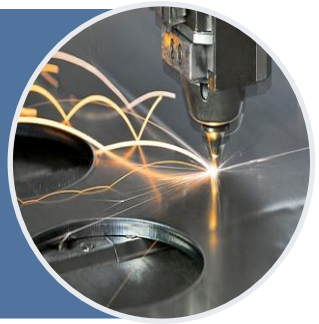
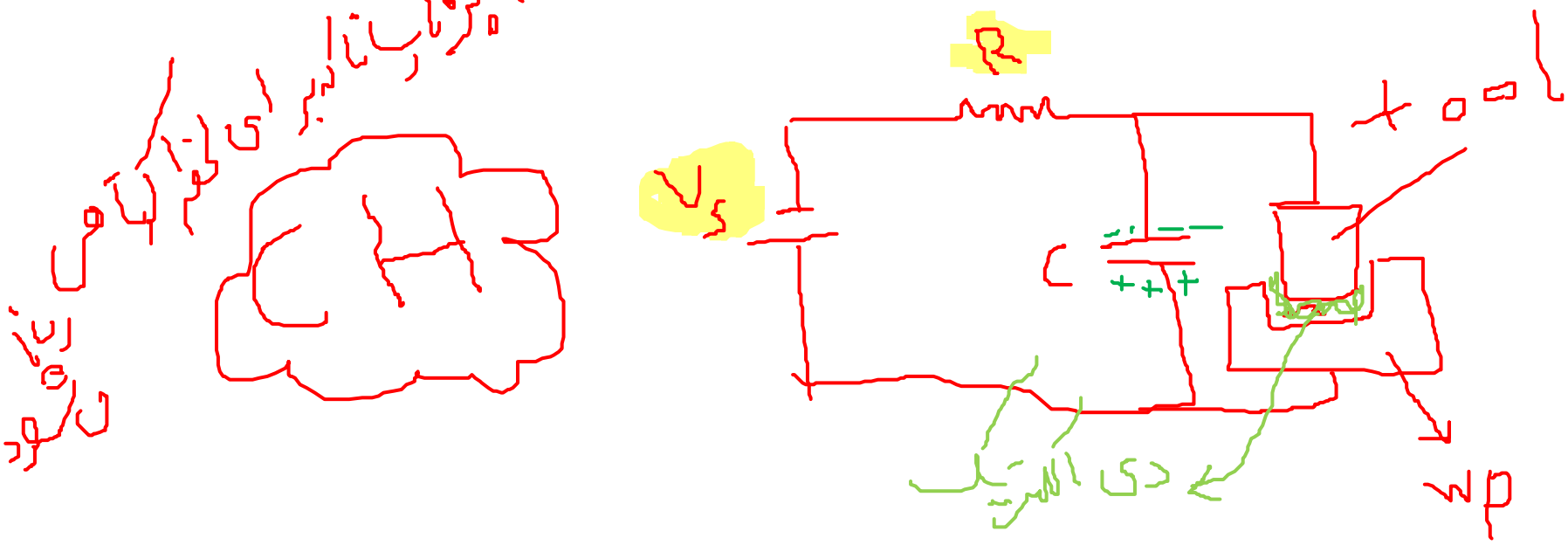
- EDM (Electro Discharge Machining)
- اسپارک
- سوپردرل (Super Drilling)
- برش سیمی (وایرکات)(Wire Cut)(Wire EDM)
- تخلیه الکتریکی

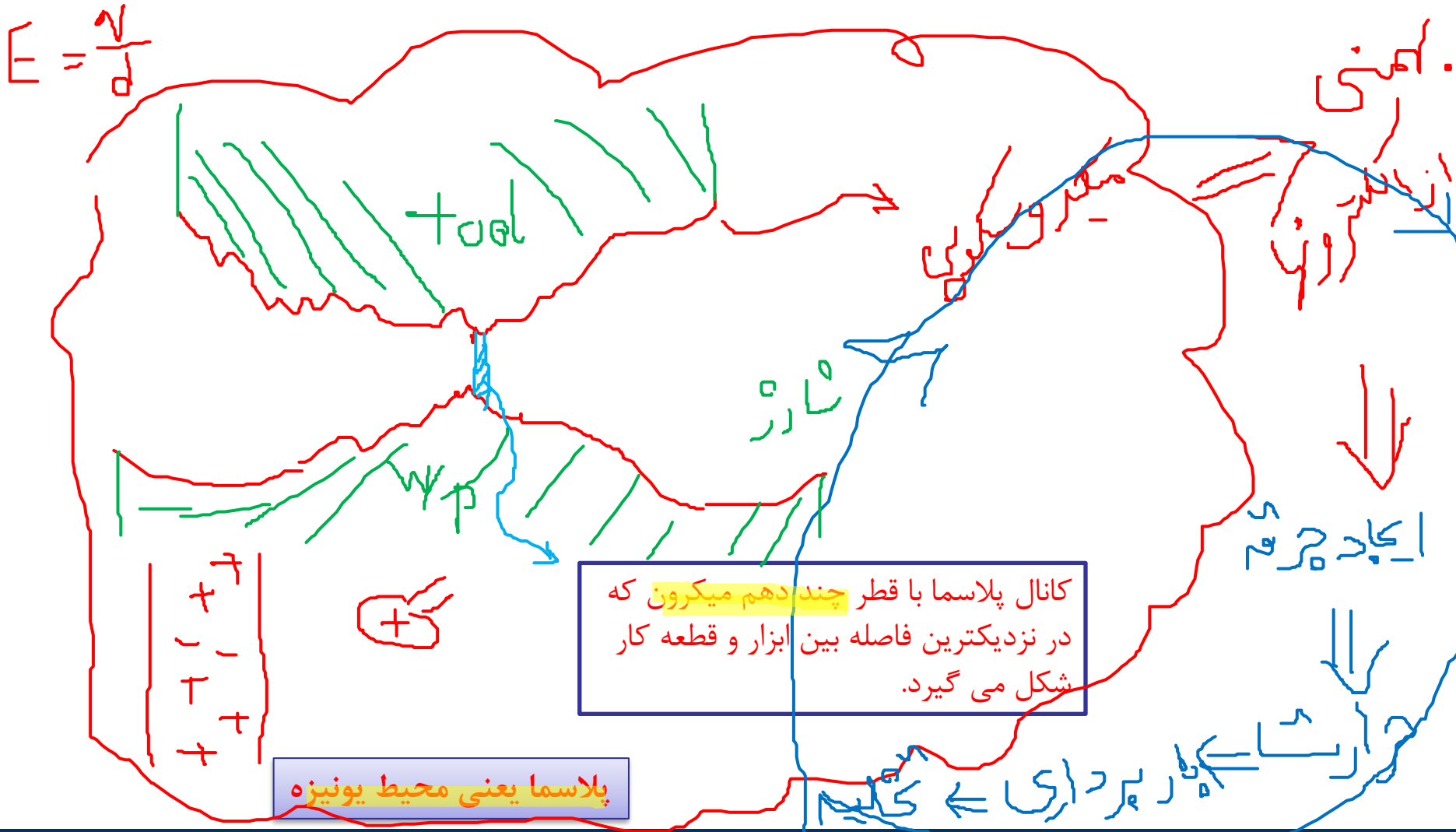


جلسه دوم و سوم: ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی (EDM)

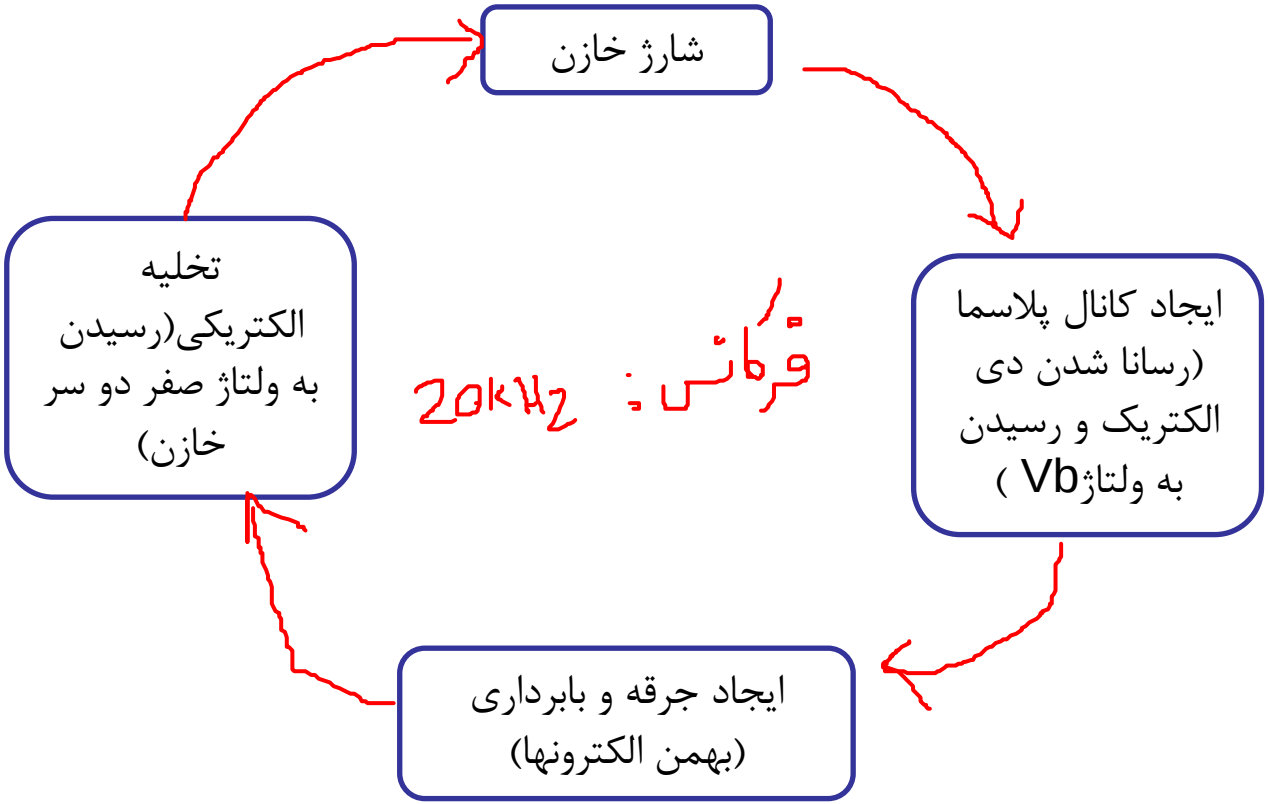
- یک نوع روش **باربرداری** است که در آن ولتاژ **پالسی** و منقطع بین **دو الکترود** به نام ابزار و قطعه کار در حضور ماده **دی الکتریک** (موجود در فضای کوچک و کنترل شده بین آن ها) عامل ایجاد جرقه های منقطع در نزدیک ترین نقطه بین آن ها می شود و هر **جرقه** توده کوچکی از ماده را جدا می کند.



فرآیند EDM


کانال پلاسما با قطر چند دهم میکرون که در نزدیکترین فاصله بین ابزار و قطعه کار شکل می گیرد.
پلاسما یعنی محیط یونیزه

فرآیند EDM



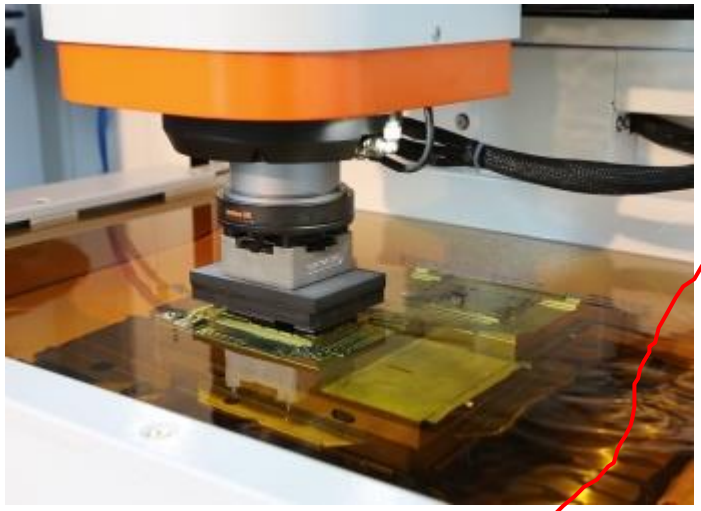
- فرکانس چرخه تکرارشونده حدودا ۲۰ کیلو هرتز است. یعنی در هر ثانیه ۲۰ هزار جرقه خواهیم داشت.
- ولتاژ شکست Vb ولتاژی است که در آن دی الکتربک رسانا می شود

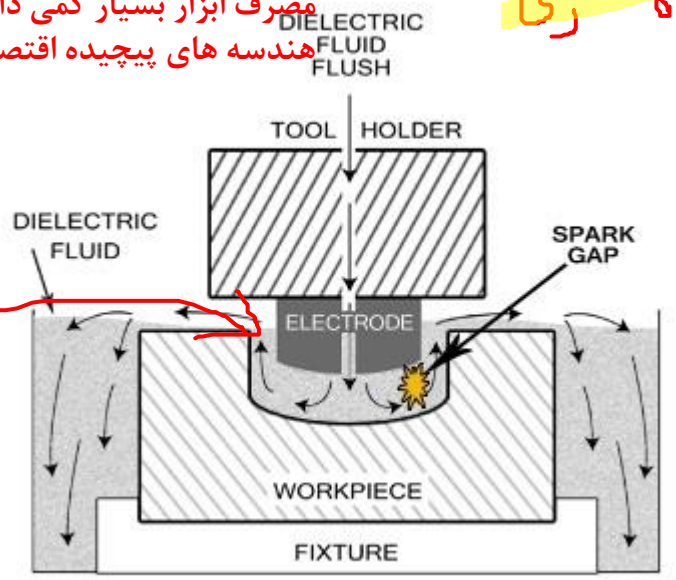
- هندسه ابزارعینا به قطعه کار منتقل می شود.

موقعیت جرقه در محدوده بین ابزار و قطعه کار ثابت نیست و همواره در نزدیکترین نقطه شکل می گیرد.

انواع دستگاه های EDM

مزیت ها
زمان ماشینکاری را می تواند کاهش دهد
دقت ابعادی و صافی سطح مطلوب
مصرف ابزار بسیار کمی دارد (در مقایسه با روش CNC) . هزینه های ابزار پایین است و برای هندسه های پیچیده اقتصادی ترین روش است



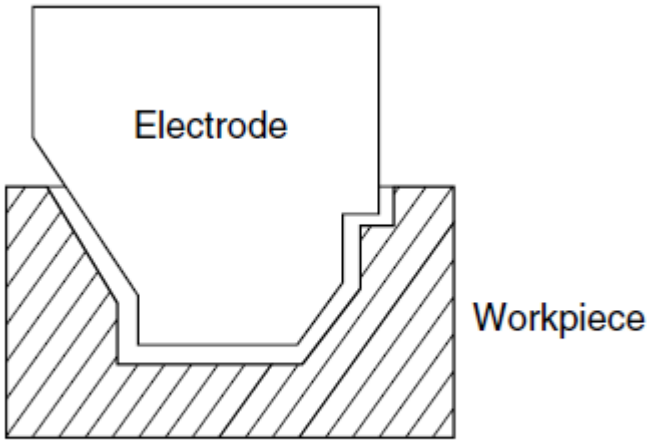


1 **Electro discharge die sinking**

Ram EDM
Die Sinker
Vertical EDM

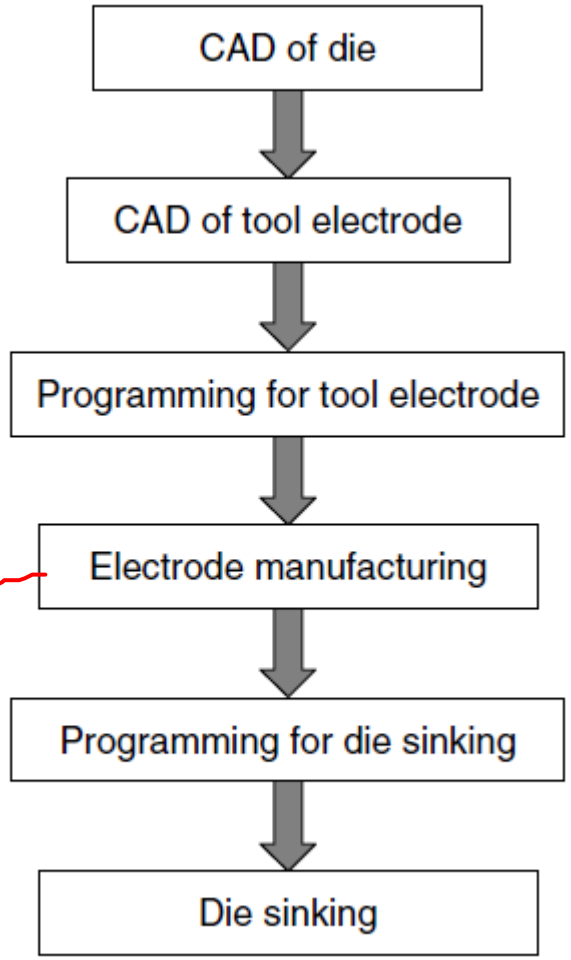
ابزاردر EDM لازم نیست مثل فرآیندهای سنتی سخت باشد و می تواند از جنس نرم مانند مس و برنج باشد. پس هزینه ابزار بسیار ارزان تمام می شود

Electro discharge die sinking



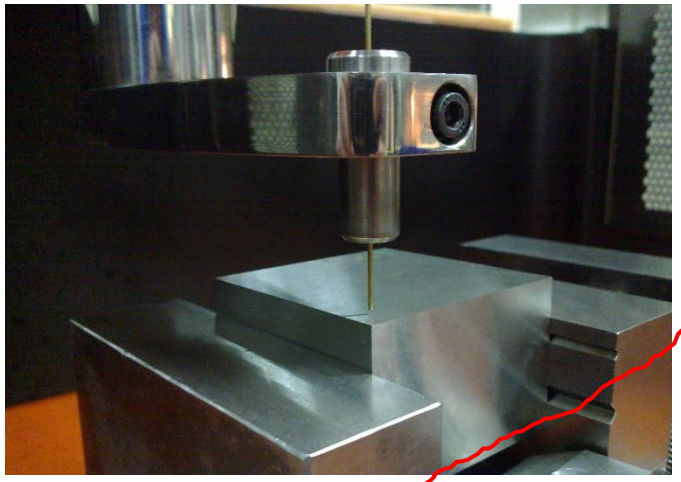
EDM die sinking

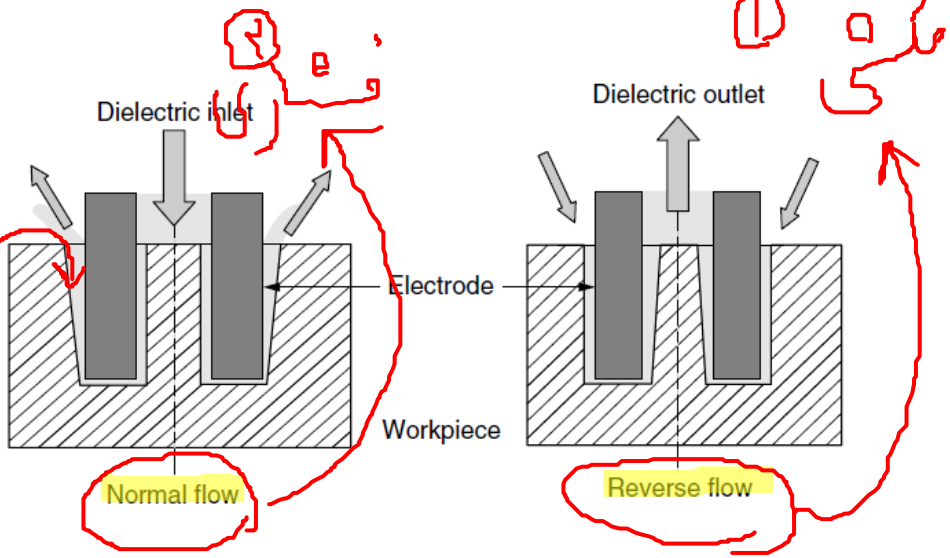
گاها از وایرکات برای ساخت استفاده می شود



۱. ابزار توخالی (قطرهای بزرگ)

۲. ابزار توپر (قطرهای کوچک) (زیر ۱ میلی متر)





2 Electro discharge super drilling

در روش فشاری از دیواره ها دی الکتریک مصرف شده حاوی ذرات براده عبور می کند و با تقویت میدان الکتریکی در ان منطقه شانس جرقه زنی بیشتر می شود. ولی در روش مکشی دی الکتریک عبوری از دیواره ابزار دی الکتریک تازه است. روش مکشی از نظر امکان پذیری محدودیت وجود دارد و در این روش نمی توان فشار خلا را تا هر اندازه ای بالا برد ولی در روش فشاری محدودیتی نداریم.

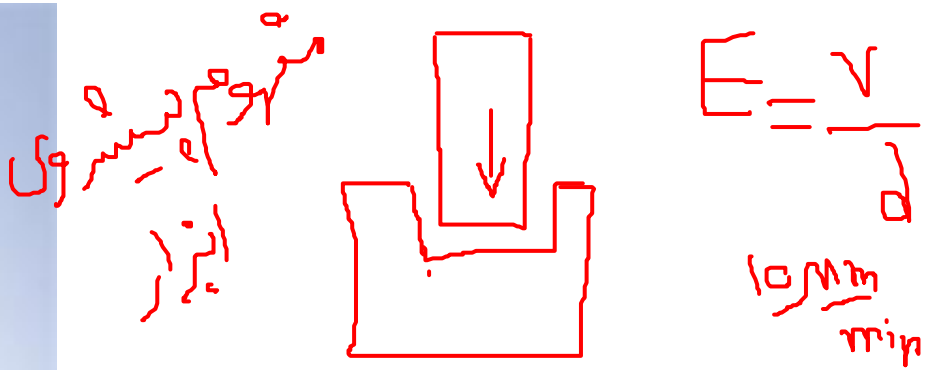
سوراخکاری

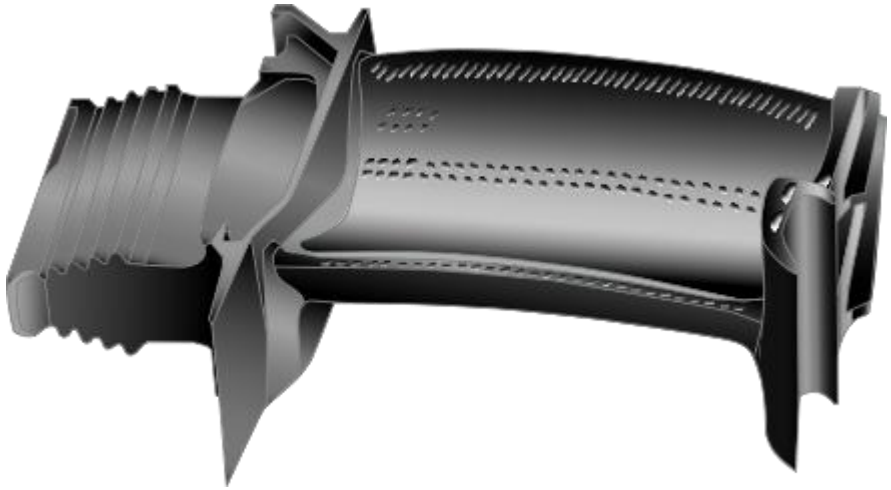
- معمولا از الکترودهای توخالی استفاده می شود.
- در صورت استفاده از ابزار غیرتوخالی، سوراخی برای عبور دی الکتریک در قطعه کار ایجاد می شود.
- سوراخ های مورب و غیر معمول به این روش قابل تولید است.
- برای سوراخکاری پره های آلیاژ نیکل توربین از این روش استفاده می شود.

در جاهایی که قطر ابزار کوچک است از جنس های نرم و انعطاف پذیر مثل مس نمی توان استفاده نمود و باید از تنگستن استفاده شود

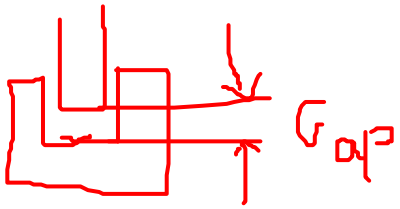
- حرکت ابزار وجود دارد (عمق های بزرگ)
- حرکت ابزار وجود ندارد (عمق های کوچک)

سوراخکاری



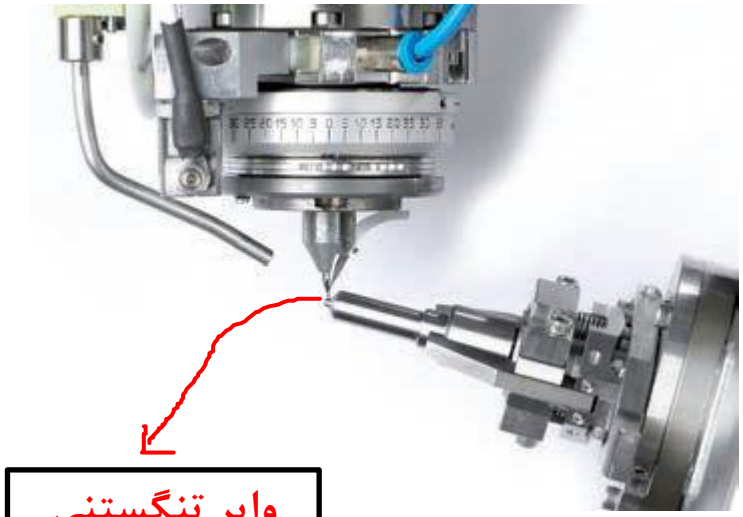


حرکت ابزار به نحوی در EDM انجام می شود که گپ ماشینکاری حفظ شود



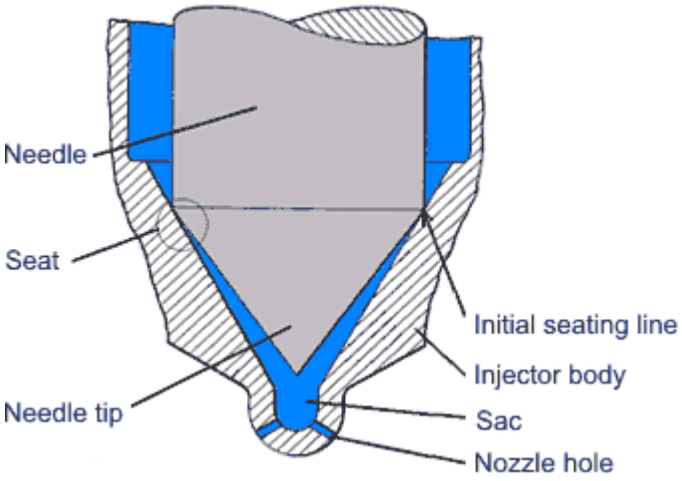
2 Making temperature sensor holes with Electro discharge super drilling

The micro-machining has a hole diameter from 50 um to 1.8 mm.

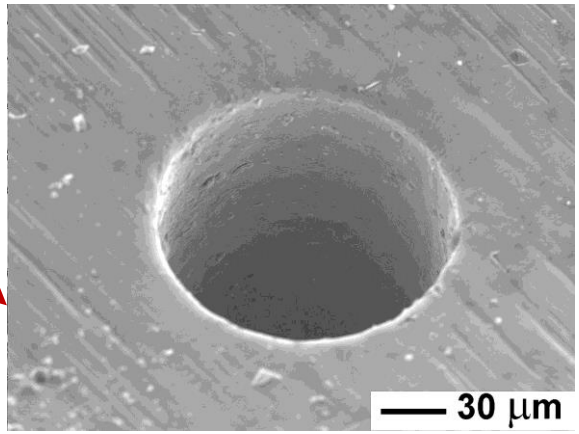


3 **Micro EDM Drilling**

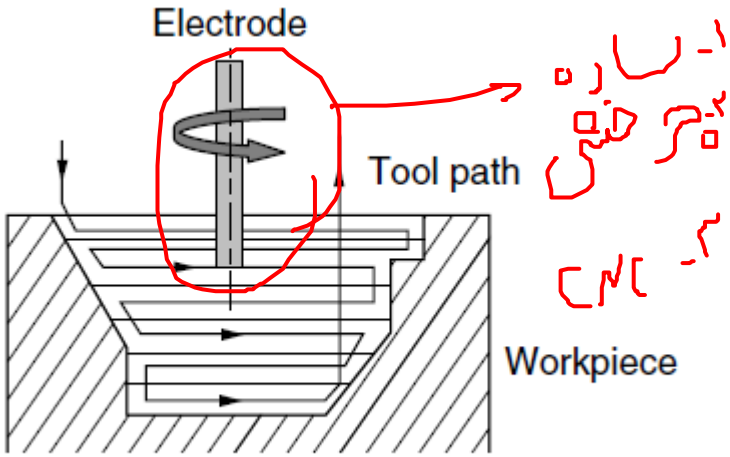
Injector nozzle hole micro drilling



AFM



- در این روش از چرخش ابزار برای ماشینکاری حفر های پیچیده استفاده می شود.
- مسیر ابزار بوسیله برنامه CNC کنترل می شود.



مزایا(نسبت به Edm Die sinking)

- نیاز به ساخت ابزار قرینه قطعه کار را حذف می کند
- سایش ابزار روی سطح الکترود پخش می شود و مصرف الکترود کمتر می شود
- حرکت موثر دی الکتریک به دلیل اغتشاش حاصل از حرکت الکترود

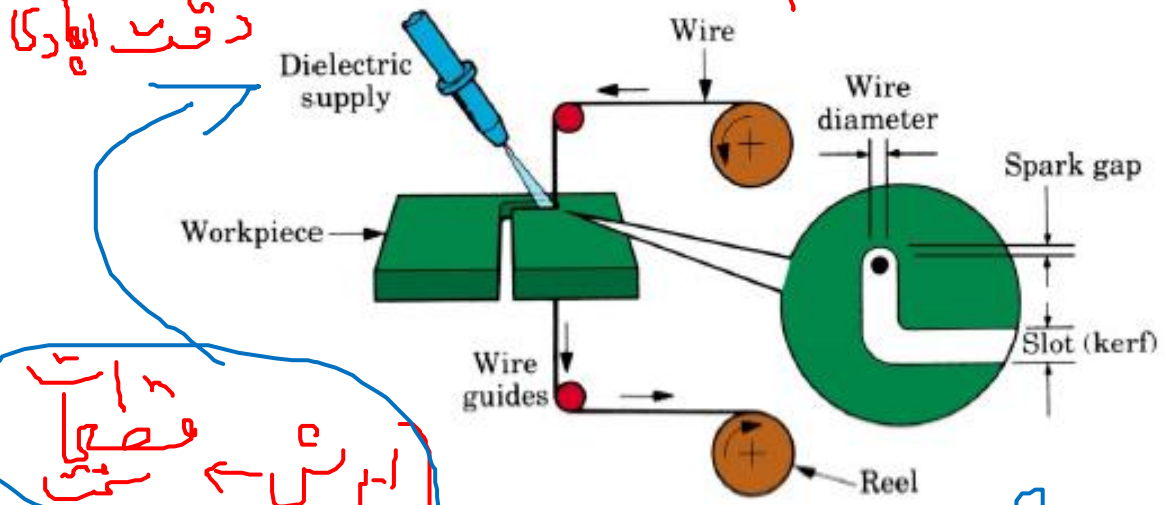
4 Electro discharge CNC milling

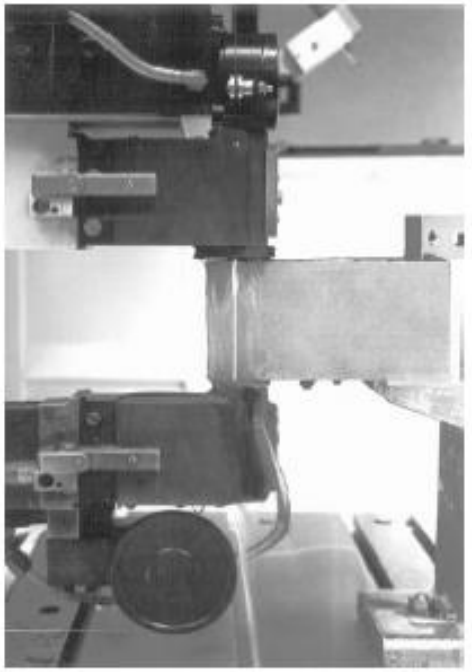
Electro discharge CNC milling

- معایب این روش نسبت به روش Die Sinking:

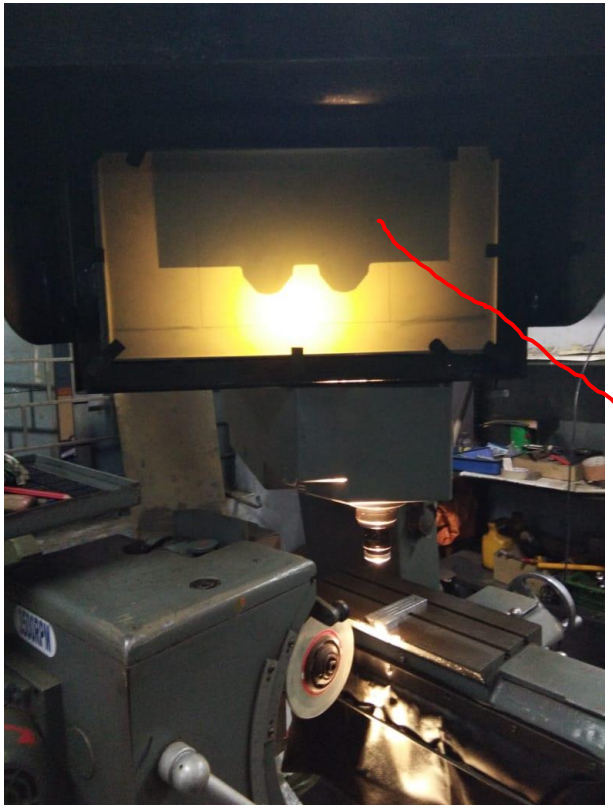
۱- زمان ماشینکاری بیشتر است

۲-نیاز به دستگاه CNC پیچیده تری است. در حالت die sinking یک دستگاه یک محوره کافی است ولی برای این روش حداقل دستگاه باید سه محوره باشد.





5 Electro Discharge Wire Cutting



Optical Grinder

دستگاه های سنگ زنی CNC

قطعات تولید شده به روش برش سیمی

ماشینکاری تخلیه الکتریکی

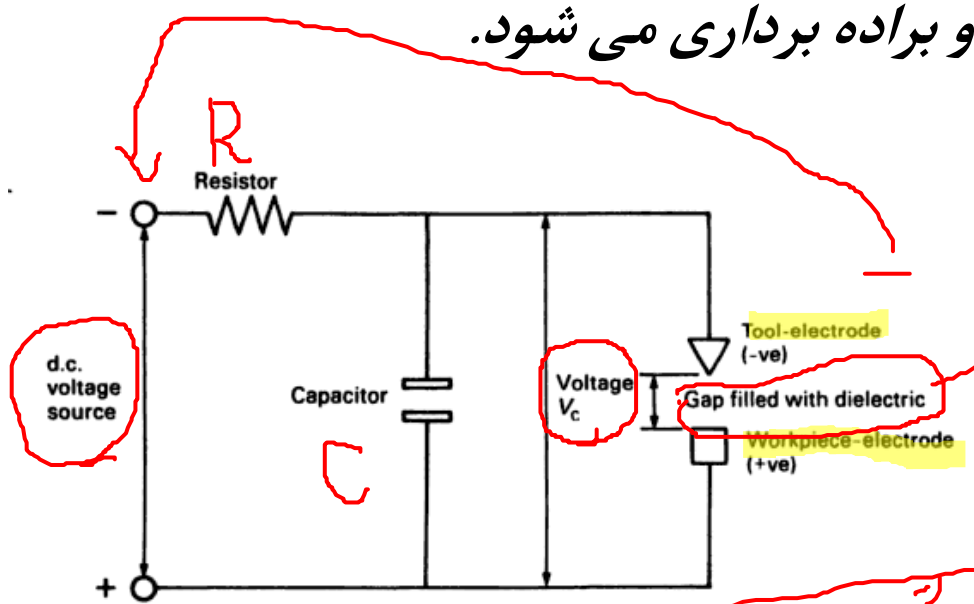
- تاریخچه
- در سال ۱۷۶۸ جوزف پریسلی در حین تولید الکتریسیته ساکن از تور سفید جرقه هایی را مشاهده کرد. این جرقه ها آثار ماندگاری روی الکترودها بر جای می گذاشتند.
- در سال ۱۹۳۰ لازارنکو با مطالعه یادداشت های پریسلی به فکر ابداع روشی برای براده برداری مبتنی بر این اصل افتاد.
- در سال ۱۹۴۳ در خلال جنگ جهانی دوم اولین ماشین اسپارک توسط لازارنکو ساخته شد.

مزایای این روش

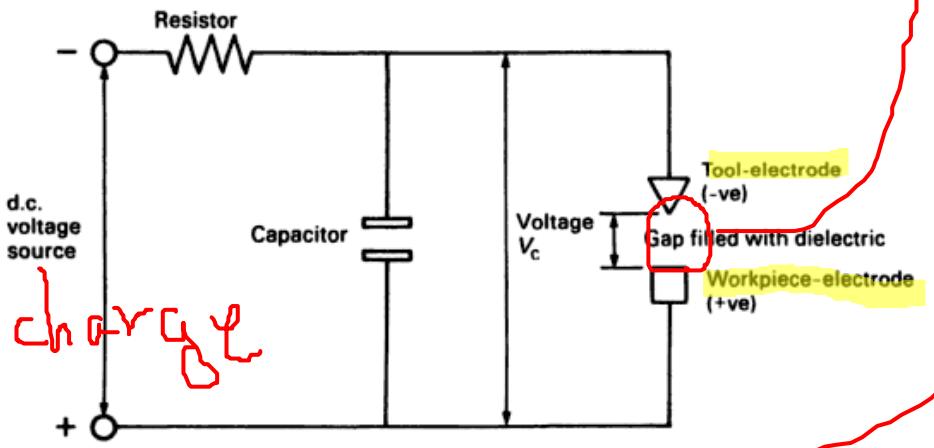
- در فرایند ماشین کاری تخلیه الکتریکی بر خلاف ماشین کاری مکانیکی فلز ابزار می تواند از فلز قطعه کار نرمتر باشد و براده برداری نیز هیچ ارتباطی به سختی مکانیکی قطعه کار ندارد بلکه به نقطه ذوب و خصوصیات حرارتی قطعه وابسته است.
- این فرآیند هیچ پلیسه ای روی سطح قطعه بر جای نمی گذارد.
- برای هندسه های پیچیده می توان از این روش بهره برد.
- برای تولید حفره های با دیواره نازک و اشکال هندسی ظریف می توان از آن استفاده نمود.

مکانیزم عملکرد

- الکترود ابزار و قطعه کار در مایع دی الکتریک غوطه ور می شوند و یک منبع تغذیه جریان مستقیم خازن را شارژ می کند تا ولتاژ دو سر خازن به ولتاژ شکست مایع دی الکتریک برسد در این حالت تخلیه الکتریکی اتفاق افتاده (در الکتریک رسانا می شود) و کانال پلاسمای ایجاد شده باعث هجوم الکترونها به سطح قطعه کار و براده برداری می شود.

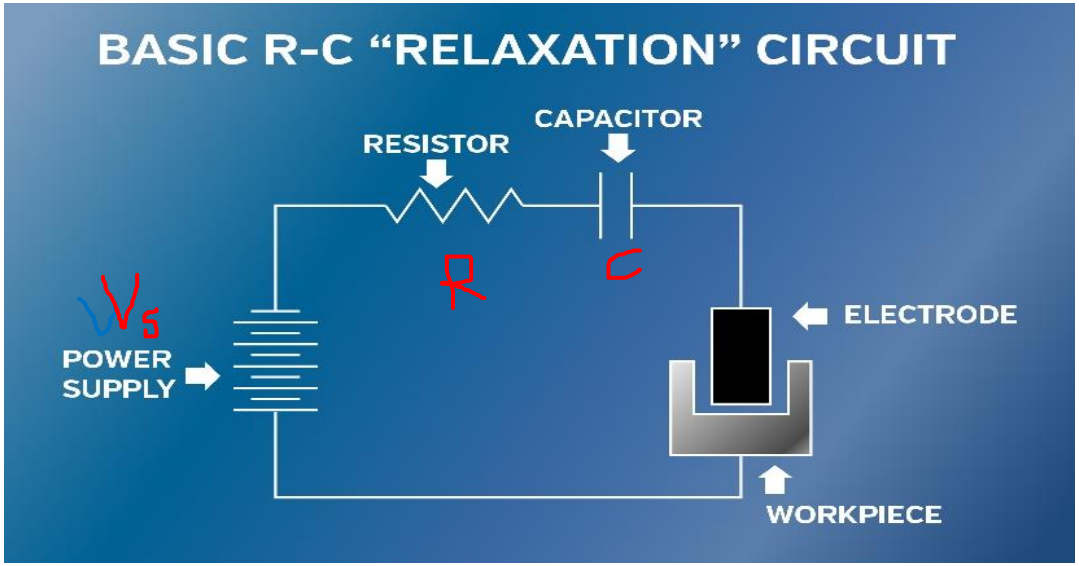


وقتی Vc به ولتاژ شکست دی الکتریک Vb(break down) می رسد مایع دی الکتریک رسانا می شود و کانال پلاسما شکل می گیرد



مدار لازارنکو (RC)

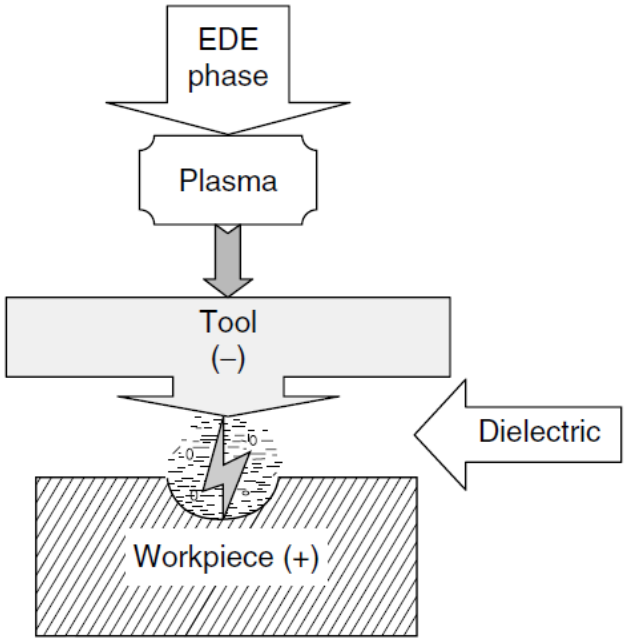
مدار RC



https://www.dideo.ir/v/yt/L1D5DLWWMp8/electrical-discharge-machining

https://www.dideo.ir/v/yt/PoskFAiTCy8/spark-erosion-machine-%28edm%29

- ***در اثر شکست الکتریکی جرقه هایی ایجاد می شوند و این جرقه ها حرارت بالا ایجاد می کنند که ناحیه مذاب بسیار کوچکی را روی سطح قطعه کار بوجود می آورند و چاله بسیار کوچکی را در سطح قطعه ایجاد می کنند.***



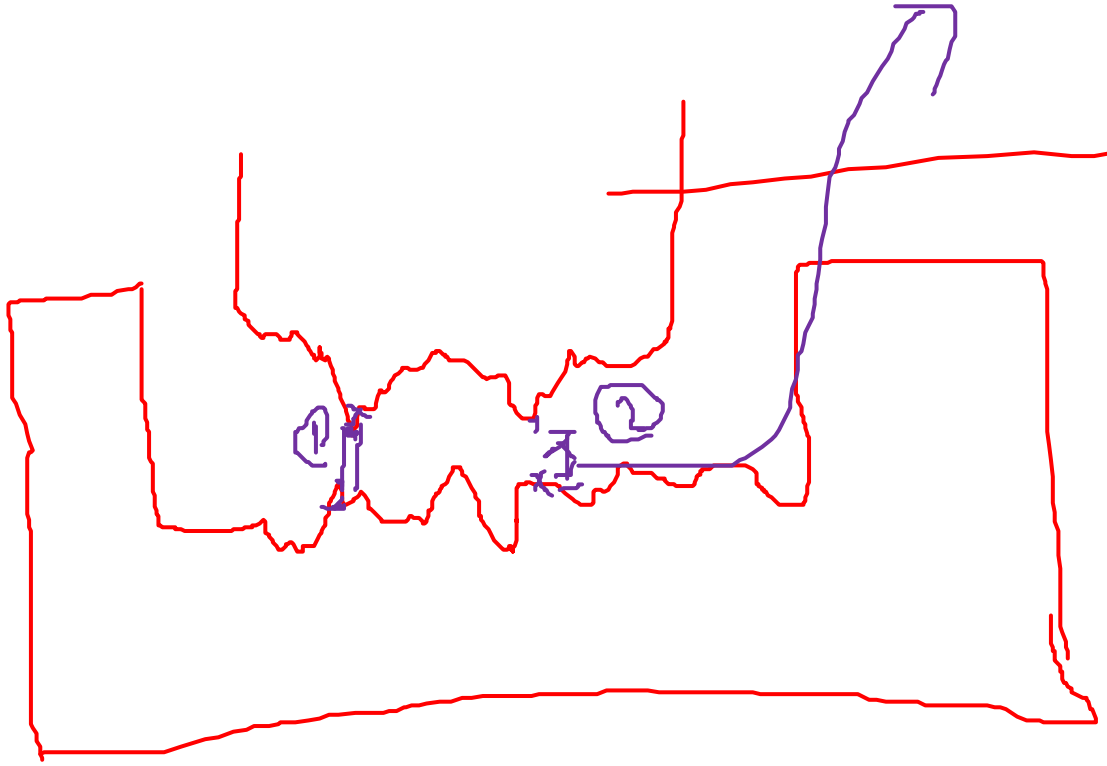
- **روش تخلیه الکتریکی برای جنس های قطعه کار رسانا مورد استفاده قرار می گیرد. در حال حاضر بار برداری برای قطعات نارسانا به کمک اسپارک در کارهای تحقیقاتی در حال انجام است که هنوز تجاری نشده است.**

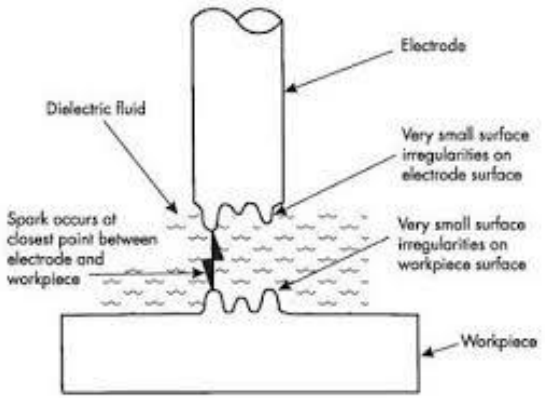
- **تکلیف: فرآیند باربرداری اسپارک برای قطعات نارسانا را توضیح دهید-ارائه کلاسی**

شکل گیری جرقه در نزدیکترین فاصله بین ابزار و قطعه کار

- جرقه در هر لحظه در نزدیکترین فاصله بین ابزار و قطعه کار ایجاد می شود.

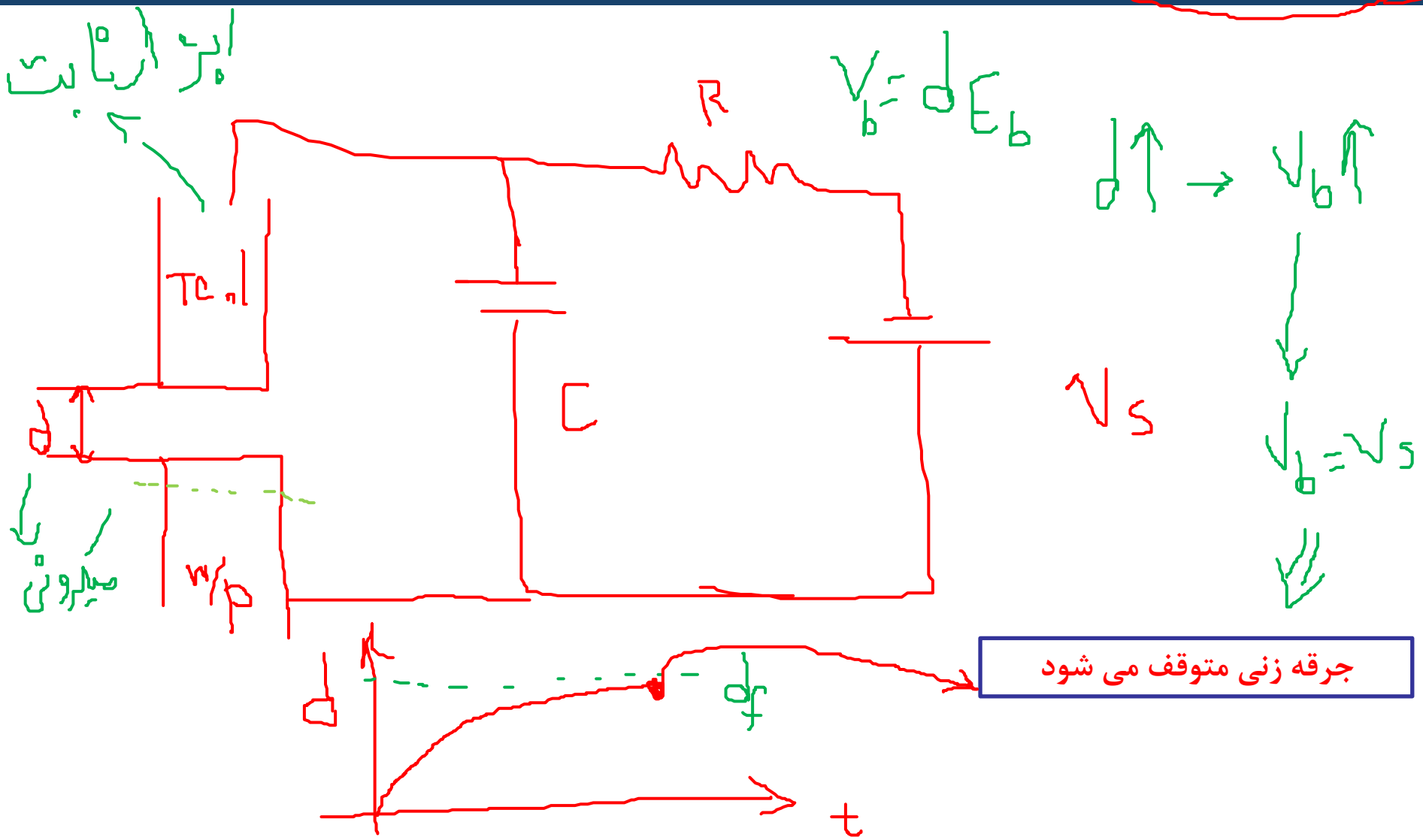
توپولوژی واقعی ابزار و قطعه کار





حتما لازم است در فرایند EDM گپ ماشینکاری ثابت بین ابزار و قطعه کار حفظ شود

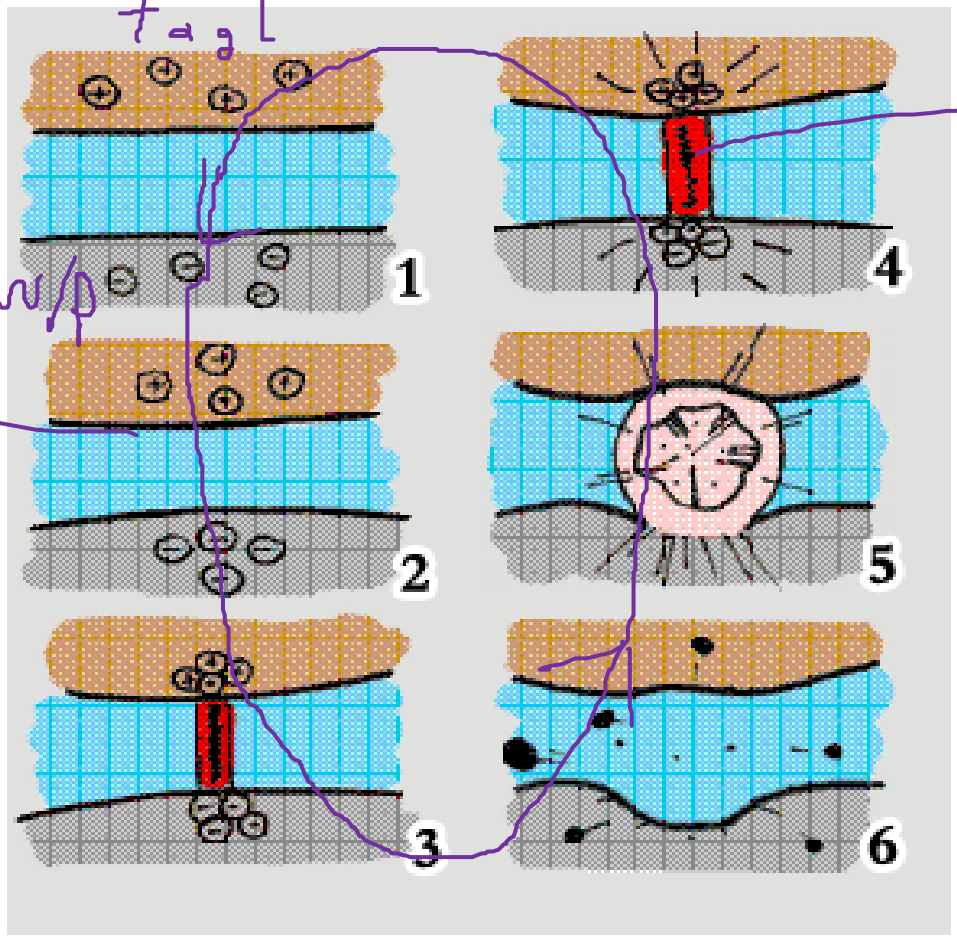
پیشروی ابزار در اسپارک ضروری است



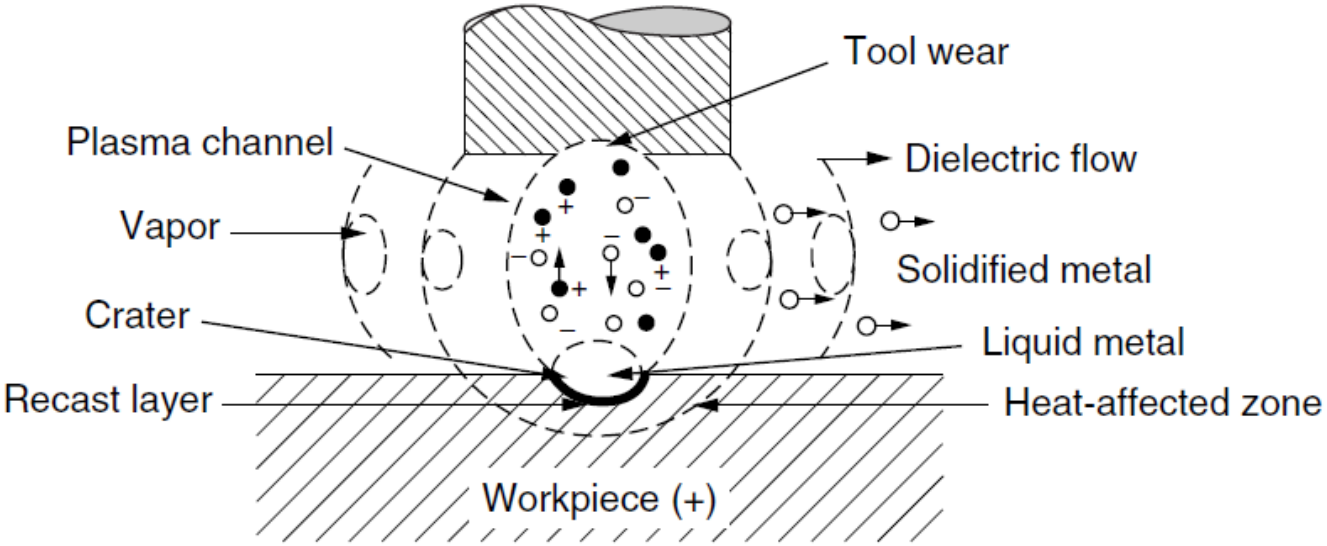
مراحل مختلف ماشینکاری EDM

- ۱- الکترود به قطعه کار نزدیک شده، هر دو باردار می‌شوند (معمولا قطعه کار مثبت و الکترود منفی)
- ۲- چون سطح الکترود و قطعه کار هر دو در اشل میکرونی دارای پستی و بلندی می‌باشند بنابراین بین دو نقطه که نزدیکترین فاصله را نسبت به جاهای دیگر با هم دارند جرقه الکترونی شکل می‌گیرد.
- ۳- کانال پلاسما شکل می‌گیرد.
- ۴- در اثر تمرکز بالای کانال پلاسما چاله ای از قطعه کار ذوب می‌شود.
- ۵- فشار کانال پلاسما بسیار بالا است، با قطع شدن جرقه و درپی آن قطع شدن کانال پلاسما چون مذاب در آن دما و فشار نمی‌تواند دوام داشته باشد، به یکباره با حالت انفجاری به اطراف پراکنده می‌شود.
- ۶- دی الکتریک با شستشوی خود ذرات پراکنده شده را جمع آوری می‌کند.

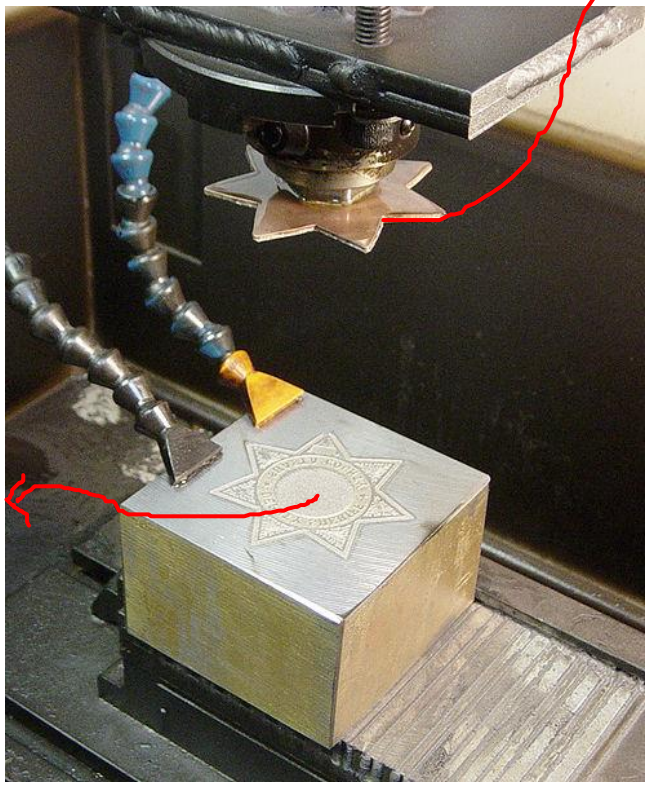
مراحل مختلف ماشینکاری EDM

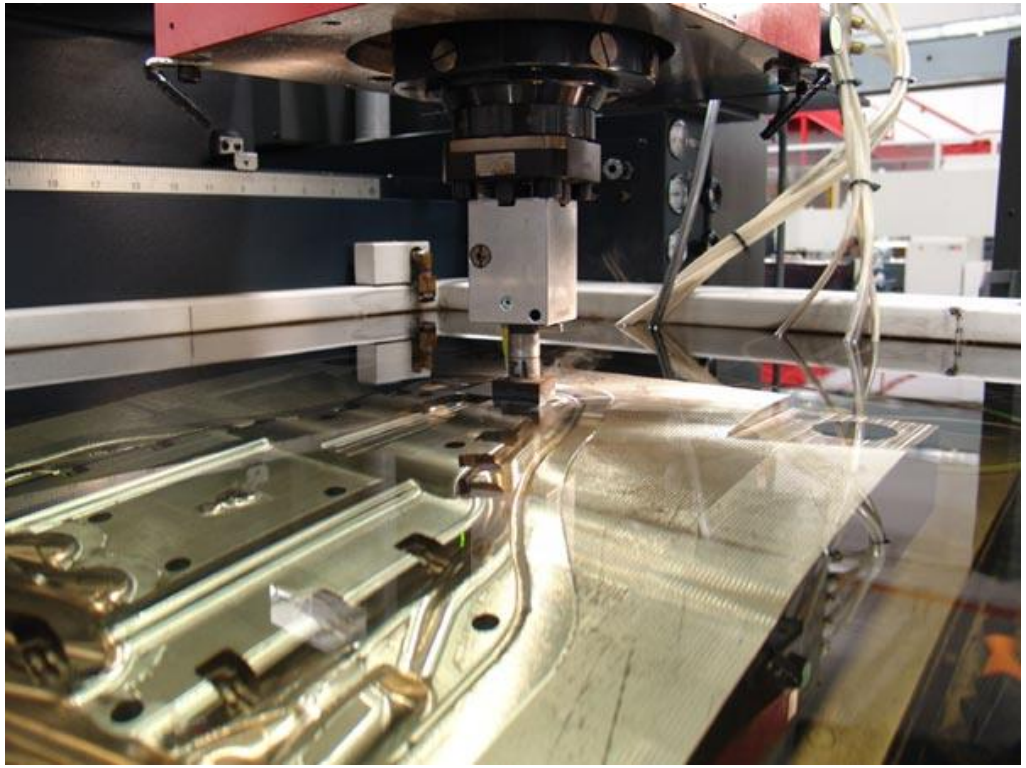


شکل گیری جرقه



ماشین EDM





مدار RC-شدت جریان

❖ اختلاف پتانسیل دو سر خازن همان اختلاف پتانسیل دو سر دی الکتریک است

$$V_s = V_R + V_C$$

$$V_R = RI$$

$$V_C = \frac{q}{C}$$

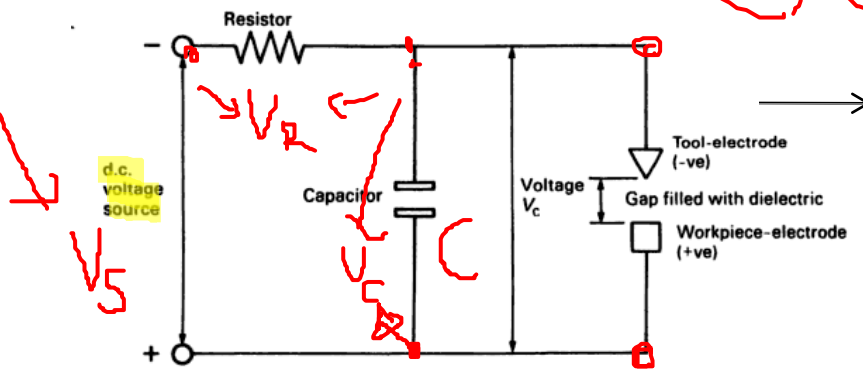
$$V_s = cte$$

$$dq = Idt \Rightarrow q = \int Idt$$

$$V_s = RI + \frac{1}{C}\int Idt$$

از طرفین نسبت به t مشتق گرفته می شود

$$\frac{dV_s}{dt} = R\frac{dI}{dt} + \frac{I}{C} = 0$$



$$RC\frac{dI}{I} = -dt \Rightarrow \int_{I_0}^{I}\frac{dI}{I} = -\frac{1}{RC}\int_0^t dt$$

$$Ln\frac{I}{I_0} = -\frac{t}{RC} \Rightarrow I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

- با توجه به رابطه شدت جریان می توان نتیجه گرفت که با شارژ خازن و بالا رفتن ولتاژ آن، این ولتاژ در برابر ولتاژ منبع تغذیه می ایستد و جریان مدار به صفر می رسد.

$$I = I_o e^{\frac{-t}{RC}}$$

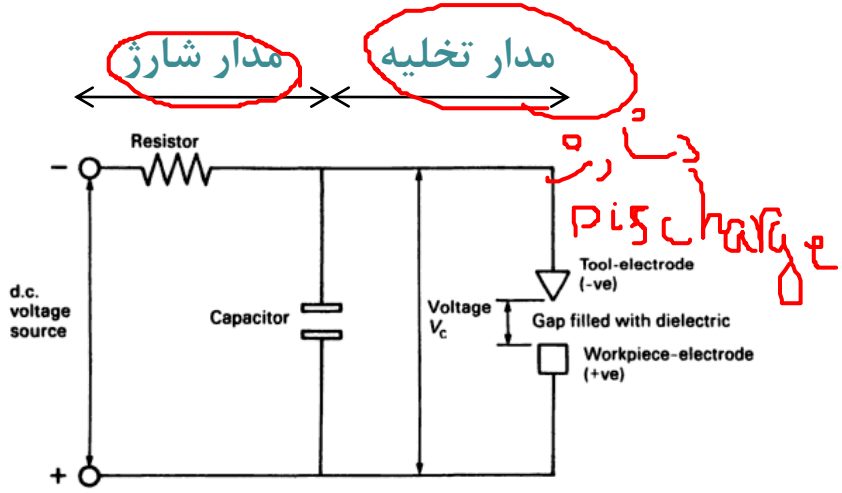
$$t = 0 \Rightarrow I = I_0$$

$$t = \infty \Rightarrow I = 0$$

مدار RC-بار الکتریکی

$$dq = Idt \Rightarrow dq = I_o e^{\frac{-t}{RC}} dt$$

$$\longrightarrow \quad q = \int_0^t I_o e^{\frac{-t}{RC}} dt = -I_o RC e^{\frac{-t}{RC}} + I_o RC = I_o RC(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$$



discharge

$t = 0 \Rightarrow q = 0$

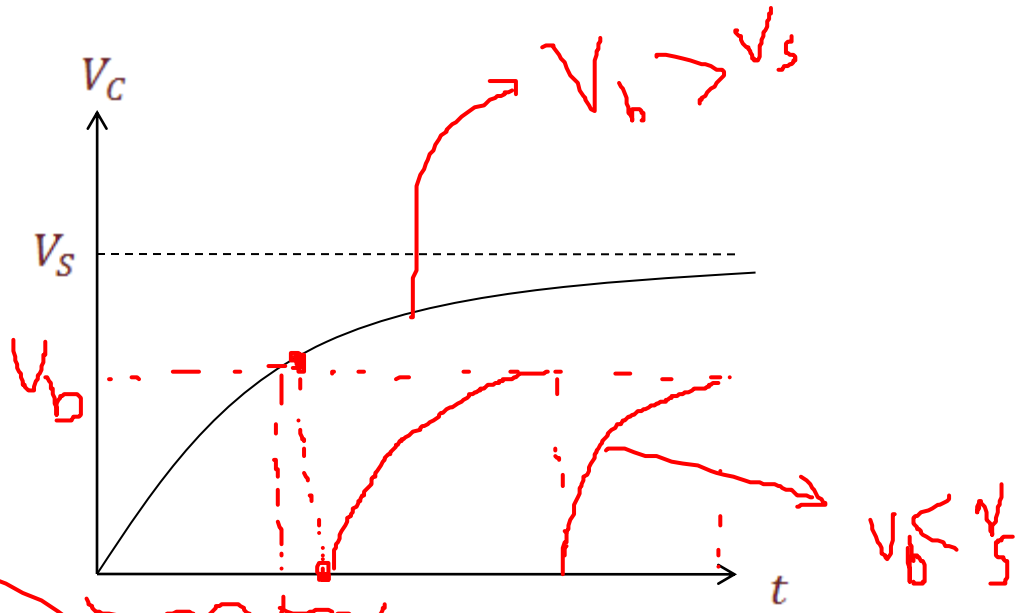
$t = \infty \Rightarrow q = RI_o C$

$$V_C = \frac{q}{C} \Rightarrow V_C = I_o R(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$$

$$V_S = I_o R \Rightarrow V_C = V_S(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$$

$$t = 0 \Rightarrow V_C = 0$$

$$t = \infty \Rightarrow V_C = V_S$$



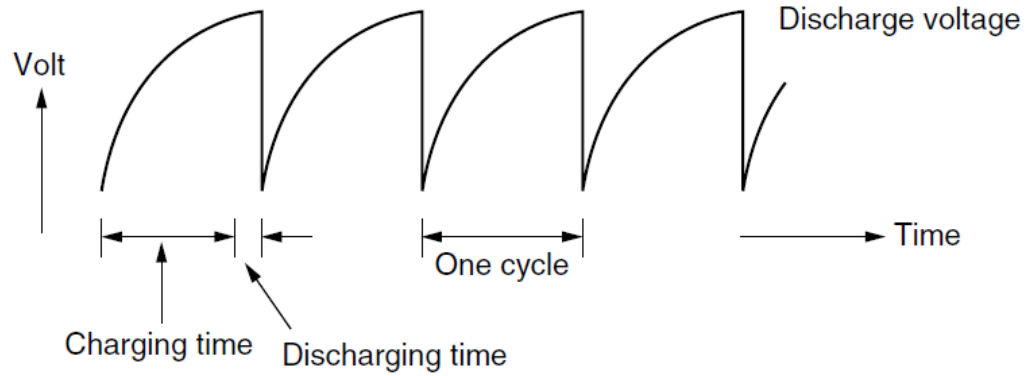
خازن در ابتدا به صورت اتصال کوتاه عمل و پس از شارژ کامل به صورت مدار باز عمل می کند.

شکست دی الکتریک

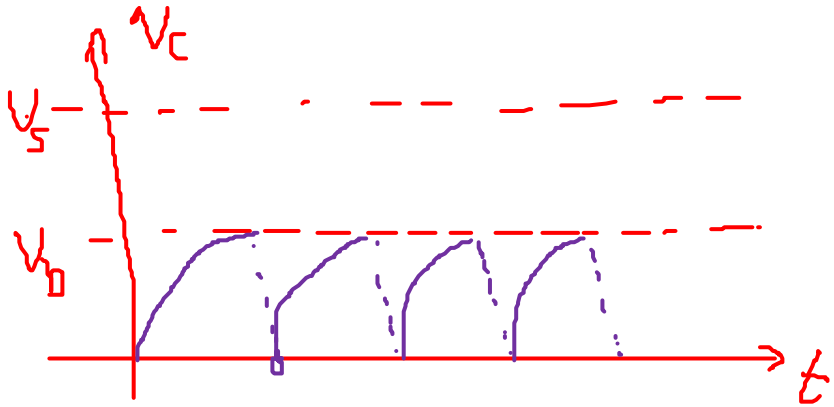
- ***وقتی در دی الکتریک شکست اتفاق می افتد که ولتاژ دو سرخازن برابر ولتاژ شکست دی الکتریک که جزء خواص ذاتی آن است شود.***

$V_c = V_b$

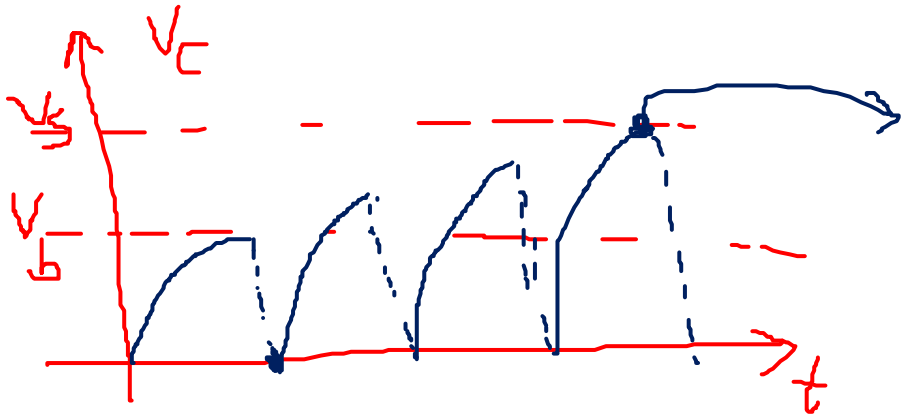
$$E = E_b = \frac{V_C}{d}$$



نمودار ولتاژ زمان در دو حالت مختلف



در حالتی که گپ ماشینکاری ثابت است



توقف فرآیند ماشینکاری

در حالتی که ابزار و قطعه کار ثابت هستند

صافی سطح در فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی

- صافی سطح به انرژی جرقه تولیدی بستگی دارد. هر چه انرژی جرقه کمتر باشد صافی سطح حاصل بهتر است.

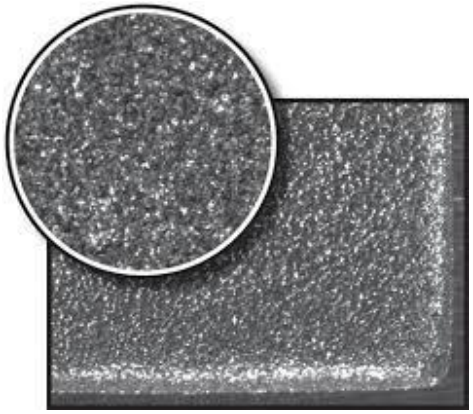
- با توجه به اینکه تمام انرژی ذخیره شده در خازن تبدیل به جرقه می شود، پس انرژی جرقه با توجه به رابطه زیر به دست می آید:

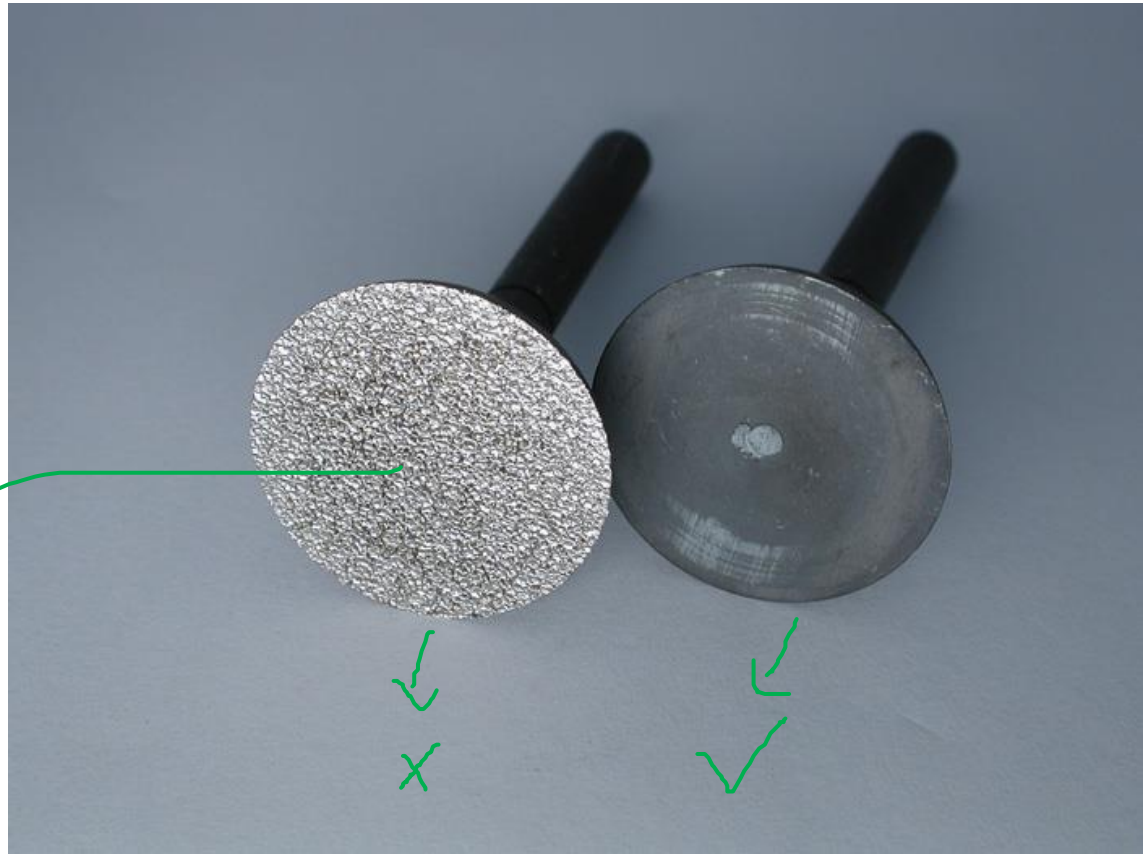
$$W_C = \frac{1}{2} C V_b^{\,2}$$

$\Rightarrow$ $W_C \uparrow$ $SR \uparrow$ | $W_C \downarrow$ $SR \downarrow$

- با توجه به این رابطه، صافی سطح تابع ولتاژ شکست مایع دی الکتریک و ظرفیت خازن است و تنها عاملی روی صافی سطح موثر است که روی این دو پارامتر موثر باشد.

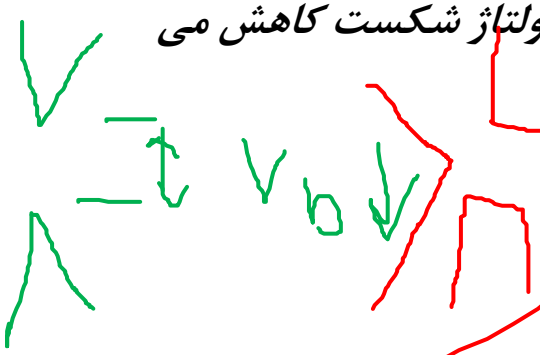
صافی سطح





عوامل تاثیر گذار روی صافی سطح

- **جنس دی الکتریک:**
  هر چه ولتاژ شکست کمتر باشد صافی سطح بهتر است.
- **فاصله بین دو الکترود:**
  با افزایش فاصله ولتاژ شکست بیشتر شده و سطح زبرتر می شود.
- **شکل زبری سطوح ابزار و قطعه کار**
  هر چه سطح تیزتر باشد الکترون ها راحت تر از سطح جدا می شوند و ولتاژ شکست کاهش می یابد.
- **دمای دی الکتریک:**
  با افزایش دمای دی الکتریک ولتاژ شکست آن کاهش می یابد.
- **آلودگی ها:**
  آلودگی ها چه عایق باشند و چه رسانا, ولتاژ شکست را کاهش می دهند.



Vb

پلیمرها>قیر>مازوت>گازوئیل>نفت>بنزین>اب دی یونیزه (مقطر)

نرخ براده برداری در فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی

- ***سرعت باربرداری تابع انرژی مصرف شده در واحد زمان است. هر چه انرژی (توان الکتریکی) بیشتری مصرف شود سرعت باربرداری بیشتر است.***

توان باربرداری لزوما برابر با نرخ براده برداری نمی باشد

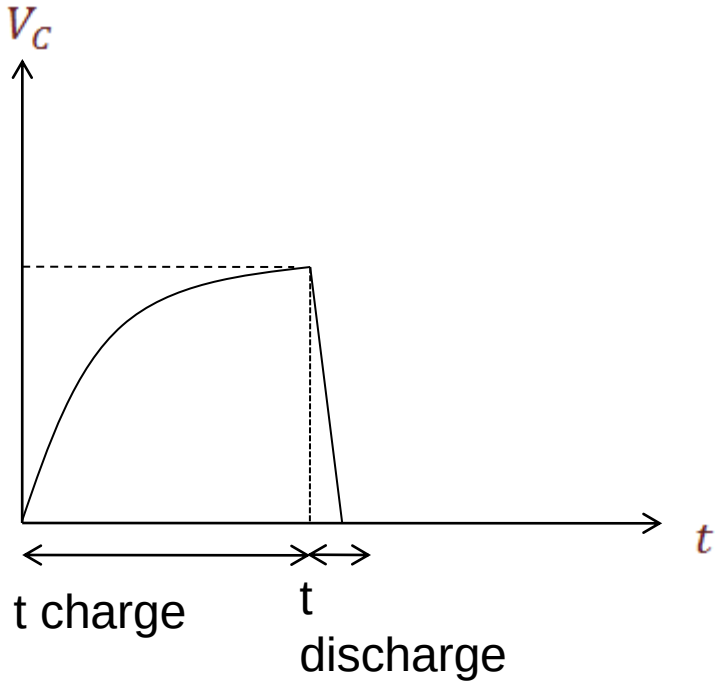
$$W_C = \frac{1}{2} C V_b{}^2$$

⟸ انرژی جرقه

t discharge =1/150t charge

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\frac{1}{2} C V_b{}^2}{\tau}$$

$$\tau = t_{charge} + t_{discharge}$$



$$P = \frac{W}{t} = \frac{\frac{1}{2} C {V_b}^2}{\tau}$$

$$V_C = V_S\left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right)$$

$t = \tau$

$$V_C = V_b \Rightarrow e^{\frac{-t}{RC}} = \frac{V_S - V_b}{V_S}$$

$$-\frac{\tau}{RC} = Ln\frac{V_S - V_b}{V_S}$$

$$\tau = RCLn\frac{V_S}{V_S - V_b}$$

ثابت زمانی

نرخ براده برداری در فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی

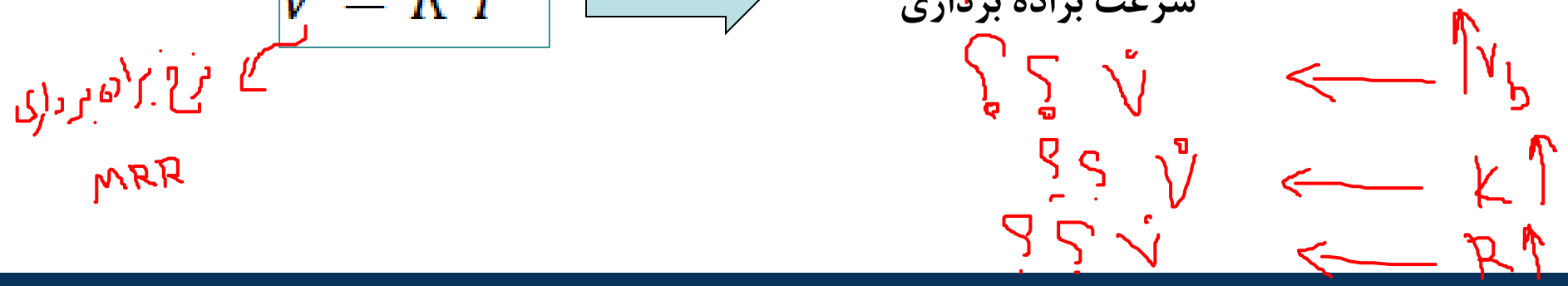
$$K = Ln\frac{V_S}{V_S - V_b} \qquad \tau = KRC$$

P توان باربرداری است

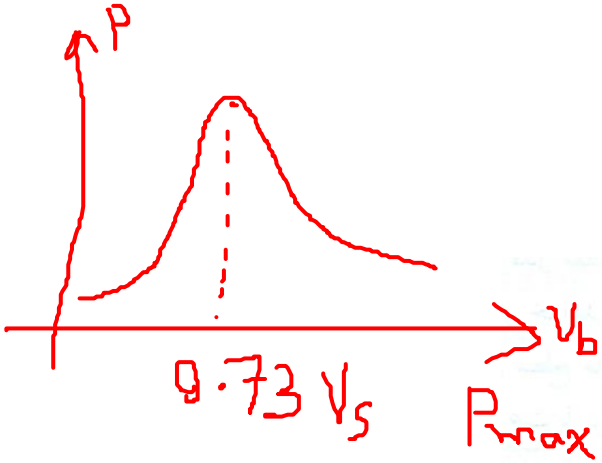
$$P = \frac{W}{t} = \frac{\frac{1}{2}CV_b^{\,2}}{\tau} = \frac{\frac{1}{2}CV_b^{\,2}}{KRC} = \frac{V_b^{\,2}}{2KR}$$

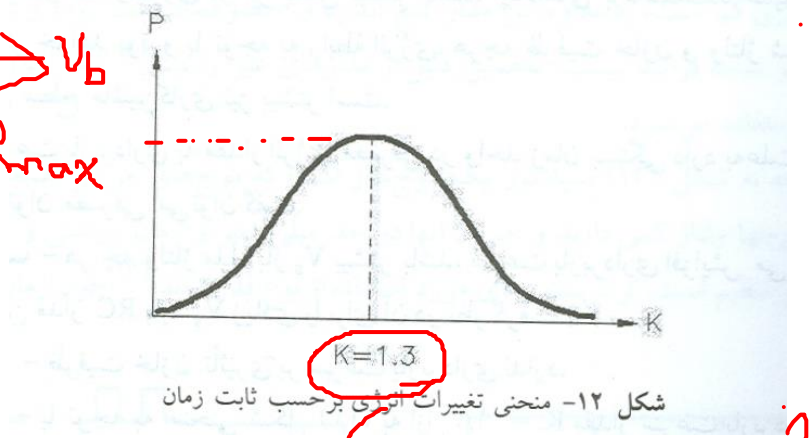
$$\dot{V} = K' P^n$$

سرعت براده برداری



نرخ براده برداری در فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی





شکل ۱۲- منحنی تغییرات انرژی برحسب ثابت زمان

رابطه توان مصرفی و توان ورودی

$$V_b = 0.73\, V_s$$
$$K = 1.3$$

حالت حداکثر نرخ باربرداری

$$P = \frac{{V_b}^2}{2 \times K \times R} = \frac{(0.73 \times Vs)^2}{2 \times 1.3 \times R} = 0.2 \times \frac{{V_s}^2}{R}$$

توان ورودی

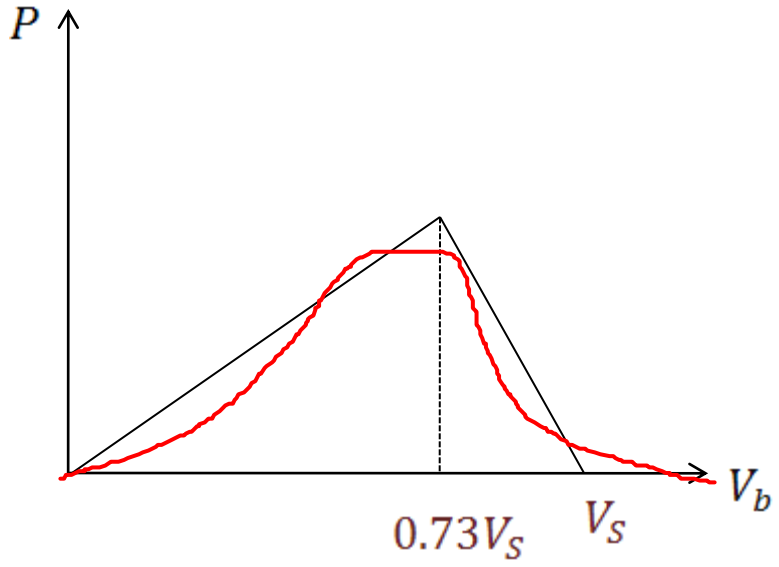
در شرایط حداکثر نرخ باربرداری با استفاده از مدار RC راندمان باربرداری تنها ۲۰ درصد است یعنی فقط ۲۰٪ انرژی ورودی صرف باربرداری می شود.

مدار RC برای استفاده تجاری که نرخ باربرداری زیاد مورد نیاز است مناسب نمی باشد.

رابطه توان مصرفی و توان ورودی

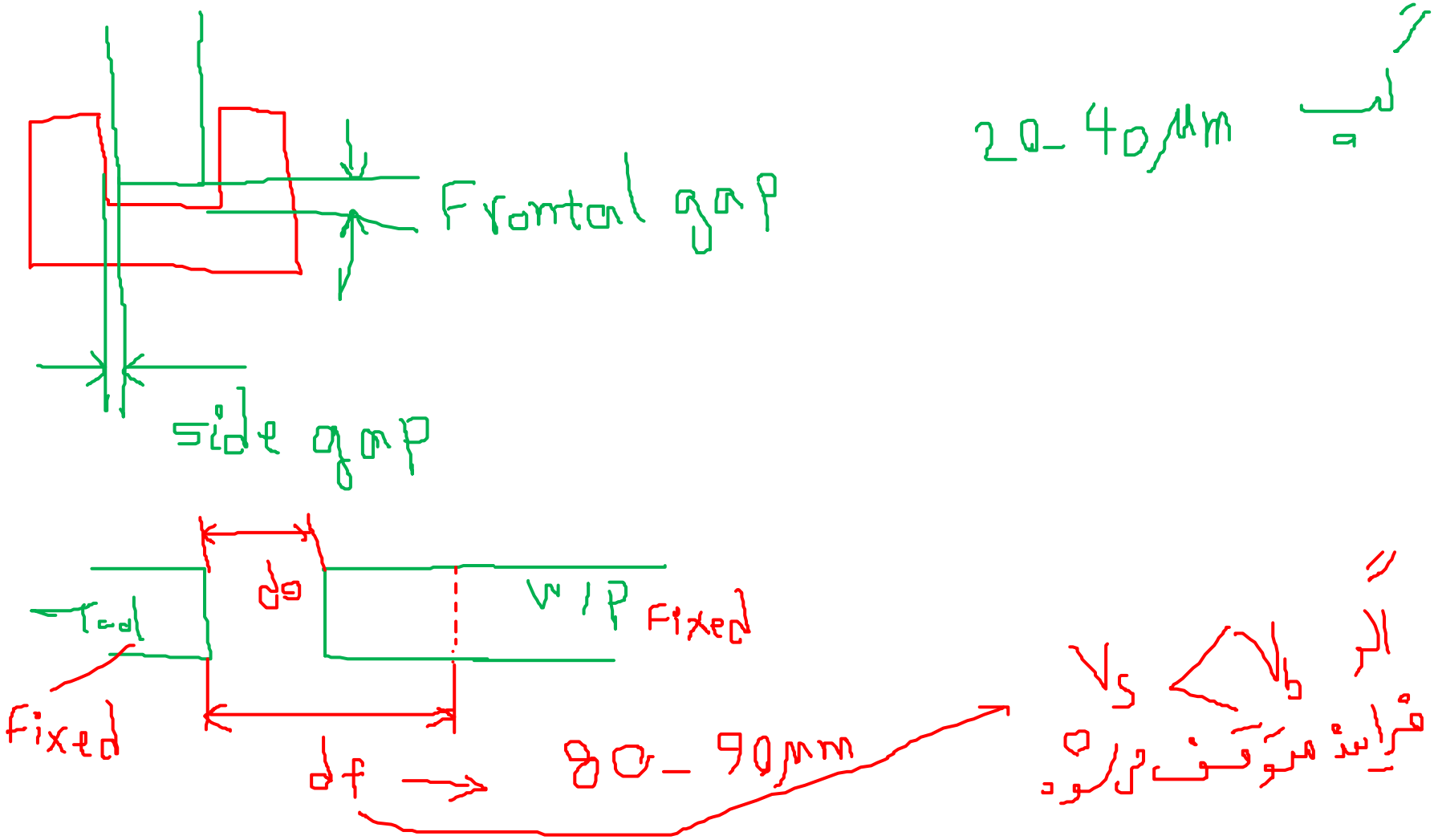
مدار RC در ماشین های تجاری با توجه به انرژی جرقه کمی که دارد برای پرداخت کاری مورد استفاده قرار می گیرد.

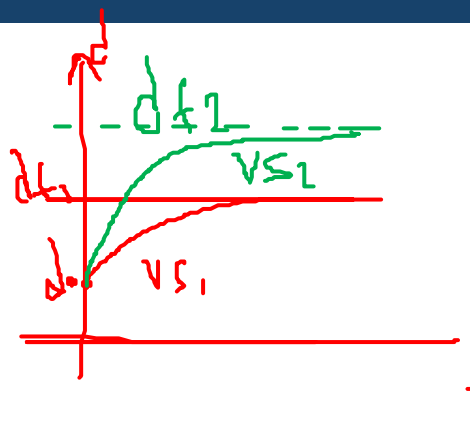
نرخ براده برداری در فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی



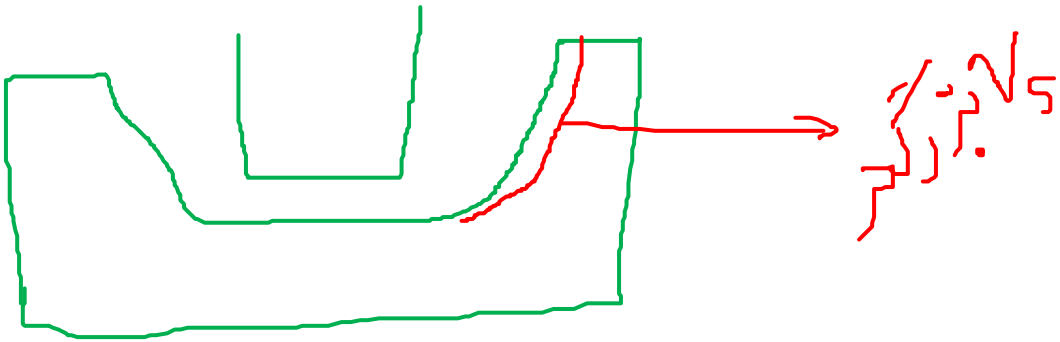
تکلیف ۱

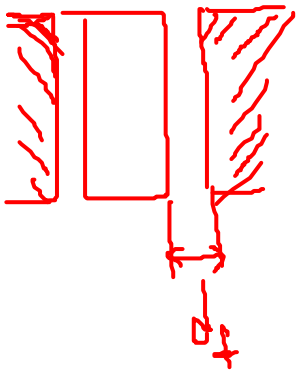
- با توجه به روابط ارائه شده منحنی P و نرخ براده برداری را بر حسب Vb ترسیم نمایید.


Frontal gap
side gap
20-40mm
dg
Tool
WP Fixed
Fixed
df
80-90mm



$V_{s2} > V_{s1} \rightarrow d_{t2} > d_{t1}$





در اسپارک کاری سوراخ های کور انچه روی گپ کناری تاثیر گذار است گپ جلویی است و با کاهش گپ جلویی جرقه ها در ولتاژ شکست کمتری زده شده و شانس جرقه در کناره ها کاهش می یابد. اقزایش گپ جلویی هم به دلیل مشابه گپ کناری را افزایش می دهد. با توجه به شکل سمت راست و نمودار بالا گ جلویی نیز توسط Vs کنترل می شود و با افزایش Vs افزایش می یابد.

پایان