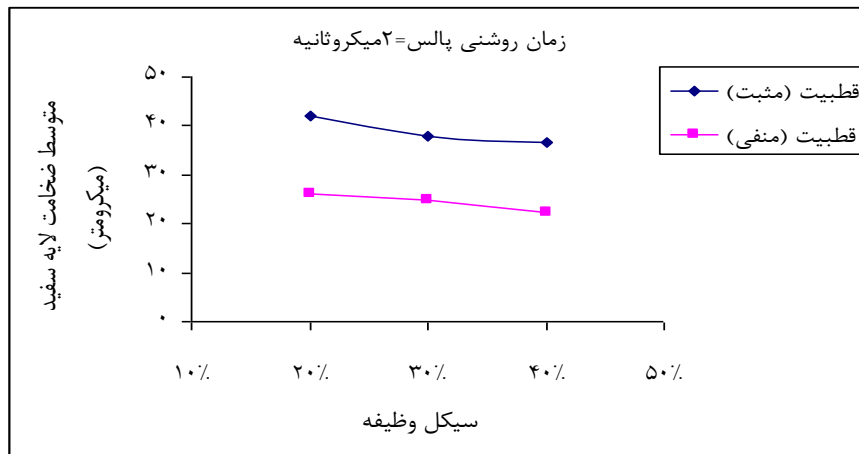
همچنین شکل ۵ تأثیر قطبیت ابزار بر روی چگالی ترکهای سطحی ایجاد شده را نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که در زمانهای روشنی پالس پایین (۲-۵ میکرو ثانیه)، چگالی ترکهای سطحی در قطبیت مثبت بیشتر است، دلیل این مسأله را اینطور می توان توجیه کرد که با توجه به وابستگی چگالی ترکهای سطحی به ضخامت لایه سفید [۳]، در قطبیت مثبت به دلیل افزایش متوسط ضخامت لایه سفید ایجاد شده در روی سطح در این زمان ها، چگالی ترکهای سطحی نیز بیشتر است، اما چگالی ترکهای سطحی در زمانهای روشنی پالس بالاتر به دلیل افزایش ضخامت لایه سفید در قطبیت منفی بیشتر از حالتی است که در آن قطبیت ابزار مثبت انتخاب شده است.

#### تأثیر سیکل وظیفه بر روی ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی

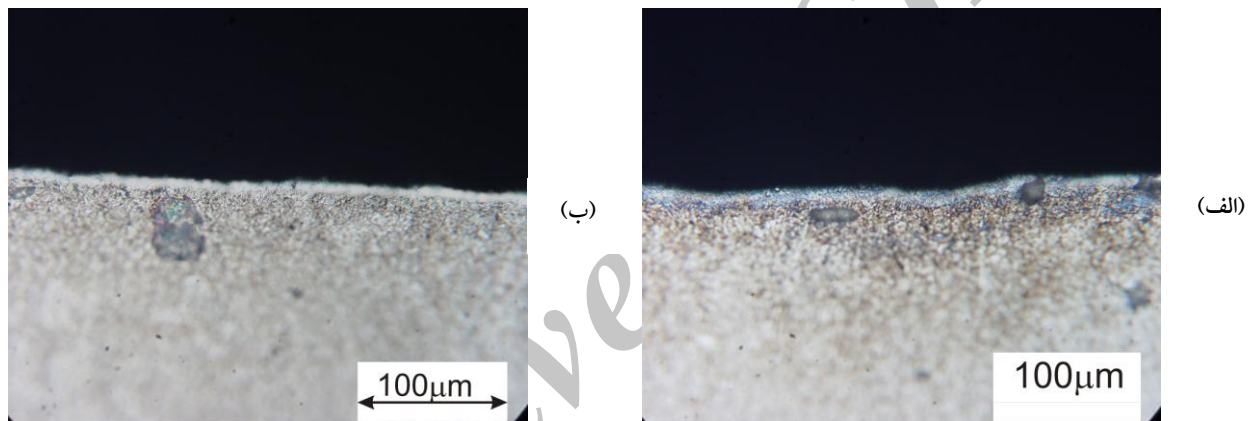
شکل ۶ تأثیر سیکل وظیفه را بر روی متوسط ضخامت لایه سفید ایجاد شده نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود همزمان با افزایش سیکل وظیفه مقدار لایه دوباره منجمد شده در روی سطح کاهش یافته شکل ۷ و در هر دو حالت قطبیت مثبت و منفی ابزار، متوسط ضخامت لایه سفید روند نزولی دارد، دلیل این امر را می توان اینطور توضیح داد که افزایش

می گردد، کاهش فشار داخل کانال در حالت قطبیت منفی باعث می شود که در هنگام قطع جریان، مقدار کمتری از فلز ذوب شده از چاله مذاب به داخل مایع دی الکتریک پرتاب شود و در نتیجه ضخامت لایه سفید افزایش می یابد [۵ و ۷].

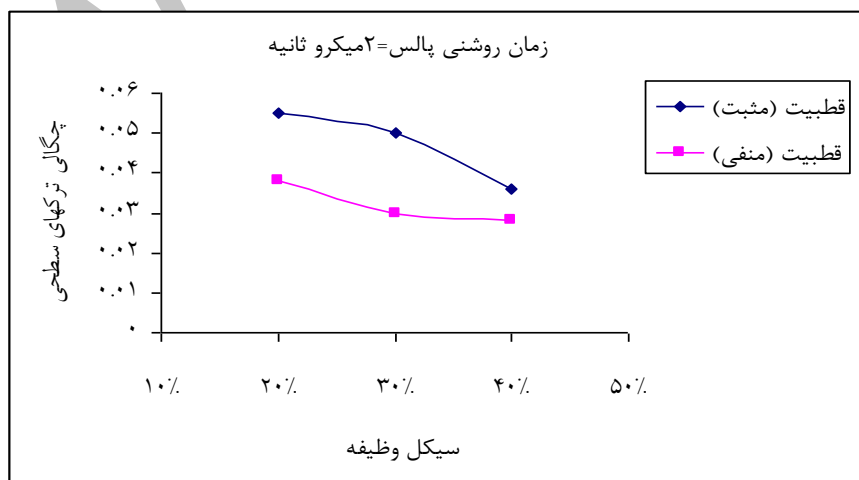
شکل ۵ تأثیر زمان روشنی پالس بر روی چگالی ترکهای سطحی ایجاد شده را نشان می دهد. همانطور که این شکل نشان می دهد در قطبیت منفی همزمان با افزایش زمان روشنی پالس چگالی ترکهای سطحی بطور یکنواخت افزایش یافته است. دلیل این مساله را چنین می توان بیان نمود که در قطبیت منفی قطعه کار همواره و در تمامی زمان ها در معرض برخورد الکترون ها است [۷] و عمق چاله مذاب ایجاد شده در روی سطح همزمان با افزایش زمان روشنی پالس بطور یکنواخت افزایش پیدا می کند، در نتیجه به دلیل افزایش یکنواخت ضخامت لایه سفید نمودار چگالی ترکهای سطحی نیز همواره روند صعودی دارد. اما در قطبیت مثبت، نمودار چگالی ترکهای سطحی به دو بخش تقسیم می شود، در بخش اول، در زمان های روشنی پالس بسیار پایین (۲-۵ میکروثانیه) چگالی ترکهای سطحی بیشتر از حالتی است که در آن قطبیت ابزار منفی انتخاب شده است، دلیل این موضوع را اینطور می توان بیان کرد که با توجه به افزایش ضخامت لایه سفید در قطبیت مثبت در زمان های روشنی پالس پایین (۲-۵ میکرو ثانیه)، چگالی ترکهای سطحی نیز ابتدا در این زمان بیشتر است، اما در بخش دوم با افزایش زمان روشنی پالس به



شکل ۶ تغییرات متوسط ضخامت لایه سفید نسبت به مقدار سیکل وظیفه



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۵۰۰X (الف) سیکل وظیفه ۲۰٪ (ب) سیکل وظیفه ۳۰٪ (زمان روشنی پالس: ۲ میکروتانیه و قطبیت منفی)



شکل ۸ تغییرات چگالی ترکهای سطحی نسبت به مقدار مدت زمان روشنی پالس

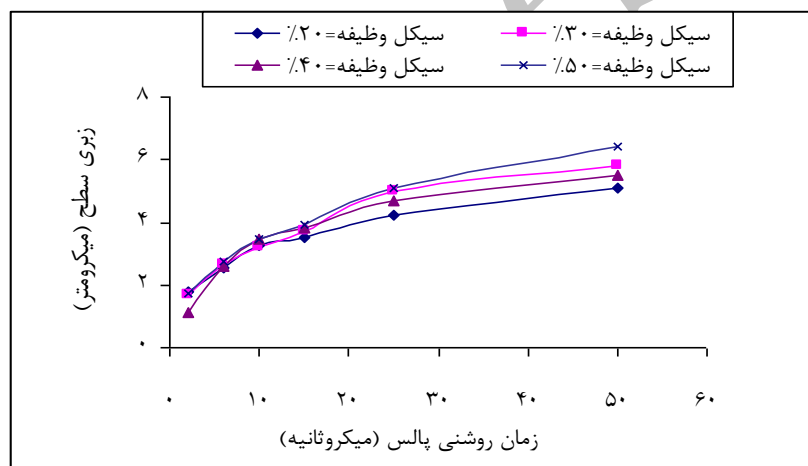


### تأثیر زمان روشنی پالس بر روی بافت و زبری سطح ماشین کاری شده

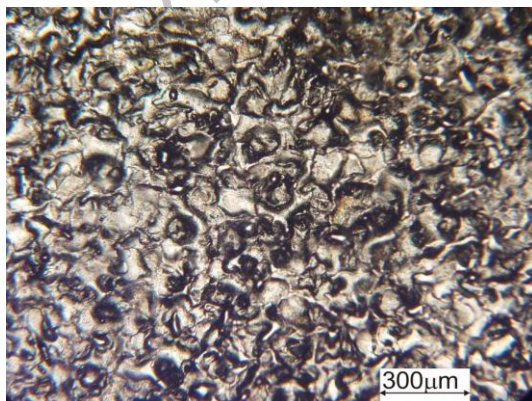
شکل ۹ تأثیر زمان روشنی پالس بر روی زبری سطح نمونه ها بعد از عملیات ماشینکاری را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش زمان روشنی پالس مقدار زبری سطح بطور یکنواخت افزایش می یابد. دلیل این مسأله را اینطور می توان توضیح داد که با افزایش زمان روشنی پالس طول زمان ماشین کاری و انرژی جرقه ها بیشتر شده و شعاع کانال پلاسما افزایش می یابد، در نتیجه نرخ برداشت ماده از سطح بیشتر شده و عمق چاله های به وجود آمده در روی قطعه کار افزایش می یابد و چاله های بزرگتری در روی سطح ایجاد می گردند (شکل ۱۰)؛ لذا با بزرگتر شدن اندازه

سیکل وظیفه باعث افزایش زمان مفید ماشین کاری و در نتیجه افزایش حجم برداشت ماده از سطح قطعه کار می شود [۹]، لذا با افزایش سیکل وظیفه، متوسط ضخامت لایه سفید کاهش می یابد.

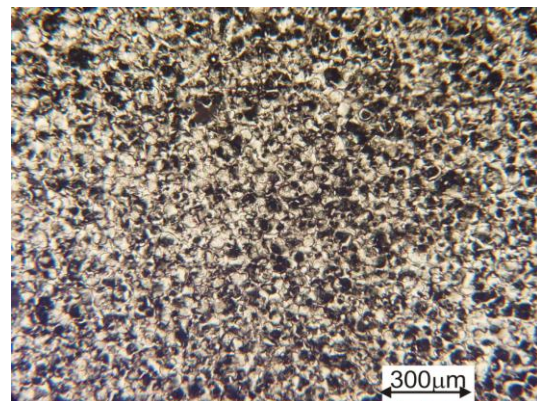
شکل ۸ تأثیر سیکل وظیفه بر روی چگالی ترکهای سطحی ایجاد شده را نشان می دهد. این شکل نشانگر آن است که همزمان با افزایش سیکل وظیفه در هر دو حالت قطبیت ابزار (مثبت و منفی) چگالی ترکهای سطحی کاهش می یابد. این مسأله را اینگونه می توان توجیه کرد که با افزایش سیکل وظیفه به دلیل افزایش نرخ برداشت ماده از سطح قطعه کار و در نتیجه کاهش ضخامت لایه سفید، چگالی ترکهای سطحی نیز کاهش می یابد.



شکل ۹. تغییرات زبری سطح قطعه کار نسبت به مقدار مدت زمان روشنی پالس در قطبیت مثبت



(ب)



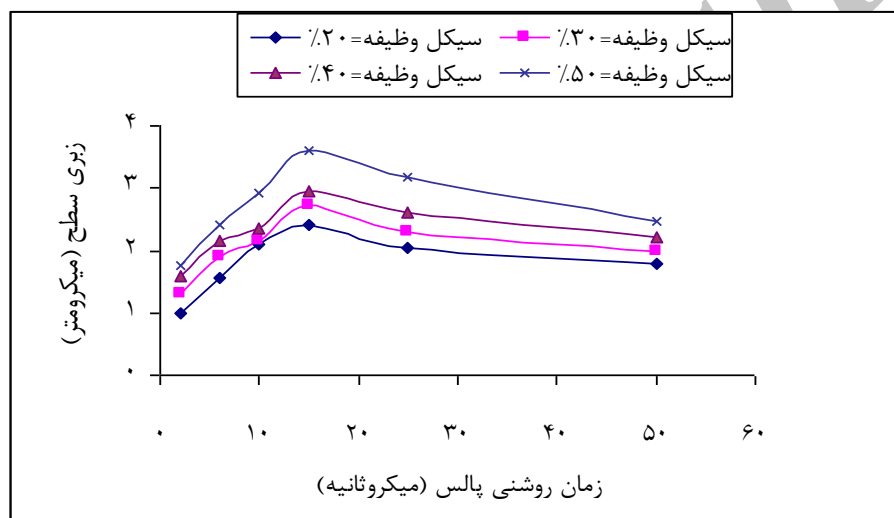
(الف)

شکل ۱۰. توپوگرافی سطح قطعه دارهای فولادی با بزرگنمایی ۱۰۰X (الف) زمان روشنی پالس: ۲ میکروثانیه (ب) زمان روشنی پالس: ۱۵ میکروثانیه

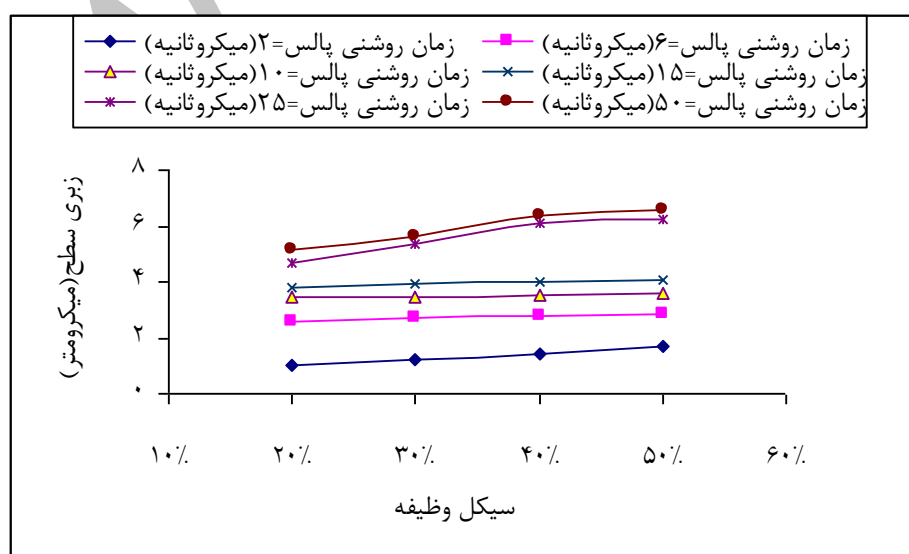
(قطبیت مثبت و سیکل وظیفه: ۳۰٪)

زمان روشنی پالس در هر دو حالت قطبیت ابزار [۱۲]، در حالت قطبیت منفی بعد از زمان روشنی پالس = (۱۵-۱۸) میکروثانیه به علت گسترش زیاد شعاع کانال پلاسما در روی سطح قطعه کار، چگالی جریان و شار گرمایی ورودی به سطح کاهش می یابد، در نتیجه میزان ذوب سطحی کاهش یافته و حجم ماده برداشته شده نیز کمتر می شود [۶ و ۱۰]، این پدیده باعث کاهش عمق چاله های به وجود آمده و مقدار زبری سطح قطعه کار بعد از زمان روشنی پالس = (۱۵-۱۸) میکروثانیه در حالت قطبیت منفی می گردد.

چاله های به وجود آمده، مقدار زبری سطح افزایش می یابد. شکل ۱۱ تأثیر زمان روشنی پالس بر روی زبری سطح ماشین کاری شده را نشان می دهد. این شکل نشانگر آن است که در قطبیت منفی با افزایش زمان روشنی پالس مقدار زبری سطح ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می یابد. این مسأله را اینگونه می توان توجیه کرد که شعاع کانال پلاسما در روی قطعه کار در قطبیت منفی، همواره بزرگتر از حالتی است که قطبیت ابزار مثبت انتخاب شده است [۴]، همچنین به دلیل افزایش شعاع کانال پلاسما همزمان با افزایش



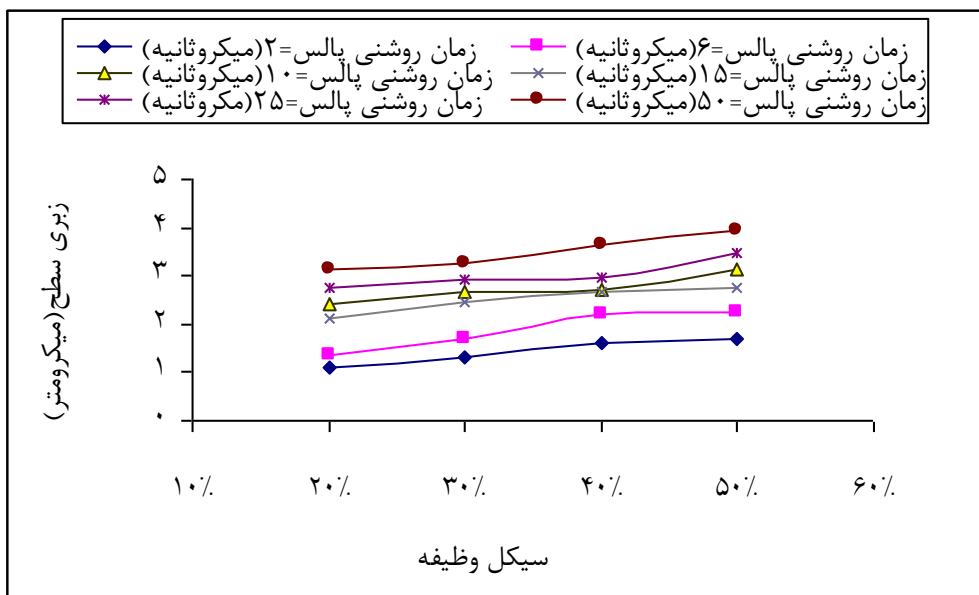
شکل ۱۱. تغییرات زبری سطح قطعه کار نسبت به مقدار مدت زمان روشنی پالس در قطبیت منفی



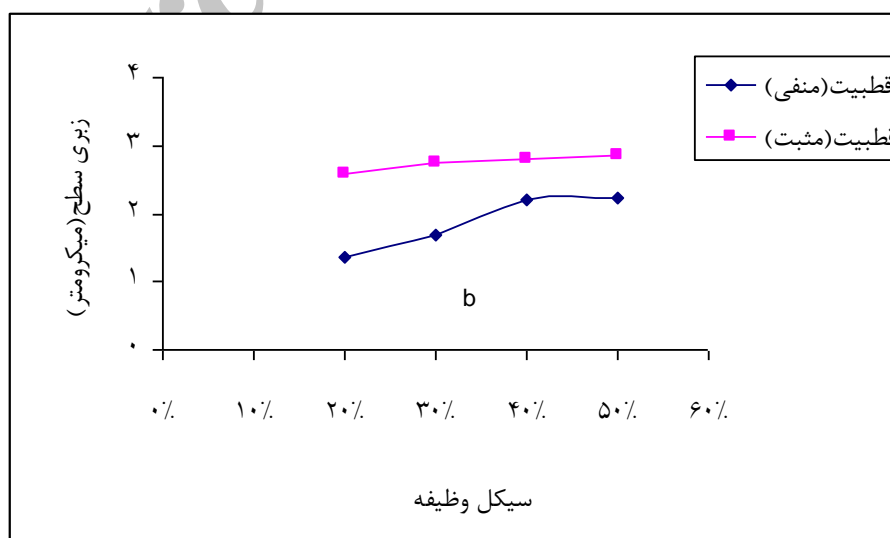
شکل ۱۲. تغییرات زبری سطح قطعه کار همزمان با افزایش زمان سیکل وظیفه (قطبیت مثبت)

مفید ماشین کاری بیشتر شده و تعداد جرقه ها افزایش می یابد، افزایش تعداد جرقه ها باعث افزایش میزان ذوب سطحی و افزایش نرخ برداشت ماده می گردد، در نتیجه مقدار عمق و قطر حفره های ایجاد شده روی سطح افزایش یافته و باعث افزایش مقدار زبری سطح می شود.

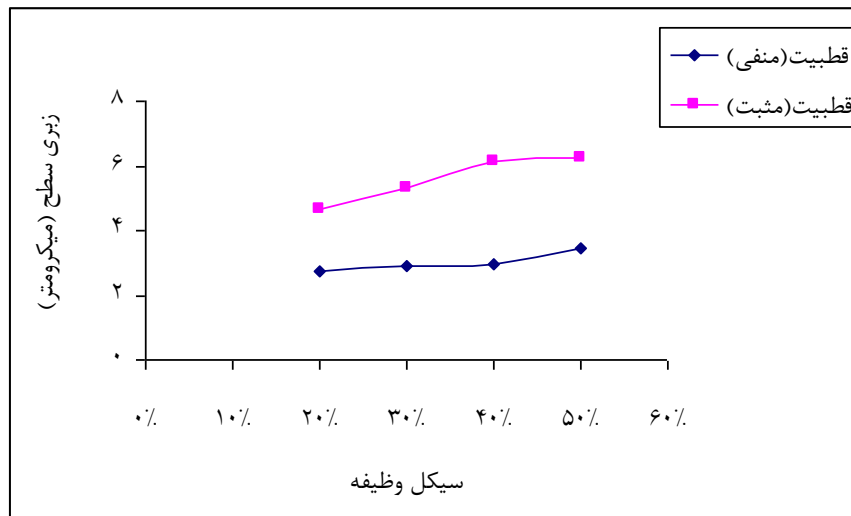
تأثیر سیکل وظیفه بر روی زبری سطح ماشین کاری شده شکل های ۱۲ و ۱۳ تأثیر سیکل وظیفه را بر روی زبری سطح در هر دو حالت قطبیت ابزار و زمان روشنی پالس ثابت نشان می دهند. همانطور که مشاهده می شود با افزایش سیکل وظیفه مقدار زبری سطح افزایش می یابد. دلیل این مسأله را چنین می توان بیان نمود که با افزایش سیکل وظیفه، زمان



شکل ۱۳. تغییرات زبری سطح قطعه کار همزمان با افزایش زمان سیکل وظیفه (قطبیت منفی)



شکل ۱۴. تغییرات زبری سطح قطعه کار همزمان با افزایش زمان سیکل وظیفه (قطبیت منفی)



شکل ۱۵. تغییرات زبری سطح قطعه کار همزمان با افزایش زمان سیکل وظیفه (زمان روشنی پالس=۲۵ میکروثانیه)

۳- مقدار زبری سطح در حالت قطبیت منفی کمتر از قطبیت مثبت می باشد، در نتیجه قطبیت منفی جهت عملیات پرداخت کاری مناسب است.

۴- در زمانهای روشنی پالس بسیار پایین متوسط ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی در قطبیت مثبت بیشتر است. بنابراین در فرآیند های پرداختکاری بسیار ظریف، نباید از قطبیت مثبت جهت ماشین کاری قطعات استفاده نمود.

۵- در زمانهای روشنی پالس بالاتر، متوسط ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی در قطبیت منفی بیشتر است.

۶- چگالی ترکهای سطحی تابعی از ضخامت لایه سفید است، بنحوی که با افزایش ضخامت لایه سفید چگالی ترکهای سطحی در قطعات ماشین کاری شده به روش تخلیه الکتریکی در هر دو حالت قطبیت ابزار (مثبت و منفی) بیشتر می شود.

۷- با افزایش سیکل وظیفه متوسط ضخامت لایه سفید و چگالی ترکهای سطحی در هر دو حالت قطبیت ابزار کاهش می یابد.

#### تأثیر قطبیت ابزار بر روی زبری سطح ماشین کاری شده

شکل های ۱۴ و ۱۵ تأثیر قطبیت ابزار را بر روی زبری سطح قطعات ماشین کاری شده نشان می دهند. همانطور که مشاهده می شود مقدار زبری سطح در حالت قطبیت مثبت بسیار بیشتر از قطبیت منفی است. دلیل این مسأله را چنین می توان بیان نمود که در حالت قطبیت منفی به دلیل گسترش شعاع کانال پلاسما بر روی قطب مثبت (قطعه کار)، چاله های مذاب با عمق کمتر و سطح بزرگتر در روی سطح قطعه کار ایجاد می شوند، در حالیکه در قطب مثبت چاله های ایجاد شده در روی سطح دارای قطر کمتر و عمق بیشتر هستند، همچنین نرخ برداشت ماده از سطح قطعه کار در حالت قطبیت منفی کمتر از قطبیت مثبت می باشد، به همین دلیل مقدار زبری سطح در حالت قطبیت منفی کمتر است.

#### نتیجه گیری

۱- با افزایش زمان روشنی پالس در هر دو حالت قطبیت ابزار (مثبت و منفی)، عمق و تعداد حفره های به وجود آمده در سطح قطعه کار افزایش می یابد.

۲- مقدار زبری سطح با افزایش زمان روشنی پالس و سیکل وظیفه افزایش می یابد.

### منابع

۱. فتی عبدالوحید و عرفانیان محمد، آشنایی با متالورژی فیزیکی (ترجمه)، مرکز نشر دانشگاهی، تهران (۱۳۸۱).
۲. J. A. Mageough, *Advanced methods of machining*, Chapman and Hall, London (1987).
۳. H. T. Lee and T. Y. Tai, *Relationship between EDM parameters and surface crack formation*, Journal of Materials Processing Technology, 142(2003)676-683.
۴. Ph. T. Eubank, M. R. Patel and M. A. Barrufet, *Theoretical models of the electrical discharge machining process*, I. A Simple Cathode Erosion Model Journal of Applied Physics, 66(1989)4095-4103.
۵. H. Kokubo, H. Takezawa, K. Horio, N. Mohri and T. Yamazaki, *A Study on the material removal mechanism in EDM-single discharge experiments with low melting temperature alloy*, American Society for precision Engineering publications (2004).
۶. H. T. Lee, F. Ch. Hsu and T. Y. Tai, *Study of surface integrity using the small area EDM process with a copper-tungsten electrode*, Materials Science and Engineering A364(2004)346-356.
۷. A. Descoedres, Ph. D. Thesis, University of Lausanne (2006).
۸. W. Tebni, M. Boujelbene and E. Bayraktar, *Parametric approach model for determining electrical discharge machining (EDM) conditions: Effect of cutting parameters on the surface integrity*, The Arabian Journal for Science and Engineering, 34(2009)101-114.
۹. A. Pandey, Sh. Singh, *Current research trends in variants of electrical discharge machining: A review*, International Journal of Engineering Science and Technology, 2(6) (2010)2172-2191.
۱۰. M. Kiyak, O. Çakir, *Examination of machining parameters on surface roughness in EDM of tool steel*, Journal of Materials Processing Technology, 191(2007)141-144.
۱۱. M. Boujelbene, E. Bayraktar, W. Tebni and S. Ben Salem, *Influence of machining parameters on the surface integrity in electrical discharge machining*, Materials Science and Engineering, 37(2009)110-116.
۱۲. P. C. Pandey and S. T. Jilani, *Plasma channel growth and the resolidified layer in EDM*, Butterworth & Co Publishers, 8(1986)104-110.

Archive