

جلسات سوم تا ششم: مدارهای ایزوفراکانس و ایزوپالس



نقاط ضعف مدار RC در ماشین های تخلیه الکتریکی

- با توجه به کم بودن زمان جرقه (در حد ۰.۲ میکروثانیه) در مدار RC، از این مدار نمی توان برای خشن کاری استفاده نمود و نیاز به استفاده از مداری است که نرخ باربرداری بیشتری داشته باشد. $f = \frac{1}{T}$
 - بازدهی مدار RC حدود ۲۰ درصد است که مقدار بسیار کمی است. (زمان شارژ خازن به نسبت در این مدار زیاد است)
 - امکان تنظیم زمان تخلیه در این نوع مدار وجود ندارد و این نوع مدار یک نوع مدار فرکانس ثابت است. (زمان تخلیه از جنبه دور کردن آلودگی ها و زمان شارژ در نرخ براده برداری موثرند)
 - امکان اندازه گیری فاصله بین ابزار و قطعه کار با استفاده از این مدار وجود ندارد.
- کنترل گپ در اسپارک بسیار مهم است

- زمان روشنی پالس در مدار ایزوپالس تا 500 میکروثانیه هم می تواند افزایش یابد.
- زمان شارژ مدار RC با تغییر ثابت زمانی قابل تغییر است در راستای افزایش نرخ براده برداری. ولی فرکانس ممکن است به جایی برسد که **آرک** رخ بدهد.

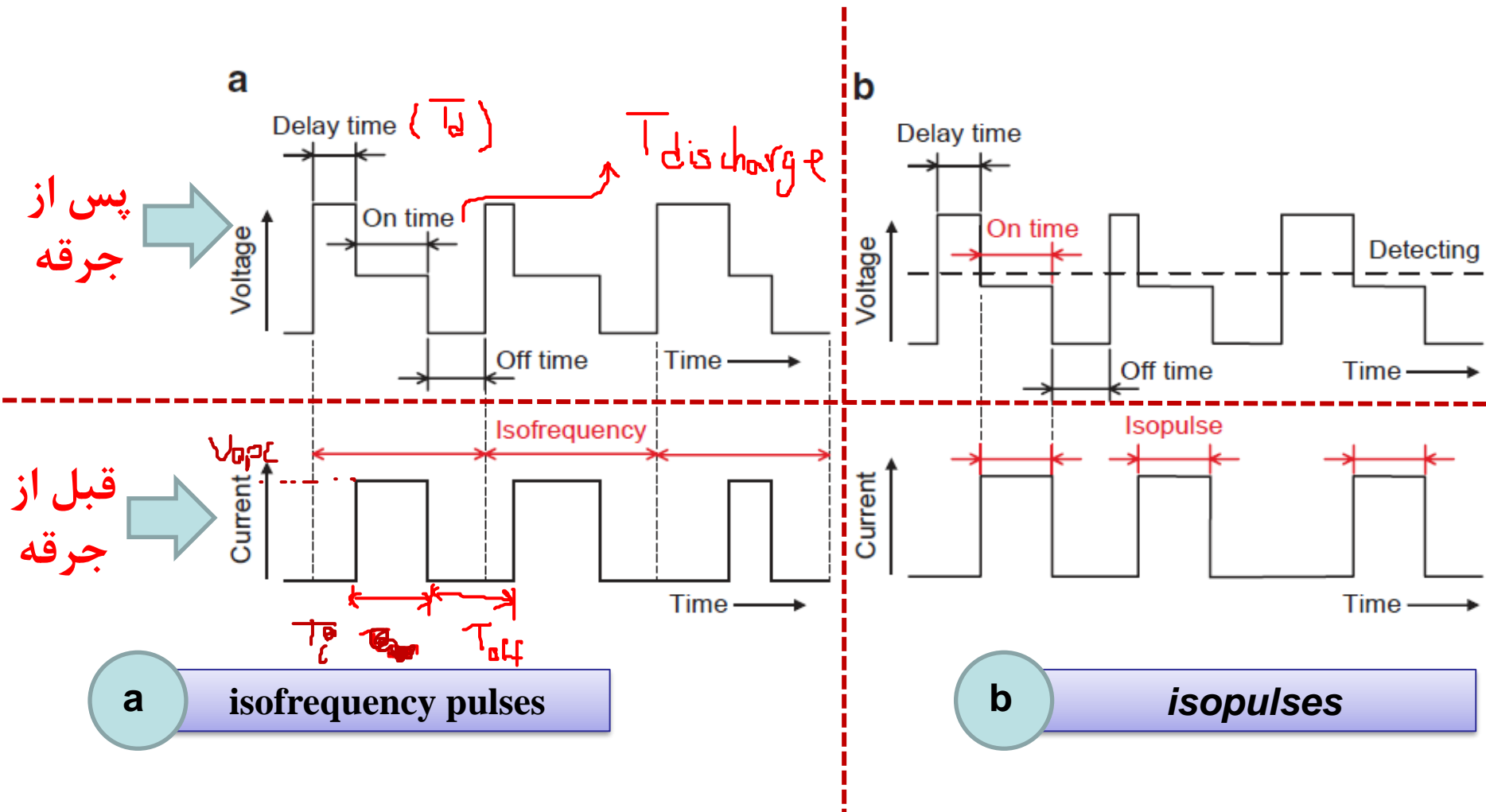
مدارهای ایزوپالس و ایزوفرکانس

برقراری پالس مربعی کنترل شده بین ابزار و قطعه کار

برق آتش / اسپارک
نیامطلوب

برق آتش / اسپارک
نیامطلوب

مدارهای پالس ثابت (Iso Pulse) و فرکانس ثابت (Iso Frequency)



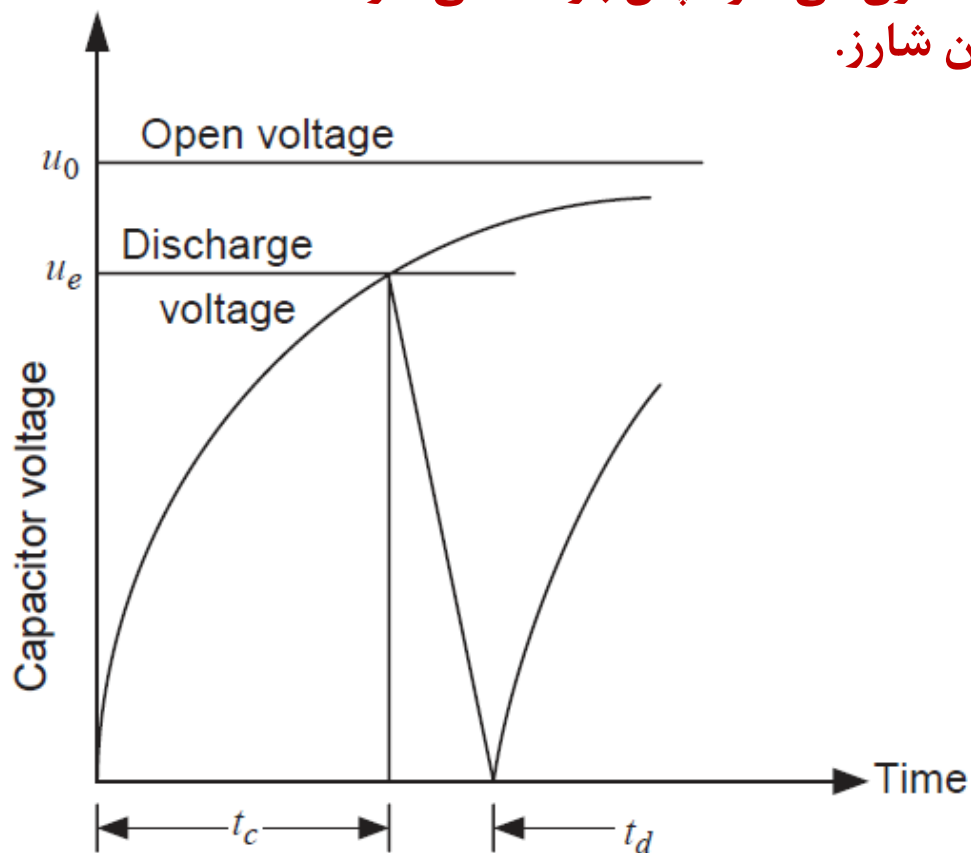
مشخصه مدارهای ایزوپالس و ایزو فرکانس

ویژگی اصلی مدارهای ایزوپالس و ایزوفرکانس این است که به گپ وابسته نیستند مثل مدار RC.

Gap Independent circuits

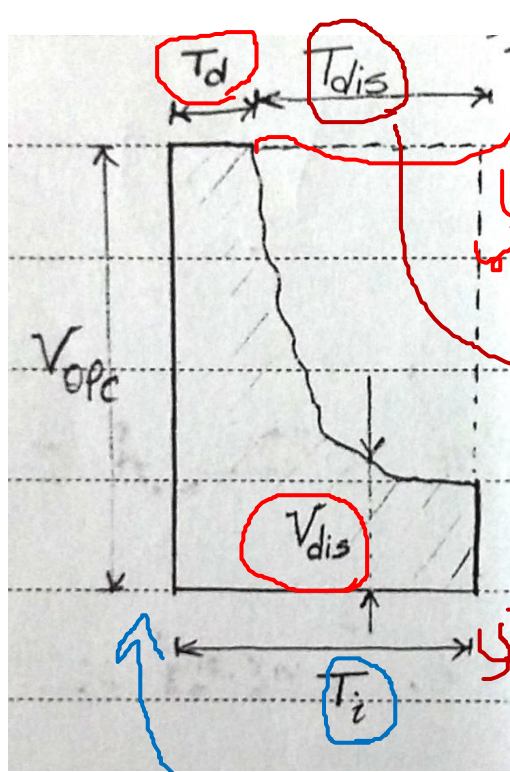
تفاوت اصلی مدارهای ایزوپالس و ایزو فرکانس در این است که در مدار ایزو فرکانس $T_d + T_{dis}$ ثابت نگه داشته می شود ولی در مدار ایزوپالس هر کدام از پارامترهای T_d و T_{dis} می توانند جداگانه ثابت نگه داشته شوند. بنابراین مدار ایزوپالس آزادی عمل بیشتری دارد و جرعه های یکنواخت تری می تواند داشته باشد.

در مدار RC ۹۹ درصد زمان صرف شارژ کردن خازن می شود پس بازده کمی دارد.
 باربرداری در زمان تخلیه انجام می شود نه زمان شارژ.



مدار RC

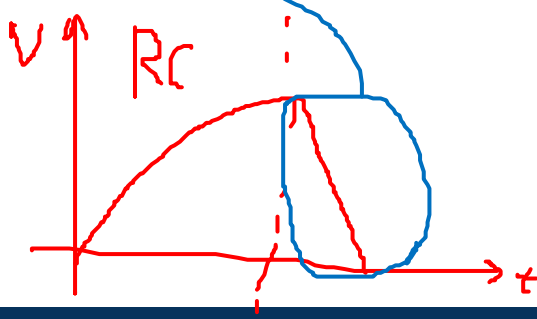
فرایند تخلیه الکتریکی در مدار ایزوفرانس و ایزوپالس



قبل از تشکیل کانال پلاسما ولتاژ برابر V_{opc} است و وقتی که کانال پلاسما شکل گرفت (پس از طی زمان تاخیر جرعه T_d) ولتاژ به V_{dis} کاهش می یابد. T_i هم زمان روشنی پالس است و T_{dis} هم زمان تخلیه (جرعه). برای ایجاد جرعه $V_{opc} > V_b$

همانطور که در شکل به صورت شماتیک نشان داده شده است زمان تخلیه که در واقع زمان باربرداری موثر است از زمان تاخیر که زمان مرده است به مراتب بزرگتر است.

پس از تشکیل کانال پلاسما موج مربعی به شکل بالا در می آید.



Td مدت زمانی است که در واقع ولتاژ بین ابزار و قطعه کار برقرار شده است ولی جرقه ایجاد نشده است و این یک موضوع طبیعی است و در همه پدیده ها یک زمانی لازم است تا فعل و انفعالات اولیه صورت بگیرد قبل از شروع پدیده اصلی.

Vopc روی دستگاه اسپارک با مقادیر ۸۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ قابل تنظیم است.

زمان تاخیر جرقه

□ در مدت زمان تاخیر جرقه (T_d) ولتاژ بین ابزار و قطعه کار برقرار شده است ولی جرقه هنوز زده نشده است.

□ به طور کلی هر عاملی که یونیزاسیون را تسریع کند زمان تاخیر جرقه را کاهش می دهد

□ عوامل موثر بر زمان تاخیر جرقه عبارتند از:

هر عاملی که
در سرعت آرازم تاثیر
منافس دارد

1. جنس و دمای دی الکتریک

2. جنس ابزار و قطعه کار

3. ولتاژ مدار باز (V_{opc}) و فاصله بین ابزار و قطعه کار

4. شکل زبری سطح ابزار و قطعه کار

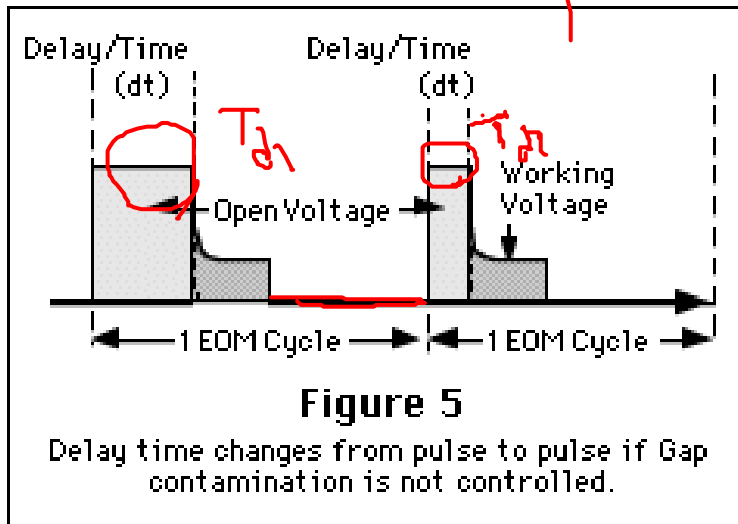
5. سرعت نسبی ابزار نسبت به قطعه کار

6. آلودگی ها

زمان تاخیر جرقه

□ زمان تاخیر جرقه برای پالس های مختلف ممکن است متفاوت باشد.

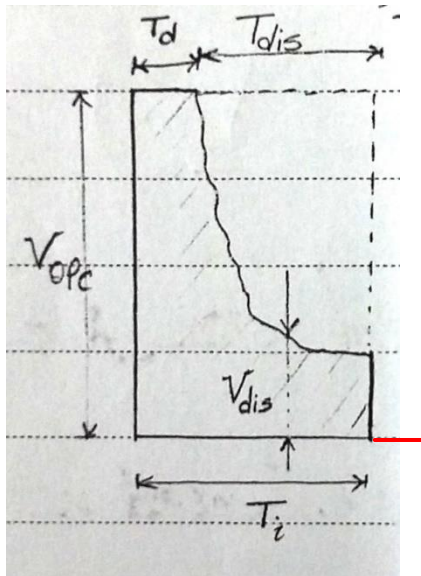
□ تغییر در شرایط استفاده از دی الکتریک برای دفع براده ها عامل آن است. اگر آلودگی های گپ به درستی کنترل نشود زمان تاخیر جرقه متغیر خواهیم داشت. از بین پارامترهای ذکر شده در صفحه قبل دمای دی الکتریک، آلودگی ها و صافی سطح ابزار در حین فرایند ممکن است تغییر کنند.



$$T_{d1} > T_{d2}$$

تکلیف کلاسی: در صورتی که شستشوی خوبی نداشته باشیم مقدار T_d در ابتدا و انتهای فرایند ماشینکاری چه تفاوتی خواهد داشت
زمان تاخیر جرقه در فرایند ماشینکاری چرا نیاز است؟

- پس از تشکیل کانال پلاسما ولتاژ پالس مربعی (V_{opc}) به ولتاژ جرقه (V_{dis}) تبدیل می شود.
- ولتاژ جرقه تابع جنس ابزار، قطعه کار و مایع دی الکتریک است.

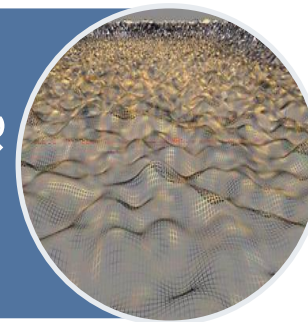


V_{dis}

ولتاژ جرقه (ولت)	جنس دی الکتریک	جنس ابزار	جنس قطعه کار
۲۰-۲۷	نفت سفید	مس	فولاد
۴۲-۴۳	نفت سفید	مس	تنگستن کارباید
۵۷	نفت سفید	مس	سیلیکون کارباید

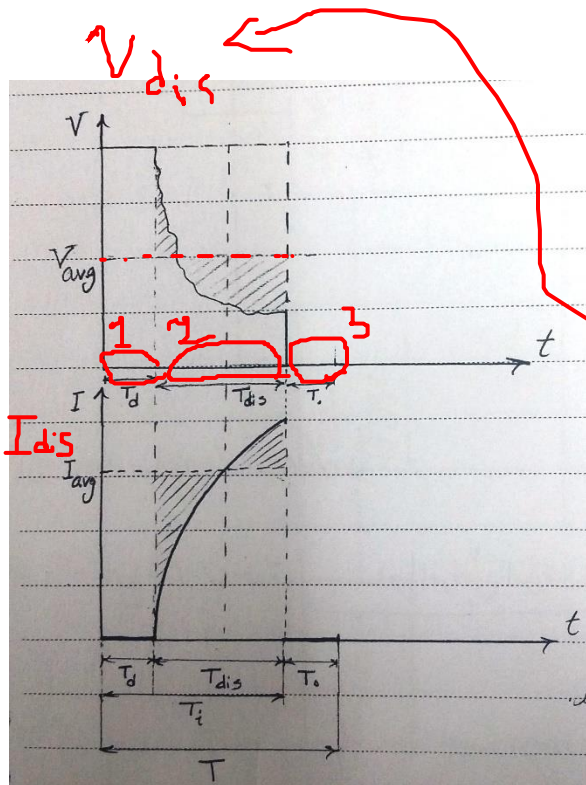
T_c

بررسی صافی سطح با استفاده از مدارهای
مستقل از گپ ماشینکاری



صافی سطح در مدارهای مستقل از گپی

به مانند کارکرد دستگاه اسپارک با مدار RC در مورد مدارهای ایزو فرکانس و ایزوپالس هم صافی سطح تابع انرژی یک جرقه است.



$$V_{ave} \times (T_d + T_{dis}) = \int V dt$$

$$W = \int_0^T P dt = \int_0^{T_d} P dt + \int_{T_d}^{T_i} P dt + \int_{T_i}^{T_o} P dt = \int_{T_d}^{T_i} P dt$$

$$W = \int_{T_d}^{T_i} V_{dis} I_{dis} dt$$

$$T_i - T_d = T_{dis}$$

$$W = V_{dis(ave)} I_{dis(ave)} T_{dis}$$

□ با توجه به رابطه روبرو صافی سطح به V_{dis} ، I_{dis} و T_{dis} وابسته است.

$$W = V_{dis(ave)} I_{dis(ave)} T_{dis}$$

□ همانطور که گفته شد V_{dis} به شرایط ماشینکاری شامل جنس ابزار، جنس قطعه کار، جنس دی الکتریک، میزان آلودگی ها و دما وابسته است و قابل کنترل و تغییر نمی باشد.

□ مقدار پارامتر I_{dis} قابل تنظیم است و با توجه به رابطه زیر به مقدار ولتاژ مدار باز (V_{opc}) و R وابسته است.

$$V_{opc} = RI_{dis} + V_{dis}$$

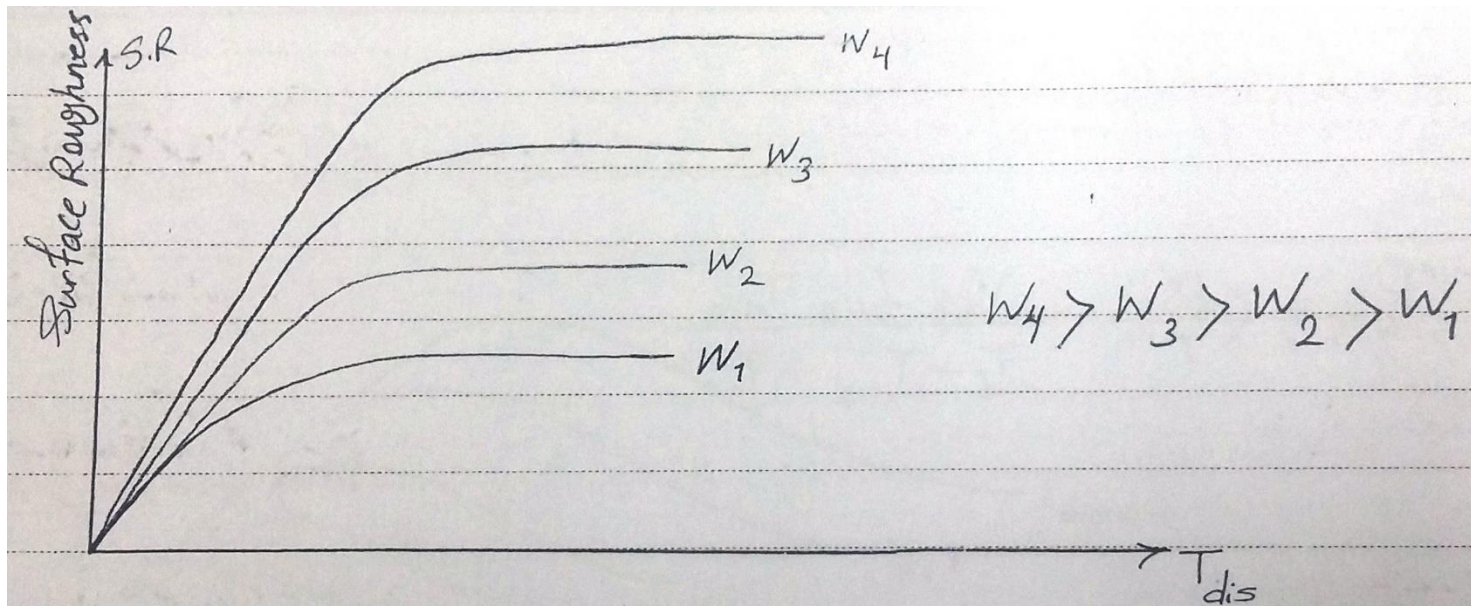
ادامه

□ برای داشتن یک سطح صاف لازم است "ولتاژ مدار باز"، کوچک انتخاب شود. این پارامتر روی دستگاه قابل تنظیم است. پارامتر قابل تنظیم دیگر مقدار مقاومت R است که از طریق تعداد ترانزیستورهای مدار تنظیم می شود.

□ پارامتر T_{dis} هم قابل تنظیم است و در مدارهای ایزوپالس از طریق تغییر T_i می توان T_{dis} را تغییر داد.

$$T_i - T_d = T_{dis}$$

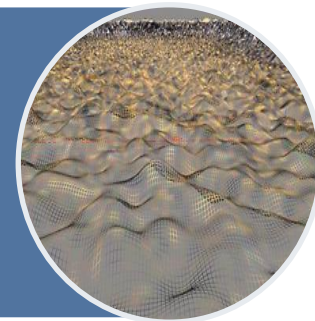
□ با افزایش T_i هم افزایش پیدا می کند و با توجه به انرژی جرقه زیاد صافی سطح کاهش می یابد.



رابطه زبری سطح با زمان جرقه

□ اگر مقدار زمان جرقه از یک حدی بیشتر شود به دلیل افزایش سطح مقطع کانال پلاسما و افزایش انتقال حرارت و همچنین کاهش تمرکز انرژی کانال پلاسما روند افزایش زبری سطح متوقف می شود.

بررسی نرخ باربرداری سطح با استفاده از
مدارهای مستقل از گپ ماشینکاری



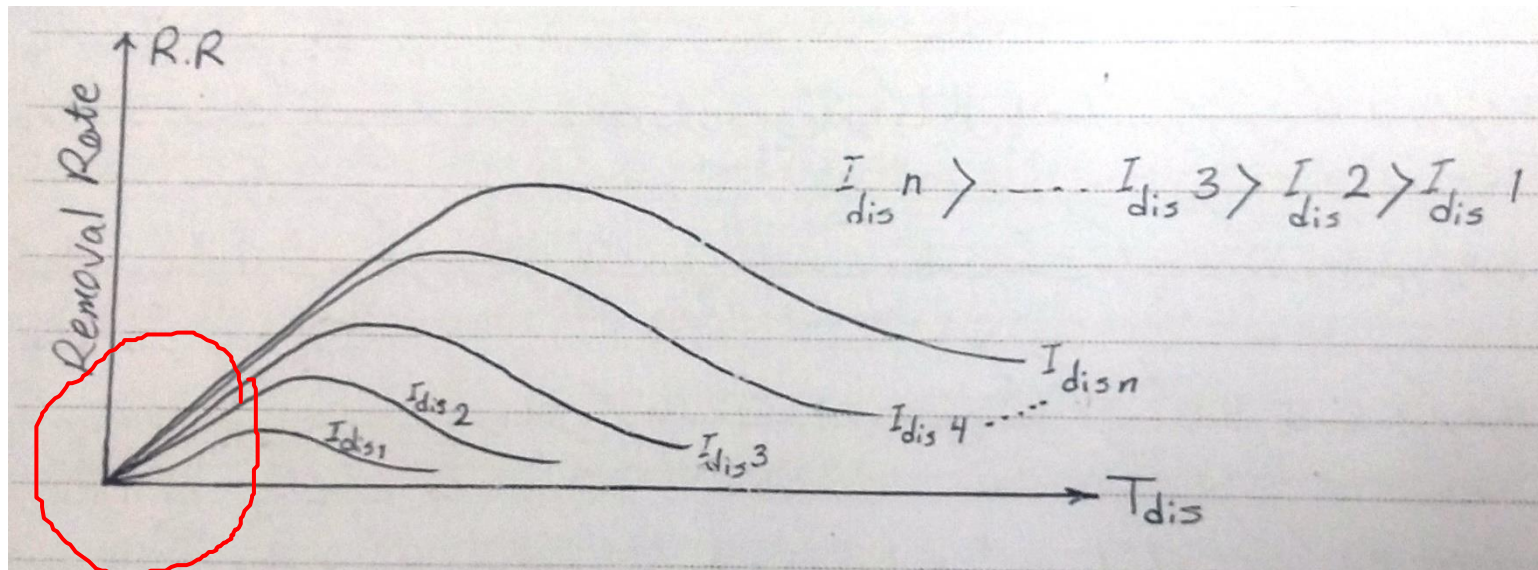
$$P_{ave} = \frac{W}{T} = \frac{V_{dis(ave)} I_{dis(ave)} T_{dis}}{T_d + T_{dis} + T_o}$$

□ ولتاژ جرقه (V_{dis}) و جریان جرقه (I_{dis}) اثرات مشابهی مانند صافی سطح روی نرخ براده برداری دارند.

□ با افزایش زمان جرقه (T_{dis})، نرخ براده برداری افزایش می یابد.

$$P_{ave} = \frac{W}{T} = \frac{V_{dis(ave)} I_{dis(ave)}}{\frac{T_d}{T_{dis}} + \frac{T_o}{T_{dis}} + 1}$$

نرخ براده برداری در مدارهای مستقل از گپ



□ دلیل کاهش نرخ براده برداری با گذشت زمان همانطور که در بخش قبل گفته شد انتقال حرارت است.

□ برای مدارهای ایزوپالس یا ایزو فرکانس که زمان جرقه بزرگ است رابطه ای که بین نرخ براده برداری و توان برقرار بود، دیگر صادق نیست.

~~$$V = K' P^n$$~~

مزیت های مدارهای ایزوپالس نسبت به ایزوفرکانس

□ با توجه به ثابت بودن زمان جرقه در مدار ایزوپالس، اندازه چاله ها ثابت است و سطح یکنواخت تری به دست می آید.

□ سرعت باربرداری در مدارهای ایزوپالس بیشتر از مدارهای ایزوفرکانس است و کنترل آن نیز ساده تر است.

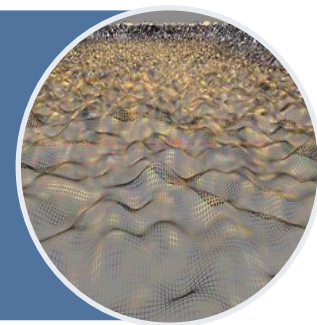
□ زمان های تاخیر جرقه در پرداخت کاری ایزوفرکانس بیشتر است.
 بازده باربرداری کمتر است

□ حجم آلودگی ها در پالس های مختلف در مدار ایزوپالس یکسان است.

□ می توان برای ختک کاری بیشتر برتنه بزرگی نمود.

جرقه شمع خنجر و بلیزر از 50,000 متر
به بلورهای محدودی از پلیمرساز و رزین

جرقه های مطلوب و نامطلوب



آرکی

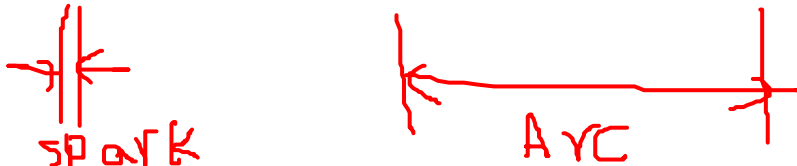
اسپارکی

جرقه آرکی و اسپارکی

نامطلوب
کامطلوب

□ اگر هر عاملی که باعث شود زمان تاخیر جرقه کاهش یابد در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی رخ دهد، جرقه نامطلوب (آرکی) بوجود می آید.

□ در جرقه آرکی بر خلاف جرقه اسپارکی تمرکز انرژی وجود ندارد و قطر کانال پلاسما زیاد است (در حد چند صد میکرون) در حالیکه قطر کانال پلاسما در جرقه اسپارکی در حد چند دهم میکرون است.



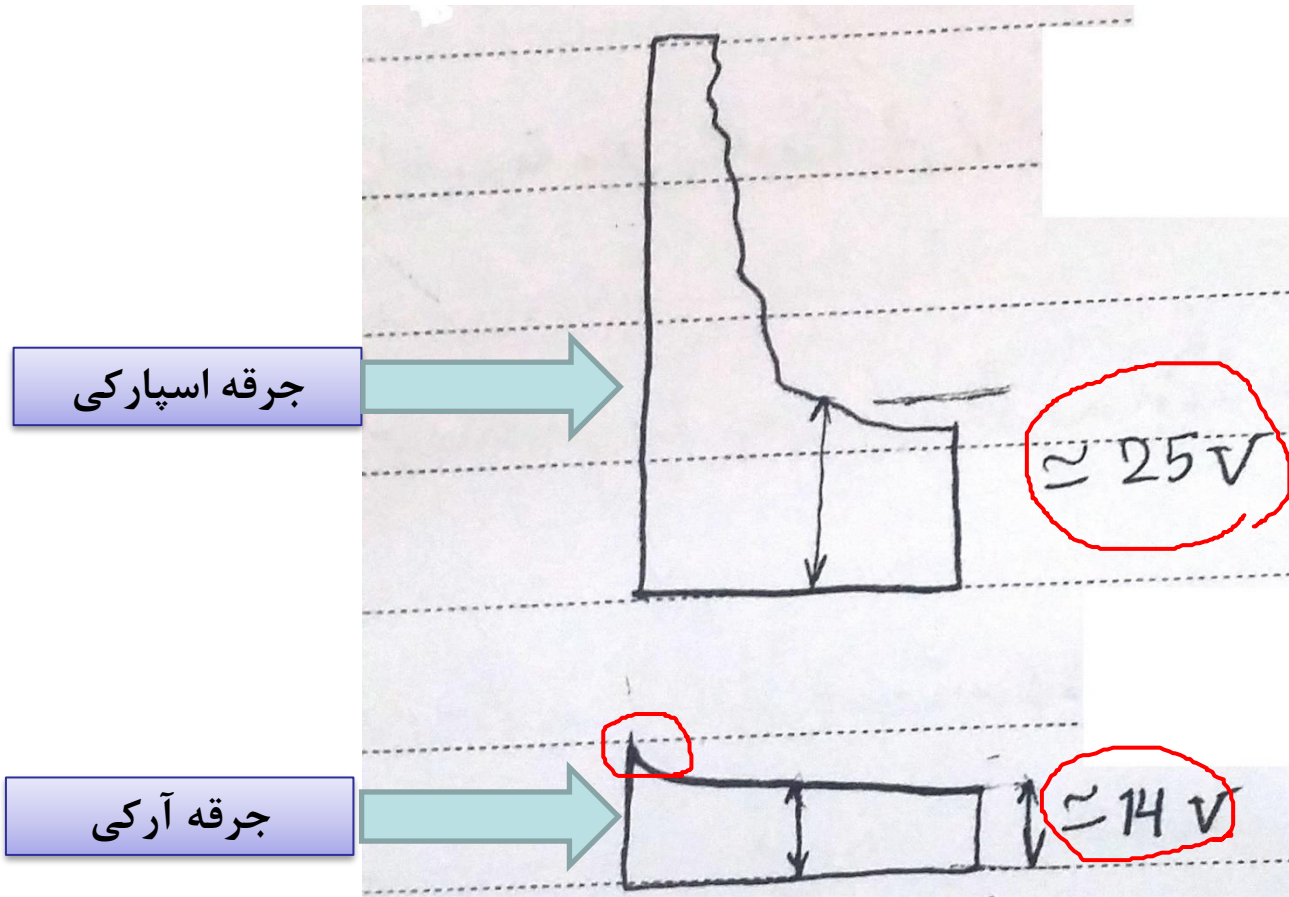
□ در جرقه آرکی ماشینکاری وجود ندارد و آثار مخربی شبیه جوشکاری و همچنین پیل کربنی را روی قطعه کار و ابزار بر جای می گذارد.

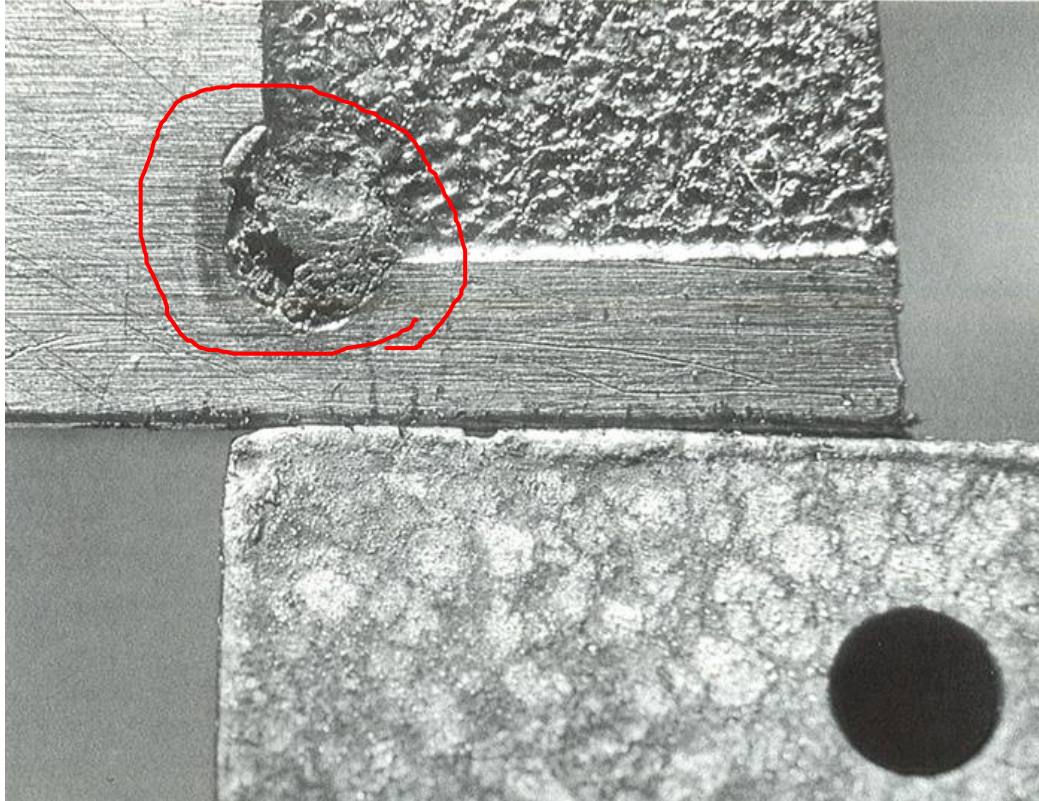
با جرقه آرکی براده پودری است

□ از نظر رنگ جرقه مطلوب (اسپارکی) سفید رنگ و جرقه نامطلوب (آرکی) سرخ رنگ است.

□ در اثر آرک جرقه اسپارکی پالسی متمرکز به جرقه پیوسته غیرمتمرکز تبدیل می شود.

شکل پالس جرقه آرکی و اسپارکی





سیستم خفه کننده آرک (Arc Suppressor)

رستخوارهای

اسپارک میزنند
از بهر این
سیستم

$K_L=0$: سیستم هیچ عکس العملی در مقابل آرک از خود نشان نمی دهد.

$K_L=1$: اگر ۲۰۰ جرقه با زمان تأخیر کمتر از ۱ میکروثانیه اتفاق بیفتد این سیستم فعال می شود.

مستوایی

$K_L=4$: اگر ۲۰ جرقه با زمان تأخیر کمتر از ۳ میکروثانیه اتفاق بیفتد این سیستم فعال می شود.

عملکرد سیستم خفه کننده آرک (Arc Suppressor)

کاهش V_{OPC} ← به دلیل کاهش مدت میدان الکتریکی فعال و افزایش ولتاژ وید کردن
 کاهش I_{dis} ←
 افزایش d ←

$$V = dE \quad E = \frac{V}{d}$$

افزایش T_o ← به دلیل در اختیار بودن زمان بیشتر برای سرد شدن دی الکتریک
 کاهش T_i ←
 افزایش سرعت شستشو ←
 هر عمل بعد از تولیدی کمتر را دارد ←
 $T \uparrow$

براده (پودری) کمتر تولید می شود ← $T \uparrow$

- عوامل مهم در انتخاب ابزار:
- سایش ابزار ←
 - نرخ براده برداری
 - قابلیت ماشینکاری ←
 - قیمت
 - هندسه قطعه کار
- هنر
اینها هم قسم کار سایش و ابزار
است از جنس یا هندسه استوار بود
که این کسری هم دهد
ابزار باید قابلیت ماشینکاری داشته باشد

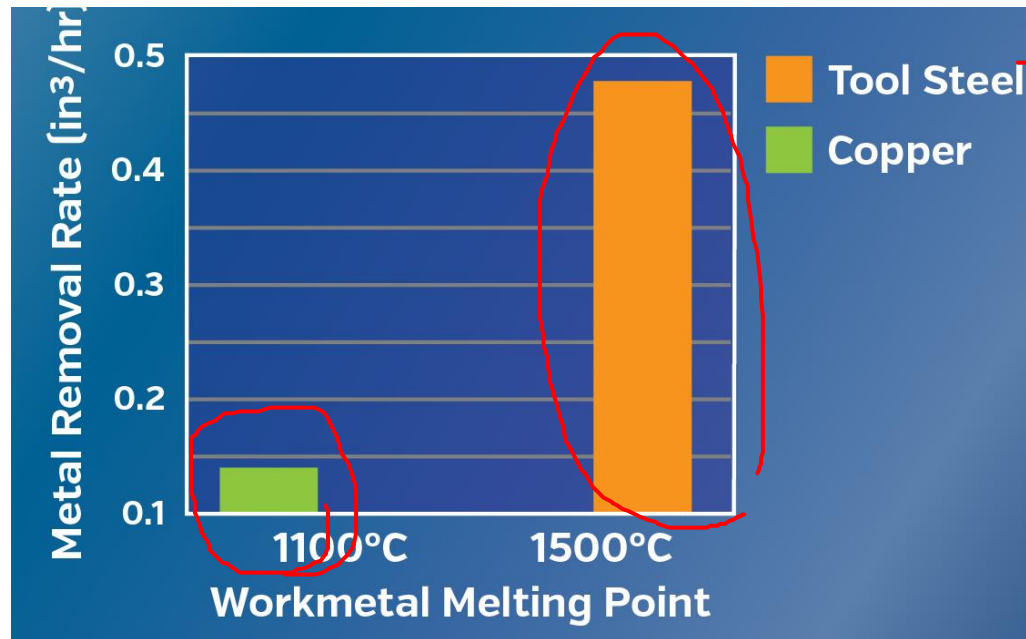


سایش ابزار

□ در فرایند اسپارک اگر زمان روشنی پالس کمتر از ۱ میکروثانیه باشد، حرکت یونهای منفی (الکترونها) به صورت بهمنی از الکترونها غالب است و در نتیجه قطعه کار قطب مثبت و ابزار قطب منفی انتخاب می شود. این پدیده در مدار RC رخ می دهد.

□ اگر زمان روشنی پالس مانند آنچه در مدارهای ایزوپالس و ایزوفرکانس داریم، به بیشتر از ۱ میکروثانیه افزایش یابد، حرکت یونهای مثبت سنگین تر غالب است و در نتیجه ابزار قطب مثبت و قطعه کار قطب منفی انتخاب می شوند.

□ علاوه بر پارامترهای مدار که قبلا برای مدارهای مستقل از گپ گفته شد، نقطه ذوب قطعه کار و رسانایی آن نقش عمده را در نرخ براده برداری دارد.



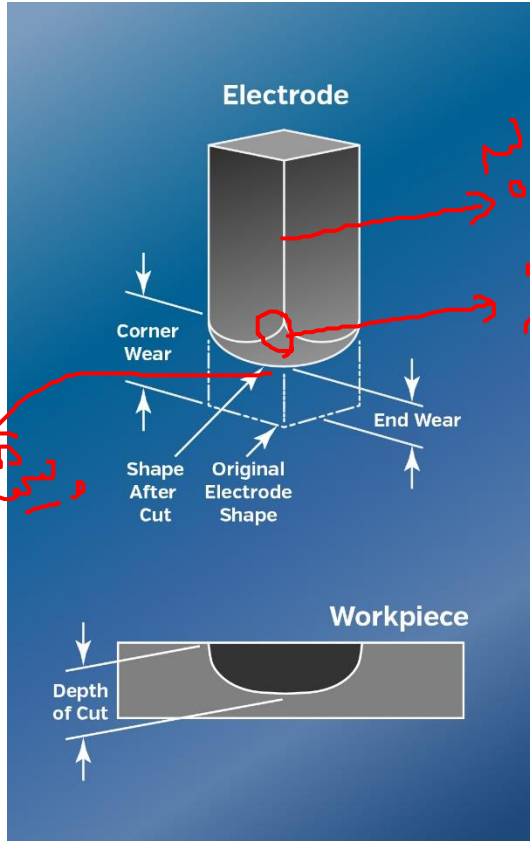
مقایسه

□ هر چه ابزار رساناتر باشد، نرخ براده برداری کمتری با استفاده از آن به دست می آید بنابراین برای دسترسی به نرخ براده برداری بزرگ، از ابزار با رسانایی کمتر بهتر است استفاده شود.

□ سایش ابزار در EDM به هندسه آن، نقطه ذوب و رسانایی ابزار بستگی دارد.

□ پارامترهای دستگاه نیز در سایش مهم هستند که مهمترین آن میزان زمان روشنی پالس است.

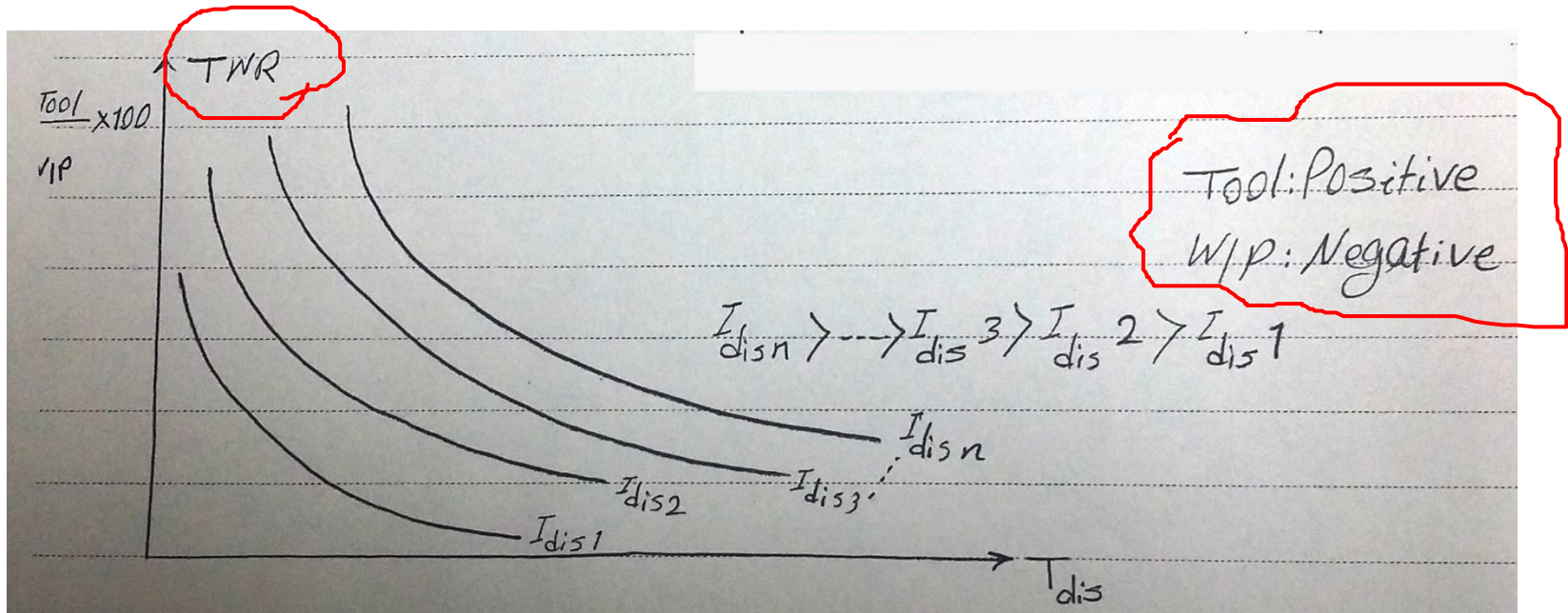
□ سایش در همه جای ابزار یکنواخت اتفاق نمی افتد و گوشه ها بیشترین سایش را دارند. ترتیب سایش بعد از گوشه ها، لبه و پیشانی ابزار می باشد.



سایش ابزار

$$TWR = \frac{\text{مقدار بار برداشته شده از ابزار}}{\text{مقدار بار برداشته شده از قطعه کار}} \times 100$$

تاثیر پارامترهای مدار روی سایش ابزار



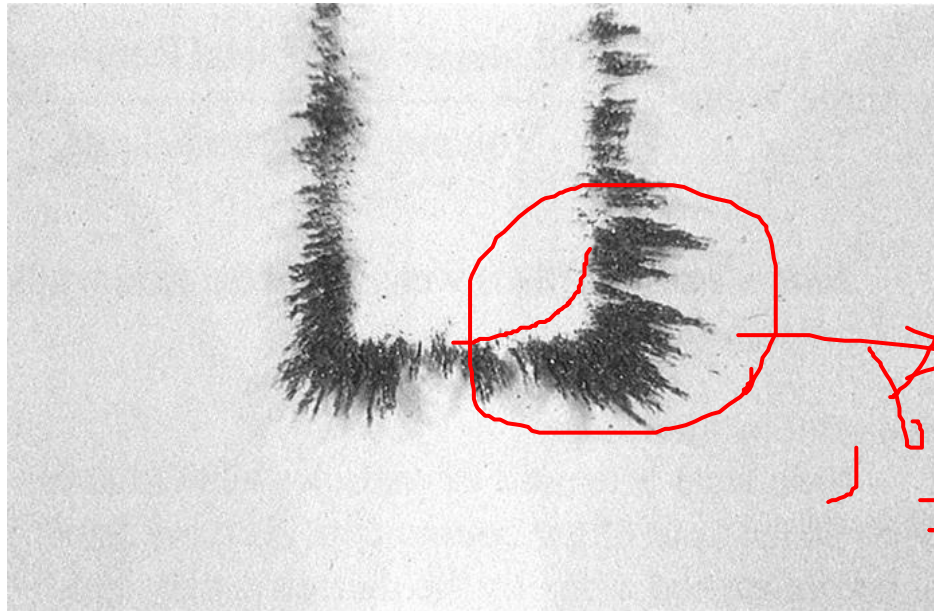
یک یا دو میکروثانیه ابتدایی فرآیند EDM براده برداری از ابزار، غالب است بنابراین اگر زمان جرقه افزایش یابد نسبت زمان باربرداری از ابزار (همان یکی دو میکروثانیه) نسبت به زمان باربرداری از قطعه کار کمتر می شود و فرسایش ابزار کمتر خواهد شد.

$$T_{dis1} = 15 \mu s \rightarrow \frac{1}{15}$$

$$T_{dis2} = 20 \mu s \rightarrow \frac{1}{20}$$

سایش غیریکنواخت

- ❑ دلایل سایش بیشتر در گوشه ها:
- ❑ میدان الکتریکی در گوشه ها قوی تر است.
- ❑ به دلیل کم بودن سطح، انتقال حرارت در گوشه ها کمتر است و نرخ براده برداری در آن مناطق بیشتر است.
- ❑ یک دلیل دیگر هم این است که گوشه ها از نظر مکانیکی هم ضعیف هستند.

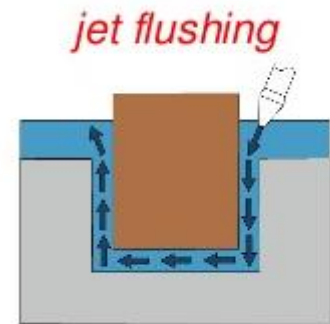


سایش
منتهی
به گوشه ها

انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

1. شستشوی جت دی الکتریک Jet Flushing:

زمانی استفاده می شود که عمق ماشینکاری کم است و عمیق نیست مثل قالب سکه. اگر تزریق دی الکتریک یکنواخت نباشد در اعماق زیاد ممکن است قطعه کار غیر یکنواخت ماشینکاری شود.



انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

۲. Submerged Flushing: (شستشوی غوطه وری):

شستشو به روش غوطه وری است و معمولاً برای ابزارهایی استفاده می شود که مساحت پیشانی بزرگی دارند.

EDM Die sinking

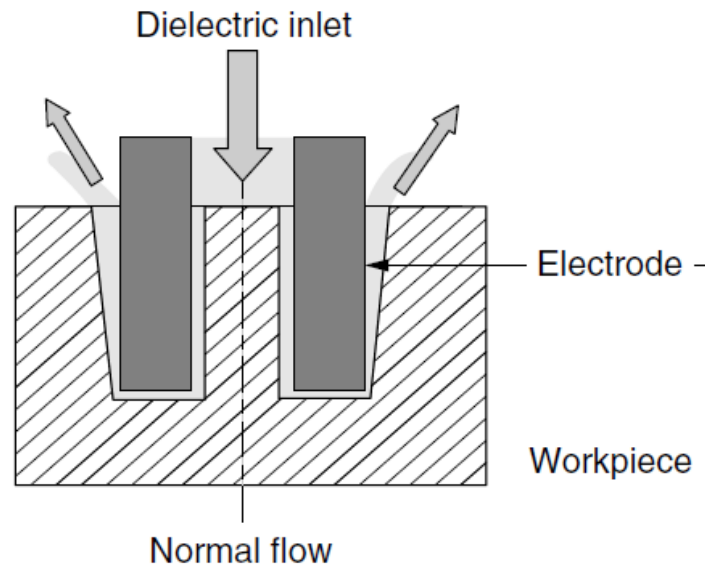


روش دی الکتریک
که ابزار و قطعه را
داخلی نموده
در غوطه
قرار می دهد

انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

۳. شستشوی فشاری Pressure Flushing

در این روش سیال دی الکتریک با فشار به موضع ماشینکاری تزریق می شود. به دلیل جریان یافتن مایع دی الکتریک آلوده از کناره ها براده برداری می شود و گشادی کناری خواهیم داشت.



دو روش دبی ثابت و فشار ثابت وجود دارد.

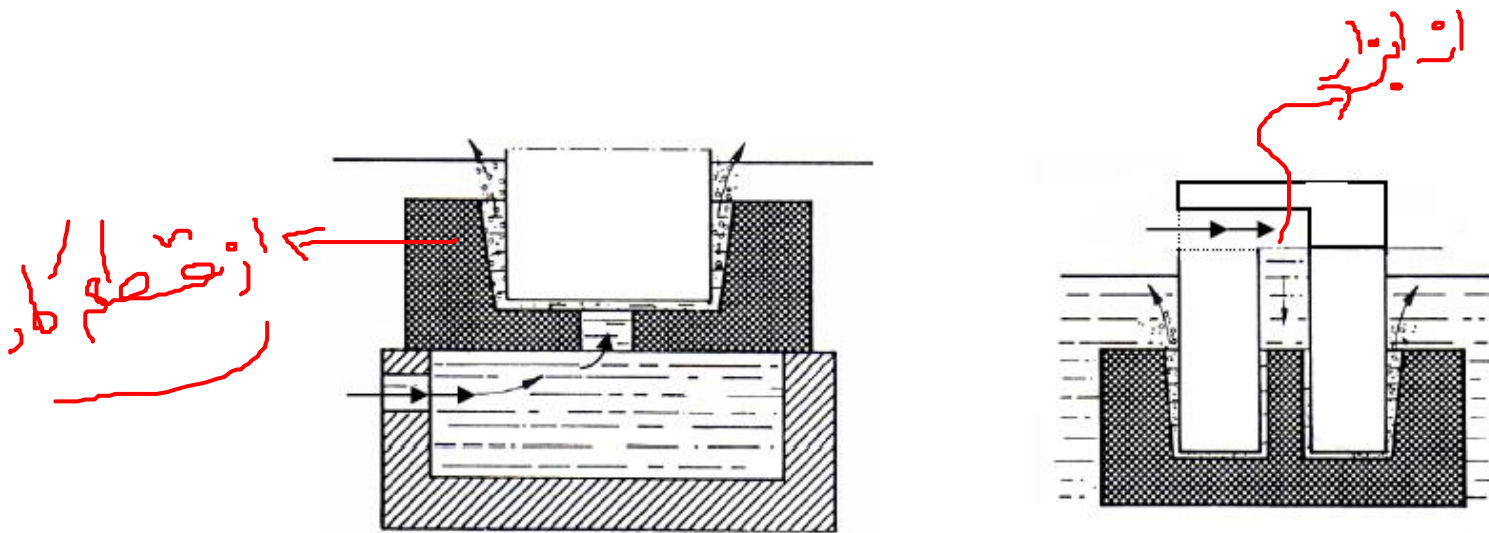
سیستم دبی ثابت نسبت به فشار ثابت مزیت دارد چون در سیستم فشار ثابت با افزایش عمق و فشار افزایش می یابد و استفاده از سیستم فشار ثابت باعث می شود که فشار از حد لازم بالا نرود (با کاهش فشار) یعنی برای کاهش فشار دبی کمتر وارد می شود و در نتیجه شستشوی مطلوبی نخواهیم داشت (Pressure gag) در سیستم دبی ثابت با ثابت نگه داشتن دبی (دبی مشخص است) فشار را افزایش می دهد (برای جبران فشار) پس شستشوی مطلوبتری را خواهیم داشت.



انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

Pressure Flushing □

جریان سیال، بسته به هندسه ابزار و قطعه کار می تواند از طریق سوراخی در ابزار و یا قطعه کار وارد فضای ماشینکاری شود.



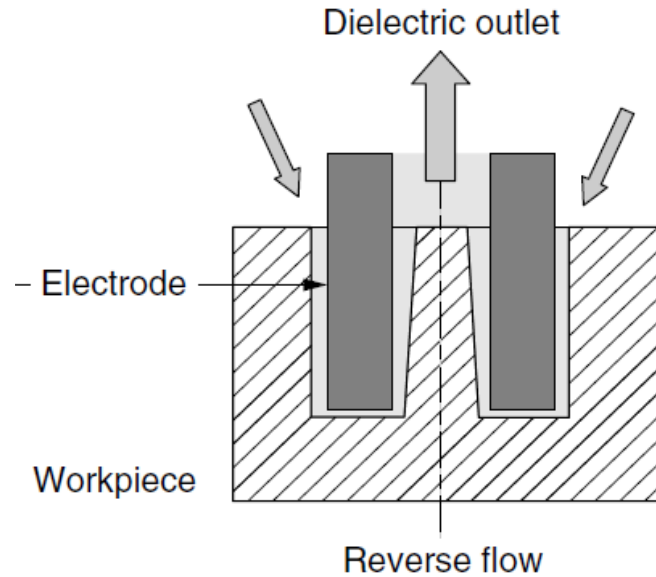
• در اعماق زیاد افت فشار زیاد وجود دارد.

انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

۴. شستشوی مکشی Vacuum Flushing:

در این روش سیال دی الکتریک موضع ماشینکاری مکیده می شود. به دلیل جریان یافتن مایع دی الکتریک تمیز از کناره ها، از این مناطق براده برداری نمی شود و گشادی کناری نخواهیم داشت.

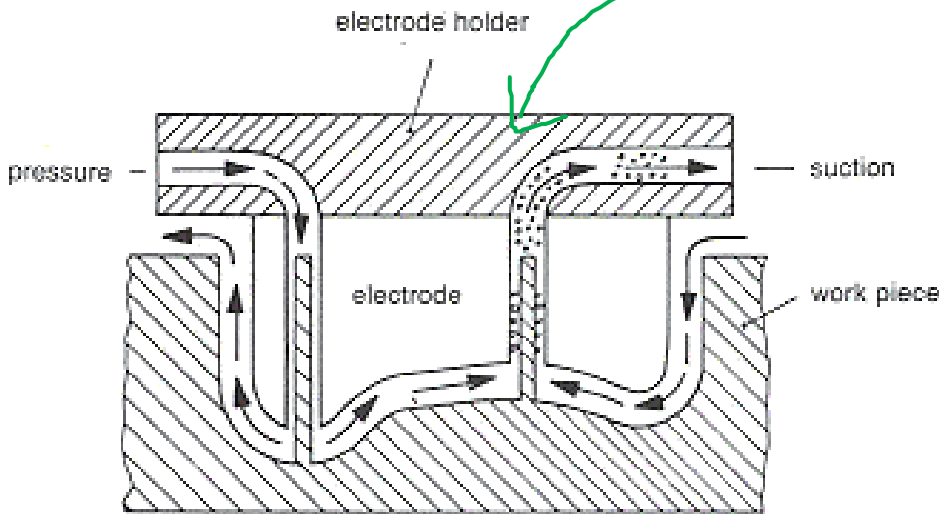
در اعماق زیاد تامین خلا مورد نیاز مشکل است و فرآیند متوقف می شود



انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

۵. شستشوی ترکیبی **Combined Flushing**:

در این روش از ترکیبی از روش فشاری و مکشی استفاده می شود. یک سوراخ در قطعه کار و یک سوراخ در ابزار ایجاد می شود و یکی کار مکش را انجام می دهد دیگری کار فشار. گاهی اوقات هر دو سوراخ در ابزار ایجاد می شوند (مانند شکل های زیر).

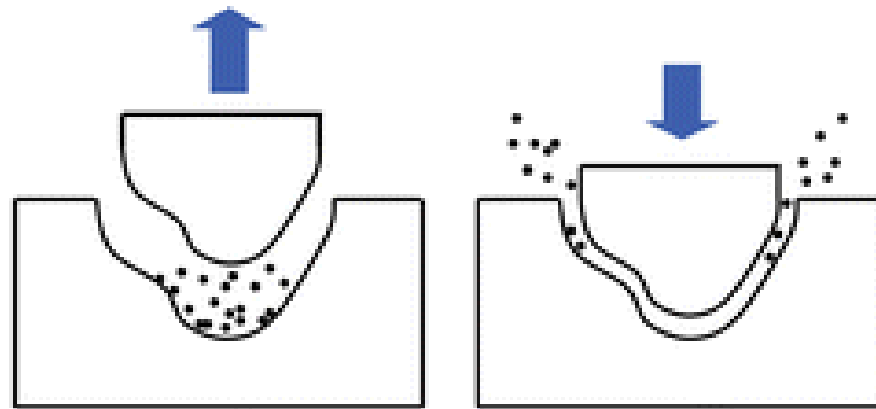


http://www.edm-products.com/Dielectrics/ifase/ifase_4.htm

انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

۶. شستشوی تناوبی **Periodic Flushing**

در این روش حرکت دی الکتریک وجود ندارد و بعد از زمان مشخصی در چرخه فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی، ابزار به سمت بالا حرکت می کند تا آلودگی های شکل گرفته تخلیه شوند.

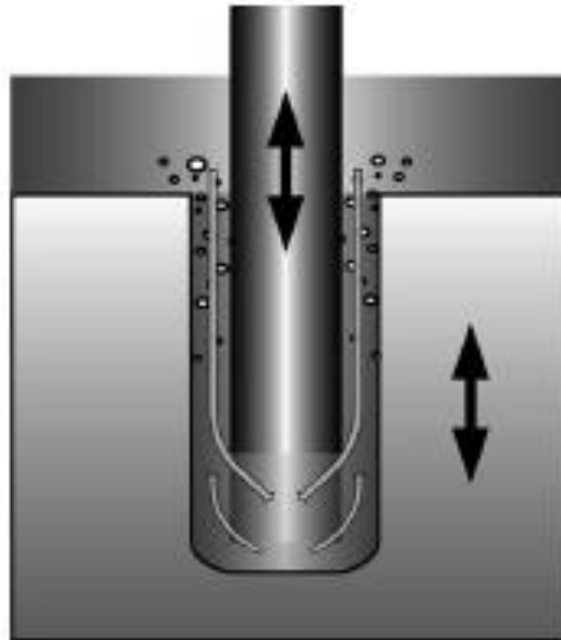


Lift of tool electrode

انواع روش های شستشوی دی الکتریک در EDM

۶. شستشو به کمک امواج **Ultrasonic assisted Flushing**.

امواج اولتراسونیک هم به خاطر ایجاد اختلاط در جریان دی الکتریک و هم به خاطر مکشی که در هنگام بالا آمدن ابزار به کانال پلاسما اعمال می کند در فرآیند اثر گذار است و باعث افزایش نرخ براده برداری می شود.



اعمال امواج اولتراسونیک به ابزار یا قطعه کار

محاسبه مربوط به شتاب و سرعت دی الکتریک انجام شود با اعداد داده شده.

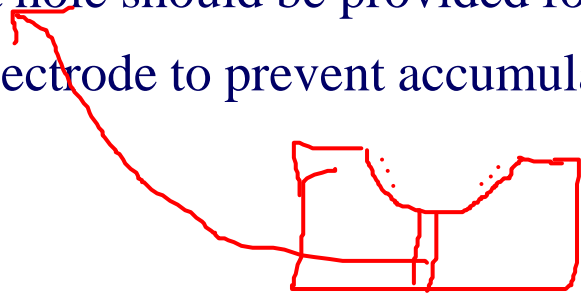
Direct ultrasonic vibration of the tool or workpiece (Fig. 6) is regarded as the optimal strategy for improved flushing and stabilised μ ED-machining of high aspect ratio structures. The high frequency in the range from 20 to 60 kHz with amplitudes of 2 to 10 μ m peak-peak significantly influences the state of the frontal discharge gap and therefore the process itself.

Two major effects can be distinguished: 1) the influence of the vibration on the dielectric and 2) the immediate influence to the working gap width through periodic feed-retraction-movements of the vibrated part. The first effect can be described by a very high velocity movement of the dielectric. Its speed can reach more than 0.5 m/s with accelerations of over 60 km/s², efficiently moving and stirring the dielectric.

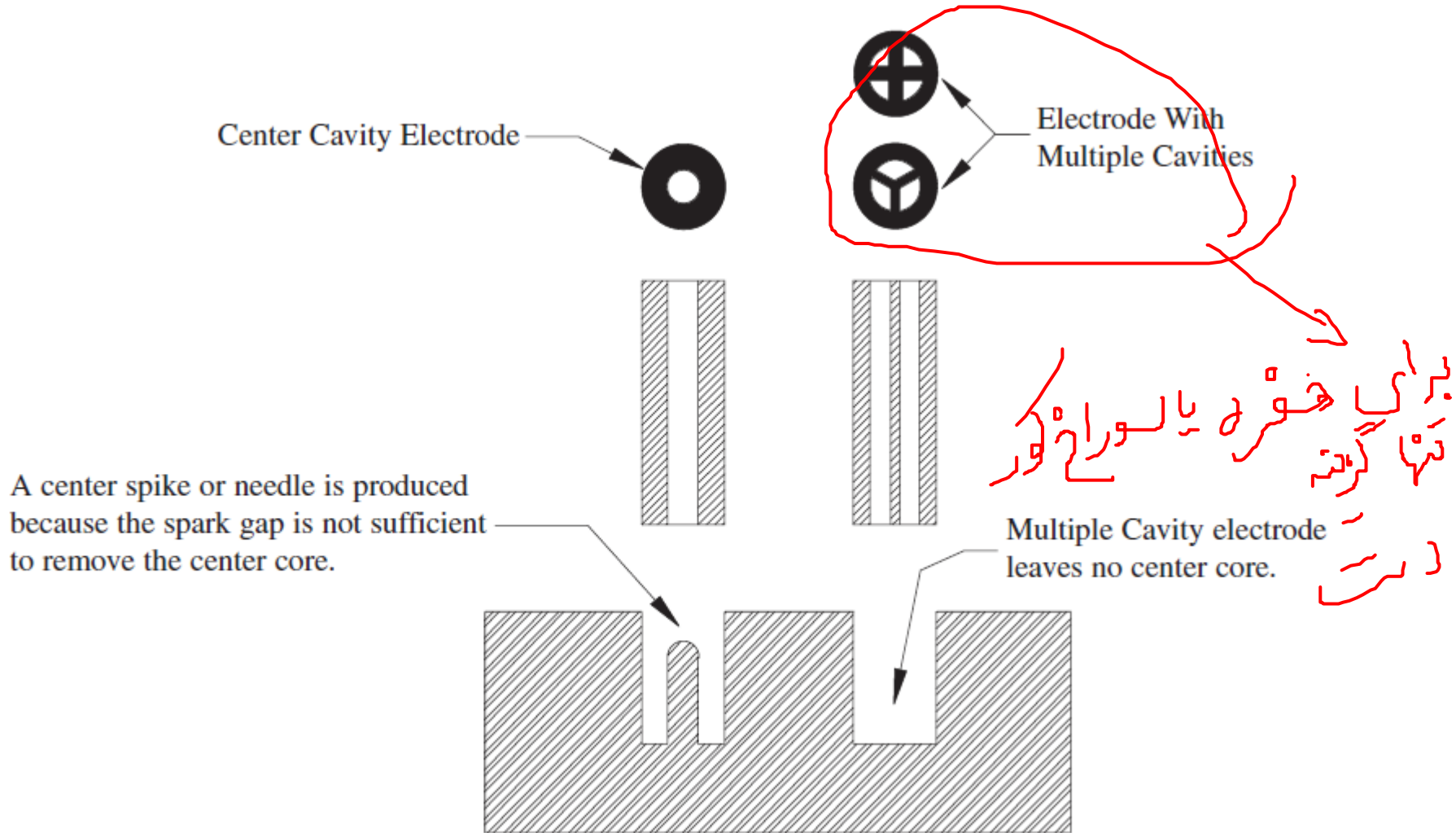
An agglomeration of particles is reduced, leading to a more uniform gap condition and therefore increasing the amount of efficient discharges. The second effect relates to the periodic change in the gap width through vibration. There, a retracting movement ends longer arc discharges that cause geometric deviation and process instabilities [3]. As a result, the process speed is significantly enhanced and, additionally, more complex structures can be reproducibly machined.

EDM – Flushing

- For proper flushing conditions, **Metals Handbook (1989)** recommends:
 - Flushing **through the tool** is more preferred than **side flushing**.
 - Many small flushing holes are better than a few large ones.
 - Steady dielectric flow on the entire workpiece-electrode interface is desirable. ✓ جریالتر مکنواقت دی الیتردی
 - Dead spots created by pressure flushing, from opposite sides of the workpiece, should be avoided.
 - A vent hole should be provided for any upwardly concave part of the tool-electrode to prevent accumulation of explosive gases.



بهبود سوراخ عبور دی الکتریک



پارامترهای ماشینکاری			
پارامترهای خروجی		پارامترهای ورودی	
On line	Off line	On line	Off line
<ol style="list-style-type: none"> سرعت براده برداری فرسایش ابزار صافی سطح نرانس ابعادی 	<ol style="list-style-type: none"> ولتاژ لحظه ای شدت جریان لحظه ای ولتاژ متوسط شدت جریان متوسط زمان تاخیر جرقه 	<ol style="list-style-type: none"> زمان خاموشی پالس فاصله دی الکترود مقدار شدت و شیو 	<ol style="list-style-type: none"> زمان روشنی پالس شدت جریان جرقه ولتاژ مدار باز پلازیده ابزار جنس ابزار روش ساخت ابزار نوع دی الکترودک روش شدت و شیو

ریز تراش
کرده
9 پیلر

قابل تنظیم
شیر

ماتریک به موقع
فرایند
تدارک

پایان جلسه ششم



Surface finish comparison chart in EDM
Standard: VDI 3400