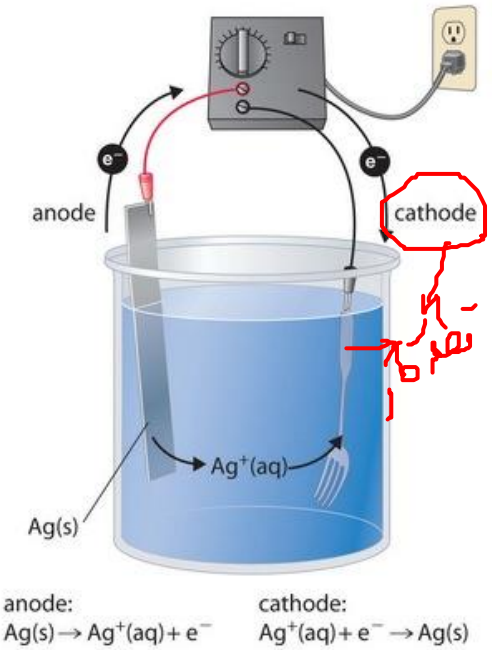
جلسه دهم: ماشینکاری الکتروشیمیایی

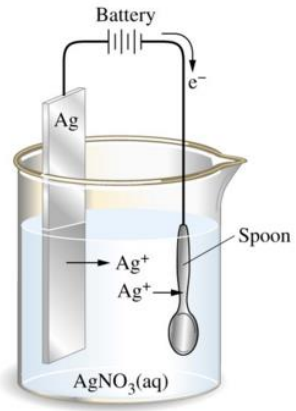
برای مواد رسانا

مقدمه:

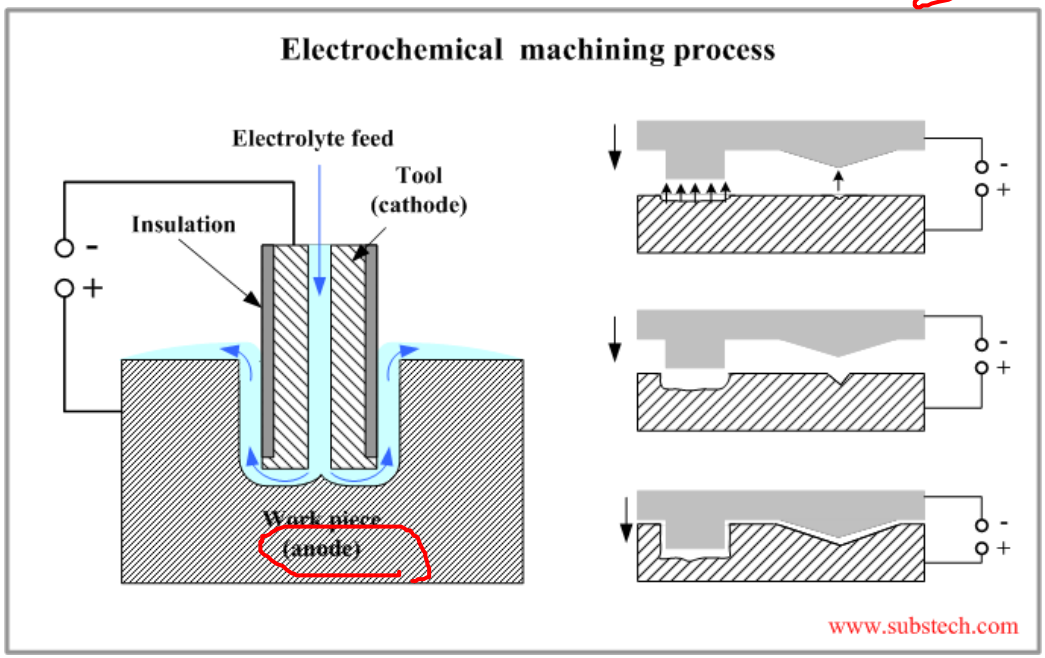
آبکاری الکتریکی (Electroplating):

برای افزایش مقاومت به سایش و خوردگی قطعه، سطح آن می بایست از مواد مقاوم پوشانده شود.





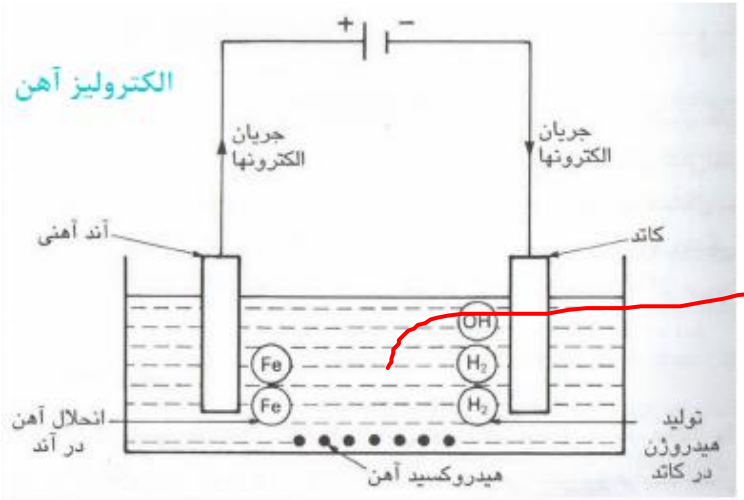
ECM یک فرایند انحلال آندی است که در آن قطعه کار قطب مثبت (آند) و ابزار قطب منفی (کاتد) می باشد.



واکنش آندی $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e$

واکنش کاتدی $2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2(OH)^-$

الکترولیت یک محلول رسانا مانند Nacl است که نقش آن برقراری جریان الکتریکی بین قطب های مثبت و منفی است.



اصول فرآیند

برداشت ماده از آند = ماشینکاری از قطعه کار

- *جریان بالا (تا ۵۰۰۰ آمپر) ولتاژ پایین مستقیم (۵ تا ۲۵ ولت) بین ابزار شکل داده شده (قطب منفی یا کاتد) و قطعه رسانای الکتریسیته (قطب مثبت یا آند) برقرار می شود.*

- *الکترولیت با جریان بالا (جریان آشفته) در گپ ابزار و قطعه جریان یافته و ماده برداشته شده از قطعه را به جای نشاندن به ابزار، از گپ دور می کند.*

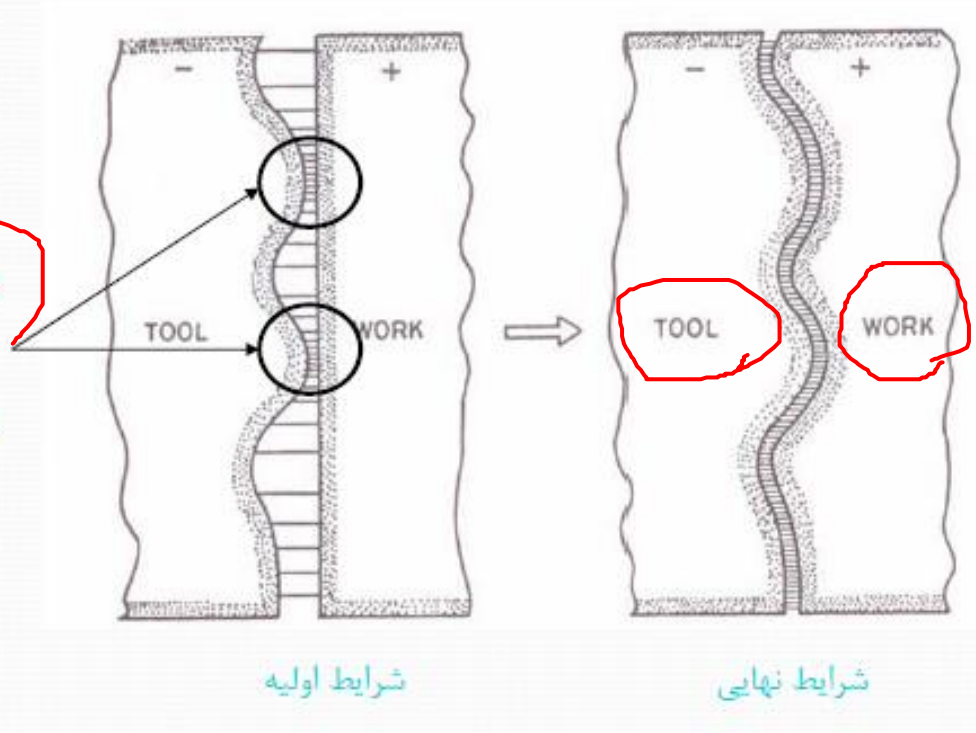
- *براده برداری بصورت اتمی از قطعه*

- *مکانیزم براده برداری مبتنی برحرارت نمی باشد* (در مقایسه با روش تخلیه الکتریکی).

- در روش ECM خوردگی ابزار وجود ندارد و باید به طریقی گاز هیدروژن تولید شده در آند آن را از موضع ماشینکاری دور کرد.

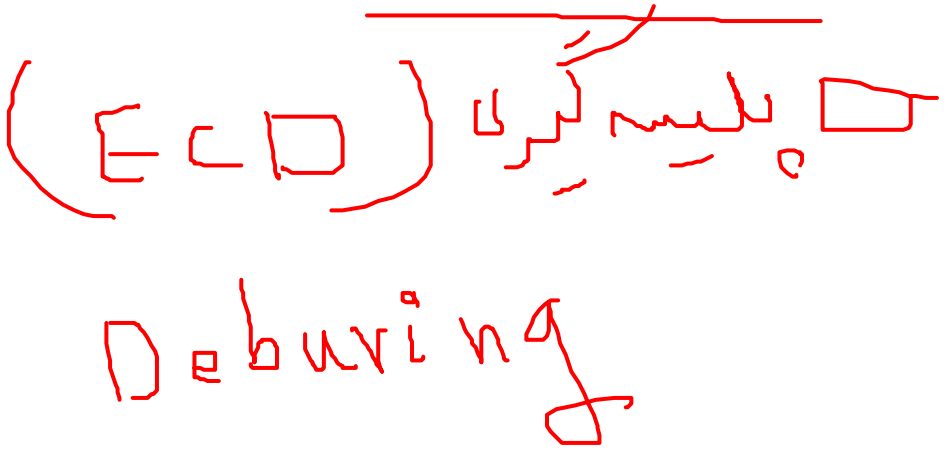
مکانیزم براده برداری

- چگالی جریان (I/A) بیشتر به دلیل فاصله کمتر بین ابزار و قطعه
- نرخ بار برداری بالاتر در این نواحی

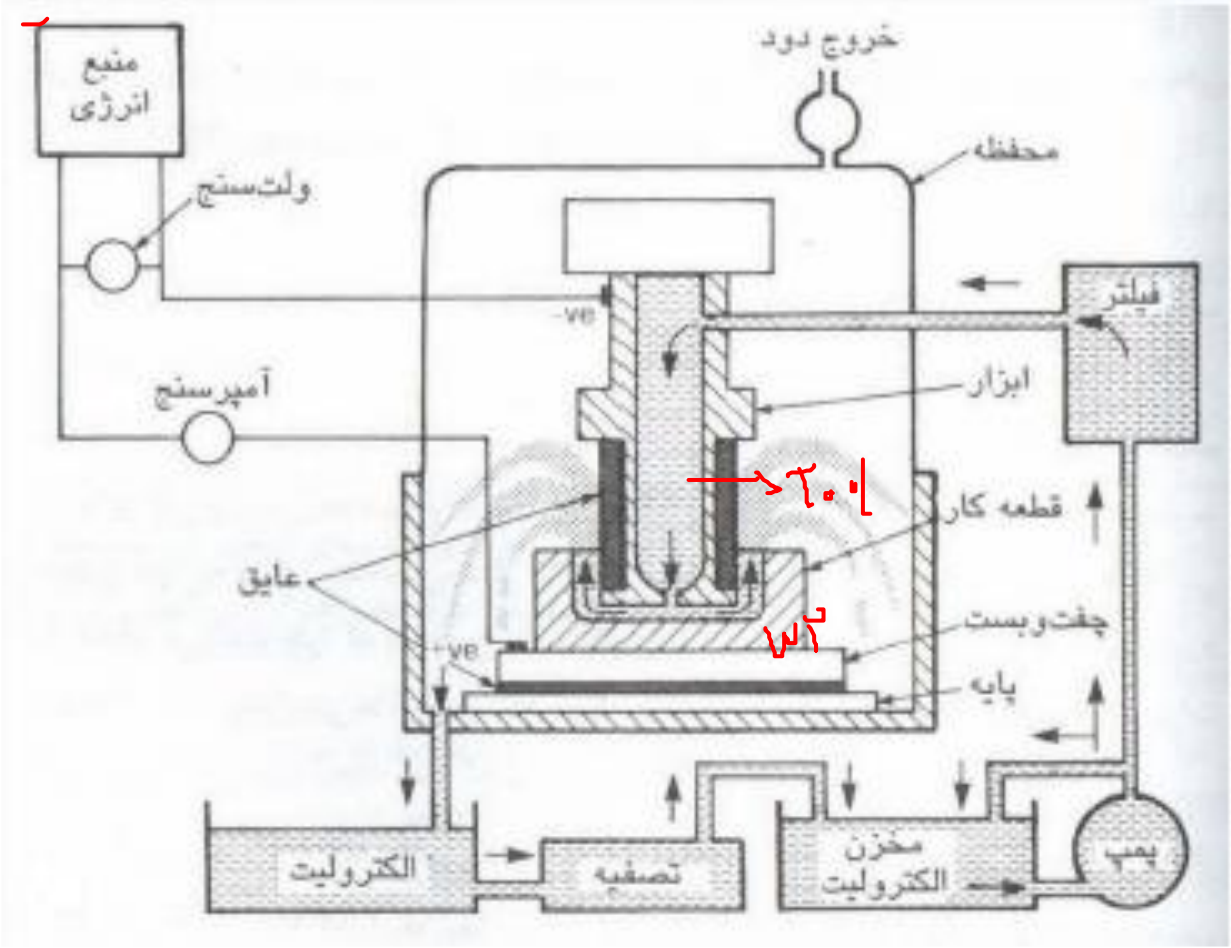


کاربردها

- مواد سخت و مستحکم (فولاد های آلیاژی و سوپر آلیاژی)
- شکل های هندسی و پیچیده-پره توربین
- سوراخ های عمیق و کوچک



تجهیزات ماشینکاری ECM



$$m = \frac{AIt}{ZF}$$

I: جریان (amp)
t: زمان (s)
A: وزن اتمی (gr)
Z: ظرفیت اتمی
F: ثابت فاراده (F=96500As=96500C) یا 96500 کولن
m: جرم (gr)

$$MRR_g = m^{\cdot} = \frac{AI}{ZF}$$

نرخ باربرداری

$$E = \frac{A}{Z}$$

معادل الکتروشیمیایی (E)

- بازده جریان (η)
- تمام جریان موجب باربرداری از قطعه نمی شود. بنابراین:

$$m = \frac{\eta A I t}{ZF}$$

- معادل الکتروشیمیایی آلیاژها
- دو روش پیشنهاد می شود:

- الف)

$$\left(\frac{A}{Z}\right)_{alloy} = \frac{1}{100}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{A_i}{Z_i}\right)X_i$$

n: تعداد عناصر در آلیاژ
A_i: وزن اتمی عنصر i (به گرم)
Z_i: ظرفیت اتمی عنصر i
X_i: درصد وزنی عنصر i (به درصد)

- ب)

$$\left(\frac{A}{Z}\right)_{alloy} = \frac{100}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Z_i}{A_i}\right)X_i}$$

روش دقیقتر

10

$$\rho_a = \frac{100}{\sum_{i=1}^{n}\frac{X_i}{\rho_i}}$$

رابطه چگالی آلیاژ

مثالی از نرخ برداشت در ECM: آلیاژی با مشخصات زیر داده شده است. معادل الکتروشیمیایی را با دو روش به دست آورید. نرخ باربرداری **حجمی** را در جریان 500A بدست آورید.

عنصر	نیکل	کروم	آهن	تیتانیوم	مس	سلیسیم	منگنز
درصد وزنی	72	20	5	0.5	0.5	1	1
وزن اتمی (gr)	58.71	51.99	55.58	47.9	63.57	28.09	54.94
ظرفیت	2	2	2	3	1	4	2
چگالی (gr/cm^3)	8.9	7.19	7.86	4.51	8.69	2.33	7.43

- حل مثال از نرخ برداشت در ECM ...

$$\rho_a = \frac{100}{\frac{72}{8.9}+\frac{20}{7.19}+\frac{5}{7.86}+\frac{0.5}{4.51}+\frac{0.5}{8.69}+\frac{1}{2.33}+\frac{1}{7.43}} = 8.17 \ gr/cm^3$$

- معادل الکتروشیمیایی به دو روش

$$\left(\frac{A}{Z}\right)_{alloy} = \frac{1}{100}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{A_i}{Z_i}\right)X_i = \frac{58.71}{2}\times 0.72+\frac{51.99}{2}\times 0.2+\frac{55.85}{2}\times 0.05+\frac{47.9}{3}\times 0.005+$$

$$\frac{63.57}{1}\times 0.005+\frac{28.09}{4}\times 0.01+\frac{54.94}{2}\times 0.01 \approx 28.473 \text{ gr}$$

$$\left(\frac{A}{Z}\right)_{alloy} = \frac{100}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Z_i}{A_i}\right)X_i} = \frac{100}{\frac{2}{58.71}\times 72+\frac{2}{51.99}\times 20+\frac{2}{55.85}\times 0.5+\frac{3}{47.9}\times 0.5+\frac{1}{63.57}\times 0.5+\frac{4}{28.09}\times 1+\frac{2}{54.94}\times 1}$$

$$\approx 28.927 \text{ gr}$$

- حل مثال از نرخ برداشت در ECM ...

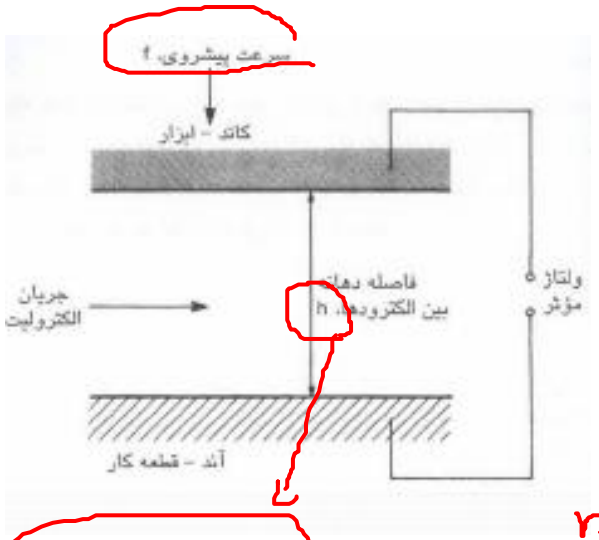
$$MRR_{g1} = \frac{AI}{ZF} = 28.473 \times \frac{500}{96500} = 0.1475 \text{ gr/s}$$

$$M = \rho V \Rightarrow MRR_V = \frac{MRR_g}{\rho} = \frac{0.1475}{8.17} = 0.0181 \text{ cm}^3/s$$

$$MRR_{g2} = 28.927 \times \frac{500}{96500} = 0.1499 \text{ gr/s}$$

$$MRR_V = \frac{0.1499}{8.17} = 0.0183 \text{ cm}^3/s$$

Fe	Si	Cu	Cr
81	2	5	12



$$MRR_L = \frac{dh}{dt} = \frac{\eta EJ}{F\rho}$$

While machining, the tool feeds with velocity f to the workpiece, then:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\eta EJ}{F\rho} - f$$

a) if f=0;

$$\begin{cases} \dfrac{dh}{dt} = \dfrac{\eta EJ}{F\rho} \\ J = \dfrac{Vk}{h} \end{cases} \Rightarrow h.dh = \frac{Vk\eta E}{F\rho}dt \Rightarrow \int_0^{h(t)} h.dh = \int_0^t \frac{Vk\eta E}{F\rho}dt \Rightarrow h^2(t) = h^2(0) + \frac{2EkVt}{F\rho}$$

$h(0)$: فاصله اولیه بین ابزار و قطعه

$h(t)$: فاصله [illegible] بین ابزار و قطعه در زمان t

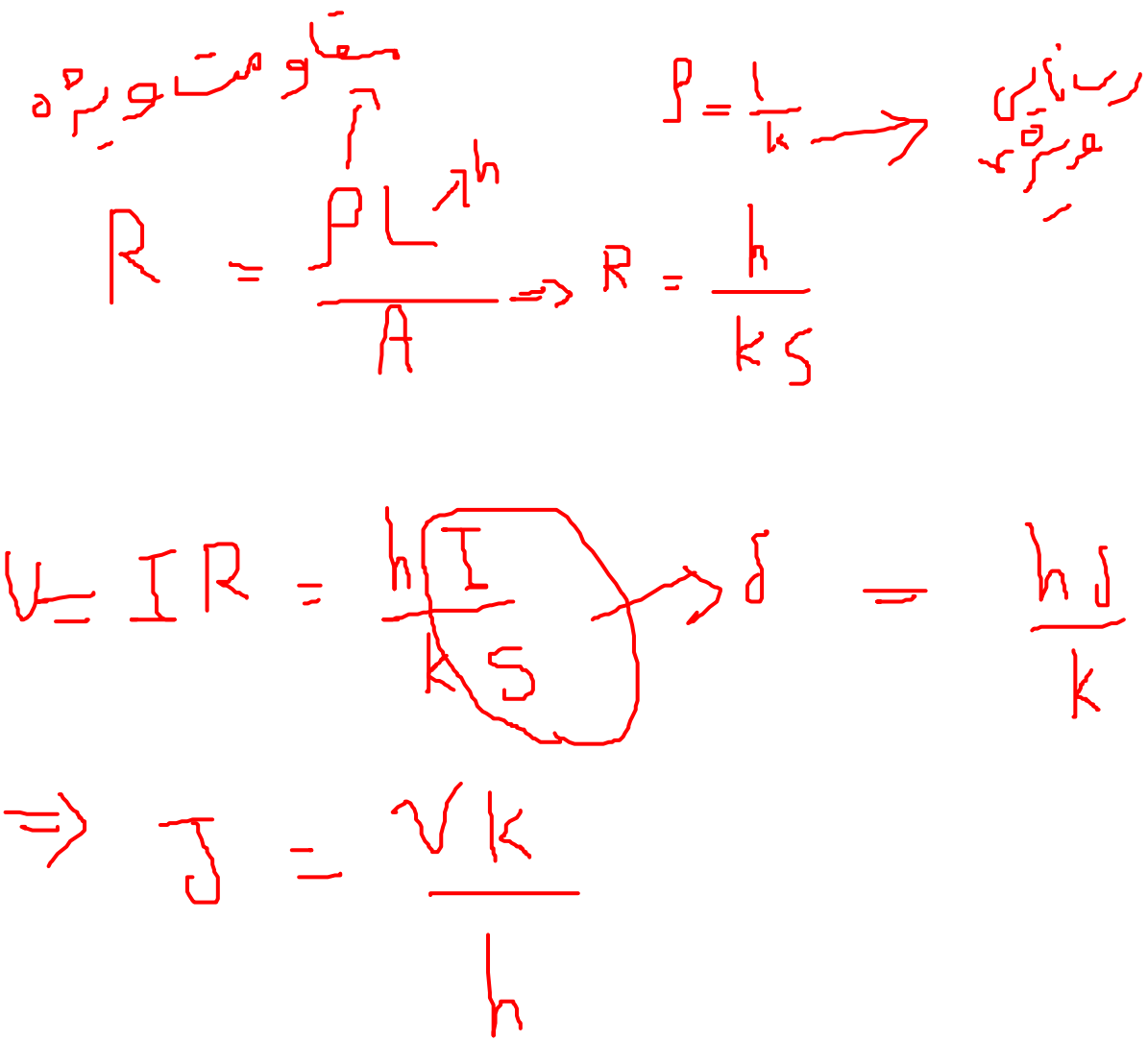
$R=\frac{\rho h}{S}=\frac{h}{Sk}$

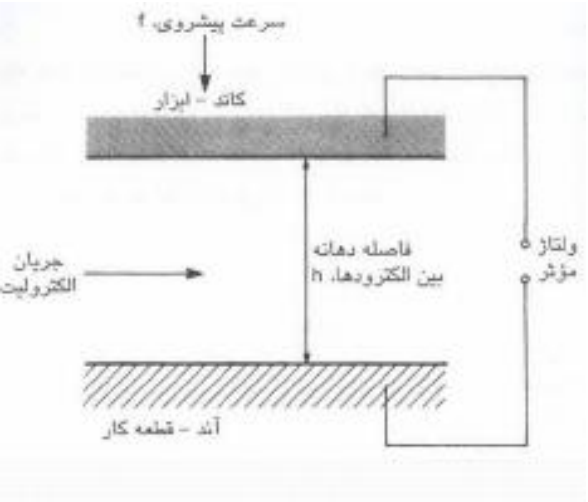
$V=RI$

$V=hI/(SK)$

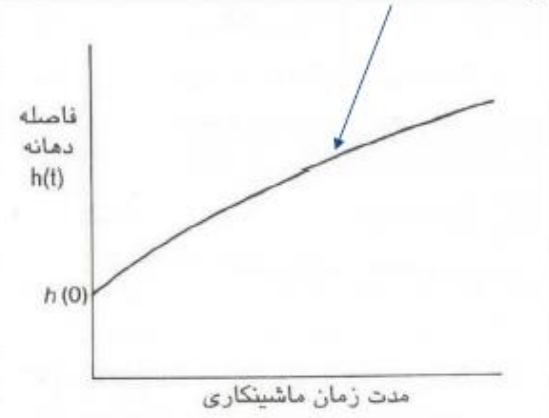
$V=hJ/k$

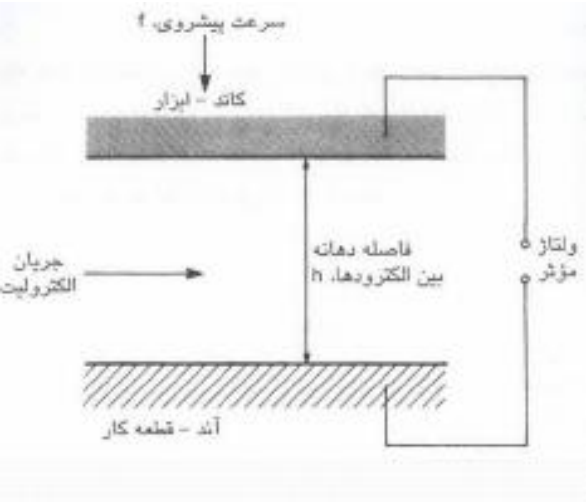
$J=VK/h$





$$h^2(t) = h^2(0) + \frac{2EkVt}{F\rho}$$





b) if f=constant;

$$t=\frac{1}{f}\left\{h(0)-h(t)+h_e \ln\left(\frac{h(0)-h(e)}{h(t)-h(e)}\right)\right\}$$

In steady state condition we have $\frac{dh}{dt}=0 \Rightarrow \begin{cases} \frac{dh}{dt}=\frac{\eta EJ}{F\rho}-f \Rightarrow \frac{\eta EJ}{F\rho}=f \\ h(t)=h_e \\ J=\frac{Vk}{h} \end{cases} \Rightarrow h_e=\frac{\eta kEV}{F\rho f}$

- **مشخصه خودتنظیمی**

۱- اگر $f=MRR_L$ باشد فاصله گپ h_e خواهد بود.

۲- اگر $f<MRR_L$ باشد آنگاه $h>h_e$ و در نتیجه چگالی جریان کاهش می یابد. بنابراین MRR_L نیز کاهش یافته تا جایی که دوباره حالت $f=MRR_L$ داشته باشیم.

۳- اگر $f>MRR_L$ باشد آنگاه $h<h_e$ و در نتیجه چگالی جریان افزایش می یابد. بنابراین MRR_L نیز افزایش یافته تا جایی که دوباره حالت $f=MRR_L$ داشته باشیم.

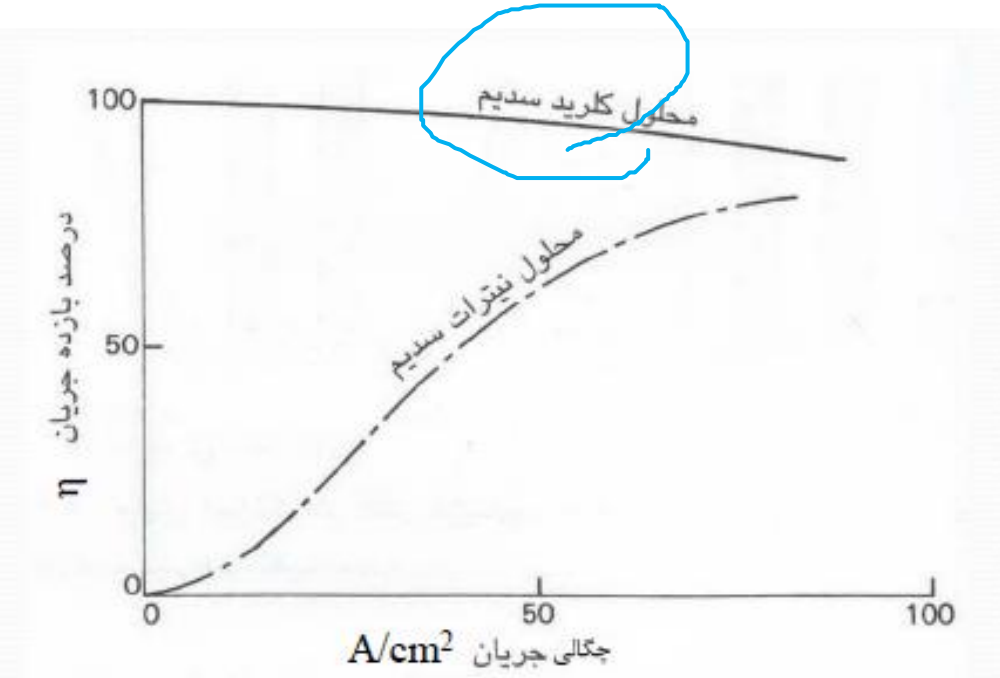
وظایف الکترولیت

- یونیزه می شود و جریان الکتریکی را بین ابزار و قطعه کار برقرار می کند.
- ذرات یون فلزی جدا شده از سطح قطعه کار (براده) را از فاصله ماشینکاری دور می کند.
- حرارت تولید شده را از سیستم خارج می کند و باعث خنک کاری می شود.

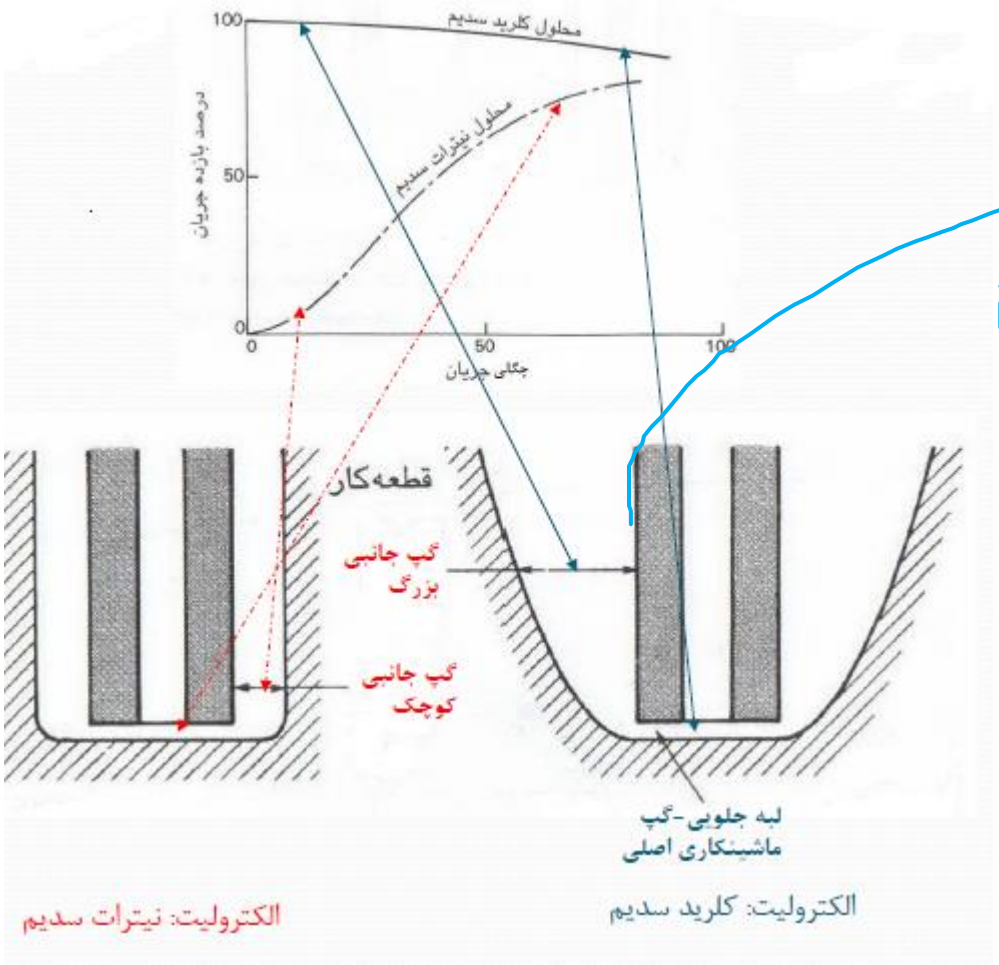
الکترولیت

- سرعت الکترولیت 15-60 m/s
- سرعت پایین الکترولیت، گرما و محصولات واکنش (هیدروژن و رسوبات) موجب نایکنواختی باربرداری خواهد شد.
- سرعت بالای الکترولیت، موجب کاویتاسیون و نایکنواختی در باربرداری خواهد شد.

تاثیر نوع الکترولیت مورد استفاده



دقت در ماشینکاری الکتروشیمیایی

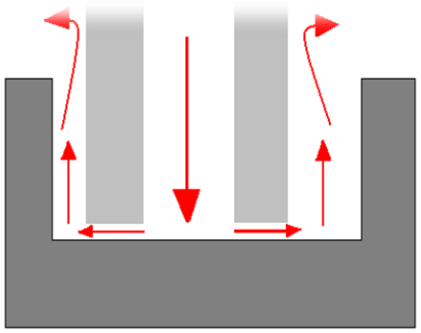


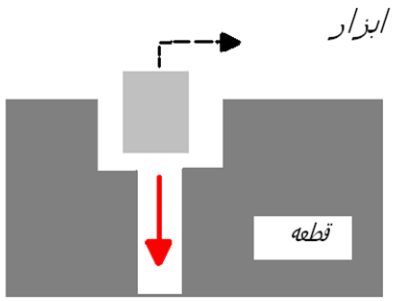
انواع روش های استفاده از الکترولیت

1) روش جریان مستقیم:

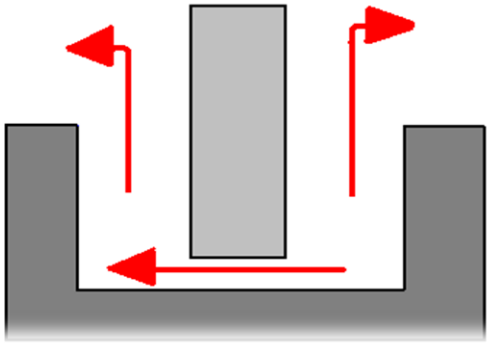
در این روش ابزار سوراخ شده است و الکترولیت از میان سوراخ ابزار به فضای ماشینکاری داده میشود.

۲) روش جریان معکوس: سوراخی در قطعه کار ایجاد کرده و الکترولیت با مکش یا فشار به موضع ماشینکاری وارد می شود. برای حفره های راه به در استفاده می شود.





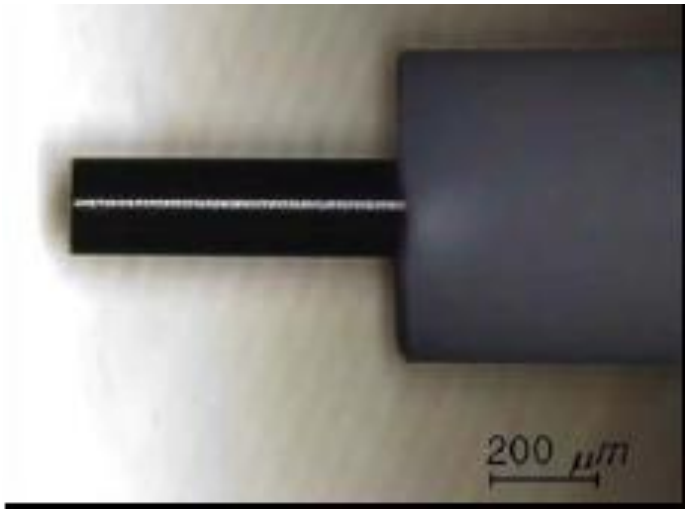
3) روش جریان جانبی: الکترولیت از کنار های قطعه کار وارد میشود. این روش برای سوراخ های عمیق مناسب نیست.



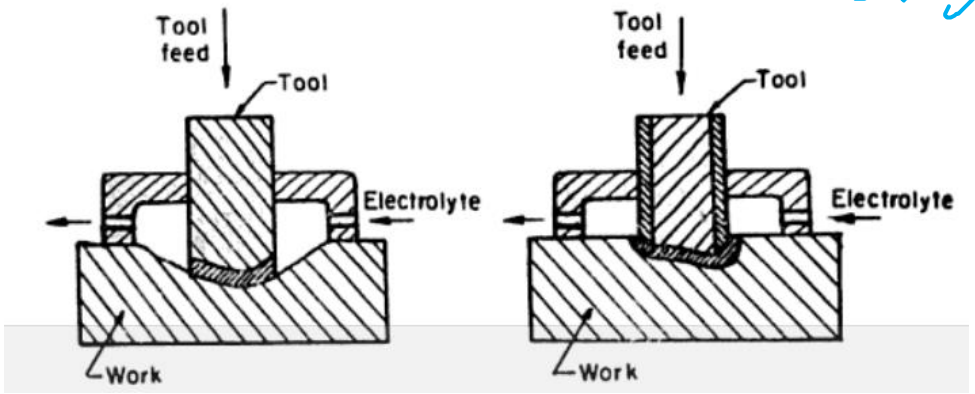
سوراخ های عمیق
یا حفره های با سطح
مقطع بزرگ

ویژگی های مورد نیاز ابزار در روش ECM

- استحکام کافی و قابلیت ماشینکاری داشته باشد.
- هادی الکتریسیته و گرما باشد.
- در مقابل خوردگی مقاوم باشد.
- سطح الکترود ابزار کاملا تخت (صاف) باشد چون هر گونه زبری سطح ابزار عینا به قطعه کار منتقل می شود.
- در طراحی ابزار باید دقت شود که گپ کناری کوچک تر در نظر گرفته شود.
- طول ابزار باید عایق بندی شود.



استفاده از پوشش عایق برای ابزار



تفلون ، اورتان ، فنولیک و اپوکسی و موارد دیگر معمولاً به عنوان پوشش عایق در ECM مورد استفاده قرار می گیرند. در سرعت های پایین الکترولیت و چگالی های جریان پایین اعلب این موارد عایق های مناسبی برای ابزار محسوب می شوند. البته اگر ابزار زبانه ای برای محافظت لایه های عایق در ابتدای خود داشته باشد تا از لبه پوشش در مقابل نیروی جریان الکترولیت محافظت کند.

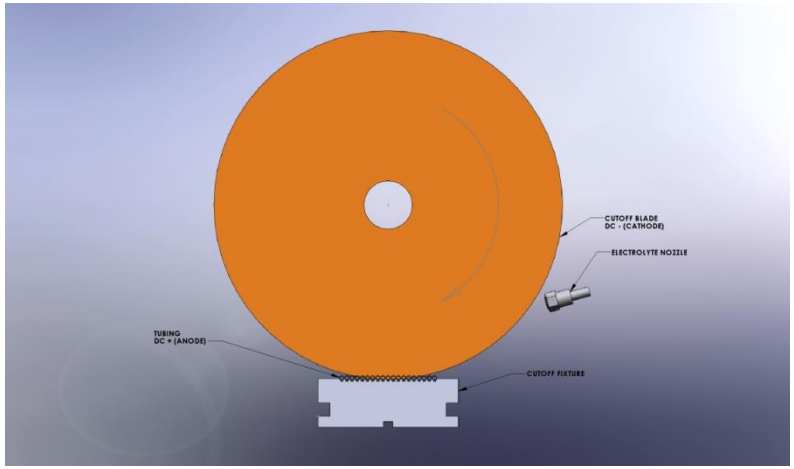
محدوده متغیرهای فرآیند ECM

متغیر	محدوده
شدت جریان	۵۰-۲۰۰۰۰ آمپر
چگالی شدت جریان	۰.۲-۳ آمپر بر میلی متر مربع
ولتاژ	۳۰ ولت مستقیم
گپ ماشینکاری	۰.۰۲۵-۱.۳ میلی متر
سرعت جریان الکترولیت	۳۰-۶۰ متربرثانیه
فشار الکترولیت	۷۰-۲۸۰۰ کیلوپاسکال
دمای الکترولیت	۲۴-۶۵ درجه سانتی گراد
سرعت حرکت ابزار	۰.۲۵-۲۰ میلی متر بر دقیقه
صافی سطح	۰.۳-۱.۹ میکرومتر
رواداشت ها	±۰.۱۳ میلی متر

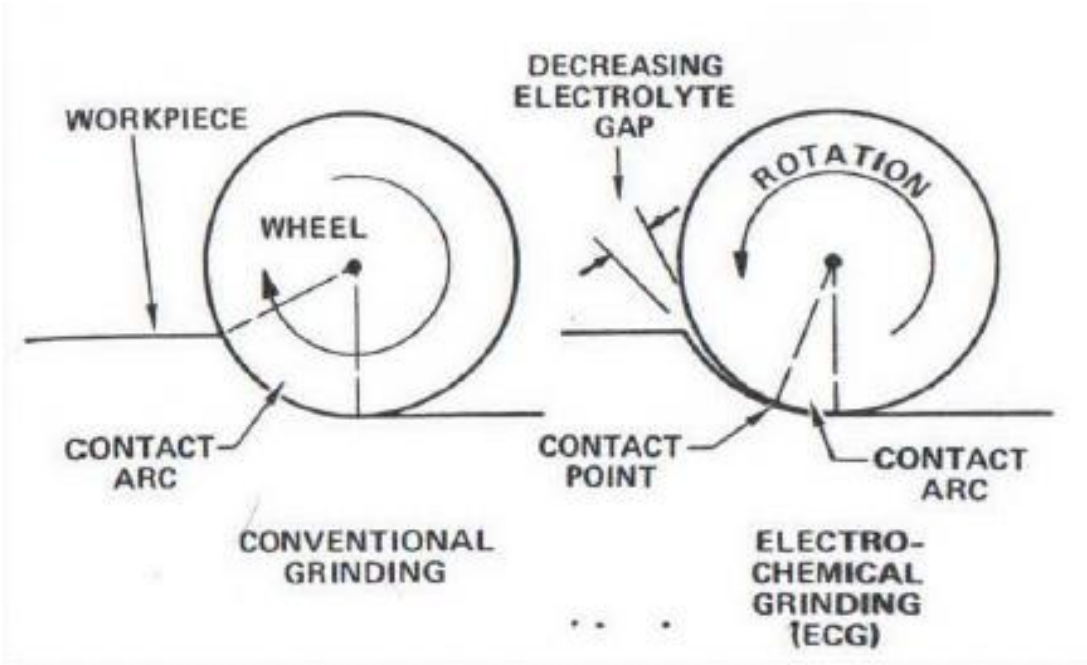
سنگ زنی الکتروشیمیایی (Electro Chemical Grinding)

- در این روش از چرخ سنگ با چسب فلزی (مس، برنج یا نیکل) استفاده می شود. ماده ساینده سنگ آلومینا یا الماس است.

- ۱۰-۵ درصد براده برداری توسط ذره ساینده انجام شده و بقیه توسط مکانیزم الکتروشیمیایی انجام می شود.

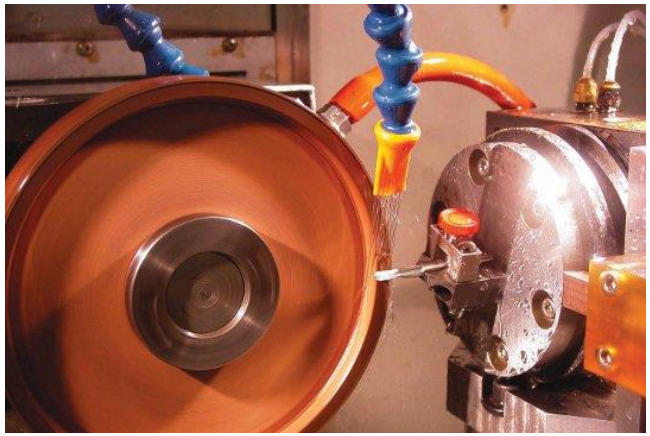


تفاوت با سنگ زنی سنتی



سنگ زنی الکتروشیمیایی (Electro Chemical Grinding)

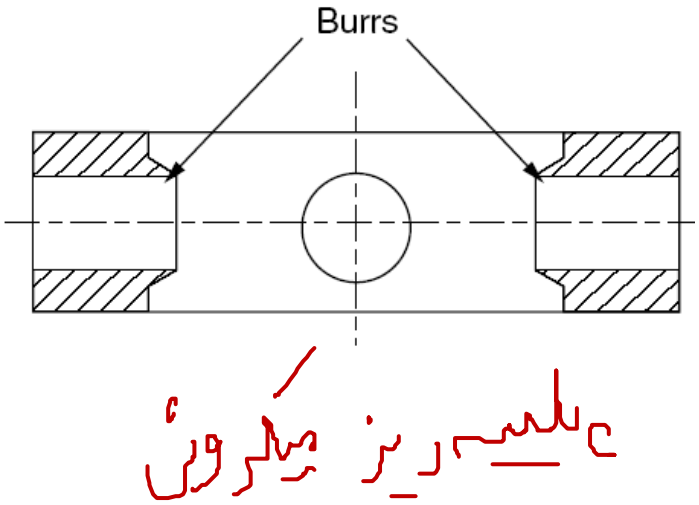
- کاربردها:
  - تولید ابزارهای از جنس تنگستن کارباید
  - سنگ زنی سوزن آمپول
  - سنگ زنی پره های سوپرآلیاژ توربین
  - برداشتن ترک های ریز از سطح قطعات فولادی دریایی



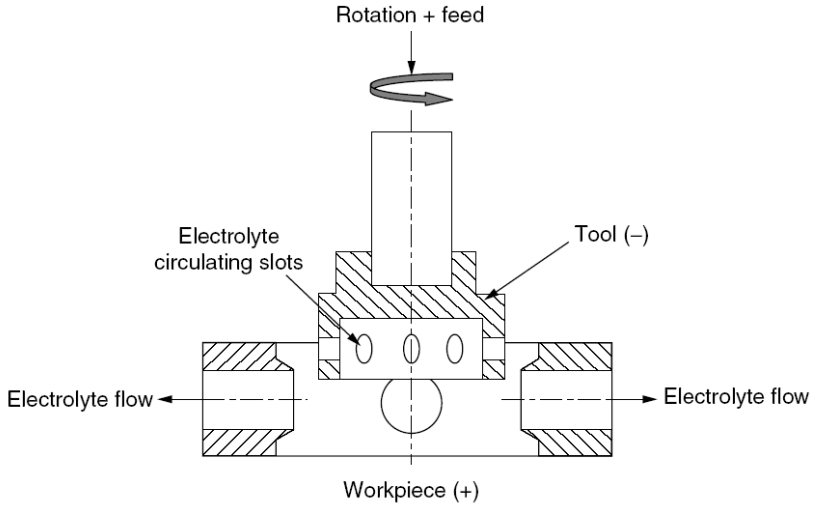
پلیسه گیری

ECD : Electro chemical deburring

- فرایند سریعی است که در آن قرینه شکل ابزار روی قطعه کار قرار می گیرد و چون قطعه کار سطح ناصافی دارد که پلیسه هایی هم دارد این فرایند باعث صیقلی کردن سطح می شود.

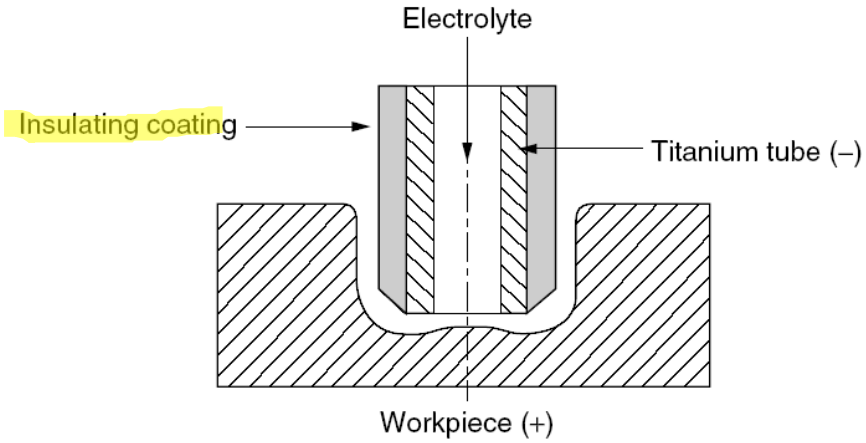


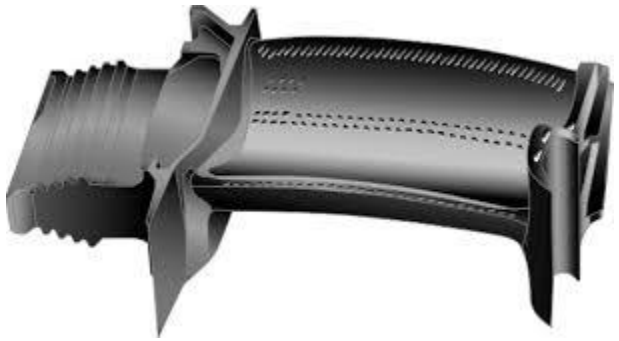
پلیسه ریز میکرون



سوراخکاری STEM (shaped-tube electrolytic machining)

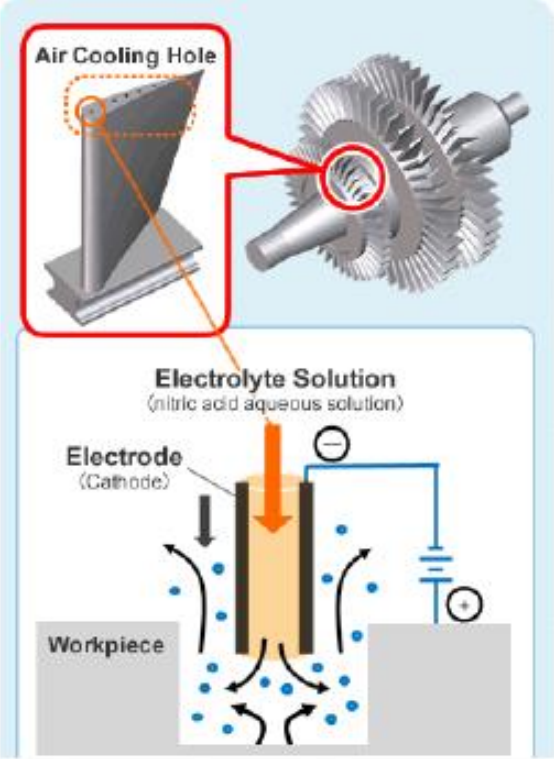
- در این فرایند از یک ابزار لوله شکل از جنس تیتانیوم با قطر کم برای سوراخکاری استفاده می شود. الکترولیت مورد استفاده اسید نیتریک یا اسید سولفوریک است.
- برای ایجاد سوراخ های خنک کاری پره توربین با قطر ابتدایی ۰.۸۴ میلی متر ، قطر انتهایی ۰.۸۵ میلی متر و عمق ۱۳۳ میلی متر مورد استفاده قرار می گیرد.
- قطر ابزار در این حالت ۰.۵۸ میلی متر است.
- با توجه به نسبت عمق به قطر ۱۶۰ در این فرآیند، روش EDM و لیزر دیگر جوابگو نیست.





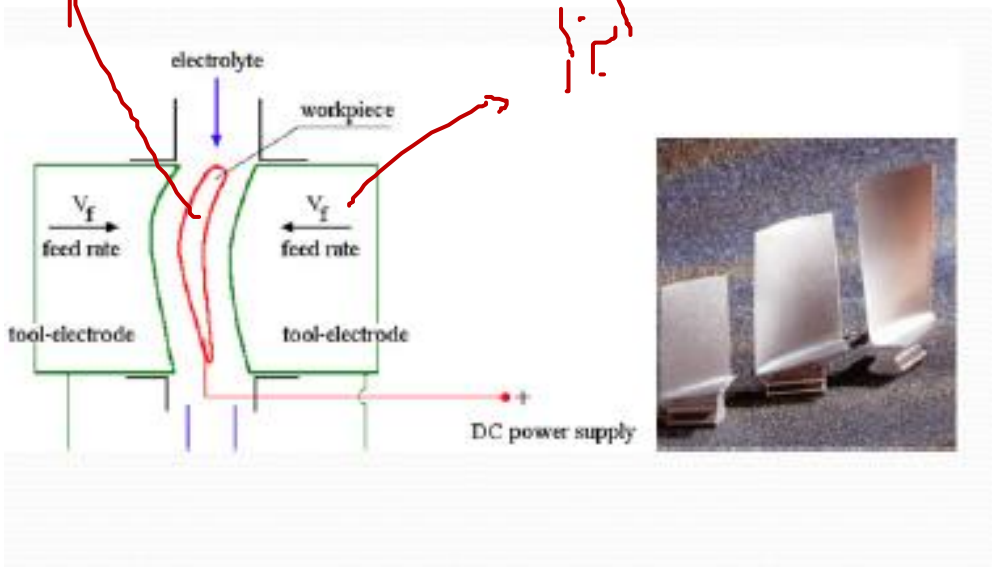
کاربردهای روش ECM

سوراخکاری پره توربین



کاربردهای روش ECM

ایرفویل پره توربین



ویدیوی فرآیند سنگ زنی الکتروشیمیایی

PECM

- Pulse electrochemical machining (PECM) is based on electrochemical principles, mainly the use of pulsed voltage or pulsed current relaxation, to enhance the activity of
- the cathode reducing the cathode polarization and concentration polarization, thus effectively improve the energy usage of the process [4]. The schematic of PECM system
- with typical input parameters (blue) is shown in the figure 1.2.
- **The development of a high current efficiency is the key to further advancement in PECM.**

پایان جلسه دهم

مقایسه مشخصات ECM پالسی و معمولی

	PECM	ECM
Principle	electrolysis	electrolysis
Power supply	pulse	constant
Current density	10-103 A/cm^2	8-233A/cm^2
Voltage	7-25V	4-30V
Electrolyte velocity	10-60 m/sec	15-60 m/sec
Gap	Less than 0.10mm	0.025-0.76mm
Surface quality	Improved than ECM	
Metal removal rate	Lower than ECM	
Cost	More expensive than ECM	