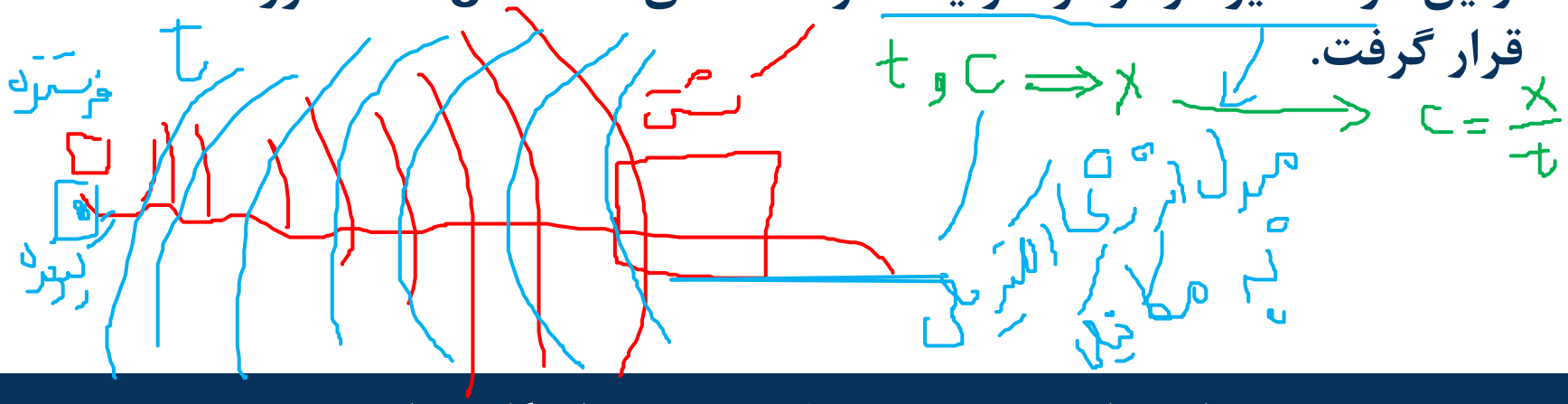
جلسه هفتم و هشتم: ماشینکاری به کمک امواج اولتراسونیک

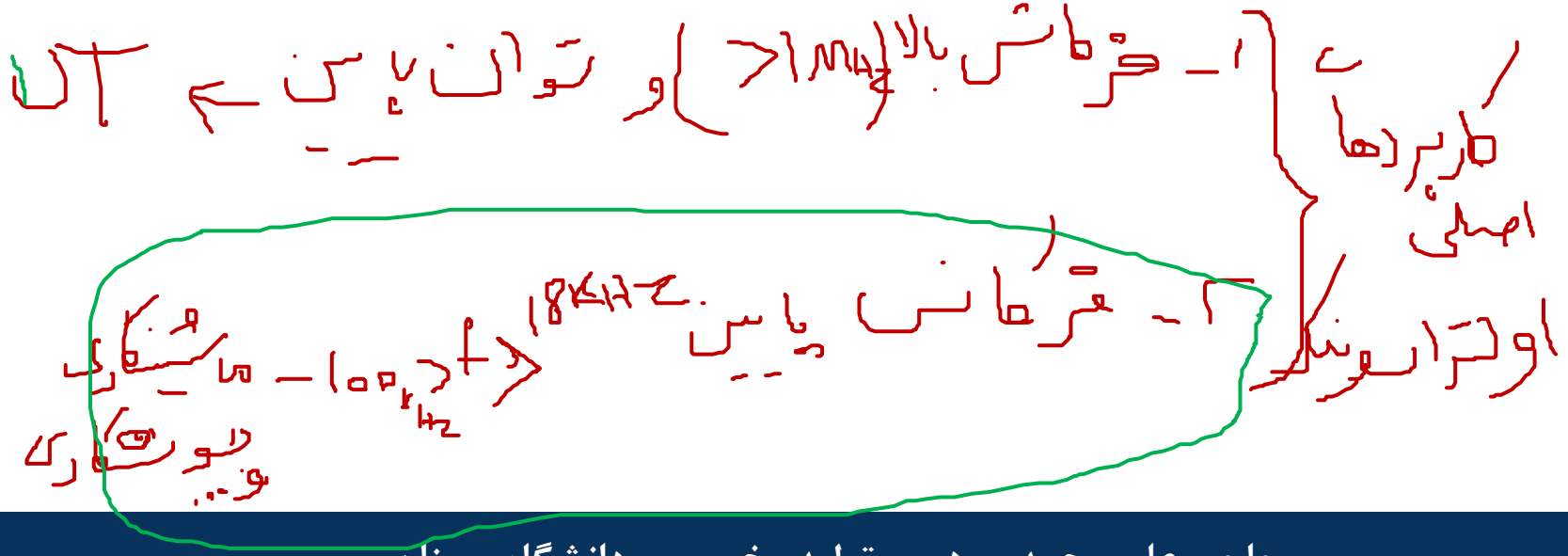
امواج اولتراسونیک

- **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.



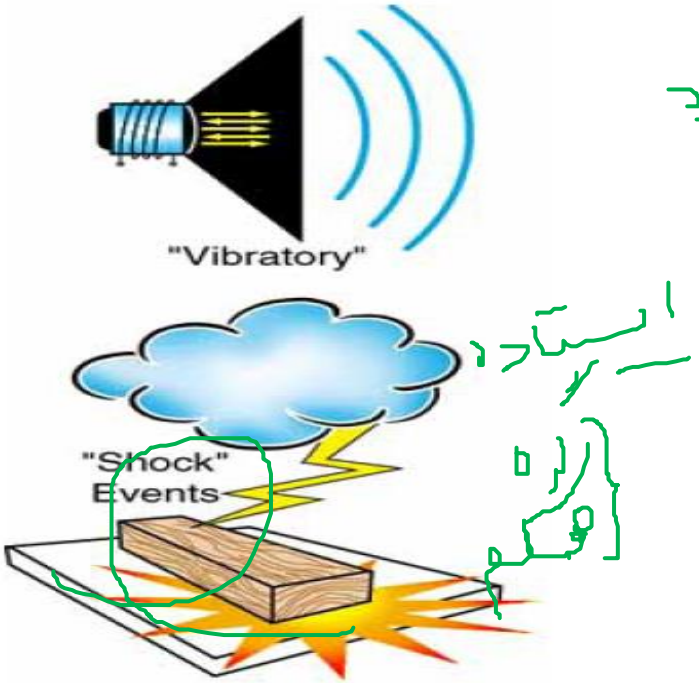
اولتراسونیک چیست؟

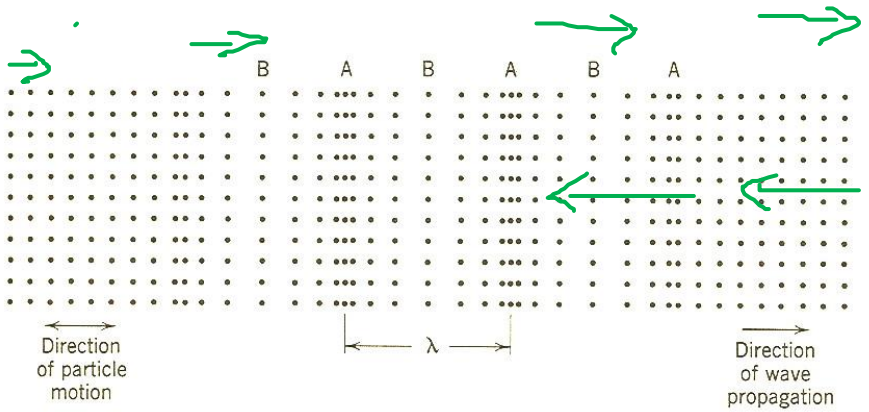
- اولتراسونیک علم بررسی امواج صوتی است که فرکانس بالاتر از محدوده شنوایی انسان دارند.
- فرکانس امواج صوتی آهنگ یا زیر و بم بودن آن ها را مشخص می کند. فرکانس های بالا صداهای زیر تولید می کنند و فرکانس های پایین صداهای بم.
- فرکانس‌های بالاتر از **18kHz** معمولا اولتراسونیک هستند.



تولید و انتشار امواج صوتی

- 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.





انواع ترانسدیوسرهای اولتراسونیک

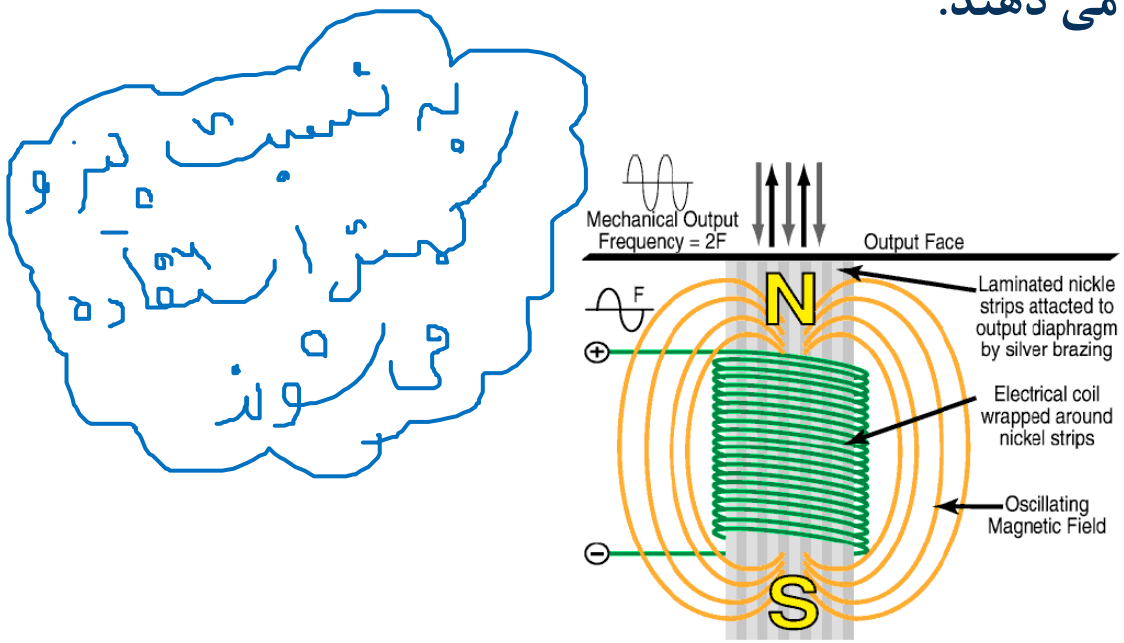
- **ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو**
  - ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو از فلز فرو مغناطیس که با سیم های الکتریکی احاطه شده اند، تشکیل شده اند در هنگام کارکرد چنین ترانسدیوسرهایی میدان مغناطیسی متناوب ایجاد شده باعث ایجاد حرکت ارتعاشی می شود.
- **ترانسدیوسرهای الکترواستریکتیو**

ترانسدیوسرهای الکترواستریکتیو (پیزوالکتریک)
از کریستال های سرامیک تشکیل شده اند که
به راحتی در اثر میدان الکتریکی تغییر طول می دهند.

اگر به پیزو برق با یک جهت مشخص میدان الکتریکی بدهیم. افزایش طول می دهد.
اگر پیزو را در جهت عکس در معرض میدان الکتریکی قرار دهیم کاهش طول می دهد
اگر پیزو را به میدان متناوب متصل نماییم شروع به نوسان می کند
اگر فرکانس میدان متناوب را برابر ۲۰ کیلوهرتز قرار دهیم فرکانس نوسان پیزو هم ۲۰ کیلوهرتز خواهد بود

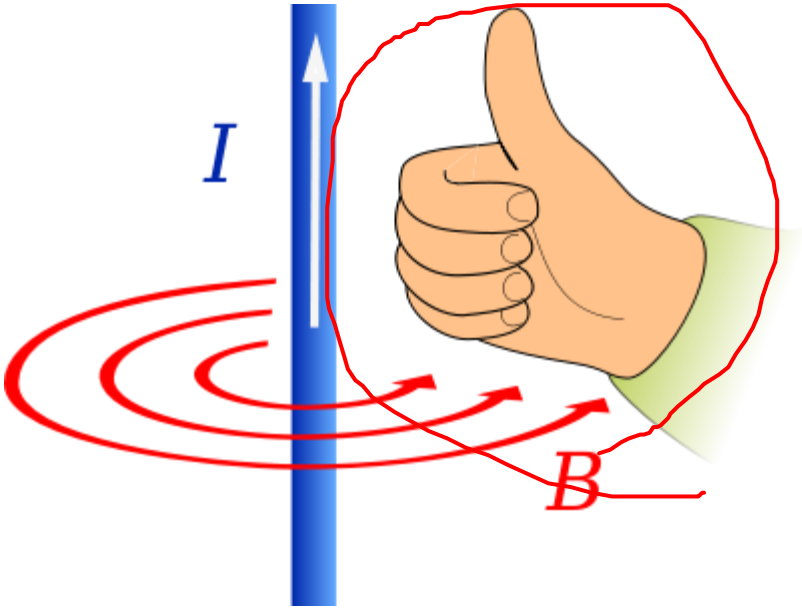
ترانسدیوسر الکترومغناطیسی

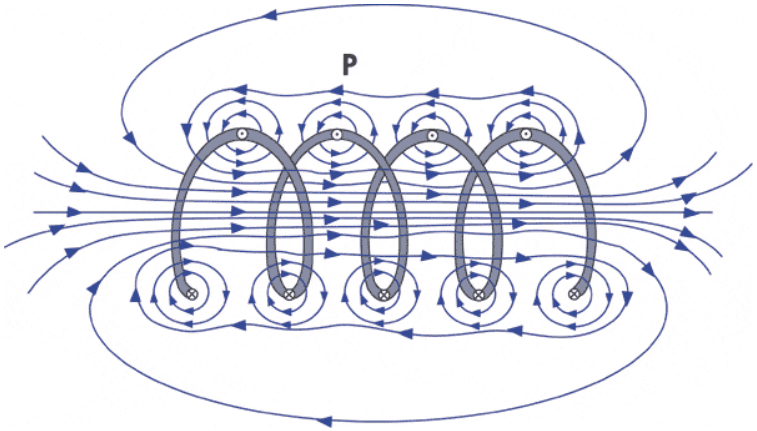
- ترانسدیوسر مگنتواستریکشن (الکترومغناطیسی) از یک هسته فرومغناطیس تشکیل شده است که یک سیم پیچ به دور آن بسته شده است. اعمال ولتاژ متناوب باعث ارتعاش هسته می شود.
- ترانسدیوسرهای مگنتواستریکشن به دلیل افت های بزرگی که دارند امروزه کم کم جای خود را به ترانسدیوسرهای پیزوالکتریکی می دهند.



الکترومغناطیس

- 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 اید.





اثرات مغناطیسی مواد

- **مواددیامغناطیس:** موادی هستند که در اثر قرارگیری در میدان مغناطیسی بیرونی, گشتاور دوقطبی مغناطیسی بسیار ضعیفی در اتم های آنها ایجاد می شود.

- **مواد پارامغناطیس:** در اثر قرار گیری در میدان بیرونی دوقطبی 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 ان باقی می ماند. آهن(Fe)-نیکل(Ni)-کبالت(Co)-گادولینیم(Ga)-دیسپروزیوم(Di)

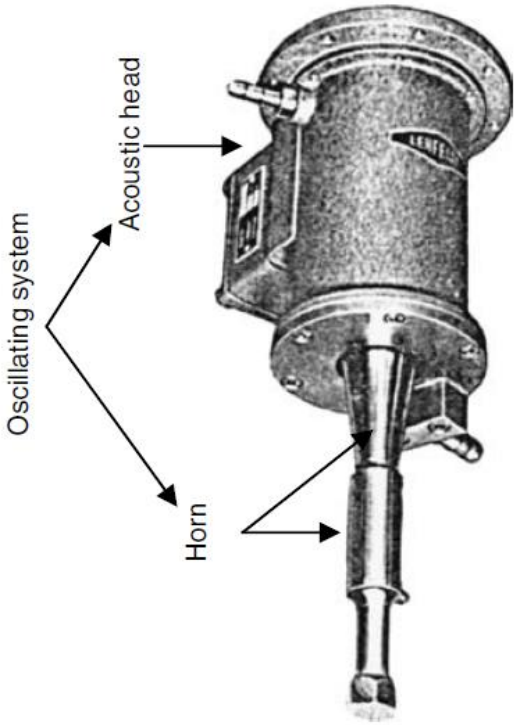
مواد فرومغناطیس

- 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 های یک ترانسدیوسر الکترومغناطیس

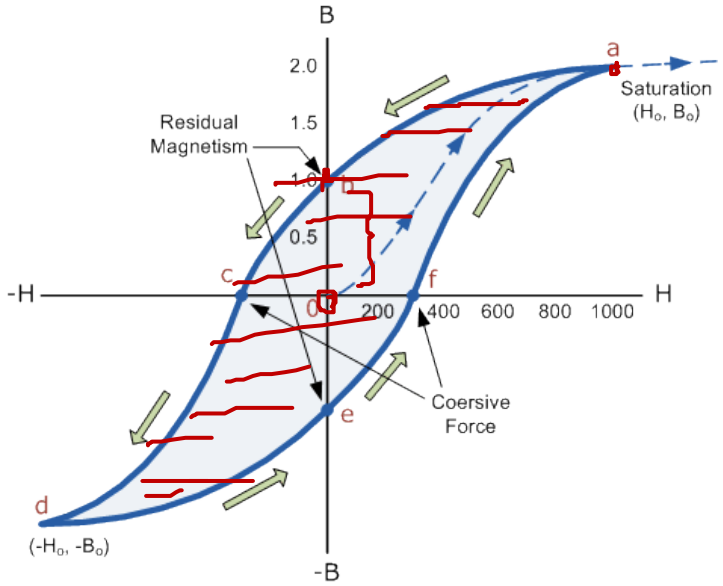
- افت هیسترزیس
- افت فوکو
- افت مکانیکی
- افت ژول

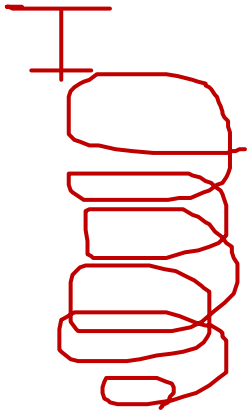


افت هیسترزیس

- 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.





منحنی پسماند مغناطیسی

هر چه منحنی چاق تر باشد میزان هدر رفت انرژی در اثر حرارت بیشتر است و میزان دمپینگ افزایش می یابد.

$B = \mu H.$

B: شار میدان

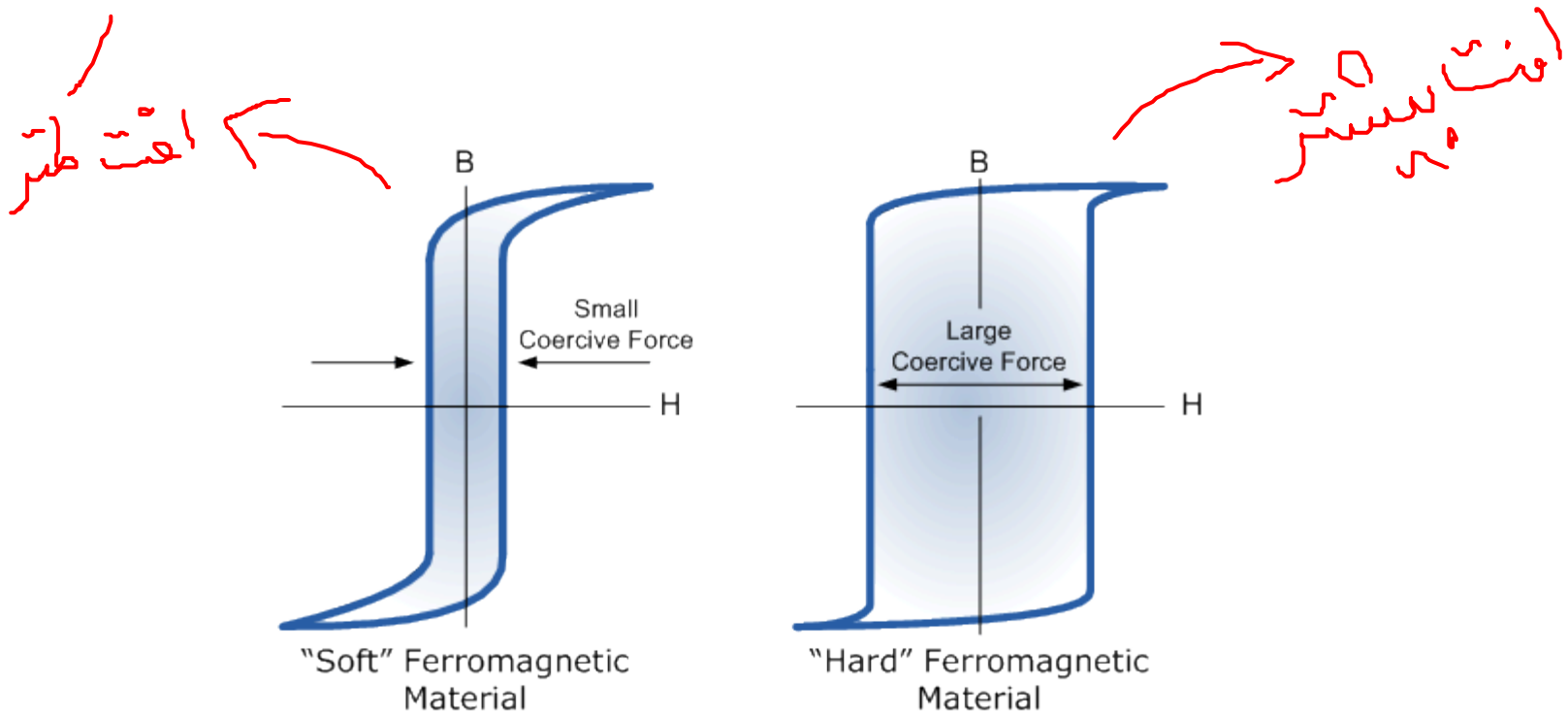
H: شدت میدان

flux density, (B)

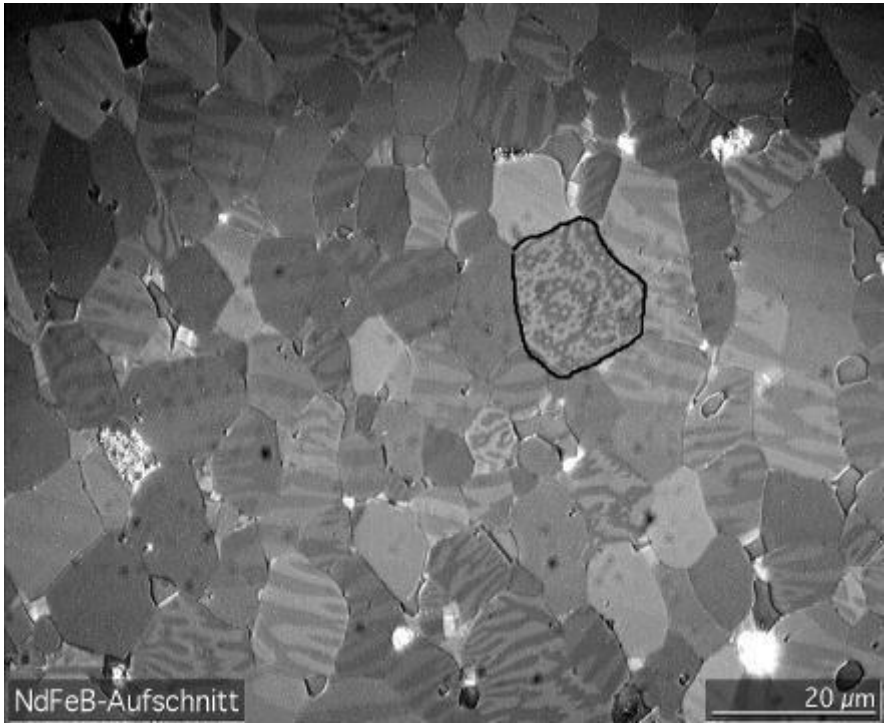
field strength, (H)

Magnetic Hysteresis results in the dissipation of wasted energy in the form of heat with the energy wasted being in proportion to the area of the magnetic hysteresis loop. Hysteresis losses will always be a problem in AC transformers where the current is constantly changing direction and thus the magnetic poles in the core will cause losses because they constantly reverse direction.

افت هیسترزیس



پسماند مغناطیسی



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

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

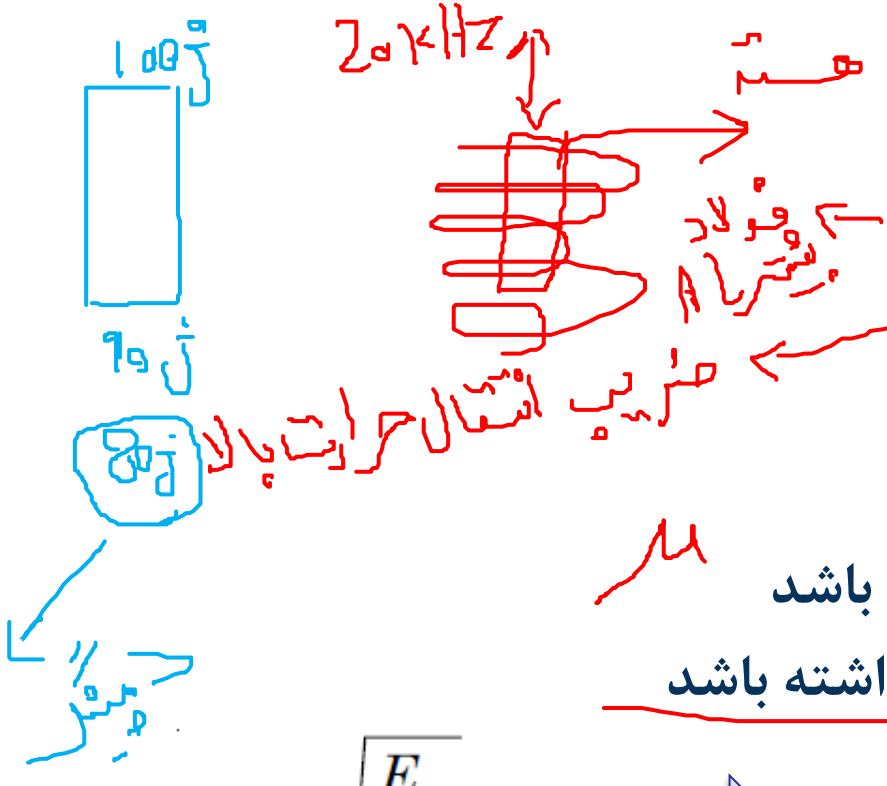
مقاومت الکتریکی

افت ژول

- 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 ترانسدیوسر الکترومغناطیسی



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

$$K_m = \sqrt{\frac{E_w}{E_m}}$$

ضریب کوپلینگ الکترومغناطیسی

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

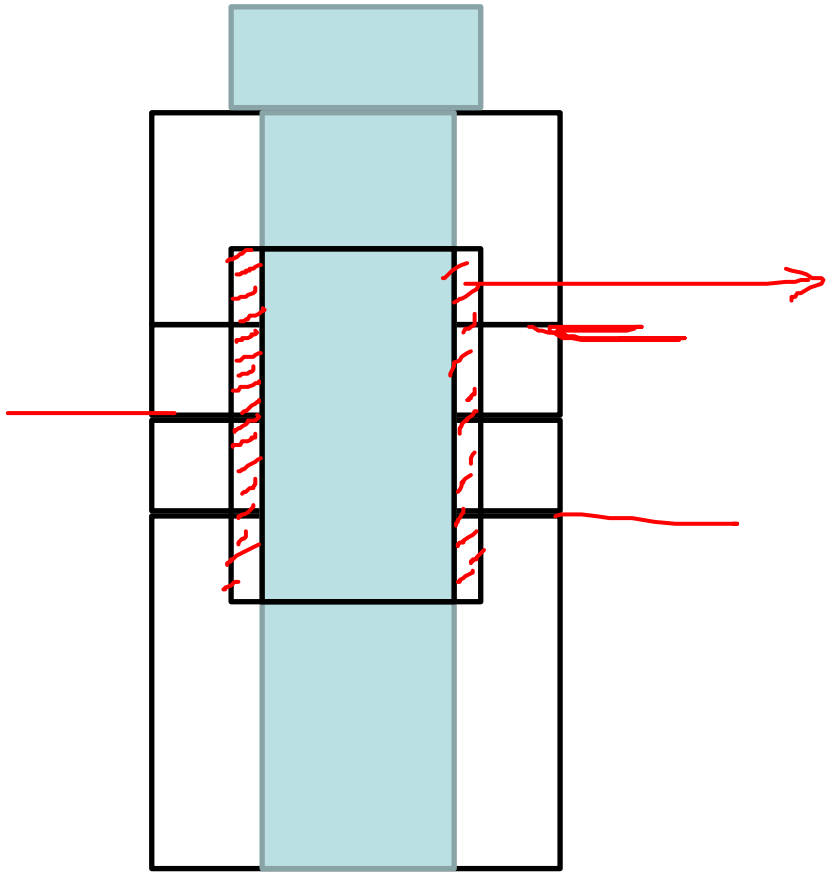
ترانسدیوسرهای پیزوالکتریکی

- 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 اصطلاحا ساندویچی به کمک صفحه پشتی فولادی و صفحه تطبیق آلومینیومی برای محافظت از پیزوالکتریک ها و انتقال مناسب تر انرژی آکوستیکی کمک یک پیچ فشرده می شود.

قسمت های مختلف یک ترانسدیوسر ساندویچی پیزوالکتریک توان بالا

- 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
- الکترودها

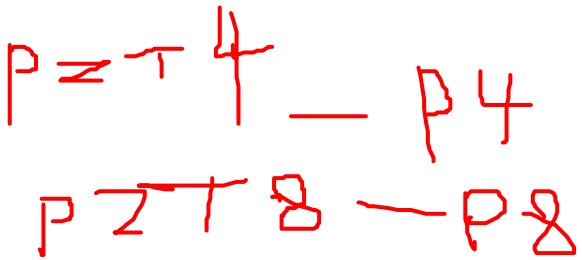


اثر پیزوالکتریک Piezoelectricity

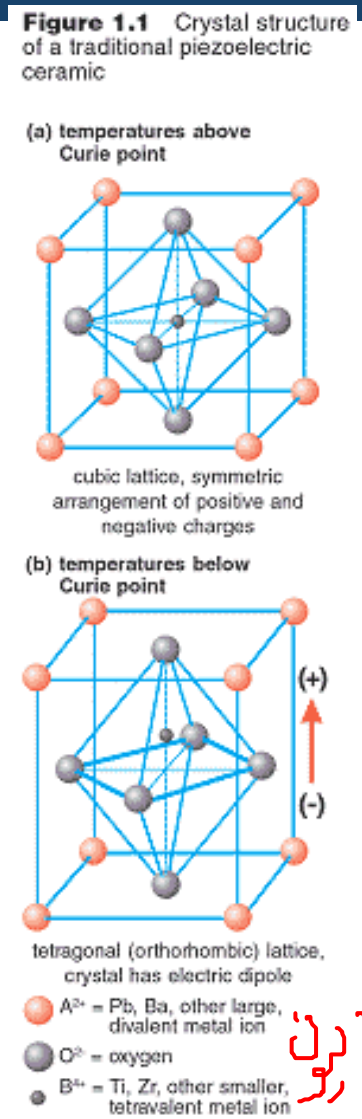
- **تاریخچه:**

❖ **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 تعییر 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.**

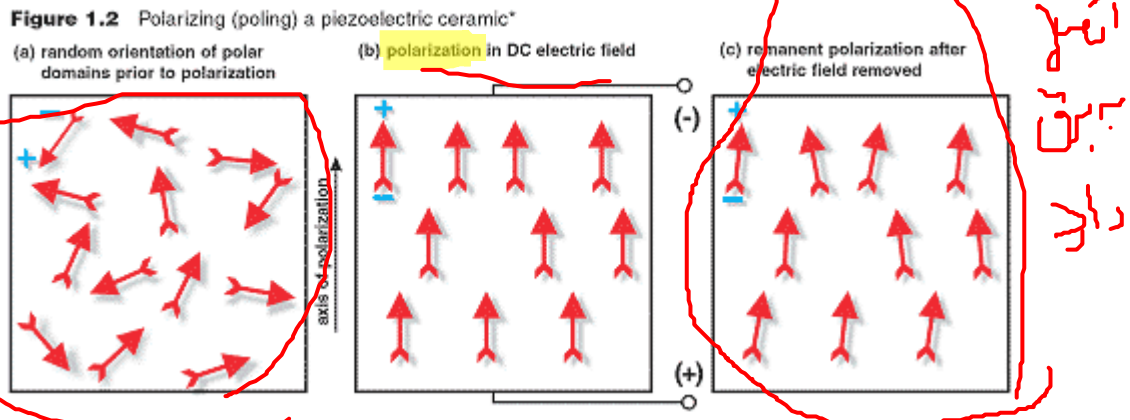


ساختمان پیزوالکتریک



- 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.
- پلاریزاسیون فرآیندی است که در آن سرامیک غیرقطبی به پیزوالکتریک قطبی تبدیل شده و این اثر ماندگار در پیزو ایجاد می شود.



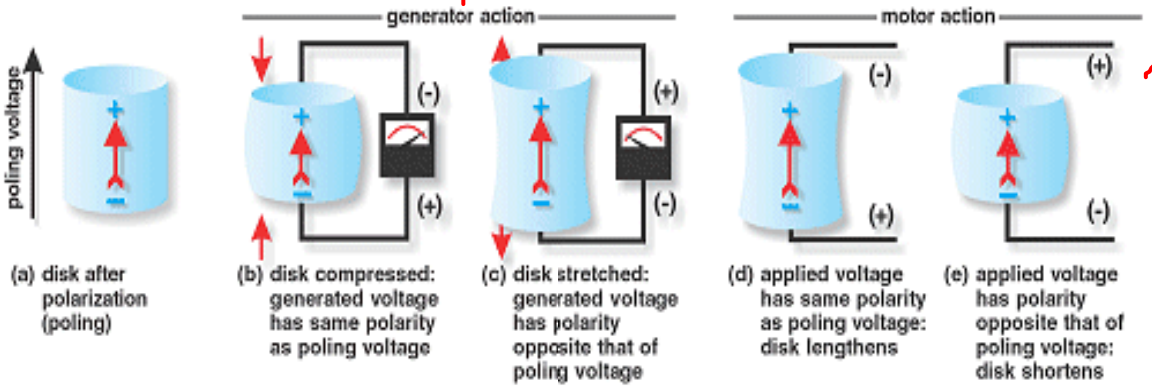
1. **اثر عملگری**

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**

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

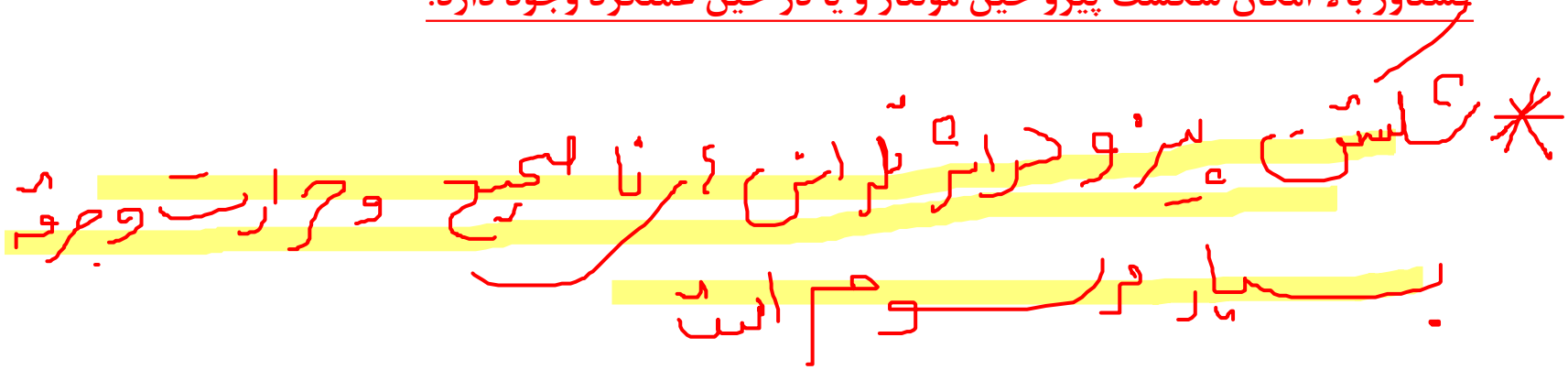
Figure 1.4 Generator and motor actions of a piezoelectric element



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.
- سرعت پاسخ زمانی است که از دریافت سیگنال طول می کشد تا جابجایی ایجاد شود.
- ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیوی توان های بالاتری تولید می کنند.

- در ترانسدیوسرهای پیزو الکتریک توان با ابعاد و تعداد پیزوها تعیین می شود. با افزایش تعداد پیزوها به دلیل گشتاور بالا امکان شکست پیزو حین مونتاژ و یا در حین عملکرد وجود دارد.



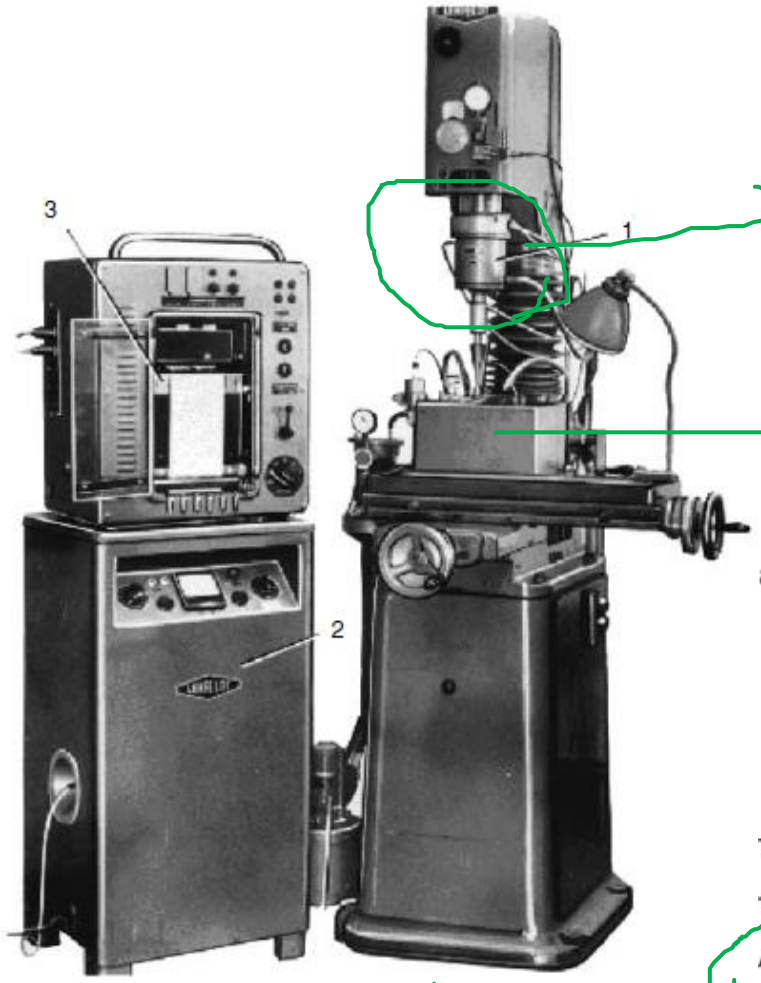
- **تاریخچه:**

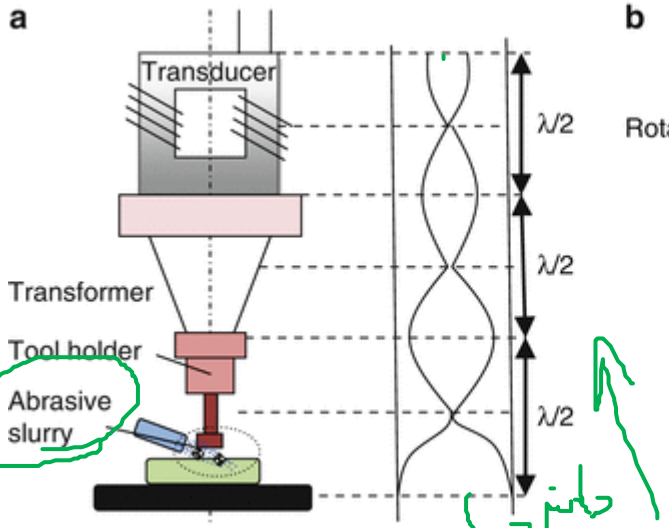
لومیس و وود در سال ۱۹۲۷ به ایده استفاده از موجهای فرکانس بالای صوتی(حدود ۷۰ کیلوهرتز) در ماشین کاری توجه نمودند لیکن اولین اختراع در این روش در سال ۱۹۴۵ توسط فردی بنام بالاموث به ثبت رسید وی هنگامی که سنگ زنی مافوق صوت پودر های ساینده را بررسی می کرد کشف کرد که سطح ظرف نگهدارنده سوسپانسیون ساینده هنگامی 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

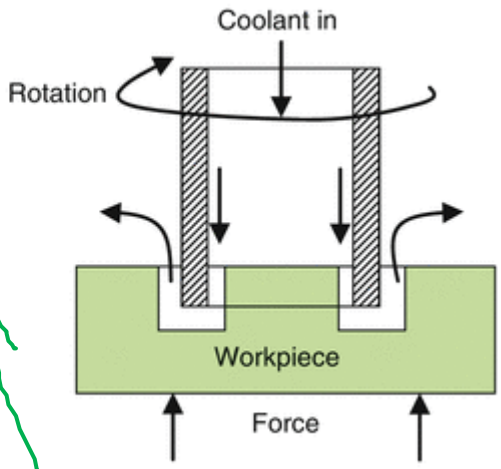
Ultrasonic Machining: ترانسدیوسر اولتراسونیک به صورت مستقیم و به عنوان ابزار برای ماشینکاری استفاده می شود.

* **Ultrasonic assisted Machining**: ترانسدیوسر اولتراسونیک ابزار نیست ولی به عنوان کمکی ابزار یا قطعه کار امواج را به آن ها منتقل می نماید.

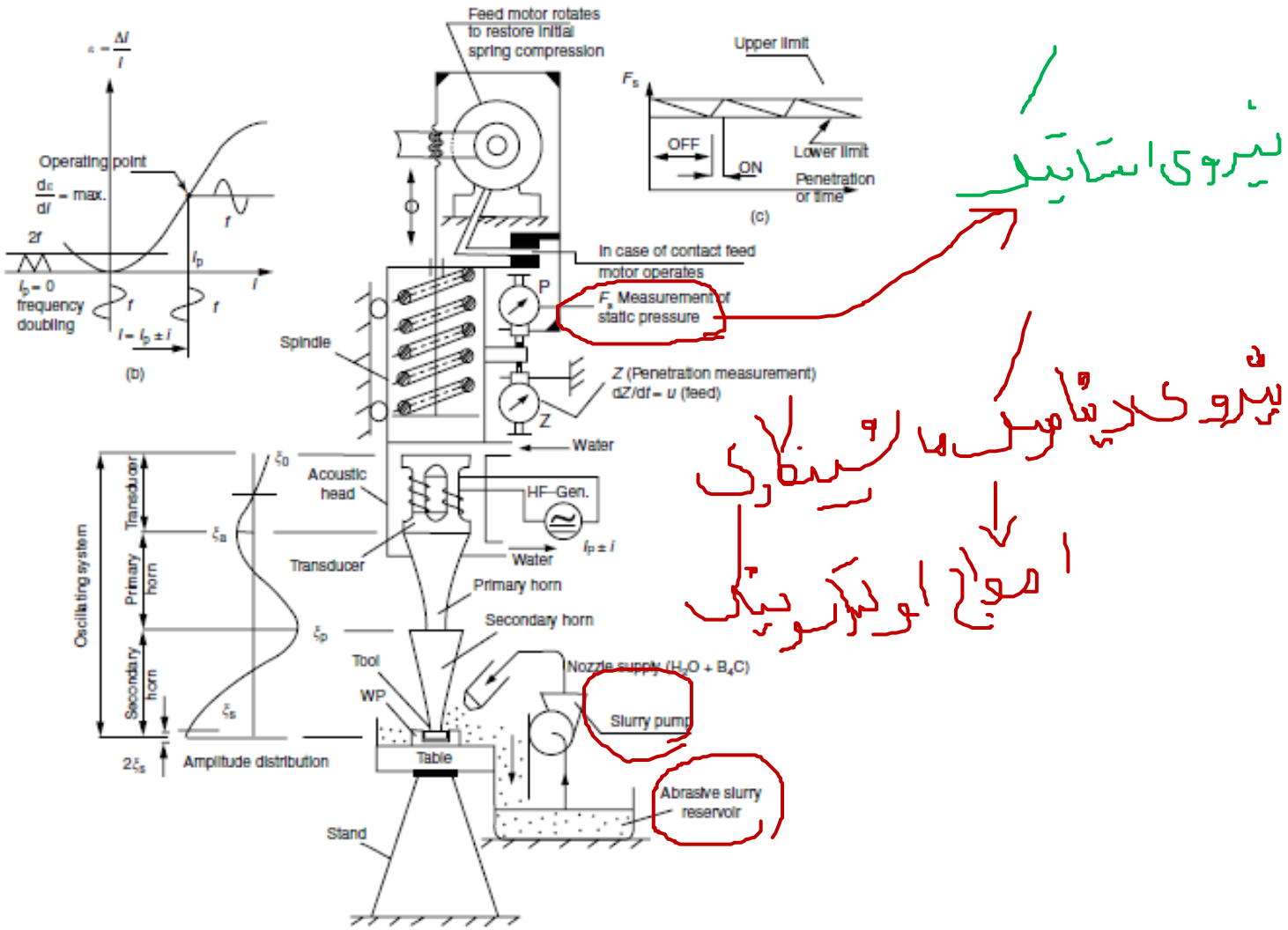
دستگاه ماشینکاری اولتراسونیک



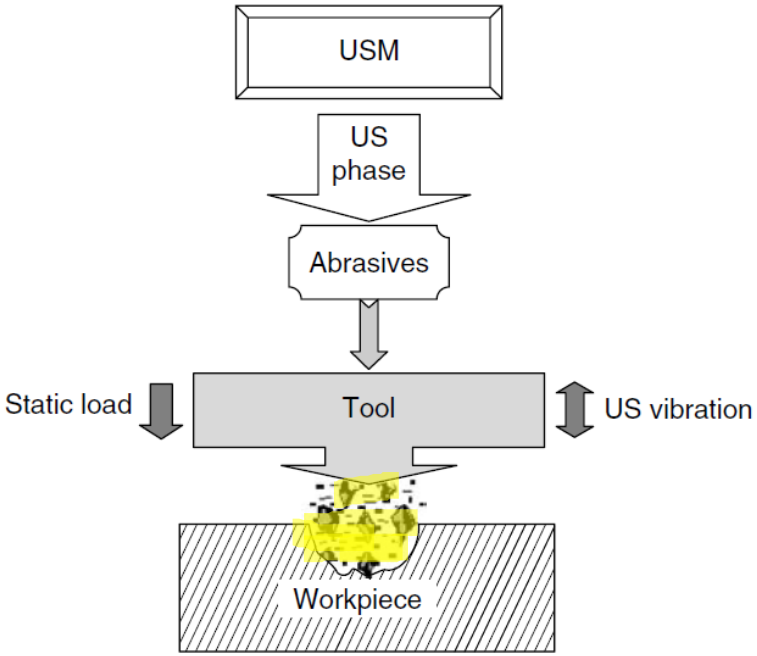




دستگاه ماشینکاری اولتراسونیک



- 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.

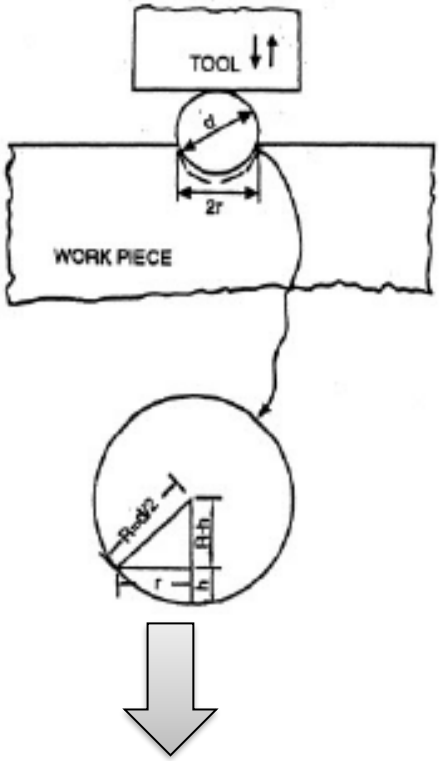
مکانیزم های براده برداری

- **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 اید.
- **کاویتاسیون**

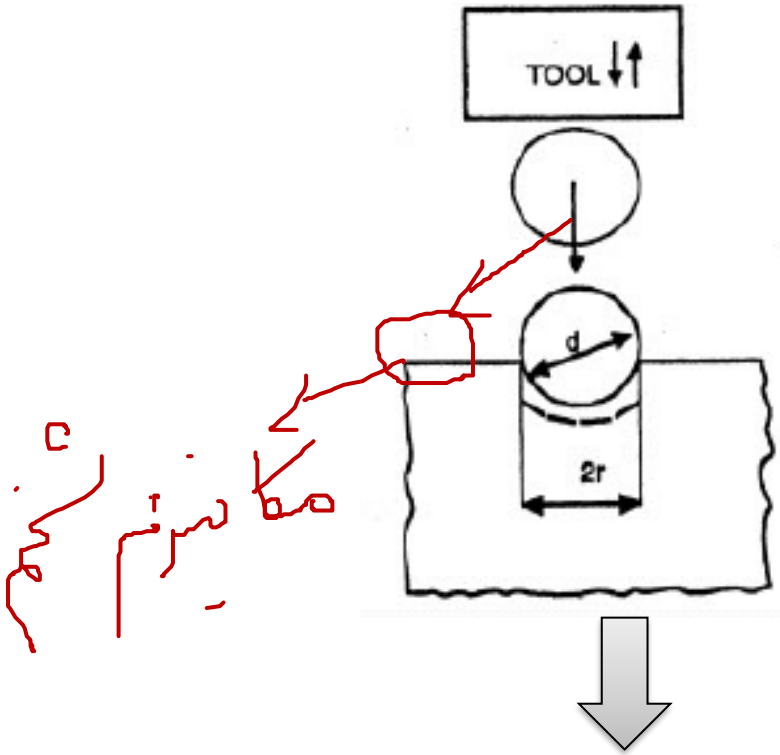
تغییر شکل در اثر ترکیدن حباب های ایجاد شده در اثر امواج اولتراسونیک (کمتر از ۵ درصد براده برداری در اثر این مکانیزم است)

❊براده برداری با تلفیقی از این سه مکانیزم انجام می شود و مکانیزم غالب بستگی به شرایط و پارامترهای ماشینکاری دارد.

مکانیزم های براده برداری



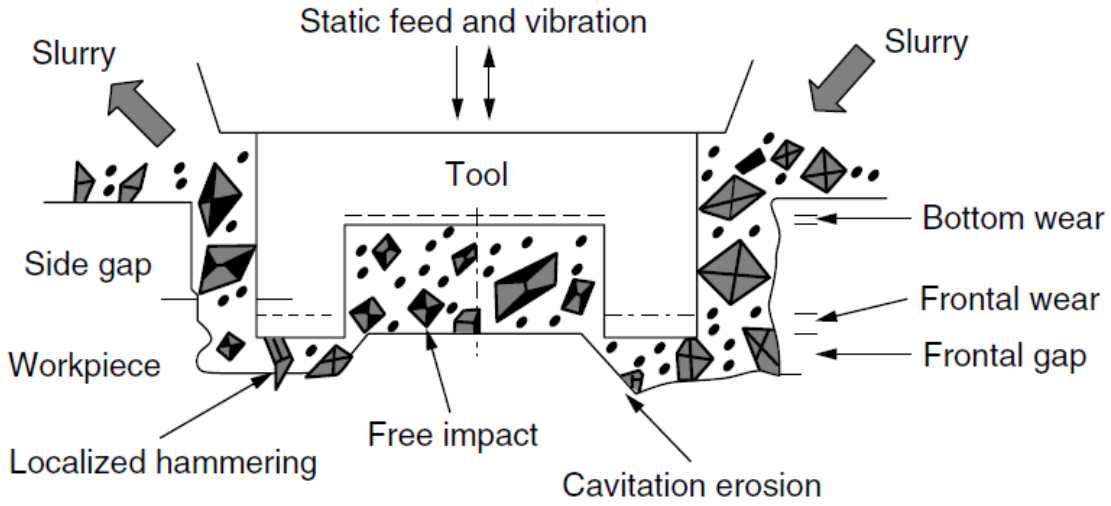
مدل کوبش:
قطر ذره ساینده بزرگتر از فاصله ابزار و قطعه است.



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

مکانیزم های براده برداری

- 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.
- روش اولتراسونیک برای مواد نرم مانند فولاد خوب عمل نمی کند ولی بسیار مناسب مواد ترد (سرامیک ها، شیشه و ...) است.



قابلیت ماشینکاری

- 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

فولاد قابلیت ماشینکاری خوبی باین روش ندارد

طراحی ترانسدیوسر الکترومغناطیسی (مبدل)

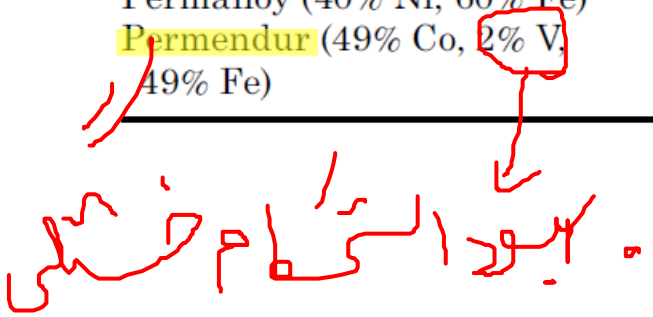
- هسته به صورت ورقه ورقه ساخته می شود تا انتقال حرارت زیادی داشته باشد.

$$\epsilon_m = \frac{\Delta l}{l}$$ ⟹ ضریب تغییر طول الکترومغناطیسی

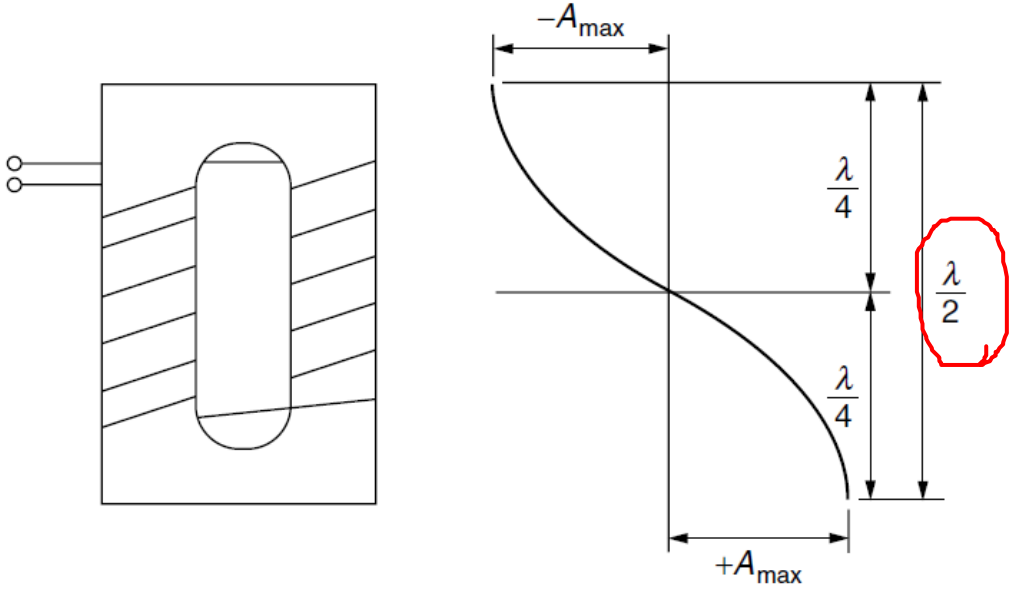
طراحی ترانسدیوسر (مبدل)

جنس هسته

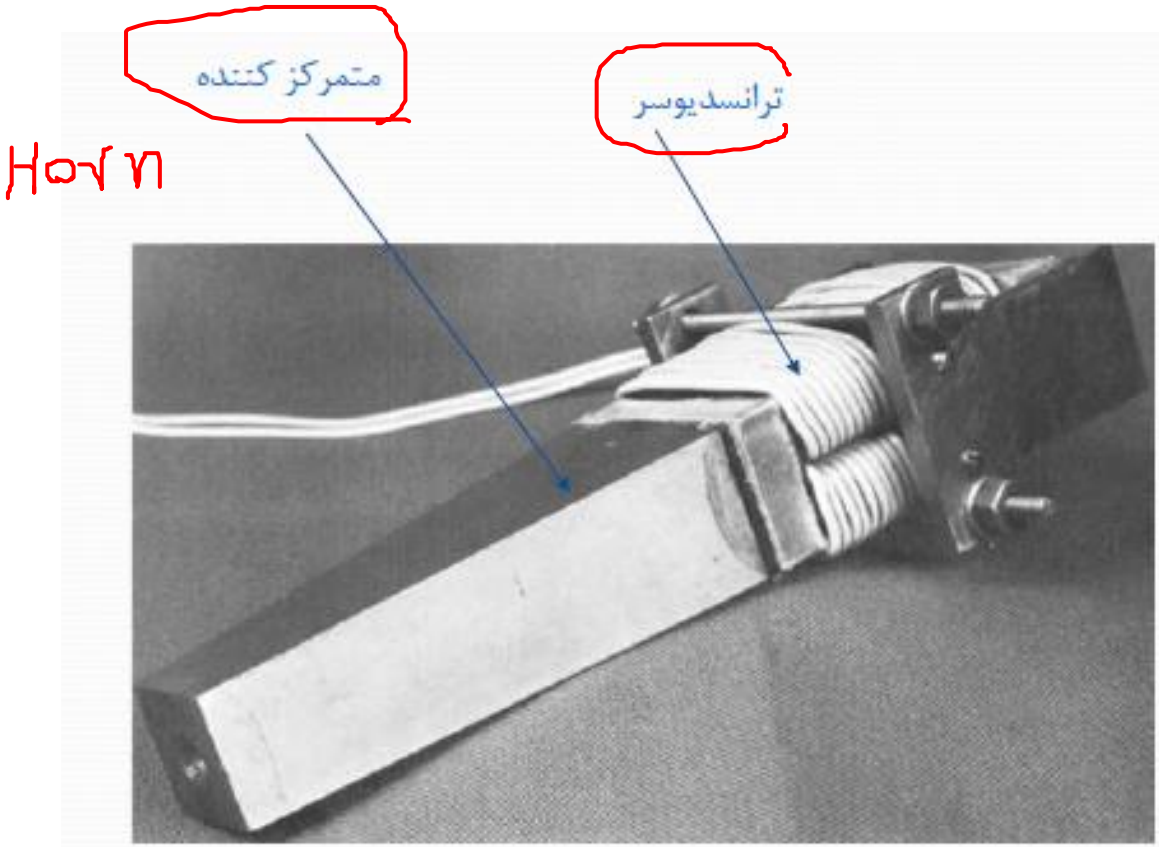
Material type	Coefficient of magnetostrictive elongation E_m ($\times 10^6$)	Coefficient of magnetomechanical coupling K_m
Alfer (13% Al, 87% Fe)	40	0.28
Hypernik (50% Ni, 50% Fe)	25	0.20
Permalloy (40% Ni, 60% Fe)	25	0.17
Permendur (49% Co, 2% V, 49% Fe)	9	0.20



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.


متمرکز کننده
ترانسدیوسر
Horn

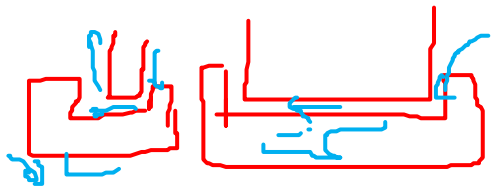
عوامل موثر بر نرخ براده برداری در ماشینکاری اولتراسونیک

- **جنس ، اندازه و قطرذرات 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 :**

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



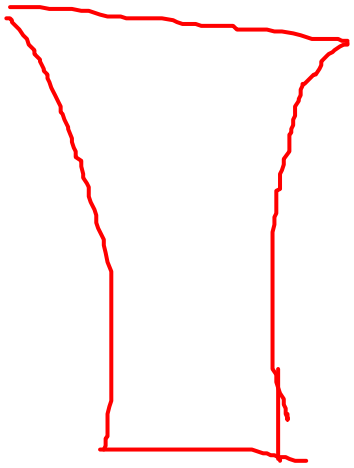
- **دامنه ی ارتعاشات :**

با افزایش دامنه ی ارتعاشات نرخ براده برداری افزایش می یابد

- **فرکانس ارتعاشات :**

با افزایش فرکانس ارتعاشات نرخ براده برداری افزایش می یابد اما در فرکانسهای بالاتر از ۲۴ kHz افتهای مکانیکی بیشتر میشودو نرخ براده برداری کاهش می یابد

* هرچه سطح مقطع لوله‌ای کوچکتر باشد تمرکز انرژی بیشتر و دامنه در مقطع لوله‌ای بزرگتر حول صفر بود

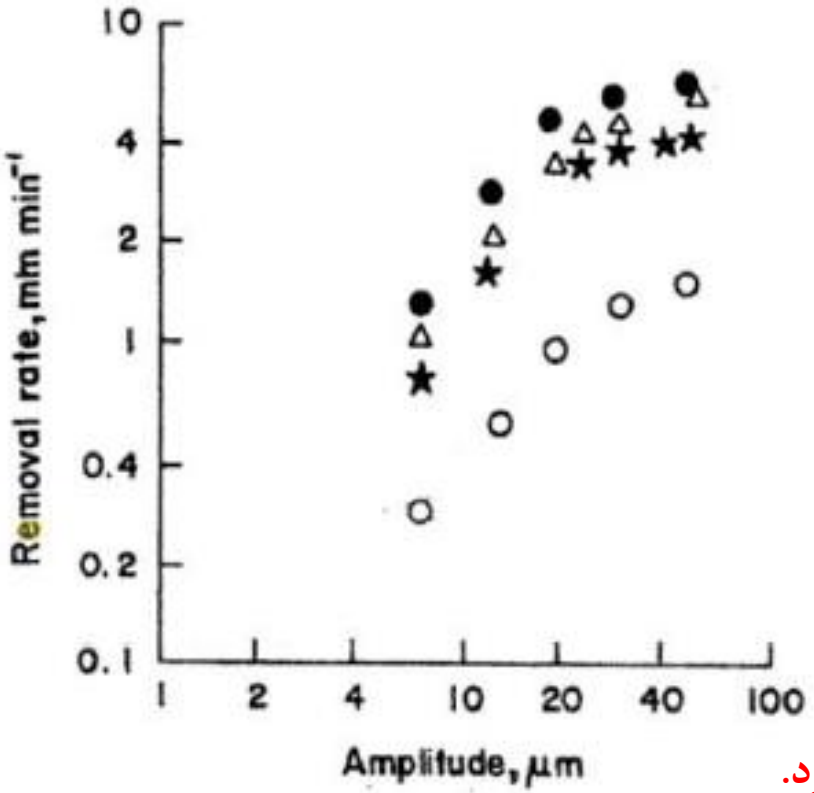


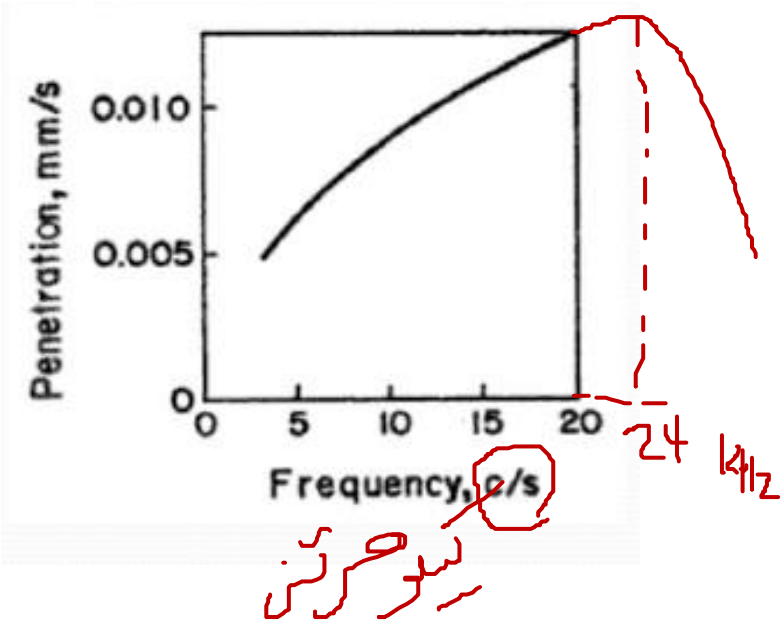
U_{01} → دامنه ورودی

$\frac{U_{02}}{U_{01}}$ = ضریب تقویت دامنه

U_{02} → دامنه خروجی

تاثیر دامنه و فرکانس ارتعاشات روی نرخ باربرداری



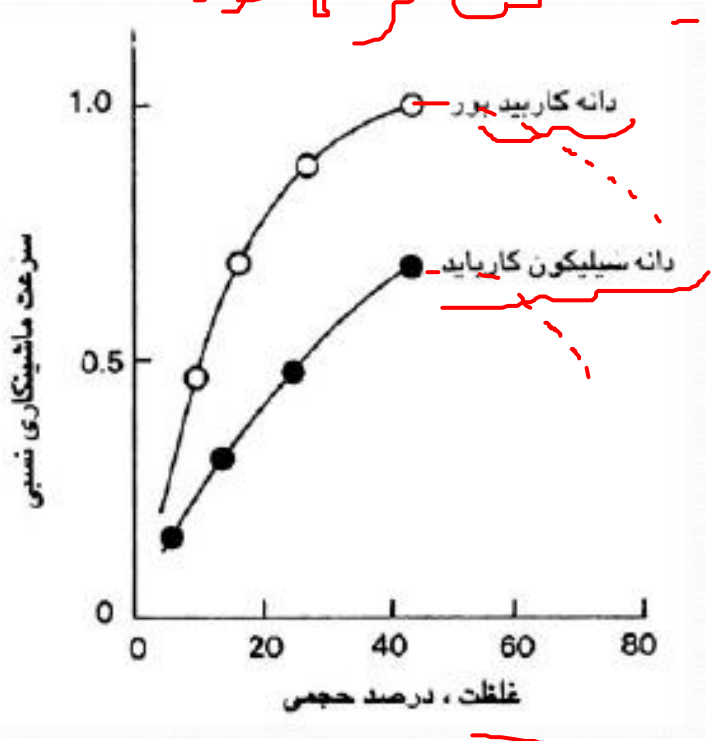


برای هر ترکیب ابزار-ابزارگیر یک فرکانس تشدید وجود دارد.

- فرکانس تشدید بالاتر نرخ باربرداری بالاتری دارد.

تاثیر غلظت گل ساینده روی نرخ باربرداری

* با افزایش غلظت نرخ برادہ برداری بیشتر می شود ولی کارکرد و استفادہ از گل ساینده سخت تر می شود



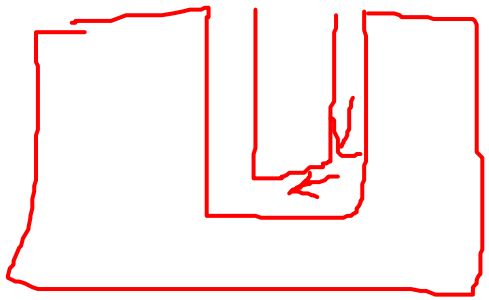
عوامل موثر بر نرخ براده برداری در ماشینکاری اولتراسونیک

- **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.

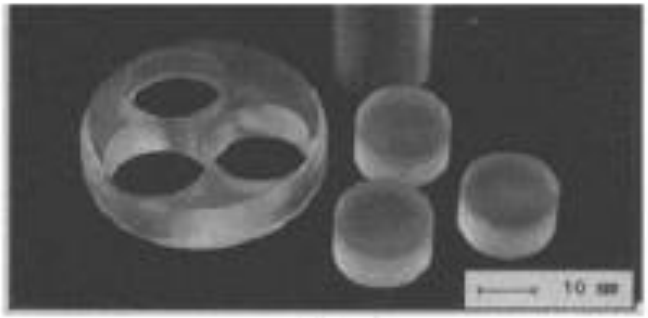
- **عمق ماشینکاری :**

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

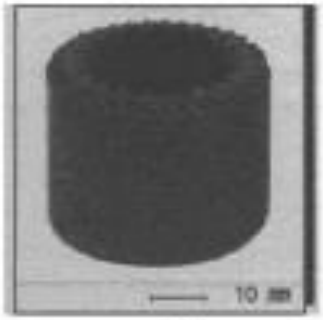


نمونه قطعات

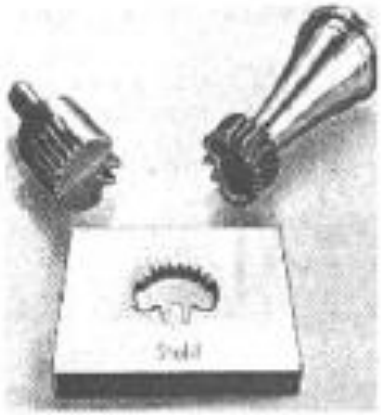
(a)



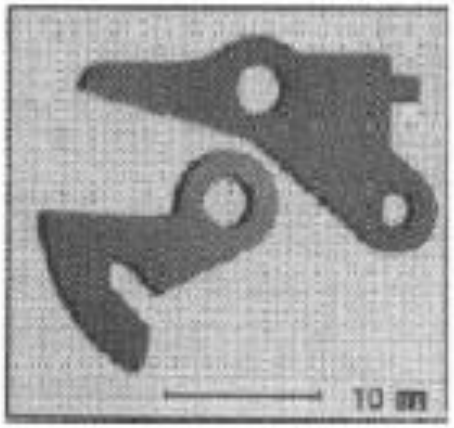
(b)



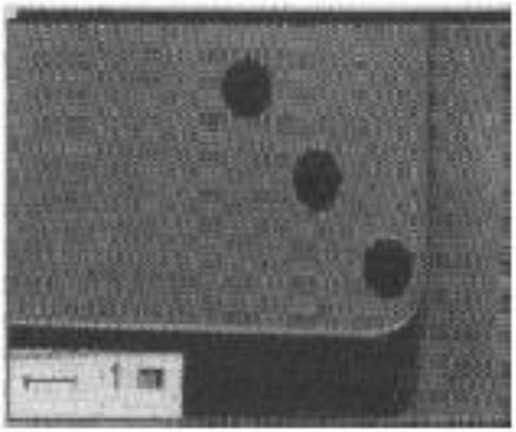
(c)



(d)



(e)



(f)

- a. Engraving a medal made of (یاقوت) 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 (ZrO2) of a textile machine (König, 1990)
- f. Drilling fi ne holes φ = 0.4 mm in glass (Kalpakjian, 1984).

معادلات ارتعاشی مربوط به طراحی ترانسدیوسر (مبدل)

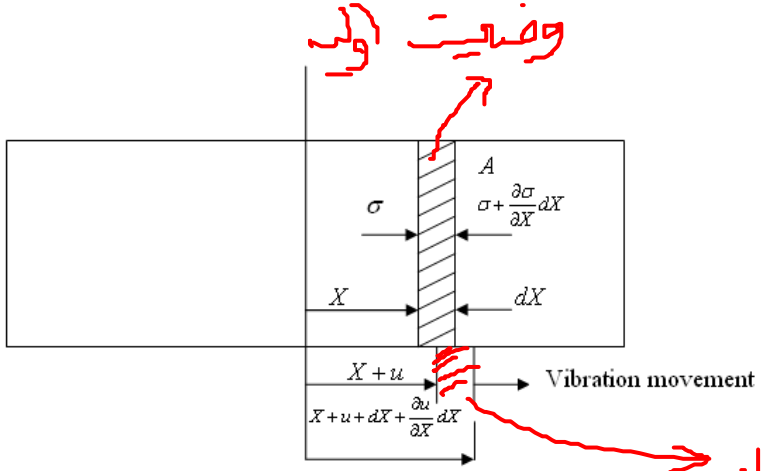


Fig 3-1 Vibration of a constant cross section bar

$$C=\sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad C=\frac{\lambda}{T}\rightarrow C=\lambda f \qquad K=\frac{\omega}{C} \qquad \omega=\frac{2\pi}{T}$$

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

معادله کلی ارتعاشات طولی

معادلات ارتعاشی مربوط به طراحی ترانسدیوسر (مبدل)

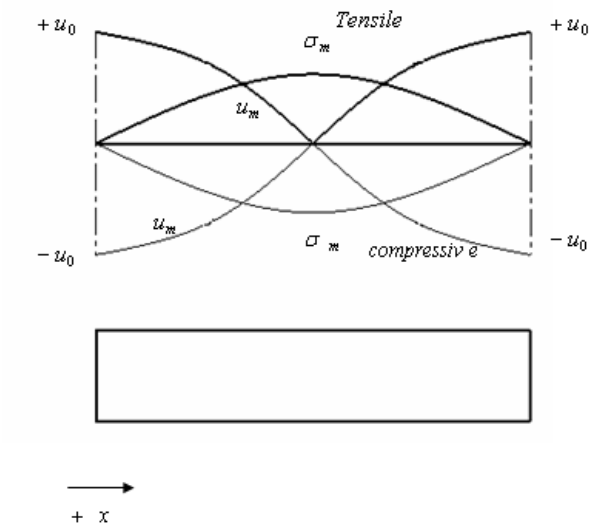


Fig 2-9 Free vibration of a constant cross section bar at resonance frequency with no loss (no pre stress)
$2\sigma_m$ Stress variation and $2u_m$ peak to peak amplitude at different locations

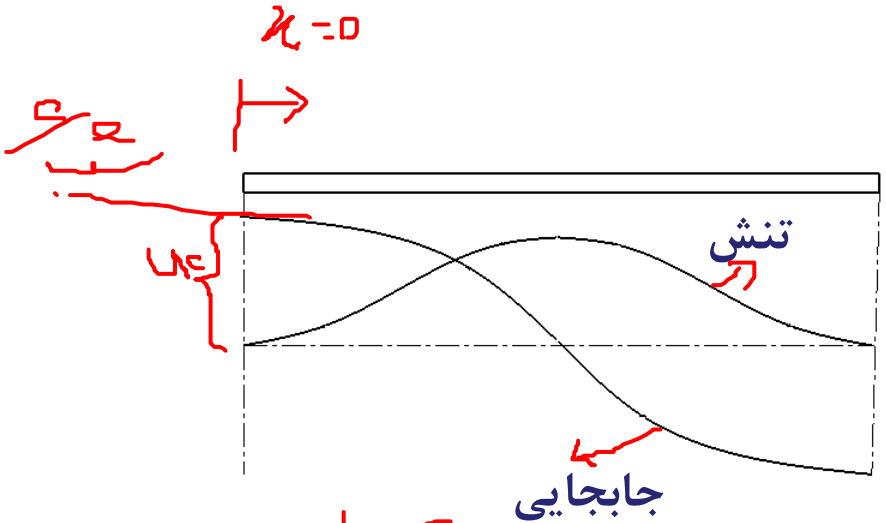
$$u(x,t) = U_0(x)\sin(\omega t), \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \omega U_0(x)\cos(\omega t), \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$
$$= -\omega^2 U_0(x)\sin(\omega t) = -\omega^2 u(x,t)$$

با جایگذاری در معادله
کلی ارتعاشات طولی

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

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

معادلات ارتعاشی مربوط به طراحی ترانسدیوسر (مبدل)



شرایط مرزی

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

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

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

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

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

معادلات ارتعاشی مربوط به طراحی ترانسدیوسر (مبدل)

با توجه به صفحه قبل

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

با جایگذاری در معادله ای که قبلا به دست آمد

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

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

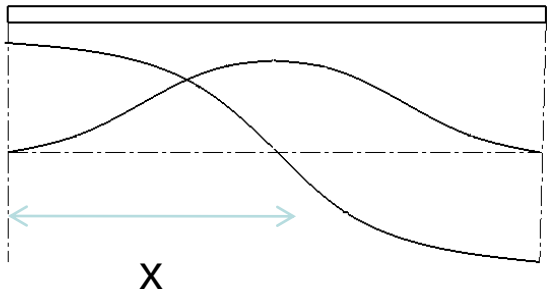
$$@x = 0 \Rightarrow U_0 = u_0 \Rightarrow A = u_0$$

معادلات ارتعاشی مربوط به طراحی ترانسدیوسر (مبدل)

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

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

مثال



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

$$L = n\frac{\lambda}{2}$$

$$x = \frac{L}{2} \Rightarrow U_0(x) = 0$$

$$\Rightarrow u_0 \cos\left(\frac{w}{c} \times \frac{L}{2}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{w}{c} \times \frac{L}{2} = \frac{\pi}{2}$$

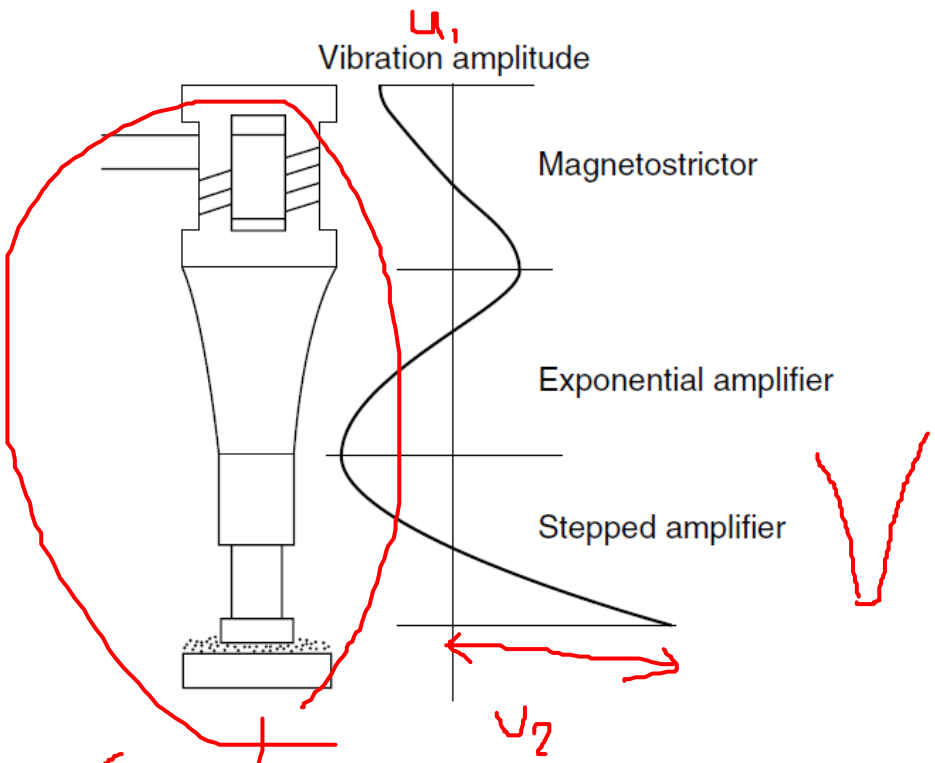
$$\frac{w}{c} \times L = \pi \Rightarrow L = \frac{\pi c}{w} = \frac{\pi c}{2\pi f}$$

$$\Rightarrow L = \frac{c}{2f}$$

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

$$\Rightarrow L = \frac{c}{2 \times c/\lambda} = \frac{\lambda}{2}$$

افزایش دامنه ارتعاشات در مبدل



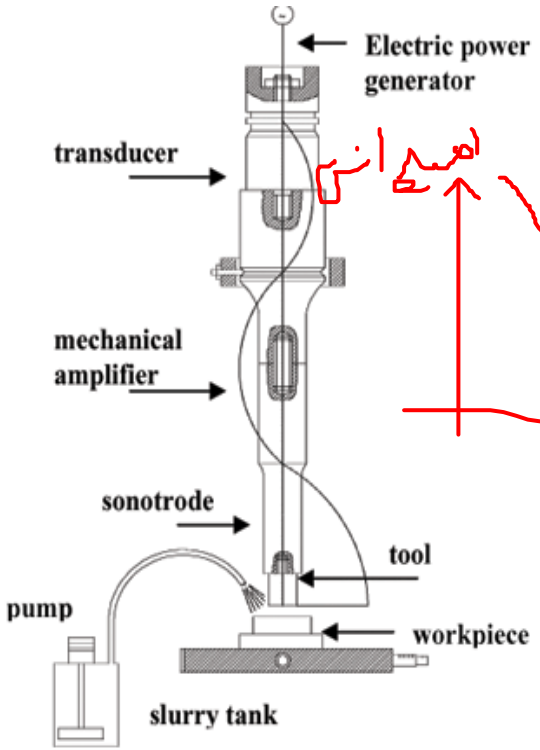
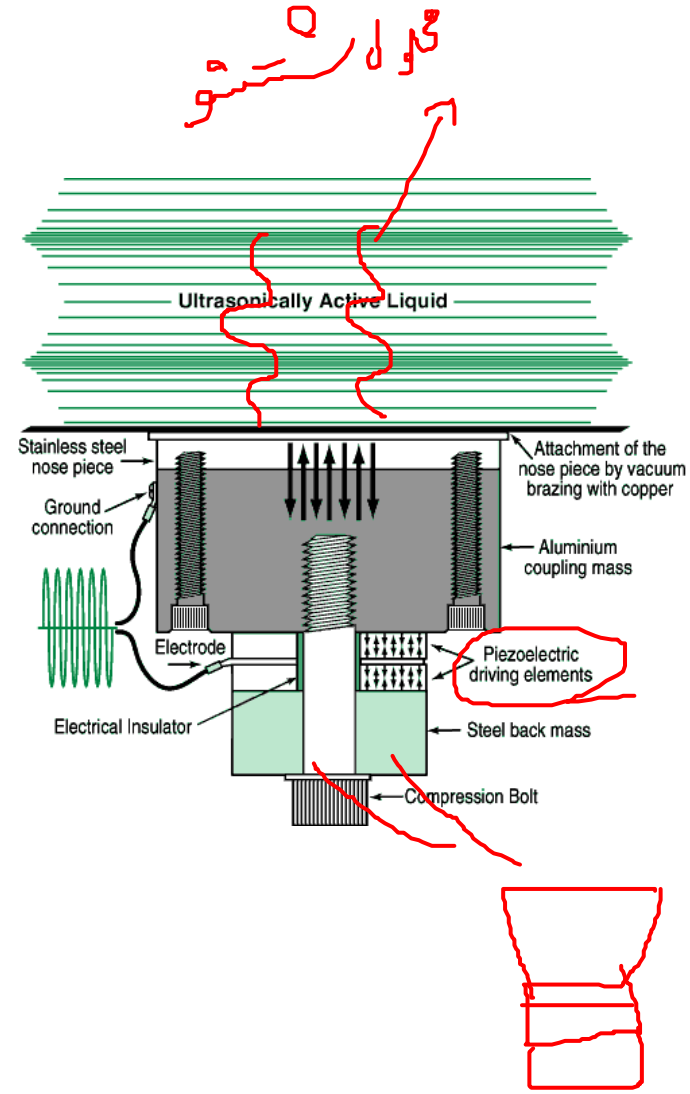


Figure 1. Schematic representation of the USM apparatus.

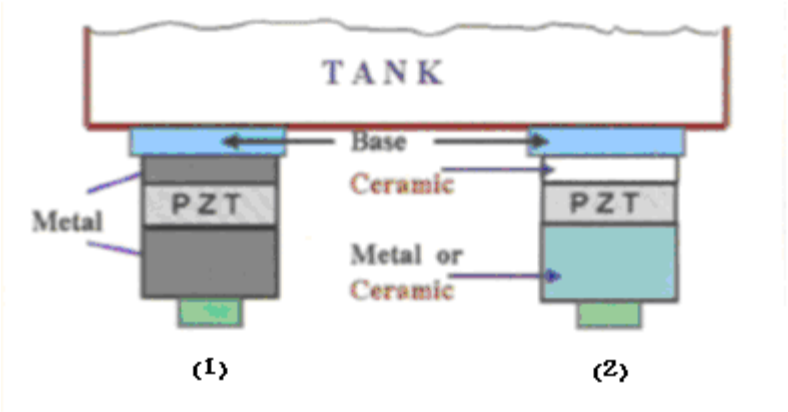
شستشوی اولتراسونیک



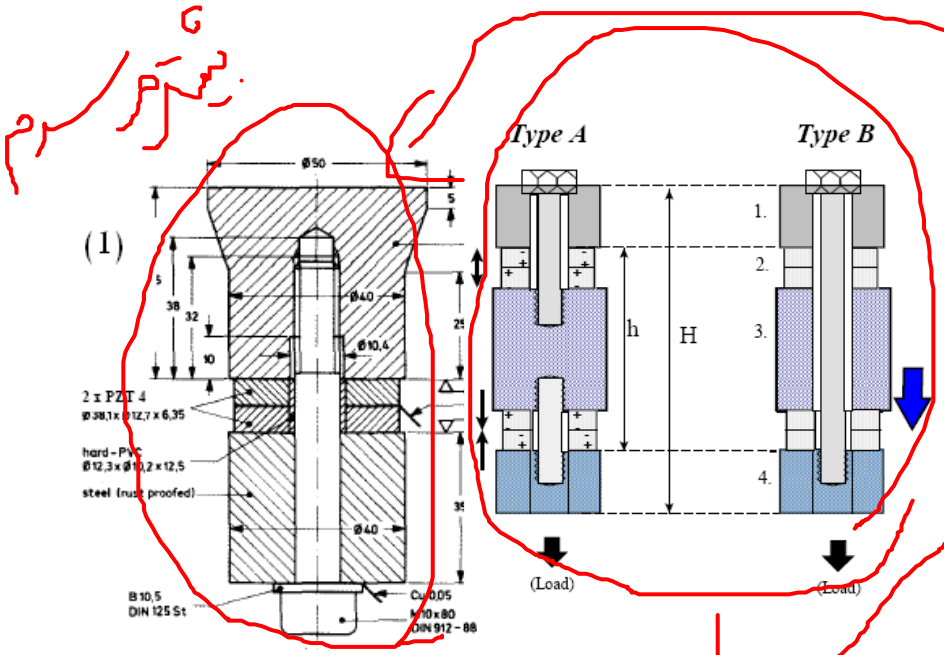
- شستشوی آلتراسونیک در بخش های گوناگون مانند صنعت قطعات اتومبیل سازی، نیمه هادی ها, الکترونیک, دیسک گردان های کامپیوتر, تولیدات پزشکی و دارویی, آماده کاری سطح برای روکش دهی دقیق و آبکاری, هوافضا، تمیزکاری عمومی فلزات، بلبرینگ های دقیق و بسیاری از تولیدات مصرفی از جواهر آلات تا تفنگ کاربرد دارد.
- تمیزی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

مکانیزم شستشوی اولتراسونیک

- 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.



انواع ساختارهای مورد استفاده در ترانسدیوسرهای توان بالا



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

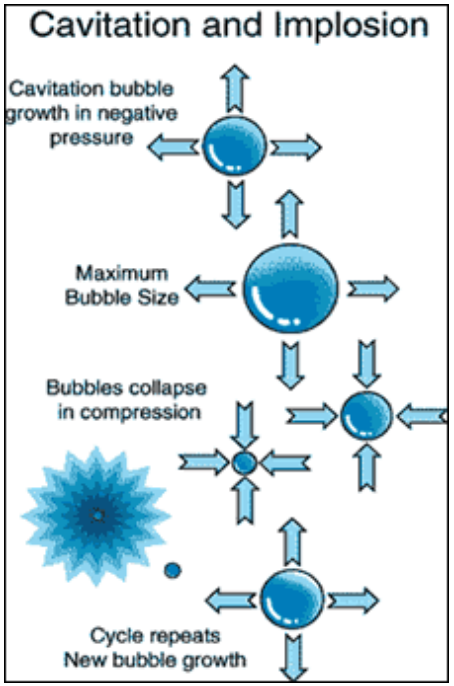
2. **ساختار ساندویچی ترانسدیوسر آلتراسونیک, پیچ در اطراف**: امکان وارد آوردن پیش تنش بیشتر, توزیع مناسب تر تنش روی قرص های پیزوالکتریک

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

کاویتاسون

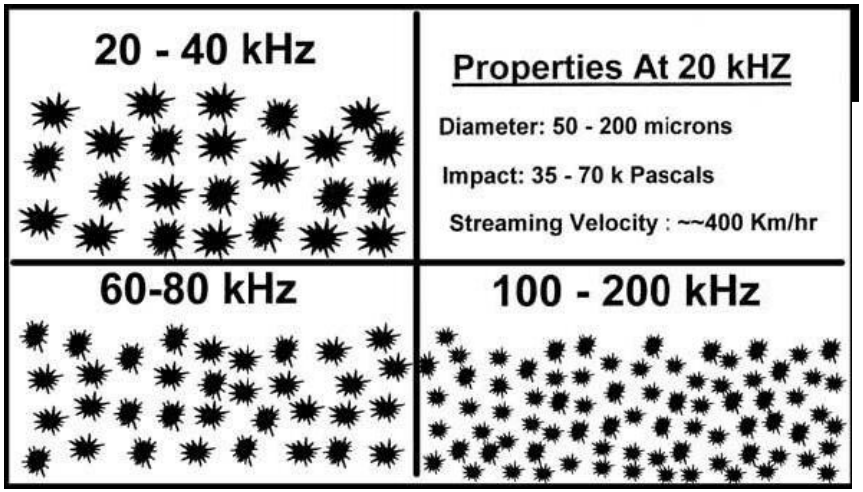
- دمای موضعی در هنگام انفجار حباب ها حدود ۵۰۰۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱۰۰۰۰۰ بار می باشد.

- 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



انتخاب فرکانس و توان برای فرآیند شستشو

- 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.



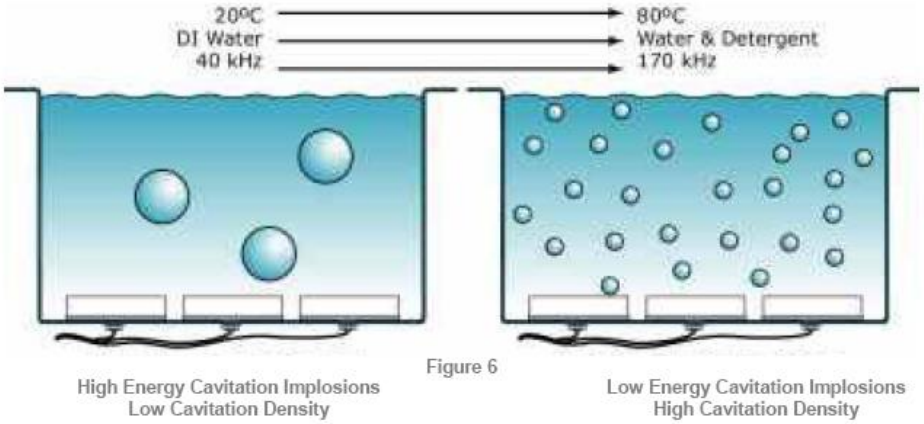


Figure 6

پایان جلسه هشتم