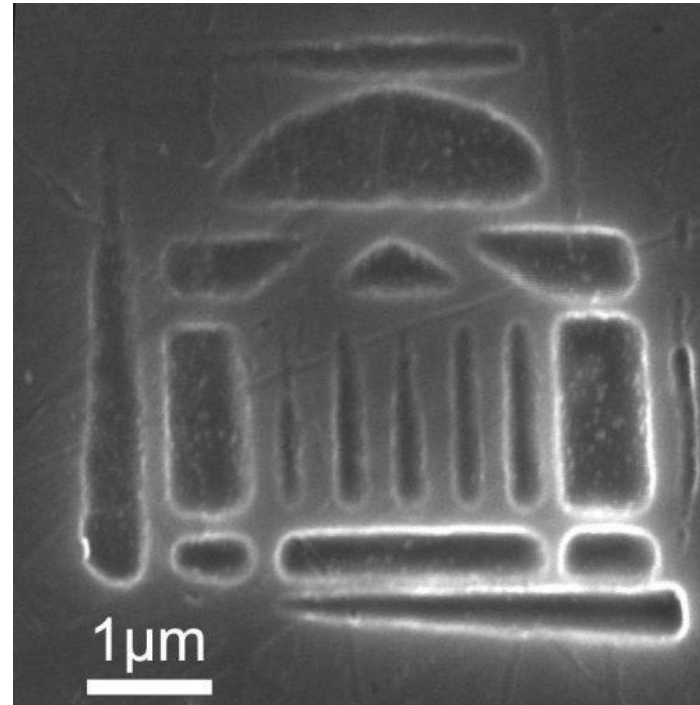
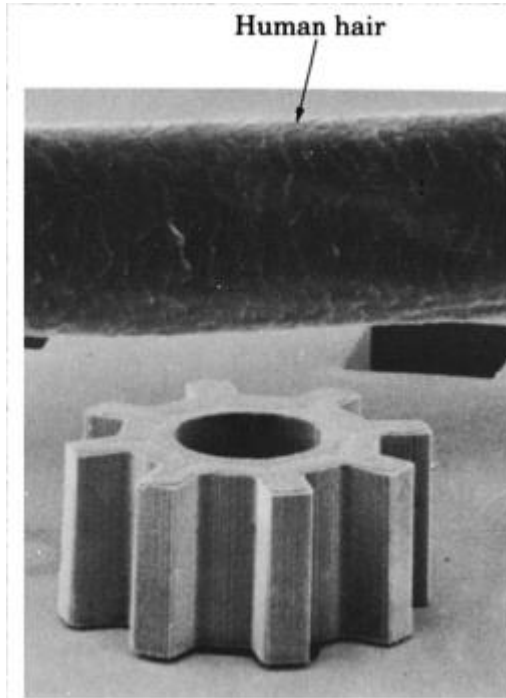


جلسه دوم و سوم: مقدمه ای بر روش های  
تولید مخصوص و مفاهیم امواج اولتراسونیک

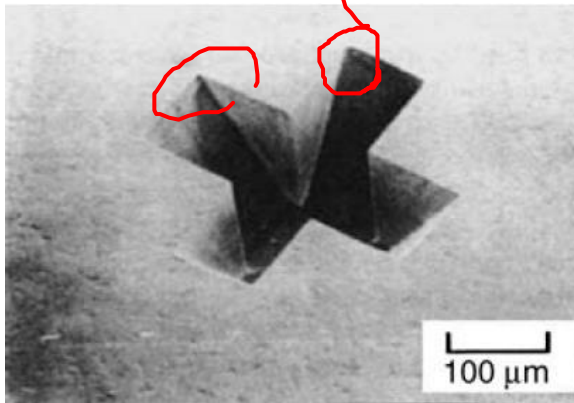


- در روش های سنتی تولید براده برداری با تکیه بر نیروهای مکانیکی زیاد انجام می شوند.
- روش های مخصوص تولید روش هایی هستند که در آن ها به جای استفاده از نیروهای مکانیکی زیاد، از روش های فیزیکی دیگر مانند شیمیایی، الکتریکی، حرارتی و ... استفاده می شود.



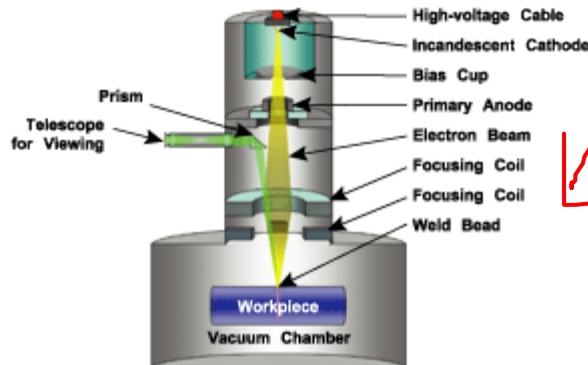
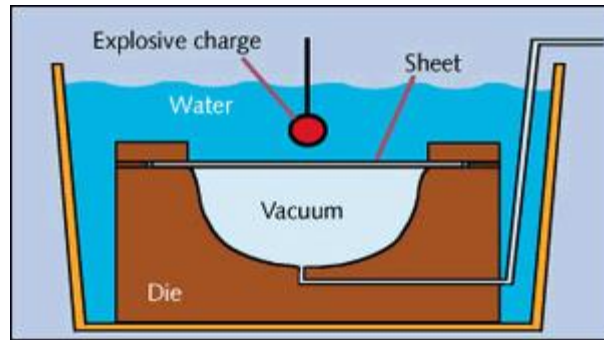
- ❑ ماشینکاری مواد مستحکم که نیاز به نیروی مکانیکی زیادی دارند. موادی مانند سرامیک ها و ابرآلیاژه حرارت دینر - سما - EDM
- ❑ انجام اعمالی که به هیچ وجه توسط روش های سنتی (حتی برای مواد عادی و نرم) قابل انجام نیستند، مثلا ایجاد گوشه های تیز در سوراخ سوراخات
- ❑ ساخت شکل های پیچیده - مثلا سوراخی که مقطع آن از دایره به چهارگوش تبدیل می شود.
- ❑ انجام فرایند بر روی قطعات ظریف و کوچک - مثال سوراخ نازل افشانه  $\phi = 0.15$  mm
- ❑ حصول کیفیت های لازم برای سطوح و دقت های زیاد و قابلیت تکرار زیاد
- ❑ امکان ساده دریافت اطلاعات از فرآیند و اتوماتیک نمودن آن

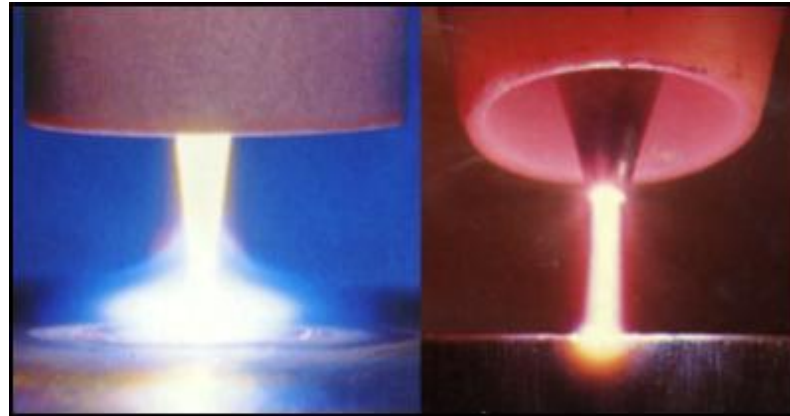
→ EDM



با اندازه گیری ولتاژ بین دو الکترود  
میتوان به گپ ماشینکاری پی برد

- \* ماشینکاری با امواج ماورای صوت (USM)
- \* ماشینکاری شیمیایی (CHM)
- \* ماشینکاری الکتروشیمیایی (ECM)
- \* ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM)
- \* ماشینکاری با اشعه لیزر (LBM)
- \* ماشینکاری با قوس پلاسما (PAM)
- \* ماشینکاری با پرتو الکترونی (EBM)
- \* ماشینکاری با اشعه یونی (IBM)
- \* ماشینکاری با جت ذرات ساینده (WJM)
- \* فرم دهی انفجاری (EF)





ماشینکاری با قوس پلاسما (PAM)

## • تاریخچه

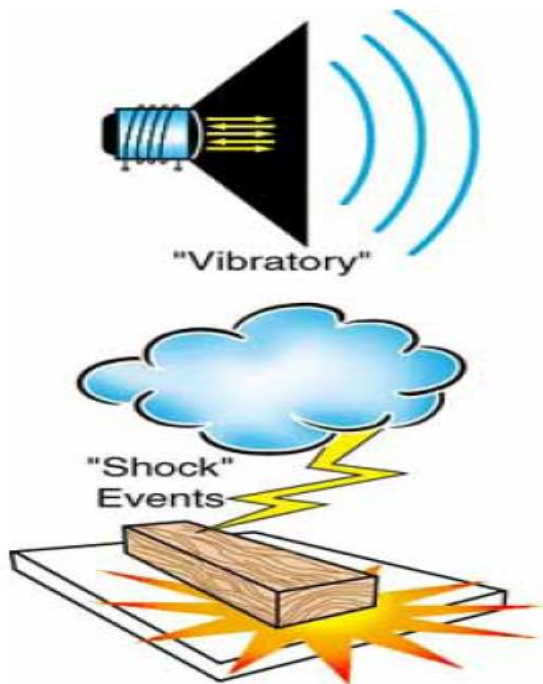
- در سال ۱۹۱۲ پس از برخورد کشتی تایتانیک با کوه یخ و غرق شدن آن تحقیقات به سرعت به این نتیجه رسید که در فرکانس های بالا رزولوشن ردیابی کوه یخ بیشتر می شود که این منجر به استفاده از امواج با فرکانس های بالاتر از صوت شد
- در خلال جنگ جهانی اول با همکاری مشترک کشورهای انگلستان و فرانسه برای ردیابی زیر دریایی ها از امواج اولتراسونیک استفاده شد.
- اولین ترانسدیوسر اولتراسونیک توسط آقای **Langevin** مورد استفاده قرار گرفت.



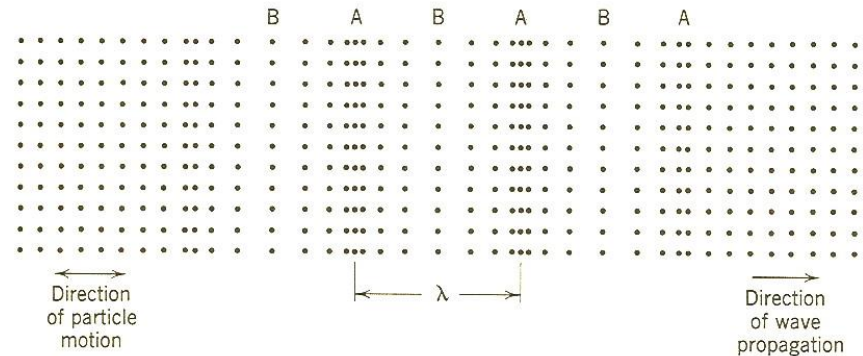
# اولتراسونیک چیست؟

- اولتراسونیک علم بررسی امواج صوتی است که فرکانس بالاتر از محدوده شنوایی انسان دارند.
- فرکانس امواج صوتی آهنگ یا زیر و بم بودن آن ها را مشخص می کند. فرکانس های بالا صداهای زیر تولید می کنند و فرکانس های پایین صداهای بم.
- فرکانس های بالاتر از **18kHz** معمولاً اولتراسونیک هستند.

- یک موج صوتی وقتی ایجاد می شود که یک حرکت گذرا مانند شوک یا حرکت تکرار شونده مانند حرکت ارتعاشی به قسمتی از جسمی که قابلیت انتشار امواج را دارد اعمال می شود.



\* امواج صوتی مستقیم هستند و مولکولها تاپین هستند



امواج ایستاده: گره و شکم ارتعاشی داریم



- **توان پایین-فرکانس بالا (بالا تر از مگاهرتز):** که برای کاربردهای تست غیر  $\rightarrow$  آت مخرب مورد استفاده قرار می گیرد. (اثر سنسوری)

• **توان بالا-فرکانس پایین:** (بین ۲۰ کیلو هرتز و ۲۰۰ کیلو هرتز) (اثر عملگری)

↓  
در این درس فقط در مورد  
این بخش صحبت می شود

# انواع ترانسدیوسرهای اولتراسونیک

## □ ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو

- ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو از فلز فرو مغناطیسی که با سیم های الکتریکی احاطه شده اند، تشکیل شده اند در هنگام کارکرد چنین ترانسدیوسرهایی میدان مغناطیسی متناوب ایجاد شده باعث ایجاد حرکت ارتعاشی می شود.

## □ ترانسدیوسرهای الکترواستریکتیو

ترانسدیوسرهای الکترواستریکتیو (پیزوالکتریک)

از کریستال های سرامیک تشکیل شده اند که

به راحتی در اثر میدان الکتریکی تغییر طول می دهند.

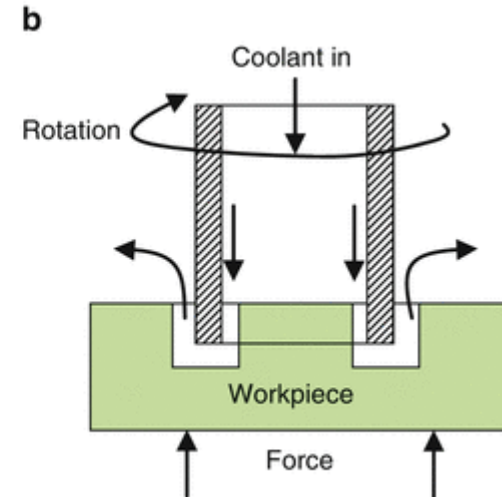
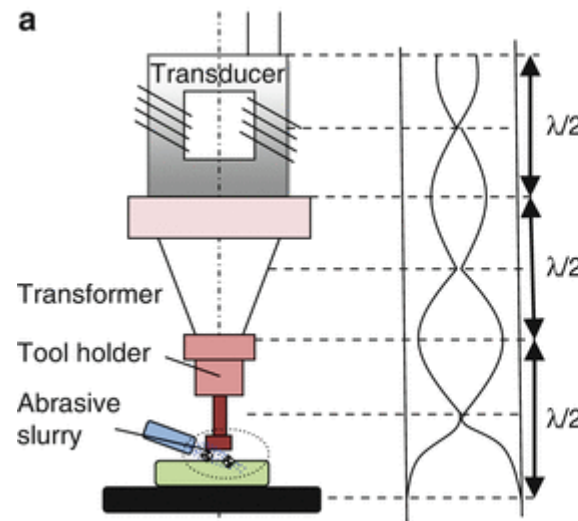
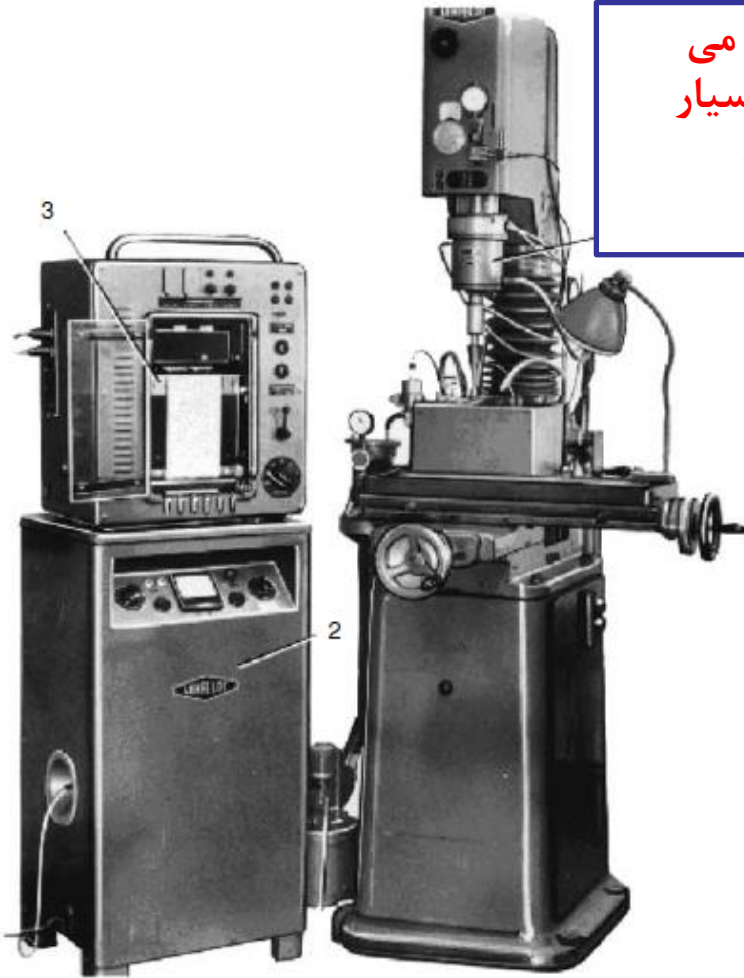


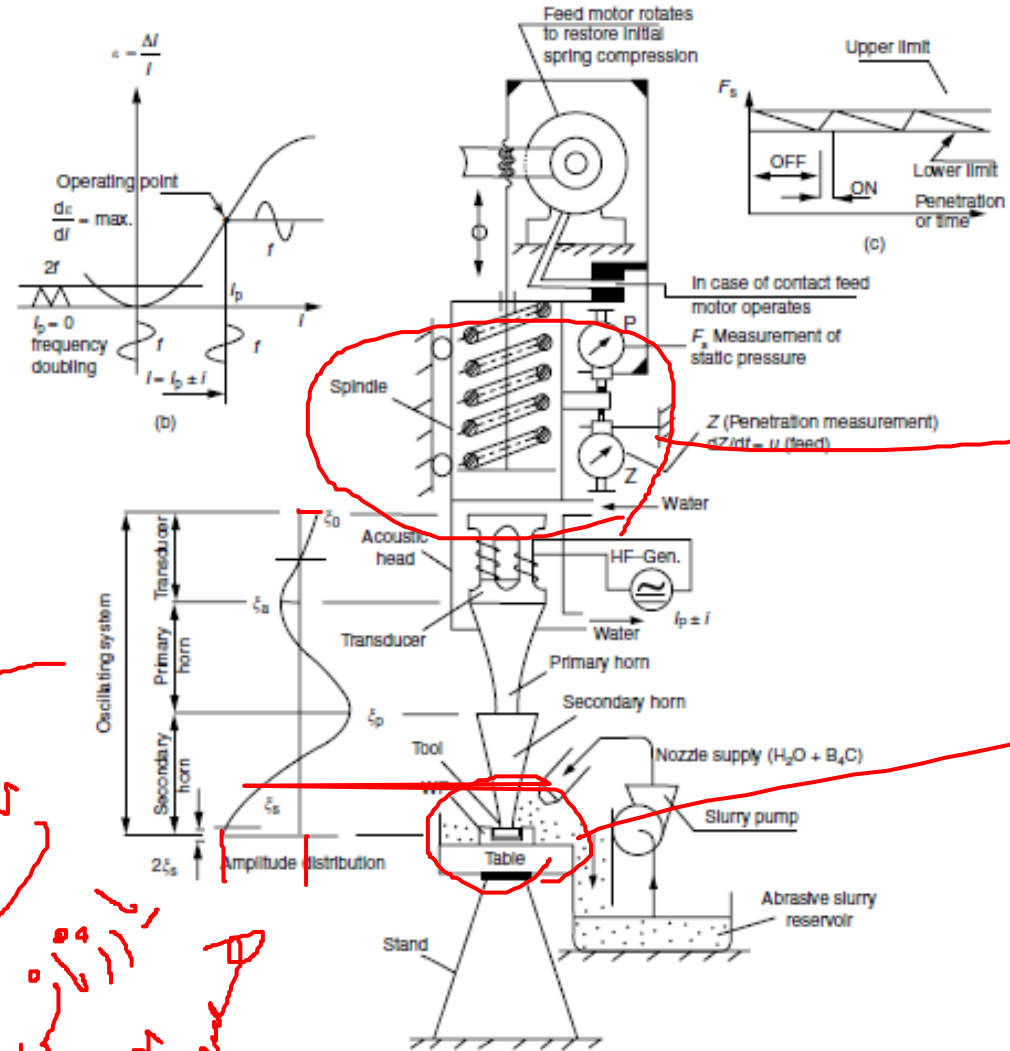
ترانسدیوسر وسیله ای است که صورتی از انرژی را به صورت دیگر تبدیل می کند.

## • تاریخچه:

لومیس و وود در سال ۱۹۲۷ به ایده استفاده از موجهای فرکانس بالای صوتی (حدود ۷۰ کیلوهرتز) در ماشین کاری توجه نمودند لیکن اولین اختراع در این روش در سال ۱۹۴۵ توسط فردی بنام بالاموث به ثبت رسید وی هنگامی که سنگ زنی مافوق صوت پودرهای ساینده را بررسی می کرد کشف کرد که سطح ظرف نگهدارنده سوسپانسیون ساینده هنگامی که سر یک مبدل الکتریکی با ارتعاش مافوق صوت نزدیک آن قرار می گیرد تجزیه می شود بعلاوه شکل حفره ایجاد شده دقیقا شکل سر مبدل انرژی الکتریکی است

نقطه گره ارتعاشی نقطه ای با دامنه ارتعاش صفر روی ترانسدیوسر می باشد که برای محل های کلمپینگ و دسته ابزارهای اولتراسونیک بسیار مفید می باشد. نقاط مربوط به شکم ارتعاشی نقاطی با حداکثر دامنه ارتعاشات هستند که در انتهای ابزار معمولاً قرار می گیرند



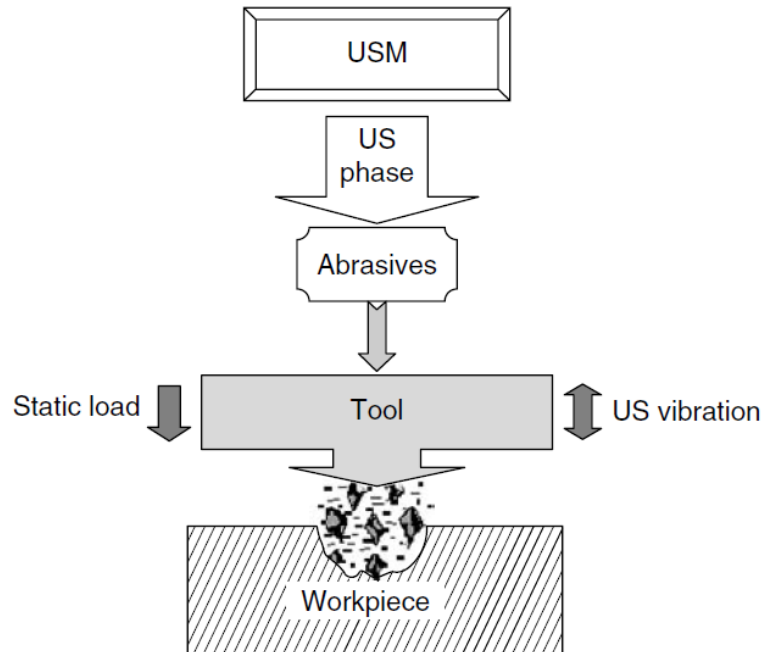


$F_{st}$

$F_{Dn}$

Handwritten notes in Persian:   
 -  $F_{st}$  (Static Force)   
 -  $F_{Dn}$  (Dynamic Force)   
 -  $F_{st} = F_{Dn}$    
 -  $F_{st} = F_{Dn} = F_{cut}$    
 -  $F_{st} = F_{Dn} = F_{cut}$    
 -  $F_{st} = F_{Dn} = F_{cut}$

□ در این فرایند ابزار توسط سیستم بارگذاری استاتیک همواره به قطعه کار فشرده شده و ارتعاشات اولتراسونیک ایجاد شده توسط ترانسدیوسر (مبدل) به سر ابزار منتقل شده و تزریق گل ساینده به فضای ماشینکاری باعث می شود شکل ابزار عینا به قطعه کار منتقل شود.



□ دامنه ارتعاشات ابزار ۱۰ تا ۴۰ میکرون است.

— قطعات ترد و تابان

## • کوبش

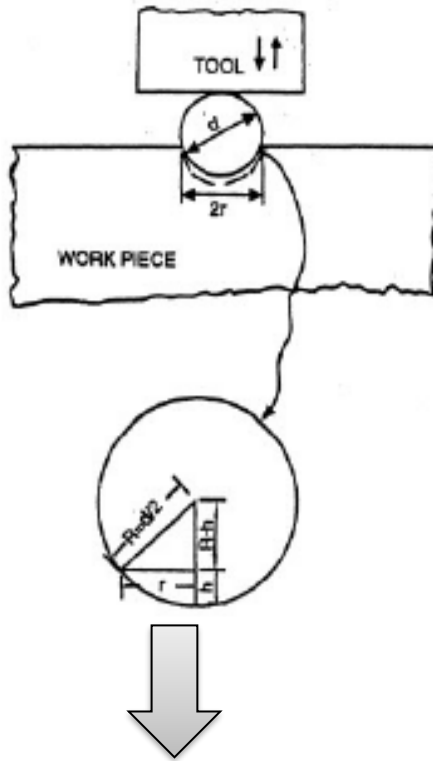
- ذرات ساینده درشت بین ابزار و قطعه کار پل می زند و تغییر شکل پلاستیک در قطعه اتفاق می افتد.

## • پرتاب

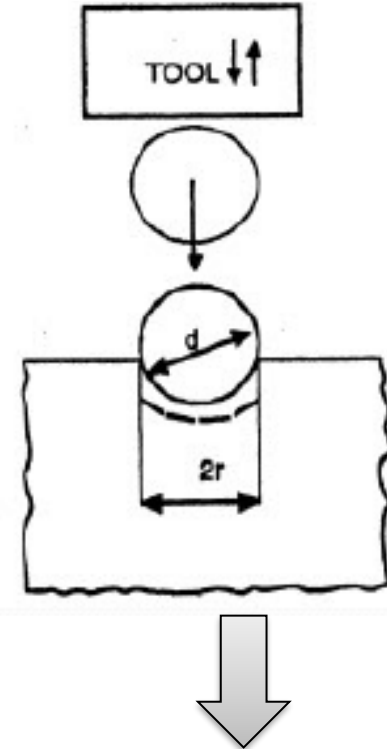
- در اثر برخورد ذرات ساینده با سطح قطعه کار براده برداری انجام می شود. اتلاف انرژی در اثر برخورد ذرات ساینده بوجود می آید.

## • کاویتاسیون

- تغییر شکل در اثر ترکیدن حباب های ایجاد شده در اثر امواج اولتراسونیک (کمتر از ۵ درصد براده برداری در اثر این مکانیزم است)



مدل کوبش:  
 قطر ذره ساینده بزرگتر از فاصله ابزار و  
 قطعه است.



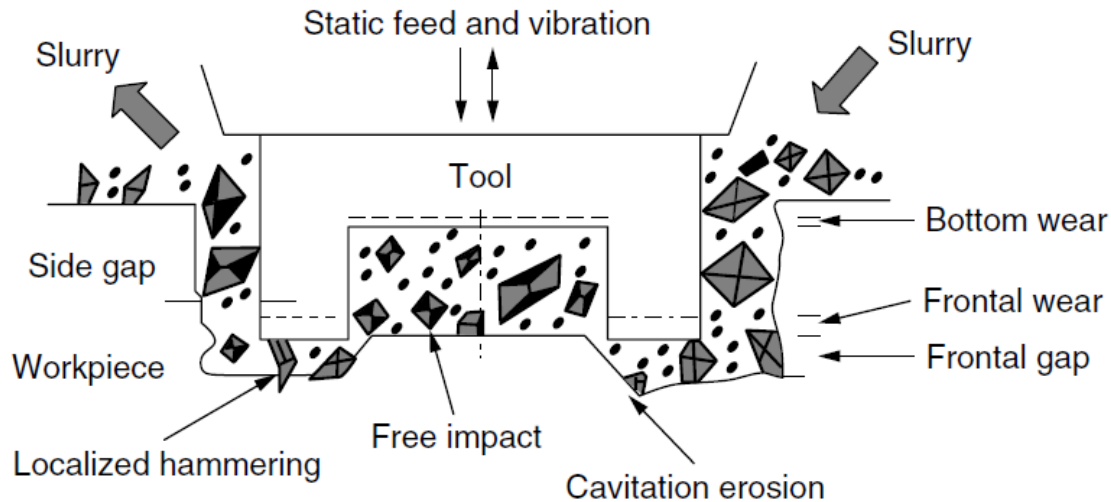
مدل پرتاب:  
 فاصله ابزار با قطعه بزرگتر از قطر ذره  
 ساینده است.

مقایسه نرخ باربرداری با دو مکانیزم:  
 کوبش < پرتاب



□ مکانیزم غالب در ماشینکاری به سختی و تردی جنس قطعه کار بستگی دارد. برای مواد نرم مانند فولاد مکانیزم کوبش و برای مواد ترد مانند شیشه مکانیزم پرتاب غالب است.

هرچه ماده تردتر ← قابلیت ماشینکاری بیشتر.



□ قابلیت ماشینکاری به تردی جنس قطعه کار بستگی دارد و با افزایش تردی قابلیت ماشینکاری افزایش می یابد.

□ فولاد چون قابلیت ماشینکاری کمی دارد به عنوان ابزار مورد استفاده قرار می گیرد.

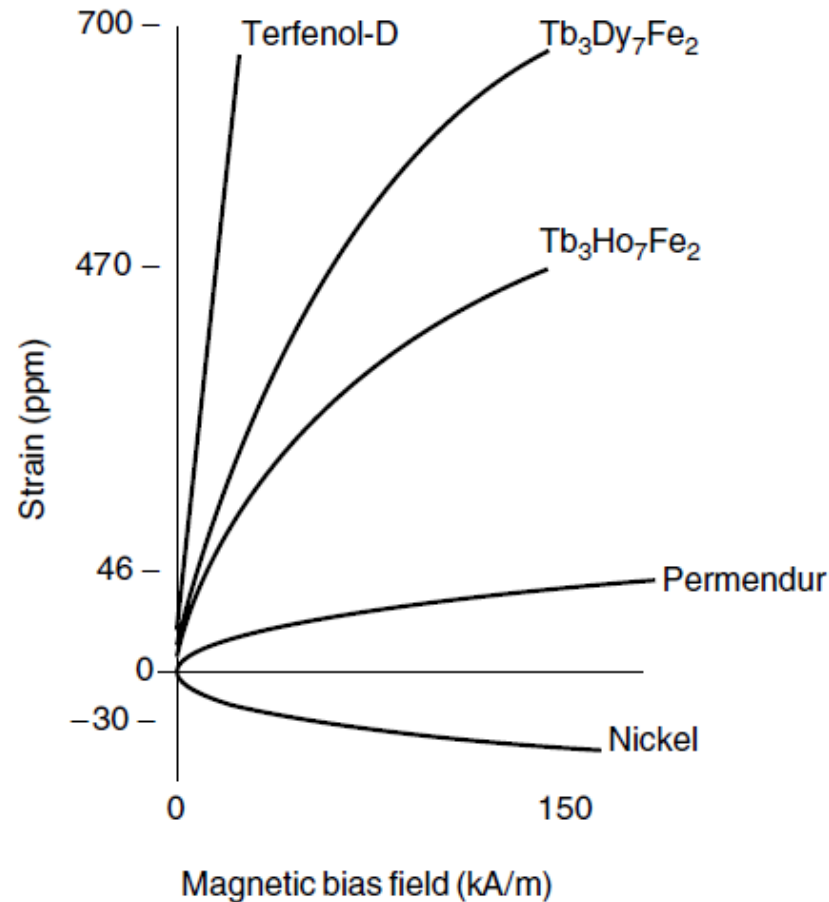
Work material	Relative removal rate, %
Glass	100
Brass	66
Tungsten	4.8
Titanium	4.0
Steel	3.9
Chrome steel	1.4

□ هسته به صورت ورقه ورقه ساخته می شود تا انتقال حرارت زیادی داشته باشد.

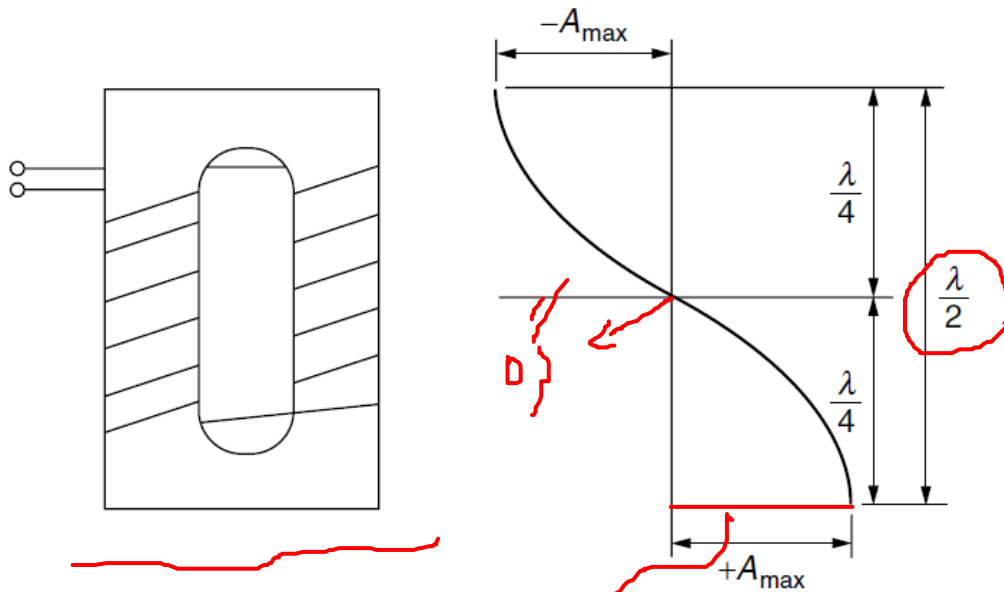
*کرنش*  $\epsilon_m = \frac{\Delta l}{l}$   $\longrightarrow$  ضریب تغییر طول الکترومغناطیسی *باده قرمز مغناطیس*

$K_m = \sqrt{\frac{E_w}{E_m}}$   $\longrightarrow$  ضریب کوپلینگ الکترومغناطیسی

□  $K_m$  ضریب تبدیل انرژی مغناطیسی ( $E_m$ ) به انرژی مکانیکی ( $E_w$ ) است. مقدار آن باید بزرگ باشد.



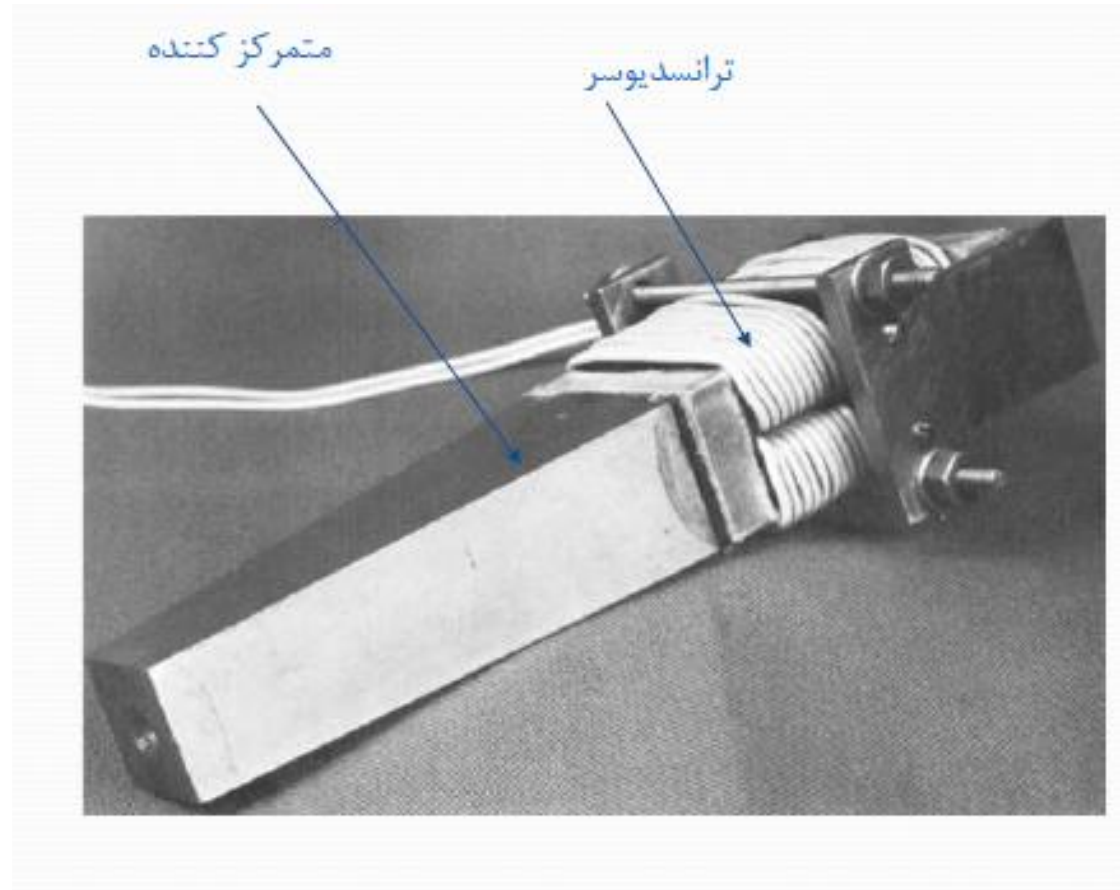
طول مبدل



□ در صورتی که طول مبدل مضربی از نصف طول موج باشد در مبدل امواج ایستاده وجود خواهد داشت. در این حالت از محل گره ارتعاشی مبدل به بدنه ماشین اولتراسونیک متصل می شود.

حالت رزونانس

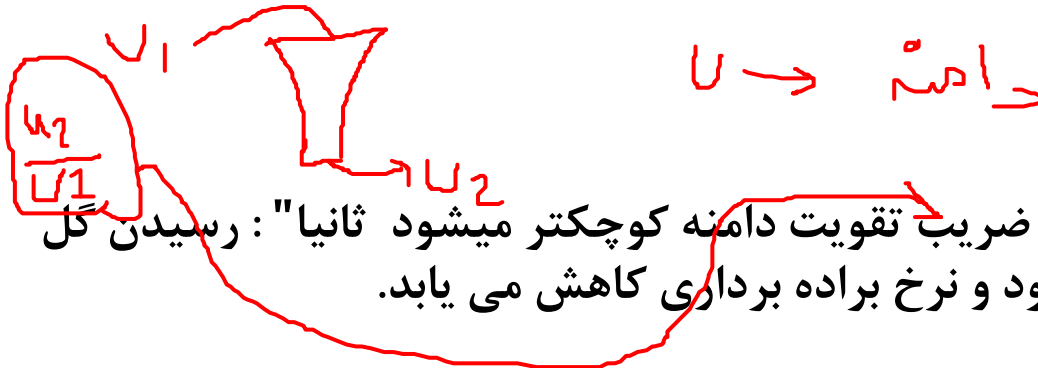
در دو انتها سالم ارتعاشی



# عوامل موثر بر نرخ براده برداری در ماشینکاری اولتراسونیک

□ جنس، اندازه ذرات ساینده و نسبت حجمی آن به مایع خنک کننده:

هر چقدر قطعه کار تردتر باشد نرخ براده برداری بیشتر است هر چه جنس ذرات ساینده سخت تر باشد نرخ براده برداری بیشتر است. هرچه اندازه ذرات ساینده بزرگ تر باشد نرخ براده برداری بیشتر است.



□ شکل ابزار:  $(U_2)$

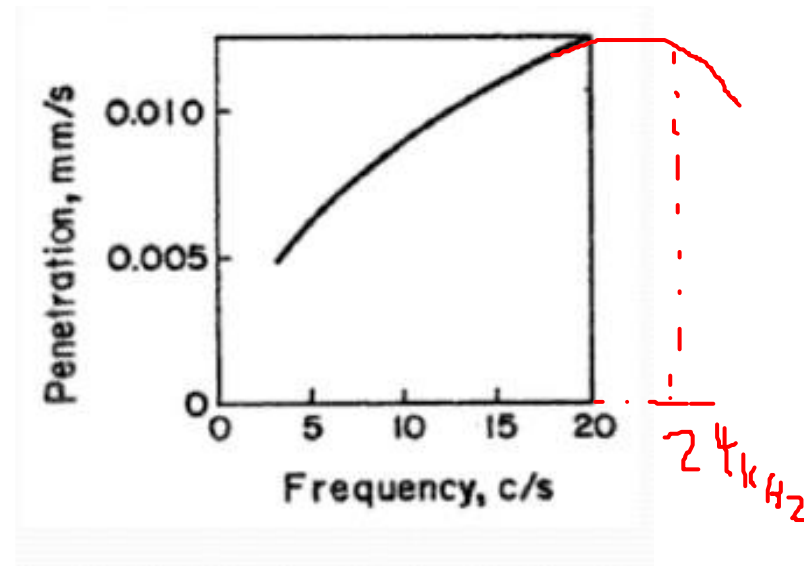
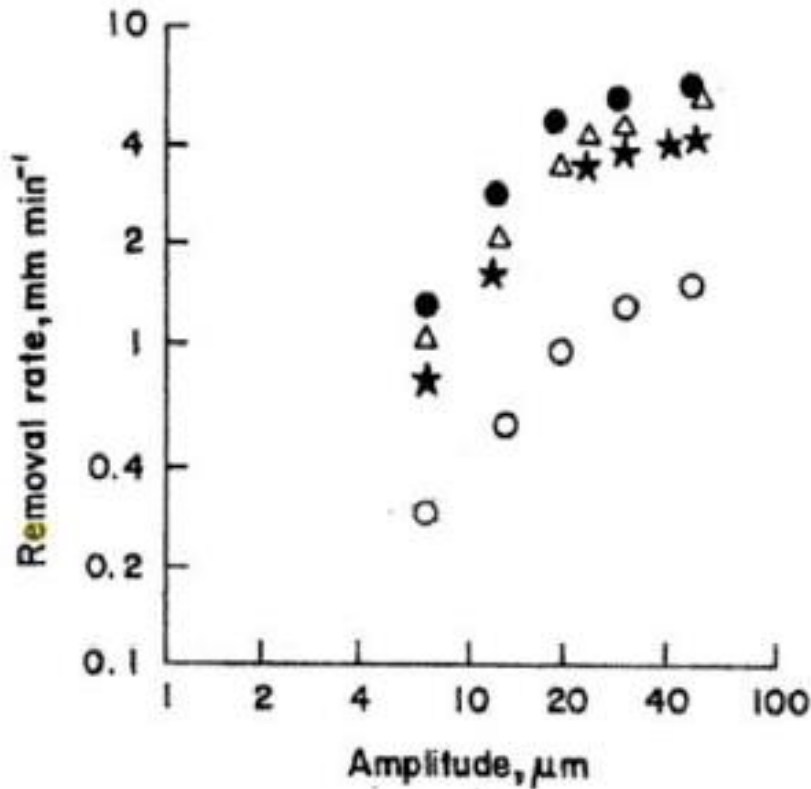
هرچه سطح مقطع ابزار بزرگ تر باشد اولاً: " ضریب تقویت دامنه کوچکتر میشود ثانیا": رسیدن گل ساینده به موضع ماشینکاری مشکل تر میشود و نرخ براده برداری کاهش می یابد.

□ دامنه ی ارتعاشات:

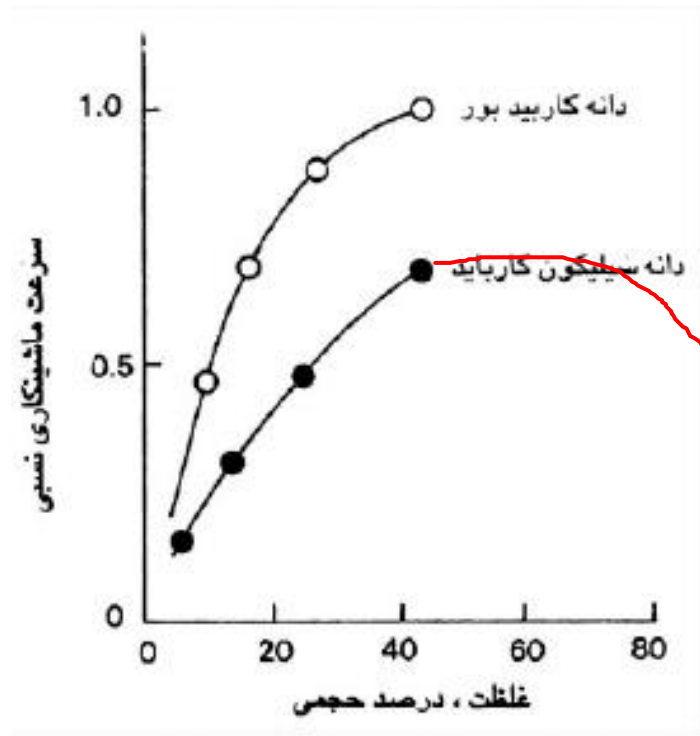
با افزایش دامنه ی ارتعاشات نرخ براده برداری افزایش مییابد.

□ فرکانس ارتعاشات:

با افزایش فرکانس ارتعاشات نرخ براده برداری افزایش می یابد اما در فرکانسهای بالاتر از  $24 \text{ kHz}$  افتهای مکانیکی بیشتر میشود و نرخ براده برداری کاهش می یابد.









## عوامل موثر بر نرخ براده برداری در ماشینکاری اولتراسونیک

### □ بار استاتیک :

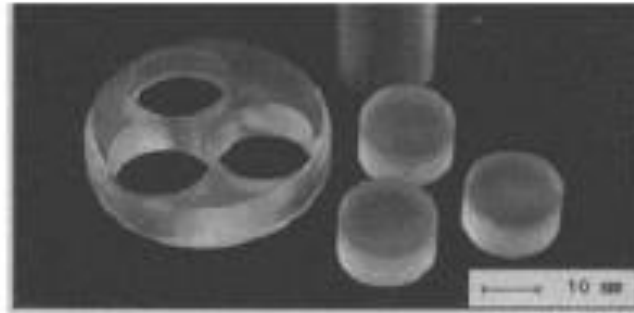
با افزایش بار استاتیک در یک دامنه ی مشخص چون مکانیزم کوبش بهتر عمل میکند نرخ براده برداری افزایش پیدا میکند ولی این یک حدی دارد و اگر مقدار بار استاتیک خیلی زیاد شود رسیدن گل ساینده به موضع ماشینکاری سخت میشود و نرخ براده برداری کاهش می یابد.

### □ عمق ماشینکاری :

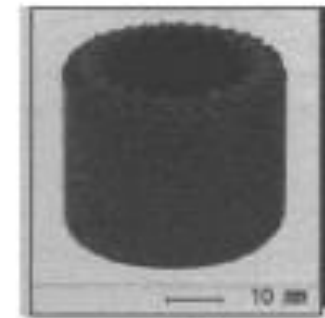
با افزایش عمق، نرخ براده برداری کاهش می یابد چون رسیدن گل ساینده به موضع ماشینکاری سخت تر می شود.



(a)



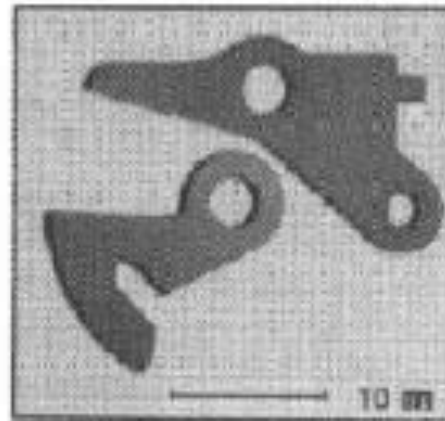
(b)



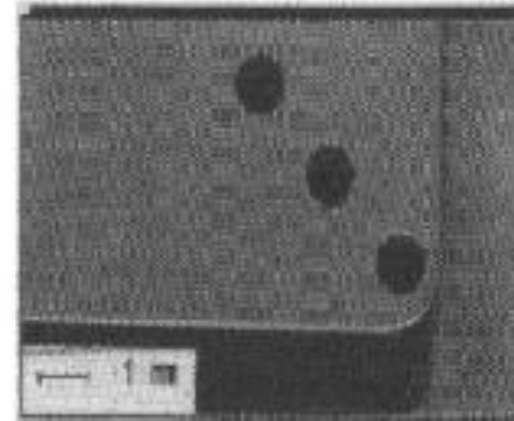
(c)



(d)



(e)



(f)



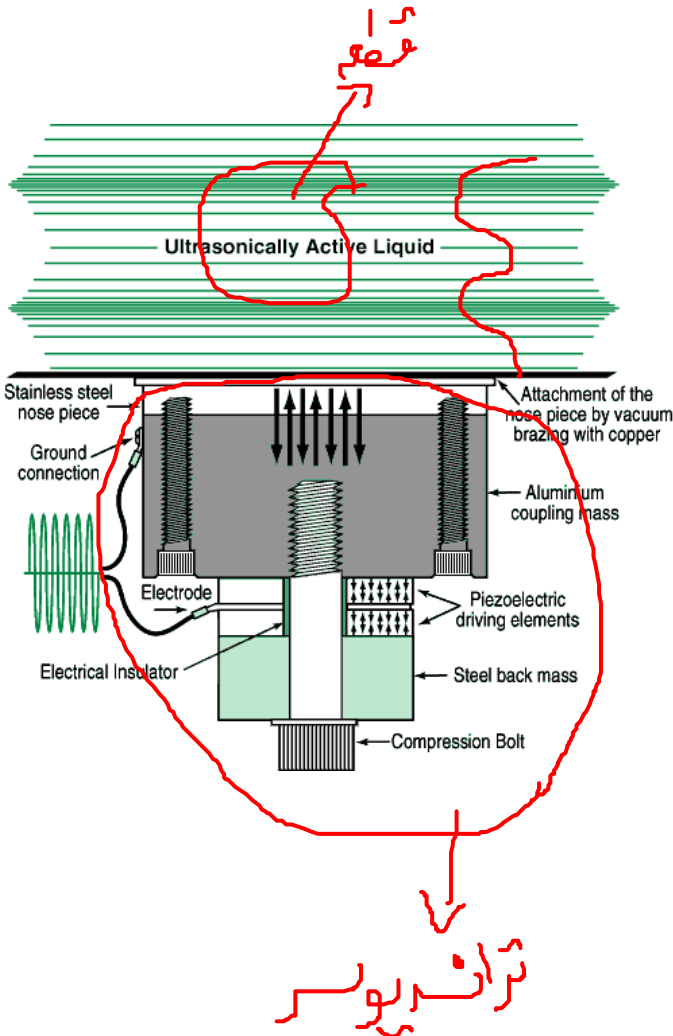
## نمونه قطعات ( مربوط به صفحه قبل )

- a. Engraving a medal made of (ياقوت) agate (König, 1990)
- b. Piercing and blanking of glass (König, 1990)
- c. Producing a fragile graphite electrode for EDM (König, 1990)
- d. Sinking a shearing die in hardened steel or WC (Lehfeld Works, 1967)
- e. Production of outside contour and holes of master cutters made of zirconium oxide ( $ZrO_2$ ) of a textile machine (König, 1990)
- f. Drilling fine holes  $\varphi = 0.4$  mm in glass (Kalpakjian, 1984).

سگمولا تعداد زوج



- **قرص های پیزوالکتریک: منبع ایجاد ارتعاشات**  
آلتراسونیک
- **قطعه تطبیق (Matching part): برقراری**  
کوپلینگ مناسب آکوستیکی و انتقال بهینه امواج  
آلتراسونیک
- **قطعه پشتی (Backing part): جلوگیری از هدر**  
رفتن انرژی آکوستیکی در سر آزاد ترانسدیوسر
- **پیچ اتصال: اتصال اجزای ترانسدیوسر و اعمال**  
پیش تنش مورد نظر
- **بوش عایق: جلوگیری از ایجاد اتصال الکتریکی**  
بین قطعه جلویی و قطعه پشتی با پیزوالکتریک ها  
طریق پیچ
- **الکتروودها**

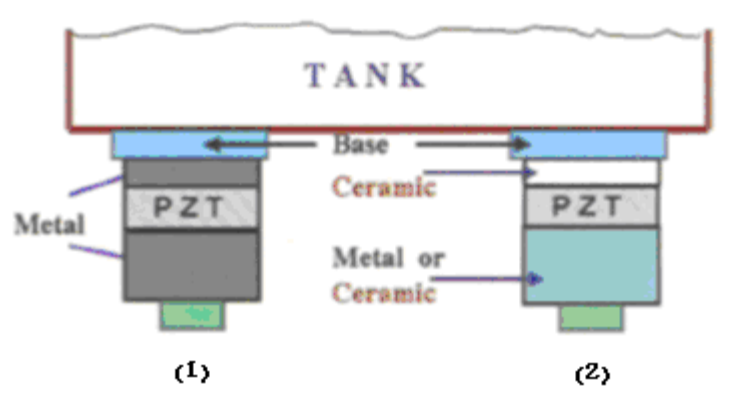
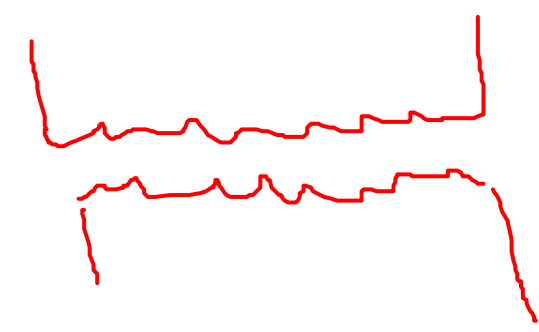


• شستشوی آلتراسونیک در بخش های گوناگون مانند صنعت قطعات اتومبیل سازی، نیمه هادی ها، الکترونیک، دیسک گردان های کامپیوتر، تولیدات پزشکی و دارویی، آماده کاری سطح برای روکش دهی دقیق و آبکاری، هوافضا، تمیزکاری عمومی فلزات، بلبرینگ های دقیق و بسیاری از تولیدات مصرفی از جواهر آلات تا تفنگ کاربرد دارد.

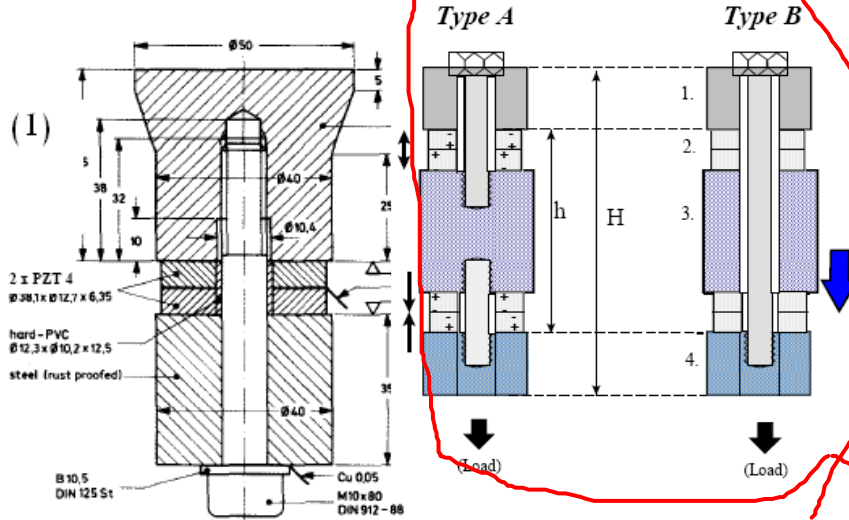
• تمیزی نسبتاً کامل، سرعت شستشوی فوق العاده زیاد، همزمانی شستشوی قطعات زیادی با هم، قابلیت شستشوی قطعات با مقاومت سطحی گوناگون، کاهش فوق العاده زیاد هزینه شستشو، مصرف کمتر مواد حلال و شوینده و از همه مهمتر، ضرر کمتر برای محیط زیست از مزایای این روش شستشوی قطعات می باشد

- اصول کلی این روش مبتنی بر غوطه وری قطعات مورد نظر در یک مایع واسطه می باشد که این مایع، توسط یک مولد امواج آلتراسونیک با فرکانس و شدت بسیار بالایی مرتعش شده و کاویتاسیون به وجود آمده، عمل شستشو و پاک کردن قطعه را انجام می دهد.
- امواج اولتراسونیک از طریق ترانسدیوسرهایی که به کف و دیواره تانک متصل می شوند به درون سیال منتقل شده و امواج ایستاده داخل آن ایجاد می کند.

فضای خالی در هنگام اتصال باعث ریزش امواج می شود

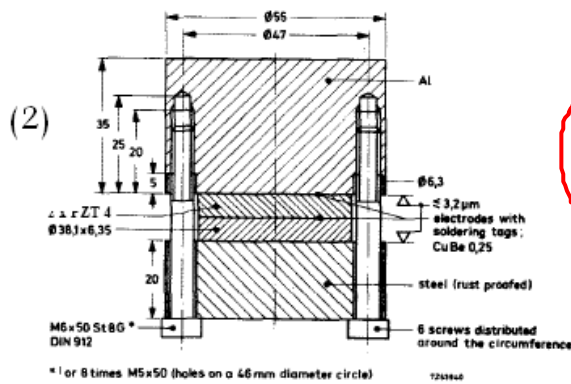


# انواع ساختارهای مورد استفاده در ترانسدیوسرهای توان بالا

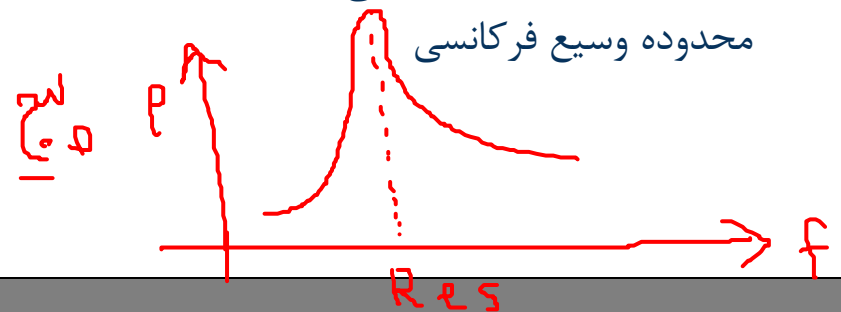


1. ساختار ساندویچی ترانسدیوسر  
 آلتراسونیک، پیچ در وسط: امکان تغییر  
 شکل بهتر، به دلیل تقارن موجود

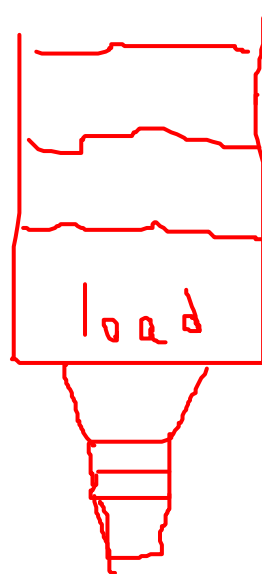
2. ساختار ساندویچی ترانسدیوسر  
 آلتراسونیک، پیچ در اطراف: امکان وارد  
 آوردن پیش تنش بیشتر، توزیع مناسب تر تنش  
 روی قرص های پیزوالکتریک



3. ترانسدیوسرهای چکشی: عدم وابستگی  
 فرکانس تشدید به بار اعمالی، امکان کارکرد در یک  
 محدوده وسیع فرکانسی







$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

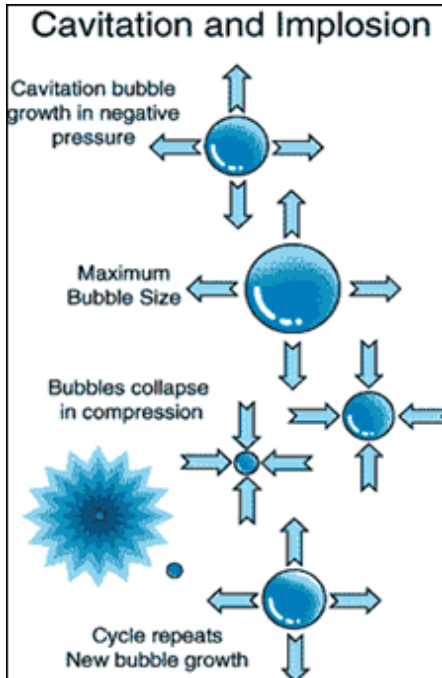
load  $\uparrow$

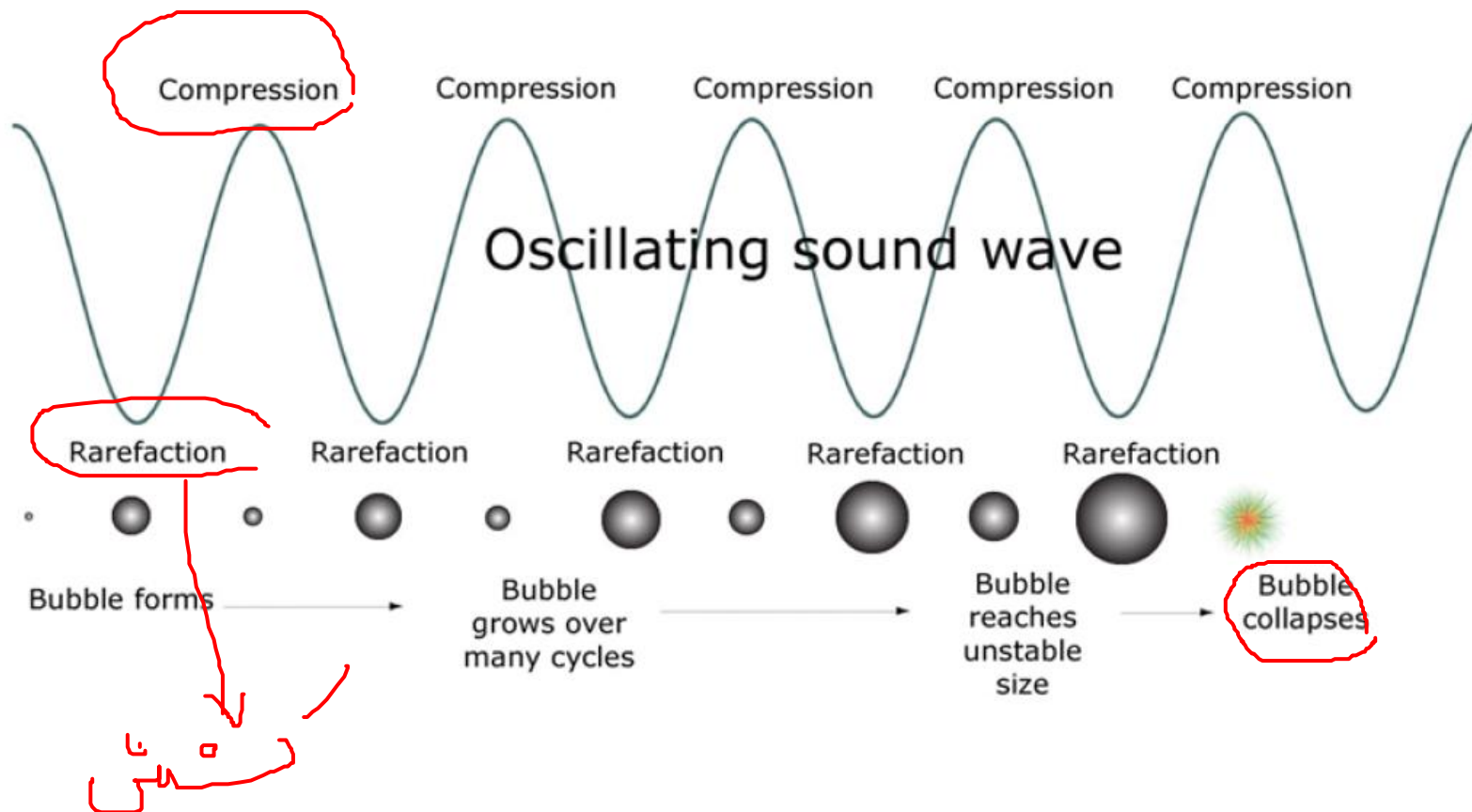
$w \downarrow$

این همون  $w$  در مورد ترانسدیوسر چکشی  
ساده قیمت

□ دمای موضعی در هنگام انفجار حباب ها حدود ۵۰۰۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱۰۰۰ بار می باشد.

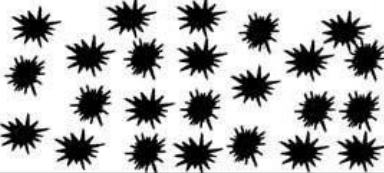
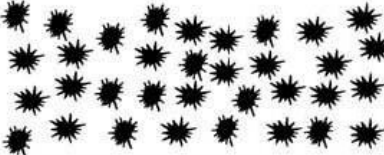
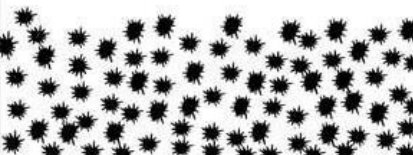
□ کاویتاسیون عبارت است از شکل گیری و انهدام مرتب حباب های بخار درون مایع به خاطر خلاء ناشی از عقب نشینی سطح و موج فشار ناشی از برگشت سطح

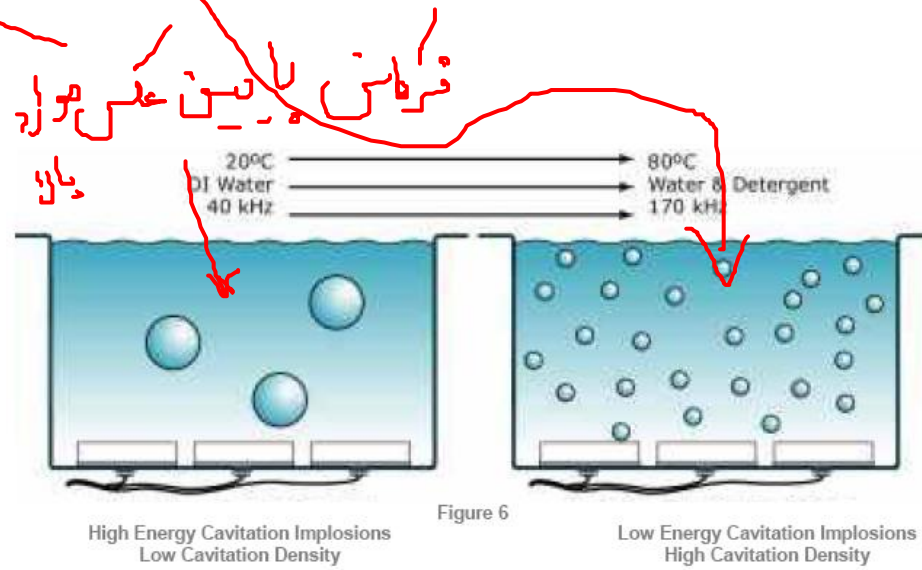




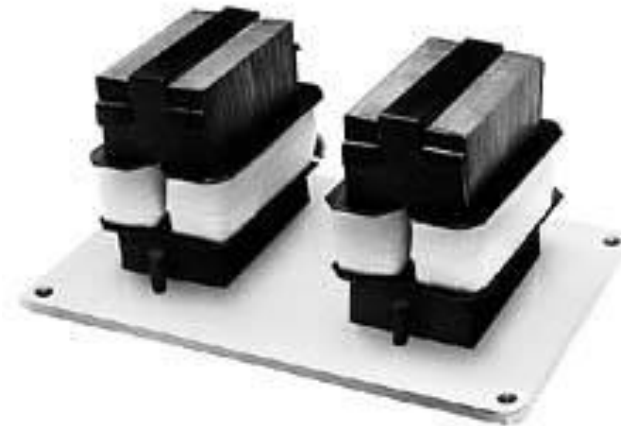
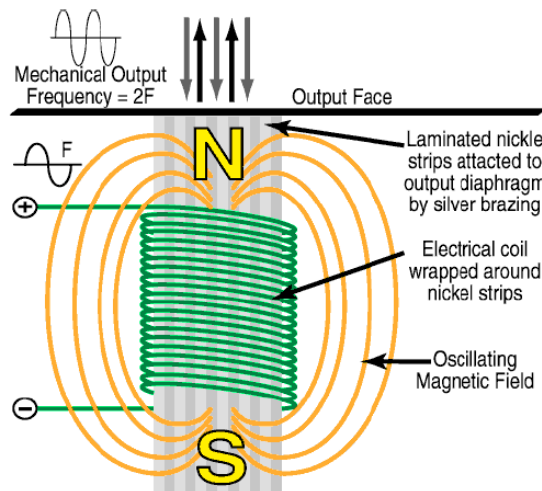
- در فرکانس های بالا در سطح مشخصی از انرژی شدت شستشو به طور متوسط کمتر می شود و بیشتر برای سطوح نازک و نرم به کار می رود.
- فرکانس های پایین بیشتر برای شستشوی قطعات بزرگ و سنگین مفید هستند.

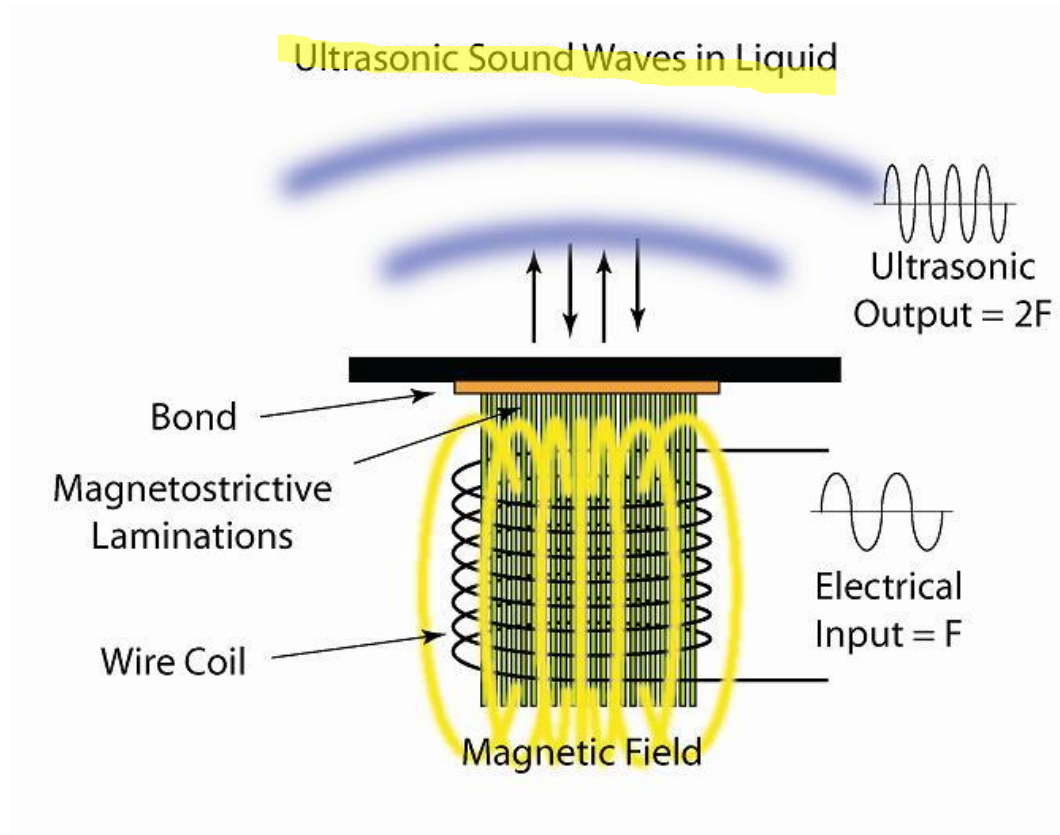
فرکانس بالا → لوراد جاب زینا — ایولا کول  
 میسب — توان کم

<p><b>20 - 40 kHz</b></p> 	<p><b>Properties At 20 kHz</b></p> <p>Diameter: 50 - 200 microns</p> <p>Impact: 35 - 70 k Pascals</p> <p>Streaming Velocity : ~400 Km/hr</p>
<p><b>60-80 kHz</b></p> 	<p><b>100 - 200 kHz</b></p> 

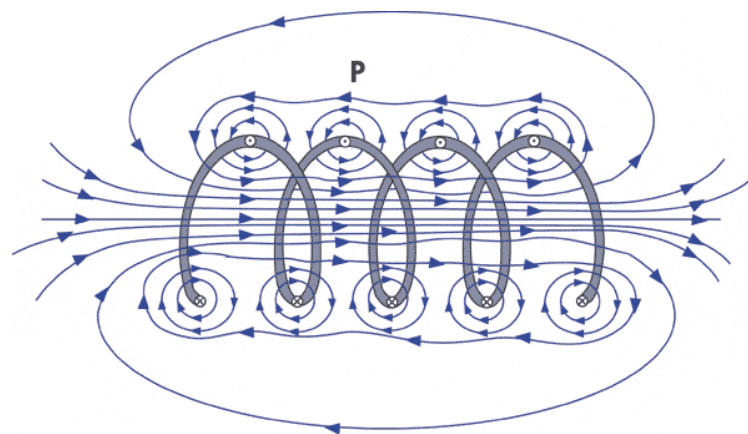
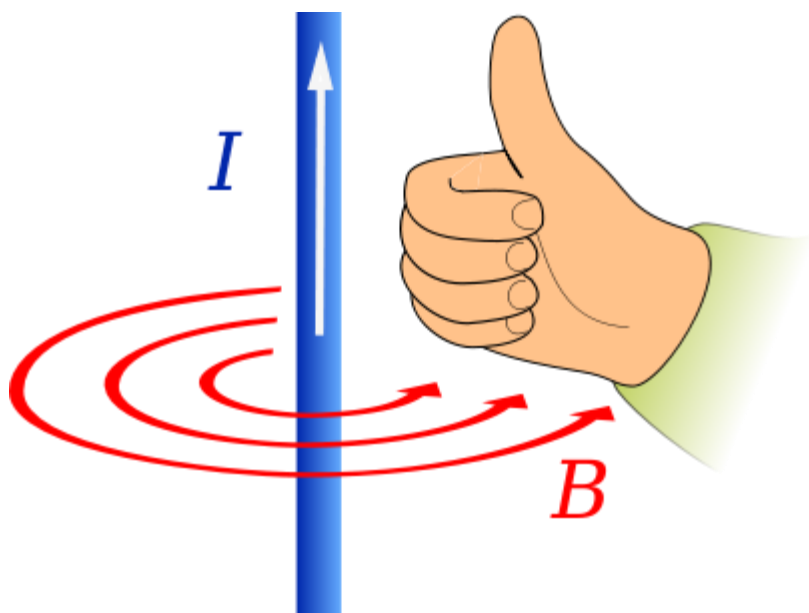


- ترانسدیوسر مگنتواستریکشن (الکترومغناطیسی) از یک هسته فرومغناطیس تشکیل شده است که یک سیم پیچ به دور آن بسته شده است. اعمال ولتاژ متناوب باعث ارتعاش هسته می شود.
- ترانسدیوسرهای مگنتواستریکشن به دلیل افت های بزرگی که دارند امروزه کم کم جای خود را به ترانسدیوسرهای پیزوالکتریکی می دهند.





- میدان مغناطیسی:
- در واقع وجود خارجی ندارد و در اثر حرکت بارهای الکتریکی بوجود می آید.
- جهت میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست راست به دست می آید.



- **مواد دیامغناطیس:** موادی هستند که در اثر قرارگیری در میدان مغناطیسی بیرونی، گشتاور دو قطبی مغناطیسی بسیار ضعیفی در اتم های آنها ایجاد می شود.
- **مواد پارامغناطیس:** در اثر قرار گیری در میدان بیرونی دو قطبی های مغناطیسی در جهت میدان قرار می گیرند و در اثر برداشتن میدان، اثری از میدان مغناطیسی در ماده باقی نمی ماند
- **مواد فرو مغناطیس:** در اثر قرار گیری در میدان مغناطیسی بیرونی یک میدان مغناطیسی قوی در ماده ایجاد می شود و وقتی میدان خارجی قطع می شود اثر آن باقی می ماند. آهن (Fe) - نیکل (Ni) - کبالت (Co) - گادولینیم (Gd) - دیسپروزیوم (Dy)

در اثر انرژیاستفاده می شود



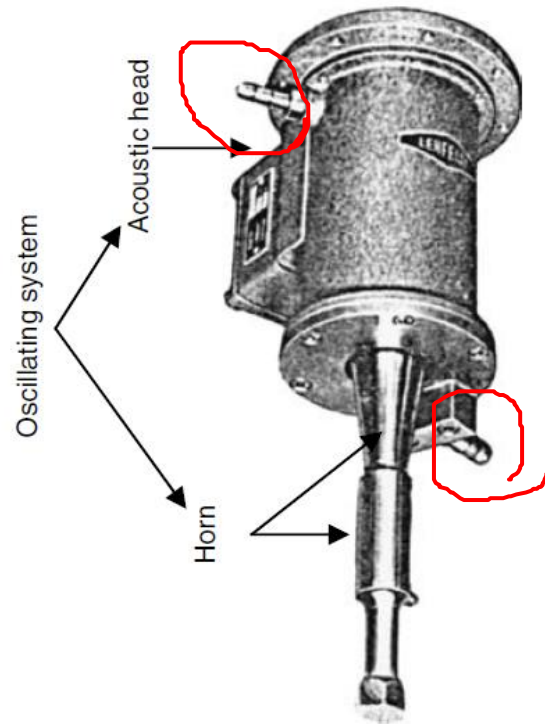
- مواد فرو مغناطیس وقتی در معرض یک میدان مغناطیسی قرار می گیرند تغییر طول می دهند. به واسطه همین خاصیت از آن ها در ساخت ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو استفاده می شود.

- انواع مواد فرومغناطیس:

- مواد فرومغناطیس نرم: موادی که پس از قطع میدان خارجی دوقطبی های مغناطیسی به جای قبلی خود بر می گردند.

- مواد فرومغناطیس سخت: پس از قطع میدان خاصیت مغناطیسی خود را حفظ می کنند.

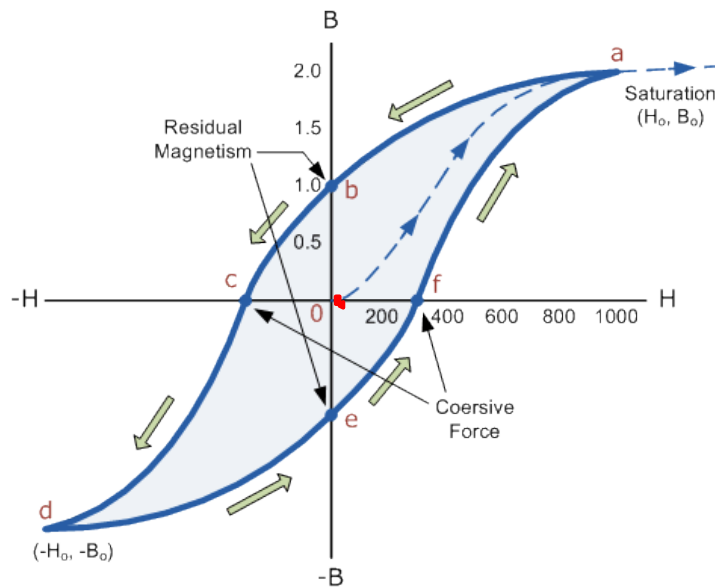
- دمای کوری (Curie Temperature) برای یک ماده فرومغناطیس دمایی بحرانی است که در آن خاصیت مغناطیسی خود را از دست می دهد این دما برای آهن ۷۷۰ درجه سانتی گراد است.



- افت هیستریزیس
- افت فوکو
- افت مکانیکی
- افت ژول

- با توجه به منحنی پسماند مغناطیسی (**Virgin Curve**) وقتی به تدریج میدان مغناطیسی ناشی از سیم پیچ کاهش می یابد منحنی رفت و برگشت روی هم منطبق نمی شوند و علت آن پسماند مغناطیسی است.

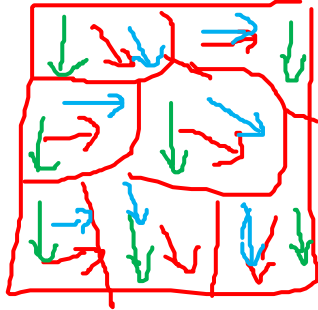
- هر چه منحنی باریکتر باشد افت پسماند کمتر است و ترانسدیوسر عملکرد بهتری از خود نشان می دهد.



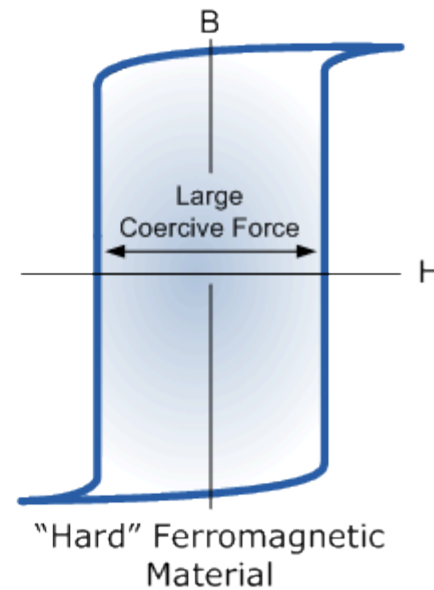
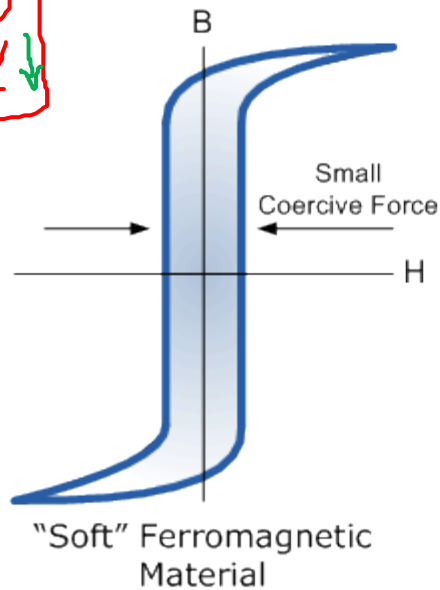
$$B = \mu H.$$

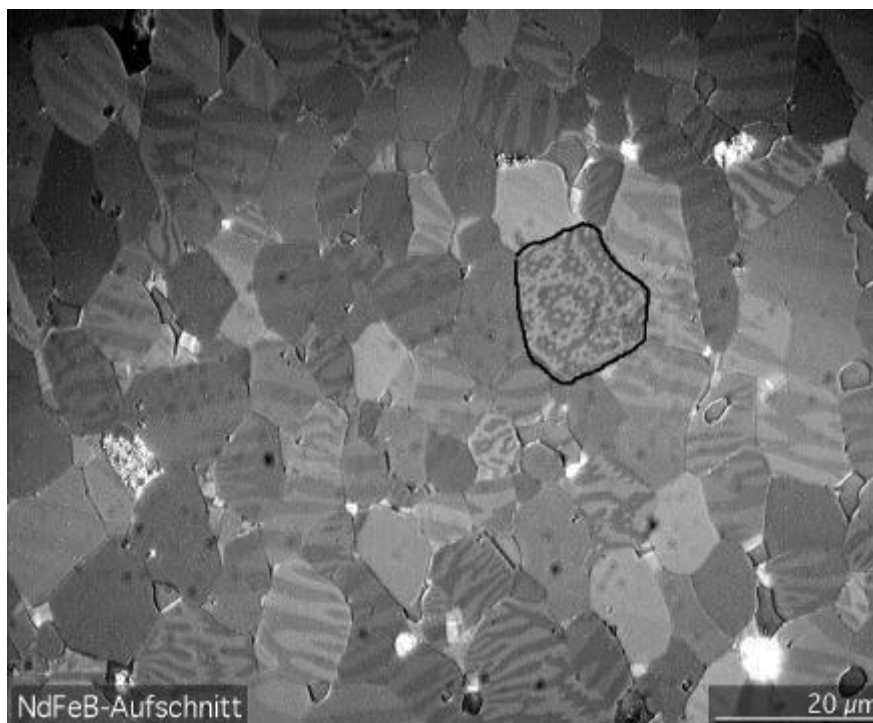
B: شار میدان  
H: شدت میدان  
flux density, ( B )  
field strength, ( H )

قرمز: قبل از اعمال جریان  
 سبز: پس از جریان مستقیم  
 آبی: پس از جریان معکوس



↓  
 میدان







# افت فوکو (جریان گردابی)

- جریان فوکو جریانی است که در خلاف جهت جریان اصلی بوجود می آید و در اثر تغییر جهت میدان القا می شود.

$$P = \frac{\pi^2 B_p^2 d^2 f^2}{6k\rho D},$$

توان جریان فوکو

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

مقاومت الکتریکی

- گرمایی که در اثر جریان الکتریکی ایجاد می شود تولید افت ژول را می کند که در اثر جریان الکتریکی درون سیم پیچ بوجود می آید.

$$P_J = RI^2$$



# ویژگی های دلخواه هسته در ترانس دیوسر الکترومغناطیسی

- افت هیستریزیس کمی داشته باشد
- افت فوکو و ژول کمی داشته باشد.
- افت مکانیکی (دمپینگ) کمی داشته باشد.
- حداقل تاثیر پذیری از دما را داشته باشد
- مقاومت خستگی بالایی داشته باشد
- دمای کوری آن بالا باشد.
- ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی بالایی داشته باشد
- ضریب کوپلینگ الکترومغناطیسی بزرگی داشته باشد



□ ترانسدیوسرهای الکترواستریکتیو (پیزوالکتریک) از کریستال های سرامیک تشکیل شده اند که به راحتی در اثر میدان الکتریکی منبسط و فشرده می شوند.

□ کریستال سرامیک پیزوالکتریک در یک ساختار اصطلاحاً ساندویچی به کمک صفحه پستی فولادی و صفحه تطبیق آلومینیومی برای محافظت از پیزوالکتریک ها و انتقال مناسب تر انرژی آکوستیکی کمک یک پیچ فشرده می شود.



مکملات تعداد زوج



- **قرص های پیزوالکتریک: منبع ایجاد ارتعاشات**  
آلتراسونیک
- **قطعه تطبیق (Matching part): برقراری**  
کوپلینگ مناسب آکوستیکی و انتقال بهینه امواج  
آلتراسونیک
- **قطعه پشتی (Backing part): جلوگیری از هدر**  
رفتن انرژی آکوستیکی در سر آزاد ترانسدیوسر
- **پیچ اتصال: اتصال اجزای ترانسدیوسر و اعمال**  
پیش تنش مورد نظر
- **بوش عایق: جلوگیری از ایجاد اتصال الکتریکی**  
بین قطعه جلویی و قطعه پشتی با پیزوالکتریک ها  
طریق پیچ
- **الکتروودها**

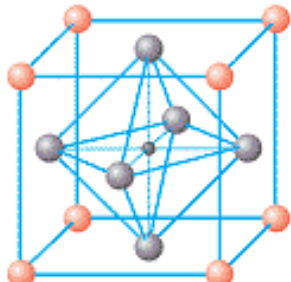
## • تاریخچه:

❖ پیر کوری در سال ۱۸۸۰ متوجه رفتار غیرمعمول برخی کریستال های معدنی شد که با اعمال تنش مکانیکی باردار شده و تولید ولتاژ می کنند و وقتی به آن ها ولتاژ الکتریکی اعمال شود تعبیر شکل ایجاد می کنند. پیزوالکتریک از واژه یونانی **piezein** به معنای فشردن گرفته شده است.

❖ امروزه سرامیک های اکسیدی فلزی نظیر **PZT (lead zirconate / lead titanate)** به عنوان پیزوالکتریک به طور گسترده در صنعت استفاده می شوند. این سرامیک ها از نظر مکانیکی مستحکم هستند، از نظر شیمیایی خنثی بوده و تولید آن ها هزینه کمی در بر دارد.

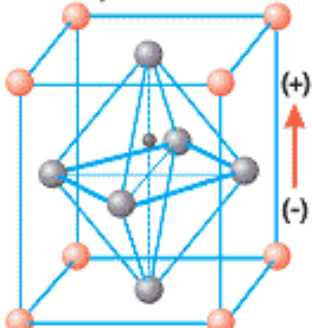
**Figure 1.1** Crystal structure of a traditional piezoelectric ceramic

(a) temperatures above Curie point



cubic lattice, symmetric arrangement of positive and negative charges

(b) temperatures below Curie point



tetragonal (orthorhombic) lattice, crystal has electric dipole

- $A^{2+}$  = Pb, Ba, other large, divalent metal ion
- $O^{2-}$  = oxygen
- $B^{4+}$  = Ti, Zr, other smaller, tetravalent metal ion

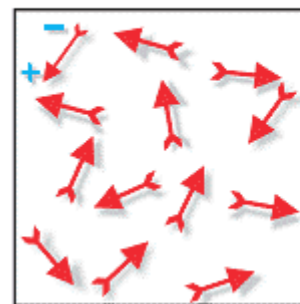
□ پیزوالکتریک در دمایی پایین تر از دمای کوری مطابق شکل یک مولکول قطبی است که از یونهای سرب، اکسیژن و تیتانیوم یا زیرکونیوم تشکیل شده است.

□ در اثر اعمال ولتاژ پلاریزه شدن اتفاق می افتد و طول سرامیک افزایش می یابد.

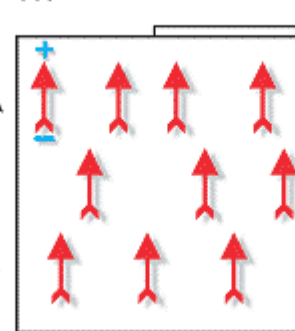
پولاریزه شدن سرامیک الکتریکی هم در این سرامیکها سرب جاک می شود یعنی مانند

**Figure 1.2** Polarizing (poling) a piezoelectric ceramic\*

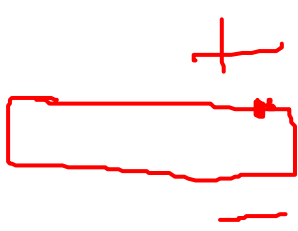
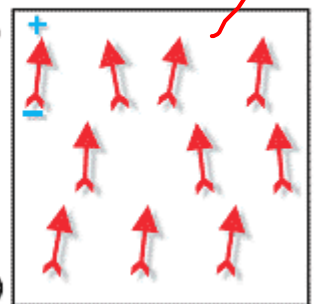
(a) random orientation of polar domains prior to polarization



(b) polarization in DC electric field



(c) remanent polarization after electric field removed



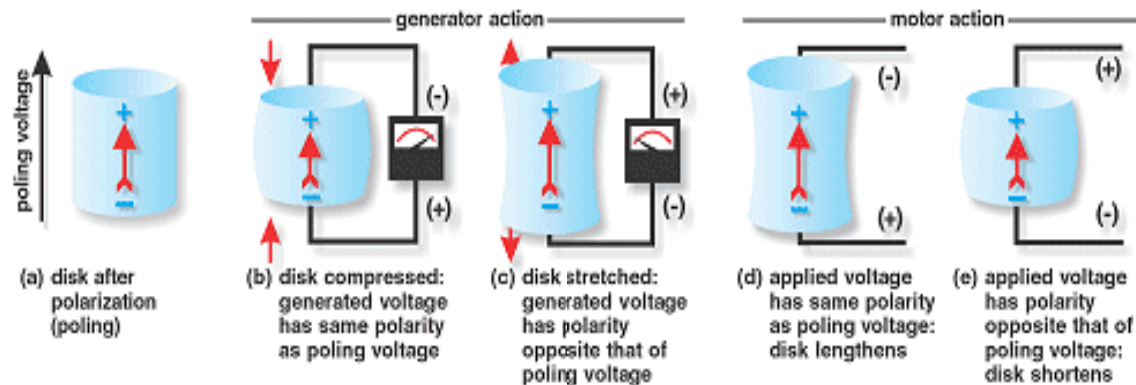
## 1. اثر عملگری ← همی تراژبروسرهای الکتریکی

کاربردهایی هستند که ولتاژ به پیزوالکتریک اعمال می شود و تغییر شکل حاصل می شود. مانند کاربردهای مختلف اولتراسونیک در شستشو، ماشینکاری و ...

## 2. اثر حسگری ← سستوری قفل - دیپا هومستر

کاربردهایی که در آن ها با اندازه گیری ولتاژ ناشی از تغییر شکل پیزوالکتریک برای اندازه گیری پارامترهایی نظیر کرنش و ... استفاده می شود.

Figure 1.4 Generator and motor actions of a piezoelectric element





## مقایسه ترانسدیوسرهای پیزوالکتریکی و مگنتواستریکتیوی

- ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیوی افت های بالایی دارند (بازده ۵۵ درصد) ولی ترانسدیوسرهای پیزوالکتریکی افت کمی دارند (بازده ۹۵-۹۰ درصد).
- سرعت پاسخ پیزوالکتریک ها بالاست به همین دلیل در کاربردهایی نظیر کنترل پاشش در موتور و موقعیت دهی کاربرد دارند.
- ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیوی توان های بالاتری تولید می کنند.



## پایان جلسه سوم

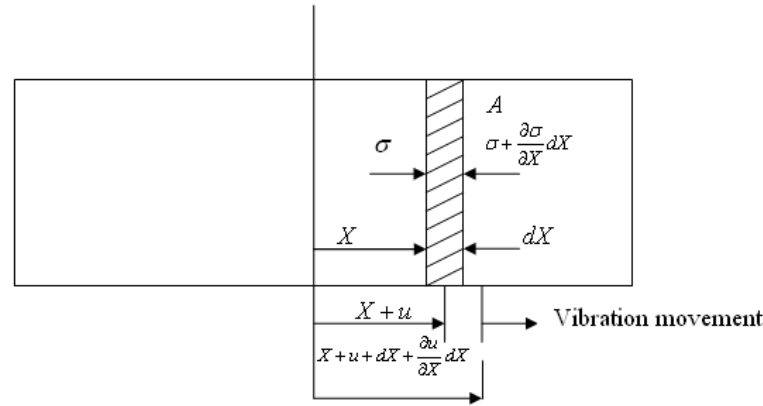


Fig 3-1 Vibration of a constant cross section bar

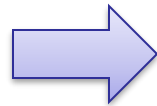
$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$C = \frac{\lambda}{T} \rightarrow C = \lambda f$$

$$K = \frac{\omega}{C}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$



معادله کلی ارتعاشات طولی



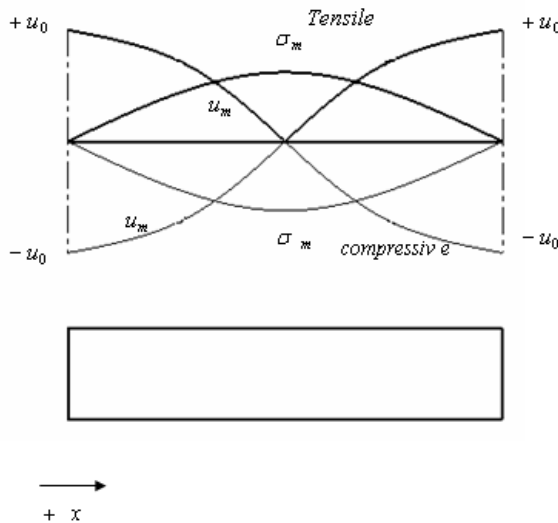


Fig 2-9 Free vibration of a constant cross section bar at resonance frequency with no loss (no pre stress)  
 $2\sigma_m$  Stress variation and  $2u_m$  peak to peak amplitude at different locations

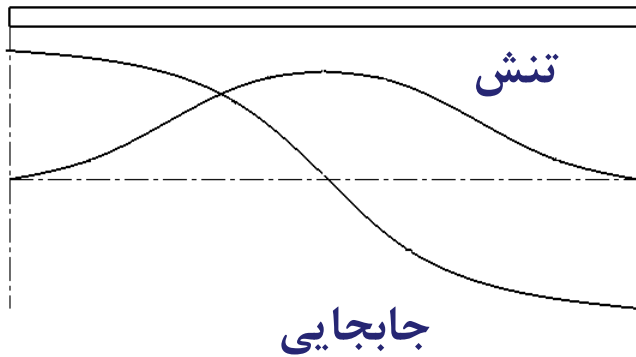
$$u(x, t) = U_0(x) \sin(\omega t), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \omega U_0(x) \cos(\omega t), \quad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 U_0(x) \sin(\omega t) = -\omega^2 u(x, t)$$

با جایگذاری در معادله کلی ارتعاشات طولی

$$\frac{d^2 U_0(x)}{dx^2} \sin(\omega t) = \frac{1}{C^2} \times -\omega^2 U_0(x) \sin(\omega t)$$

$$\Rightarrow \frac{d^2 U_0(x)}{dx^2} + K^2 U_0(x) = 0$$

## شرایط مرزی



$$@x = 0 \Rightarrow U_0 = u_0, \frac{dU_0}{dx} = 0$$

$$@x = l \Rightarrow \frac{dU_0}{dx} = 0$$

$$U_0(x) = A \cos(Mx) + B \sin(Mx)$$

$$@x = 0 \Rightarrow \frac{dU_0}{dx} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{dU_0(x)}{dx} = -AM \sin(Mx) + BM \cos(Mx) = 0 \Rightarrow B = 0$$

با توجه به  
صفحه قبل

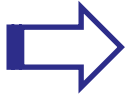
$$U_0(x) = A \cos(Mx)$$

با جایگذاری در معادله ای که  
قبلا به دست آمد

$$\Rightarrow \frac{d^2 U_0(x)}{dx^2} + K^2 U_0(x) = 0$$

$$-M^2 U_0(x) + K^2 U_0(x) = 0 \Rightarrow M = K = \frac{\omega}{C}$$

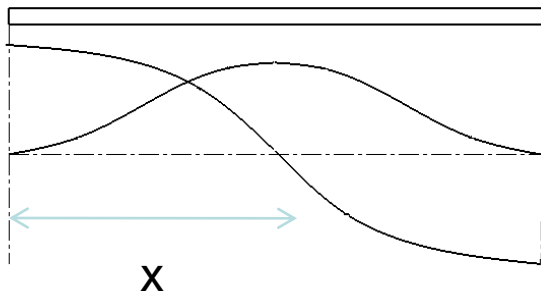
$$@x = 0 \Rightarrow U_0 = u_0 \Rightarrow A = u_0$$



$$U_0(x) = u_0 \cos\left(\frac{\omega}{C}x\right)$$

$$u(x, t) = u_0 \cos\left(\frac{\omega}{C}x\right) \sin(\omega t)$$

مثال



با توجه به معادلات به دست آمده برای میله ای که در شکل نشان داده شده است طول میله چقدر باید باشد؟

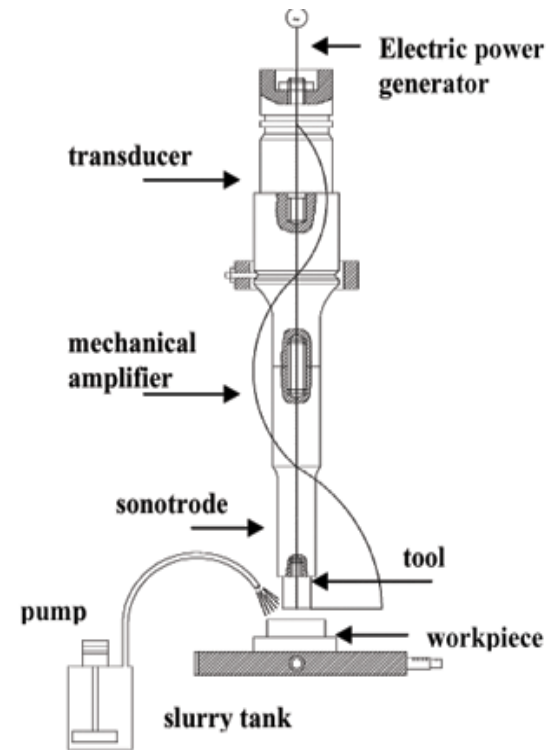
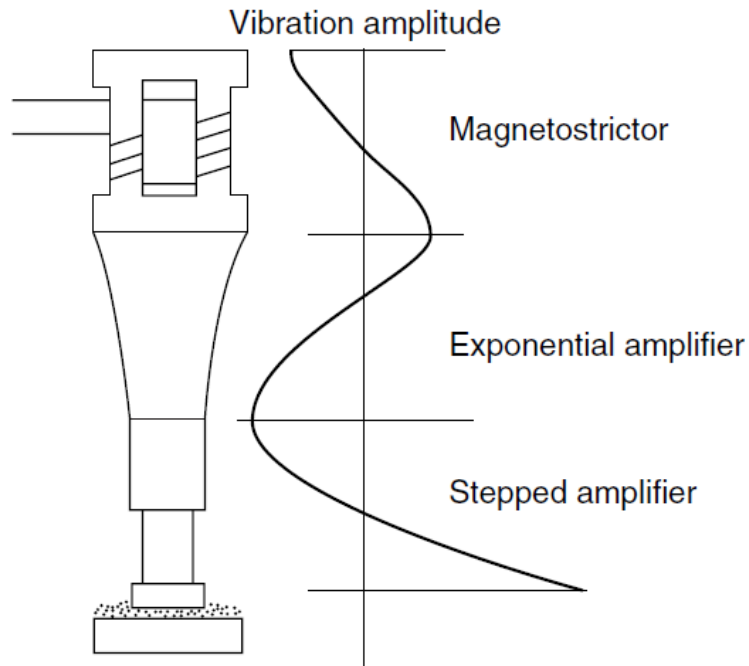


Figure 1. Schematic representation of the USM apparatus.