

جلسه پنجم: سازه ماشین ابزار



وظایف سازه ماشین ابزار:

نگهداری قطعات ماشین

استحکام در برابر نیروهای وارده به ماشین در اثر فرایند ماشینکاری و حرکت محورها

حیثیت

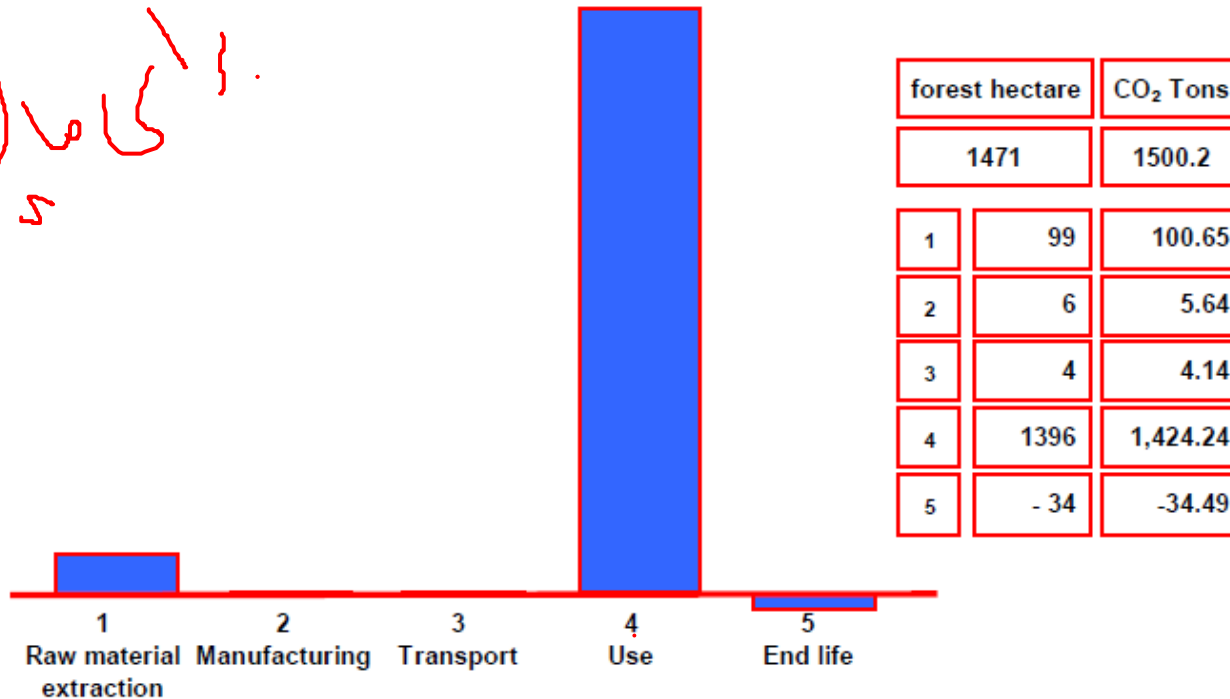
نیازمندی های طراح ماشین ابزار:

حداقل تغییر شکل سازه در برابر نیروهای فرآیند تولید

حداقل مصرف انرژی و ماده

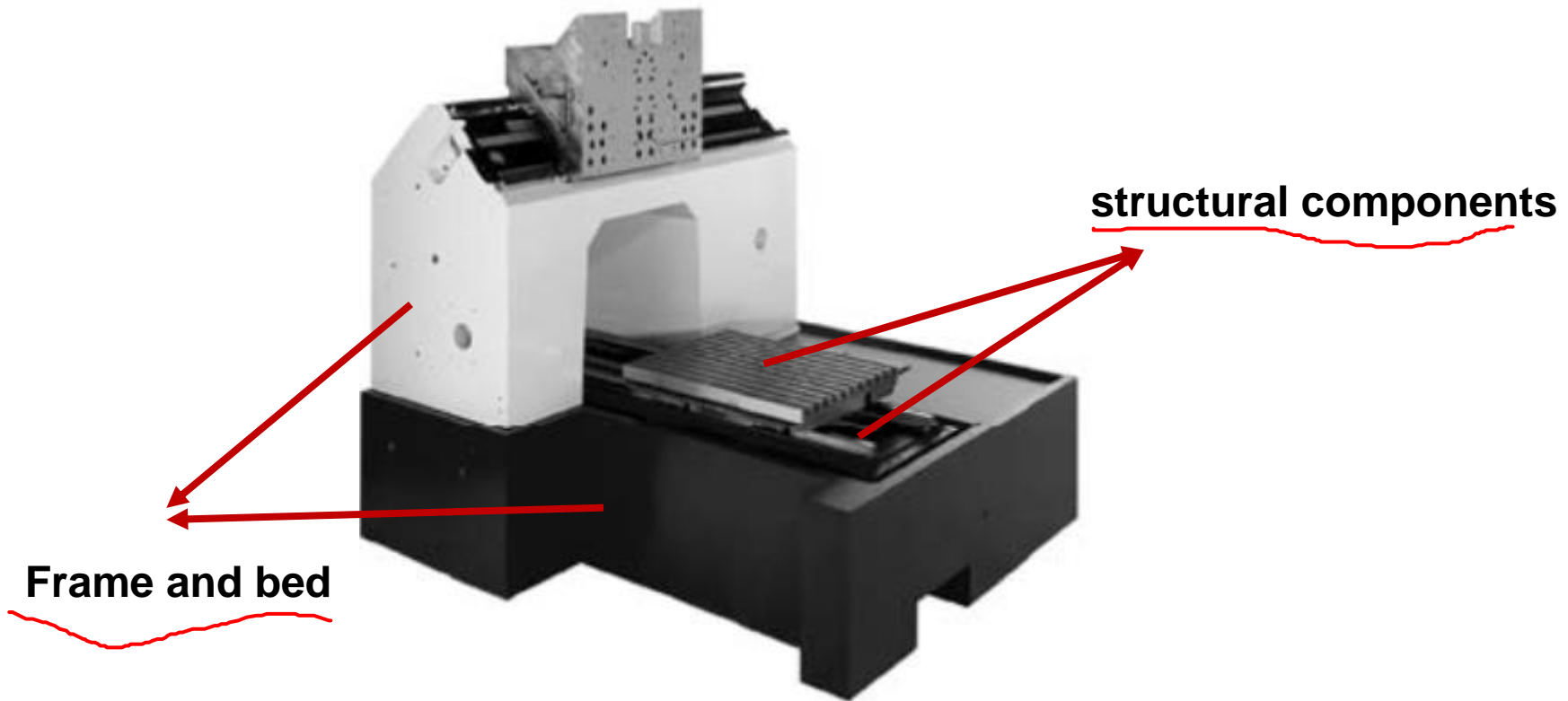
گاهرا کاتولید سازه

این ماشین استفاده



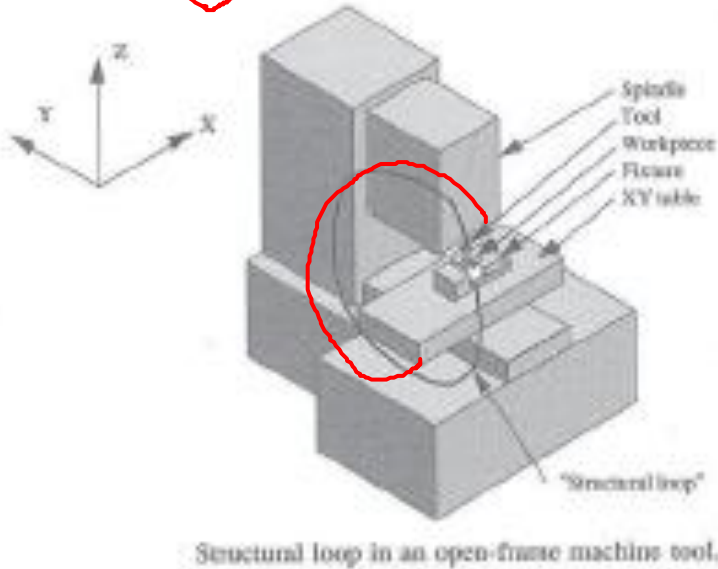
LCA of a machine by Nicolas Correa

تکلیف حرفه عمر



انواع طراحی های سازه ماشین ابزار

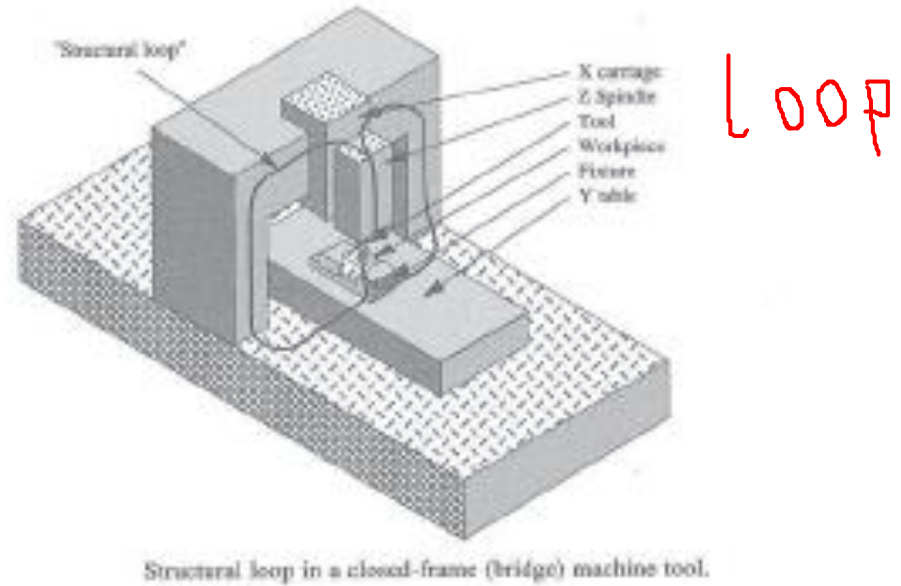
① open loop



C or G (knee) frames



② close



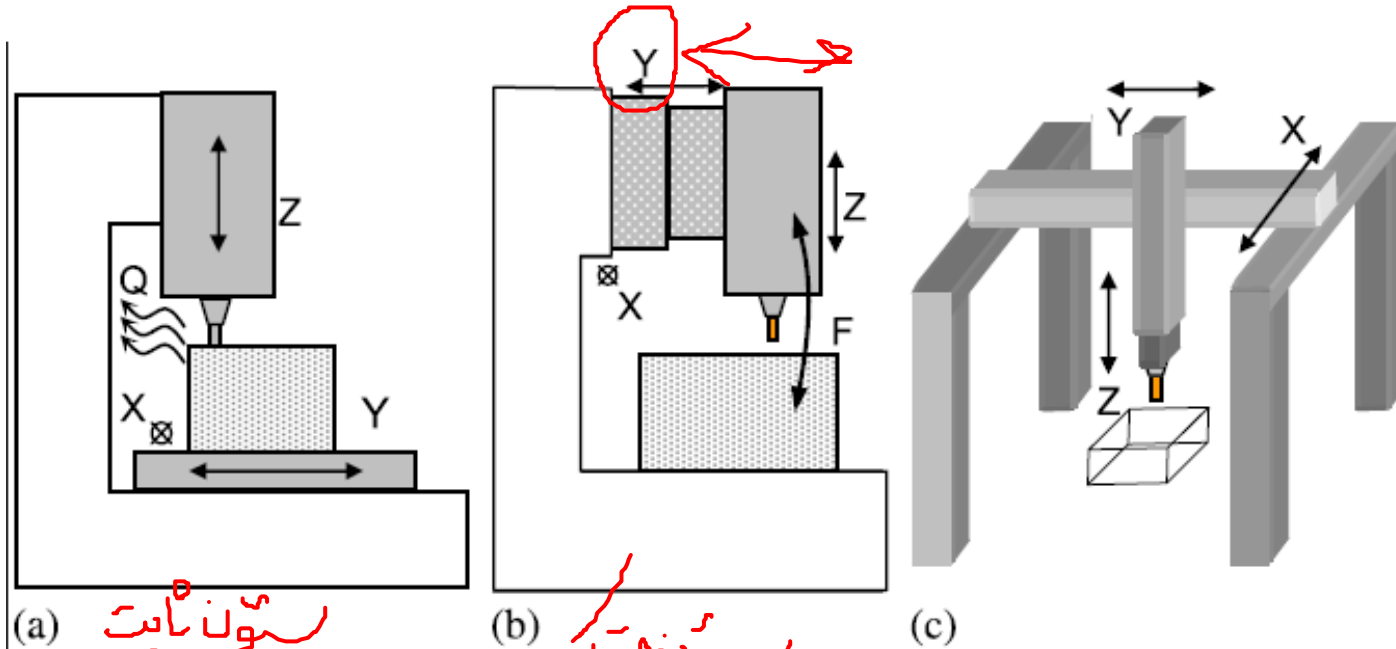
Loop

bridge or gantry structure

- **Two structure design concepts are used, the *open-loop* and *closed-loop* configurations. In the first case the process forces are conducted to the ground. through just one structural way, whereas in the closed case forces are derived by several ways to the ground. Obviously, in the first case the structure is weaker, therefore a higher error measured at the tool tip position is produced by machine deformation due to the cutting forces; in the second case, stiffness measured at the tool tip increases. On the other hand, and for the same machine size, the first type usually offers more workspace and workzone accessibility for part handling than the second.**

در حالت مدار باز، نیروها و حرارت ماشینکاری فقط از یک مسیر به زمین منتقل می شوند ولی در نوع مدار بسته از مسیرهای مختلفی نیروها به زمین منتقل می شوند. استحکام نوع مدار باز کمتر از مدار بسته است و تغییر شکل ها بیشتر و خطاهای بزرگتری را شاهد خواهیم بود.

انواع طراحی های سازه ماشین ابزار



ستون ثابت
میل برقی قطعی

ستون متحرک

a. Fixed column C-frame. **b** Transverse column C-frame.
c Gantry with a travelling beam, with all movements in the tool

در نوع ستون ثابت حرارت راحت تر به بدنه ماشین منتقل می شود و از این جهت یک نکته منفی دارد که بیشتر در معرض حرارت است. نوع ستون ثابت صلب تر است و خطای کمتری دارد. نوع ستون متحرک آزادی عمل بیشتری به اپراتور میدهد



ماشین فرز با ستون متحرک

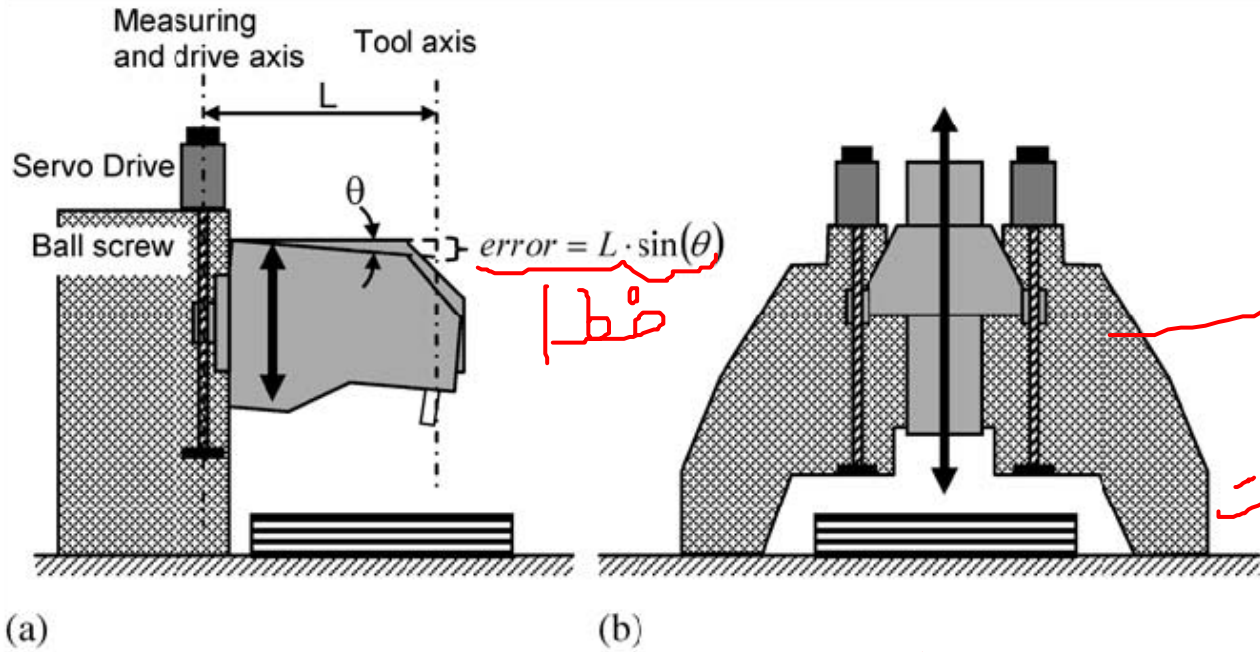
فرز نوع Gantry



- The characteristic open-loop for milling machines is the C or G (knee) frames, very common in small machines. The access to the workzone is easy, but this structure is sensitive to thermal and mechanical charges (torsion and flexion) with an asymmetrical response. The frame overhang produces **Abbe errors** on the workpiece (see Sect. 6.2.3). In Fig. 1.10 two designs are presented. Thus, case (a) is the “fixed column”, stiffer but affected by heat coming from the machining process, and moving different masses depending on the workpiece weight as well. The second is the “travelling column”, less stiff but moving the same mass all the time; another advantage is that it allows the part to be set up in one zone while milling runs in the other if the machine table is sufficiently long.
- With respect to closed-loop frames, the bridge or gantry structure is used for medium and large machines, which usually perform heavy-duty work or finishing on big parts. In some cases the bridge is fixed and table moves, in others the workpiece is fixed and all movements are by the bridge or a travelling beam placed on the bridge (case c in Fig. 1.10).

Abbe errors: تبدیل خطاهای زاویه ای به خطاهای خطی ماشین ابزار در طول زیاد. اگر به عنوان مثال در شکل **b** دو درجه خطا داشته باشد در محل ابزار این خطا به خطای بزرگی تبدیل می شود. به این نوع خطا خطای **abbe** گفته می شود

Abbe's Error



خطا

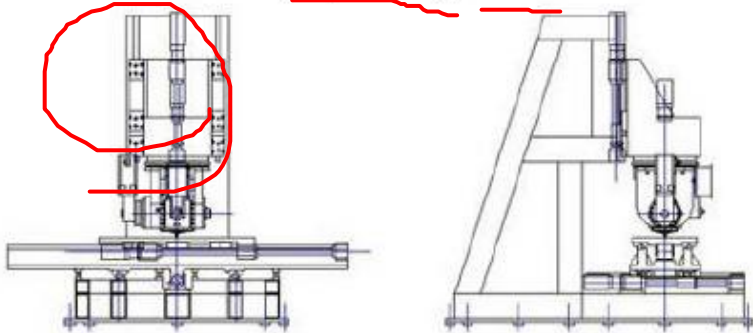
خطای نسبی نسبت به اندازه

هر قدر طول ستون بیشتر شود خطایم به نسبت کم می شود

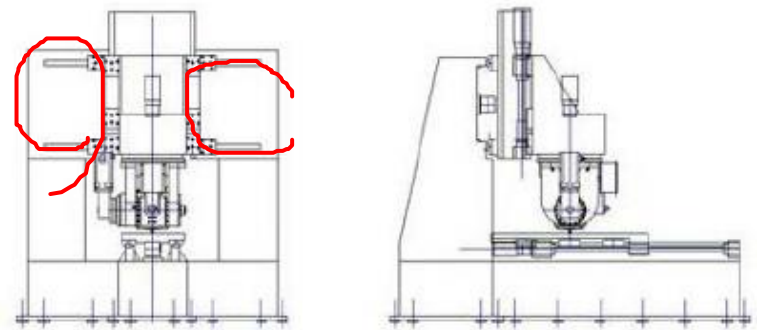
Two different machine designs. **a** With Abbe's error. **b** With Abbe's error reduction

انواع طرح های مختلف ماشین ابزار

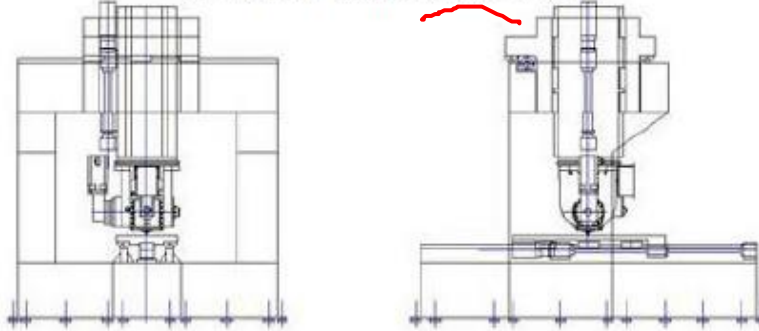
1) Open-loop, C frame



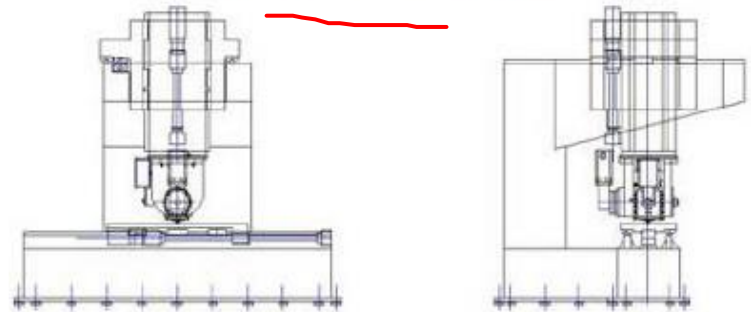
2) Closed-loop, C frame



3) Closed-loop, Bridge frame

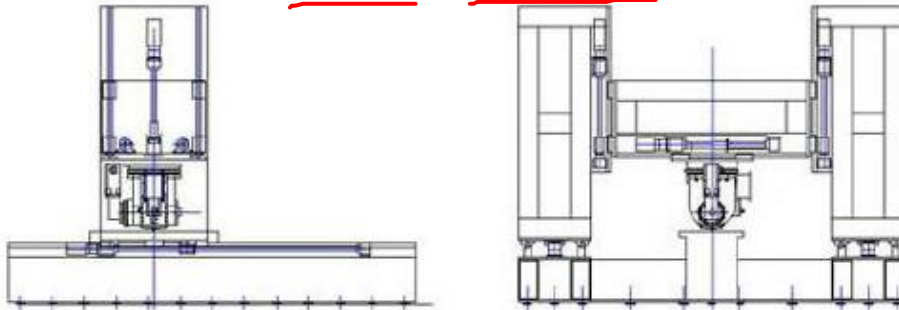


4) Open-loop, C frame

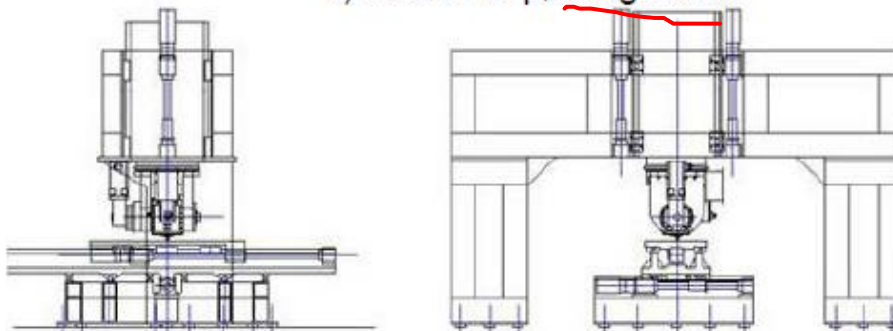


انواع طرح های مختلف ماشین ابزار

5) Closed-loop, Bridge frame



6) Closed-loop, Bridge frame



مقایسه انواع طرح های مختلف ماشین ابزار

صورت مساله: برای دستگاه فرز خشن تراش که بخواهد عملیات **FSW** نیز در آن انجام شود سازه مناسب را پیشنهاد دهید

تقسیم گیری > معیار روش < AHP = TOPSIS از ...

	Machine architecture					
	1	2	3	4	5	6
Stiffness → سفتی	1.0	2.0	2.5	2.0	4.0	1.0
Cost → هزینه	4.0	2.0	1.5	3.0	2.0	2.5
Accessibility → قابلیت دسترسی	4.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.5
Flexibility → انعطاف	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0
Homogenous behaviour → رفتار همگن	3.0	1.0	2.0	1.0	4.0	4.0
Occupied room → فضای	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Risk → ریسک	3.0	1.0	2.0	1.0	4.0	4.0

جنس های معمول سازه ماشین ابزار

□ **چدن:** مرسوم ترین جنس به دلیل پایداری، قابلیت ریخته گری و ماشینکاری، قابلیت دمپ ارتعاشات و خودروانکاری

ارزان و در دسترس

□ **گرانیت:** جنس مورد استفاده در ماشین های ابزار بسیار دقیق و خاص مانند دستگاه CMM. معمولا برای شرایط خشک مورد استفاده قرار می گیرد.

□ **سازه جوشکاری شده:** برای جایی استفاده می شود که (۱) کاهش هزینه سازه بزرگ مورد نیاز است (۲) نیازی به ضریب دمپینگ بالای ارتعاشات نیست یا از ماده دیگری برای آن منظور استفاده می شود (۳) ابعاد سازه انقدر بزرگ است که ریخته گری و تنش گیری صرفه اقتصادی ندارد. به عنوان جنس از تمامی فولادهای قابل جوشکاری می توان استفاده نمود.

مشخصات تکمیلی سازه های ماشین ابزار

- چدن: عموماً گفته می شود اگر اندازه ماشین ابزار از اندازه یک خودروی کامپکت کوچکتر باشد استفاده از چدن ریخته گری بهترین گزینه است ولی وقتی که ابعاد بزرگتر از این می شود و بحث هزینه ساخت مطرح می شود می توان سراغ روش جوشکاری پروفیل های I شکل، قوطی، مربعی و ... رفت.

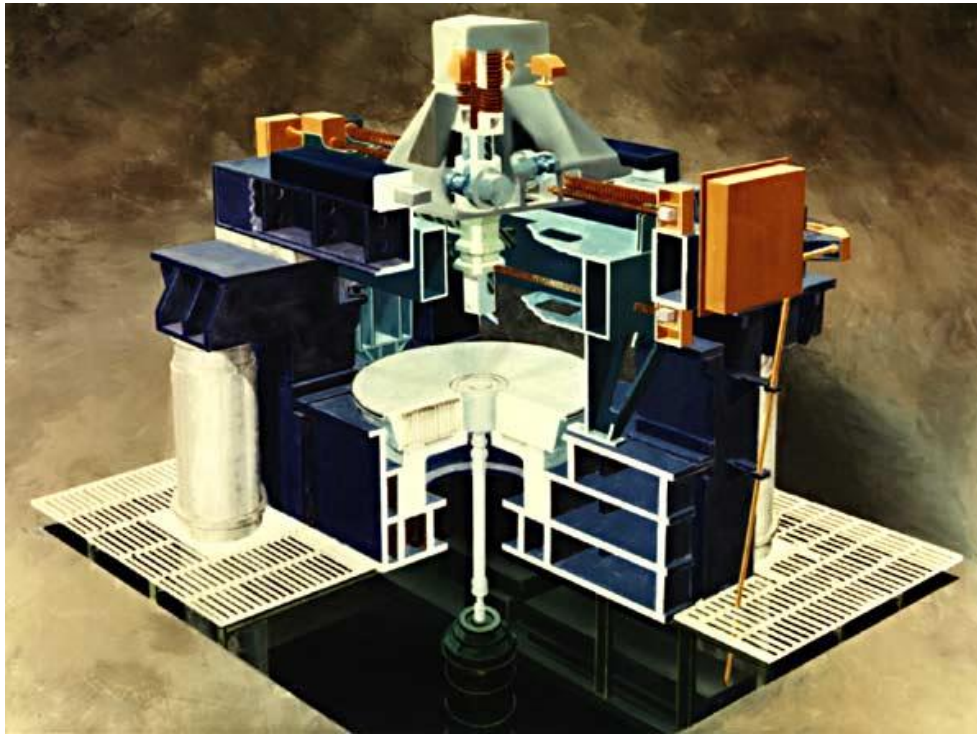
- گرانیت: در اثر جذب رطوبت ناشی از مایع خنک کار باد می کند. البته به این نکته هم باید توجه کرد که بعضی ها اعتقاد دارند میزان بادکردگی گرانیت زیاد نیست. از آنجا که ماده شکننده است امکان استفاده از رزوه در بستر میز گرانیتی نیست و باید از هلیکویل اینزرتی استفاده نمود. تخلخلی که دارد ممکن است سطح آنرا برای یاتاقان هوایی CMM مناسب نکند. چون ضریب انبساط حرارتی گرانیت از همه فلزات کمتر است به این نکته هنگام حمل و نقل و تغییرات دمایی باید توجه نمود تا اگر فلزی به آن متصل است که تحت حرارت تغییر شکل می دهد ساختار ماشین به هم نخورد. رسانایی حرارتی این ماده خیلی کم است در نتیجه حرارت را نمی تواند از خود منتقل کند و چون رنگش هم سیاه است نسبت به حرارت دریافتی حساس است و ممکن است تغییر شکل در اثر حرارت پیدا کند. قیمت چندان بالایی ندارد. چون ترد است گوشه های تیز نباید داشته باشد.

- سازه جوشکاری شده: در این نوع سازه ها باید از **Rib** ها در جاهای مختلف برای افزایش استحکام استفاده نمود. البته باید استحکام نهایی را با شبیه سازی المان محدود چک نمود



Helicoil

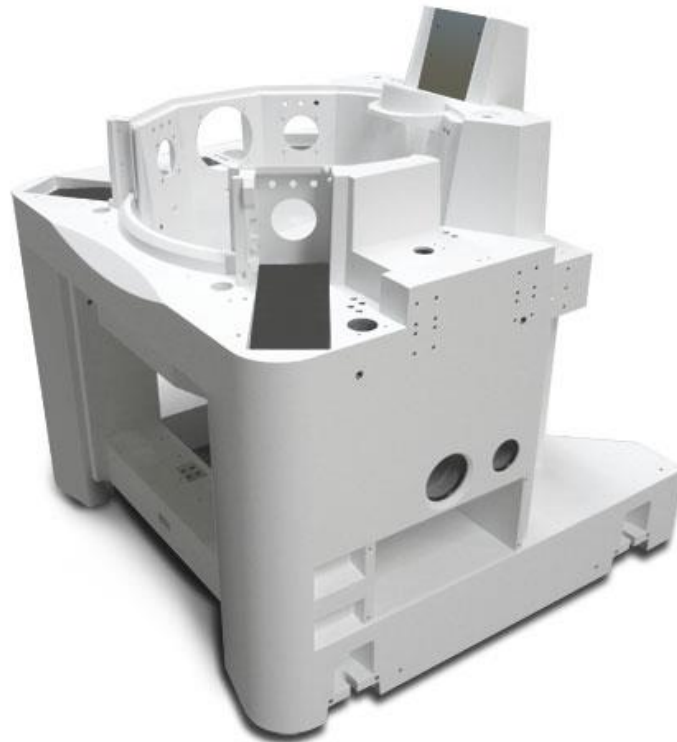
نمونه بستر ماشین تولید شده به روش جوشکاری



در این ماشین از اب برای خنک کاری بدنه و کنترل دمای آن استفاده می شود. اب در این ماشین می چرخد. از اینترفرومتر هم برای اندازه گیری حرکت با دقت خیلی زیاد استفاده می کند. یک دستگاه تراش عمودی است. دستگاه برای ماشینکاری قطعات اپتیکی با دقت 0.03 میکرون ساخته شده است. ابزار از جنس الماس و صافی سطح 42 آنگستروم.

جنس های معمول سازه ماشین ابزار

- ❑ کامپوزیت های پلیمری: مهمترین مزیت آن دمپینگ بالای است. مشکل استفاده از آن قیمت زیاد است.
- ❑ ضریب رسانایی گرمایی خیلی کم آن است.



جنس های معمول سازه ماشین ابزار

	Polymer concrete	Granite
Young's modulus E	$0.4-0.5 \cdot 10^5$ MPa	$0.47 \cdot 10^5$ MPa
Density	$2,300-2,600$ kg·m ⁻³	$2,850$ kg·m ⁻³
Damping ratio	D = 0.002–0.03	D = 0.03
Thermal expansion	$11.5-14 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	$8 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹

	Steel	Grey cast iron	Ductile cast iron
Young's modulus	$2.1 \cdot 10^5$ MPa	$0.8-1.48 \cdot 10^5$ MPa	$1.6-1.8 \cdot 10^5$ MPa
Density	$7,850$ kg·m ⁻³	$7,100-7,400$ kg·m ⁻³	$7,100-7,400$ kg·m ⁻³
Damping ratio	0.0001	0.001	0.0002–0.0003
Thermal exp. coeff.	$11 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	$11-12 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	$11-12 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹

Carbon fiber composites

	Middle modulus	High modulus	Ultra-high modulus
Young's modulus	$1-1.8 \cdot 10^5$ MPa	$1.7-2 \cdot 10^5$ MPa	$2-3.7 \cdot 10^5$ MPa
Density	$1,550-1,600$ kg·m ⁻³	$1,550-1,600$ kg·m ⁻³	$1,550-1,600$ kg·m ⁻³
Damping ratio	0.001–0.05	0.001–0.05	0.001–0.05
Thermal expansion	$12 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	$12 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	$12 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹

تحلیل های سازه ای ماشین

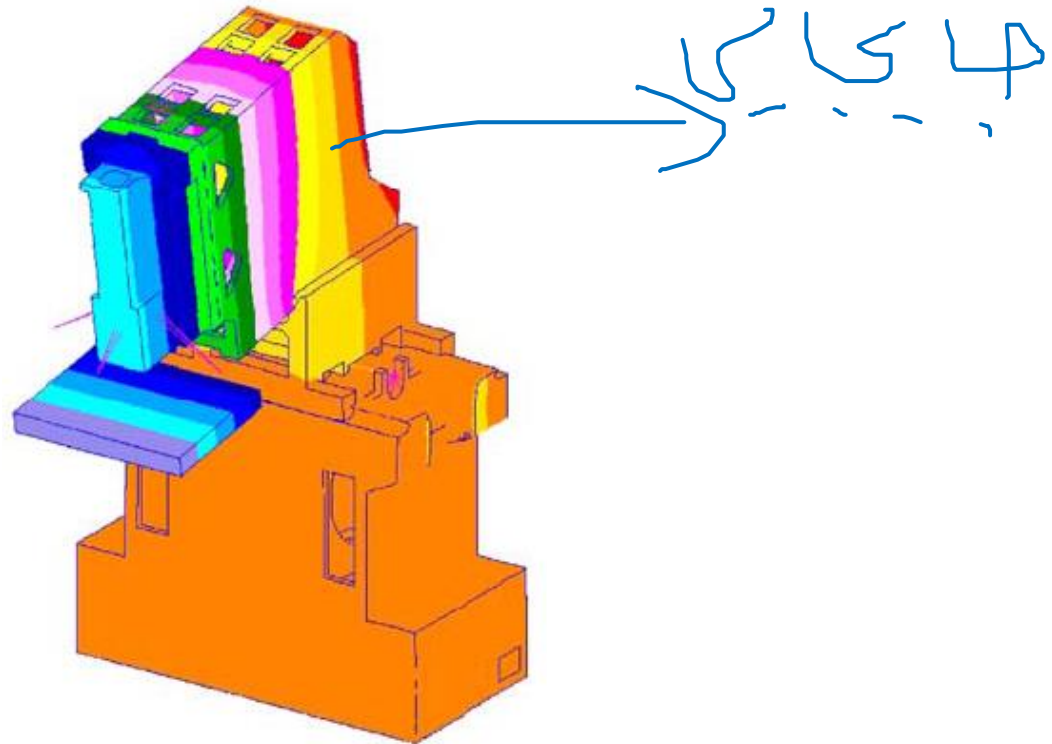
• این نوع تحلیل ها از سه بخش تشکیل شده اند:

- تحلیل استاتیکی
- تحلیل ارتعاشی و فرکانسهای طبیعی
- تحلیل دینامیکی در حضور نیروهای ماشینکاری

برای آشنایی کردن
طراحی ماشین ابزار

نرم افزار Ansys
ANSYS

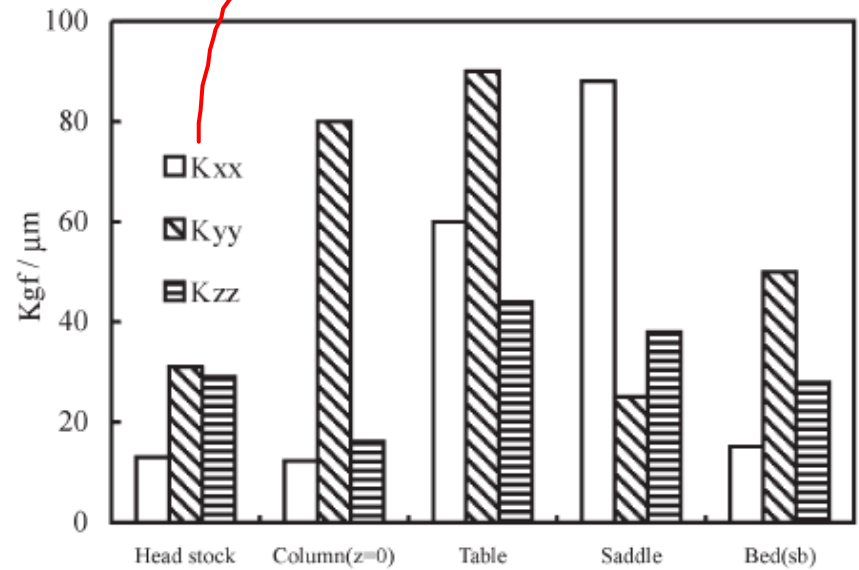
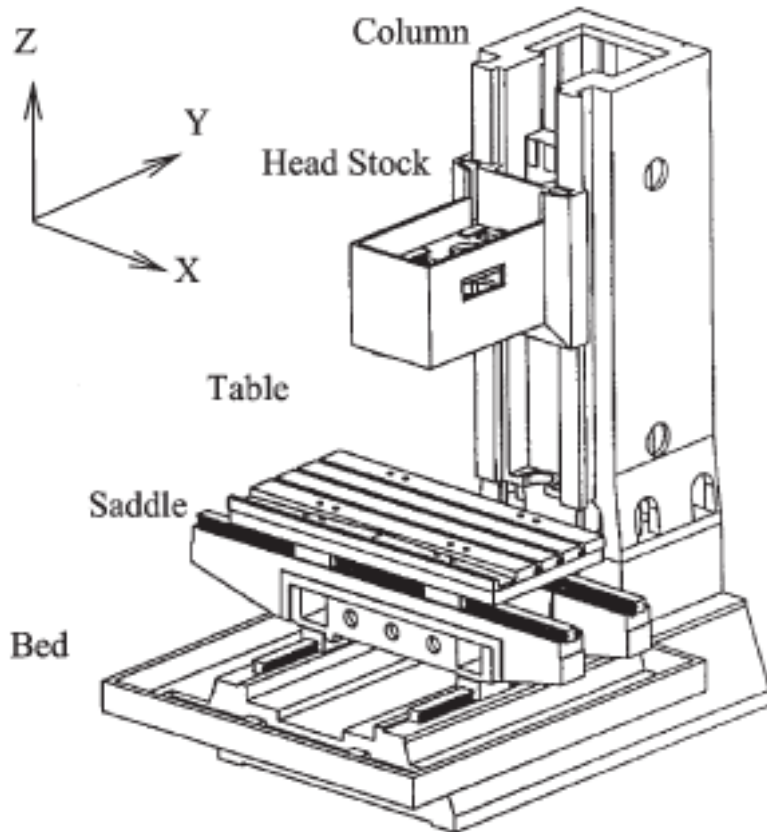
تحلیل های سازه ای ماشین



Deformation of an electro-discharge machine, calculated by FEM. Maximum deformation is $12 \mu\text{m}$ when it holds a heavy electrode

ابزار

معیار سفتی



Kgf/um در واقع سفتی به ازای کیلوگرم نیرو بر هر میکرومتر است. یعنی برای هر میکرومتر جابجایی چقدر نیرو مورد نیاز است.

هدف از طراحی اجزای سازه ای ماشین داشتن اجزای سازه ای متحرک با حداقل وزن است که نیازمندی های مکانیکی (سازه ای، حرارتی و ارتعاشی) آن در محدوده مجاز باشد.

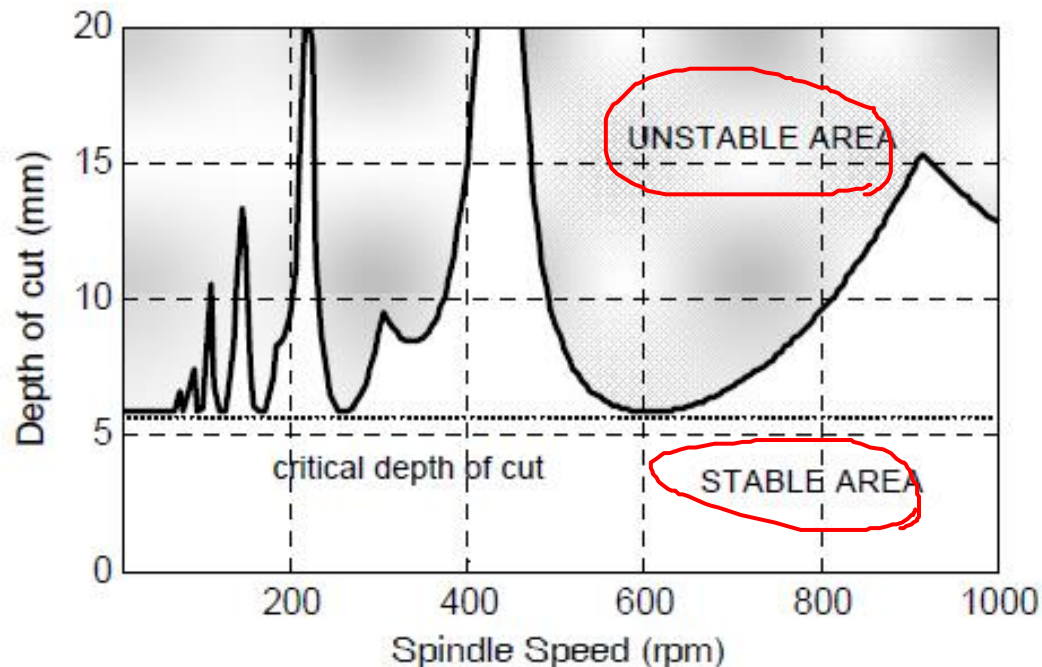
Process	Average force in feed direction	Acceptable deformation
Roughing	Conventional tools: 1,500 N 100–125 mm. diam. tools: 3,000 N	Average: 100 μm
Semi-finishing	Conventional tools: 1,000 N	Average: 50 μm
Finishing	Conventional tools: 200 N	Average: 10 μm

Average forces and acceptable deformations for different milling operations

معیارهای طراحی ماشین ابزار

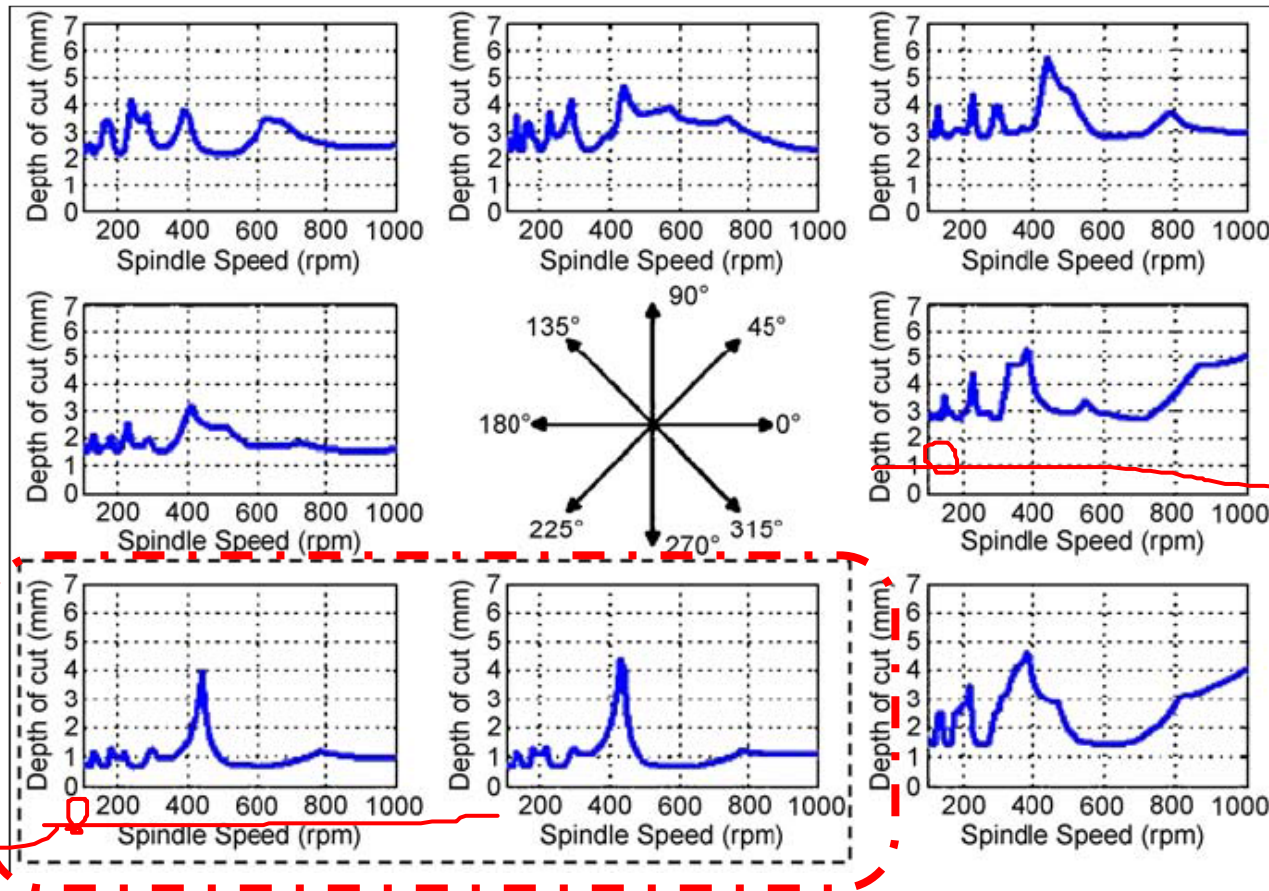
تأثیر ارتعاشات

برای بررسی تأثیر ارتعاشات روی ماشین ابزار از منحنی های پایداری ارتعاشی (stability lobe diagram) استفاده می شود.



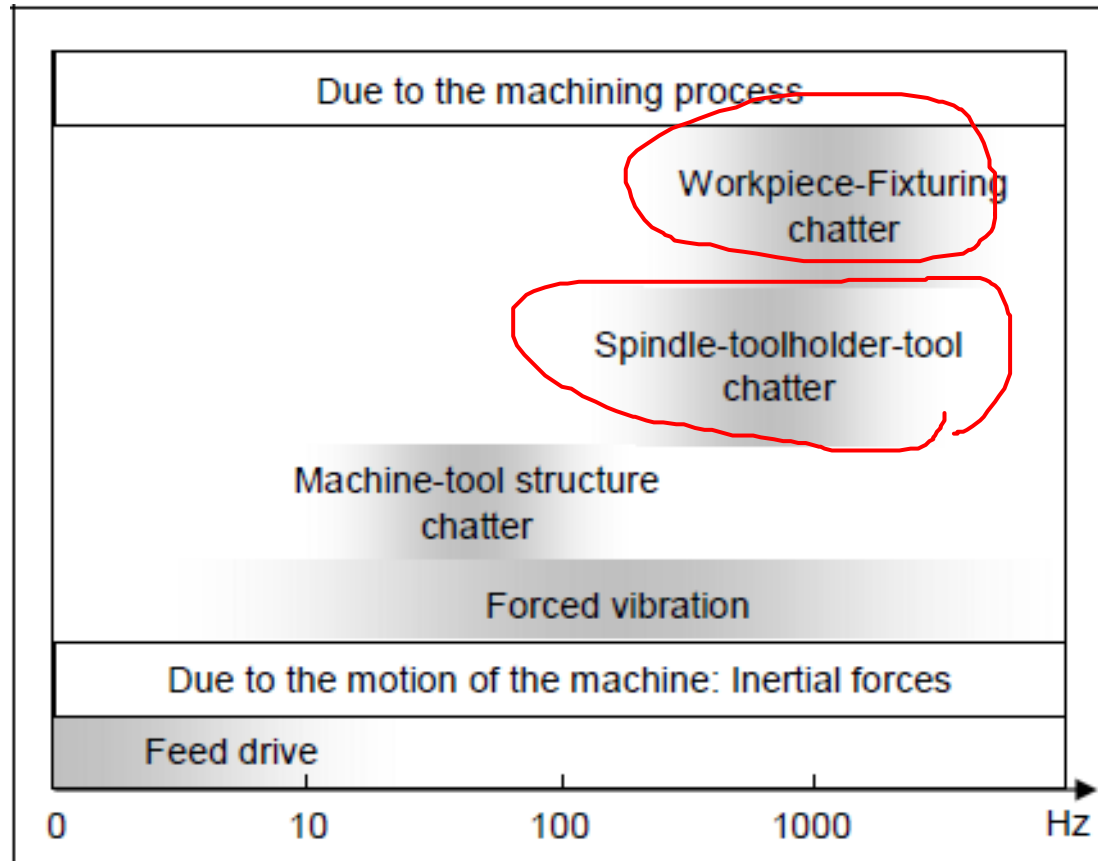
برای بدست آوردن این نمودارها ابتدا رابطه بین فرکانس چتر، عمق برش و سرعت اسپیندل پیدا می شود سپس در عمق های مختلف فرکانس چتر به دست می آید و نمودار با استفاده از آن رسم می شود.

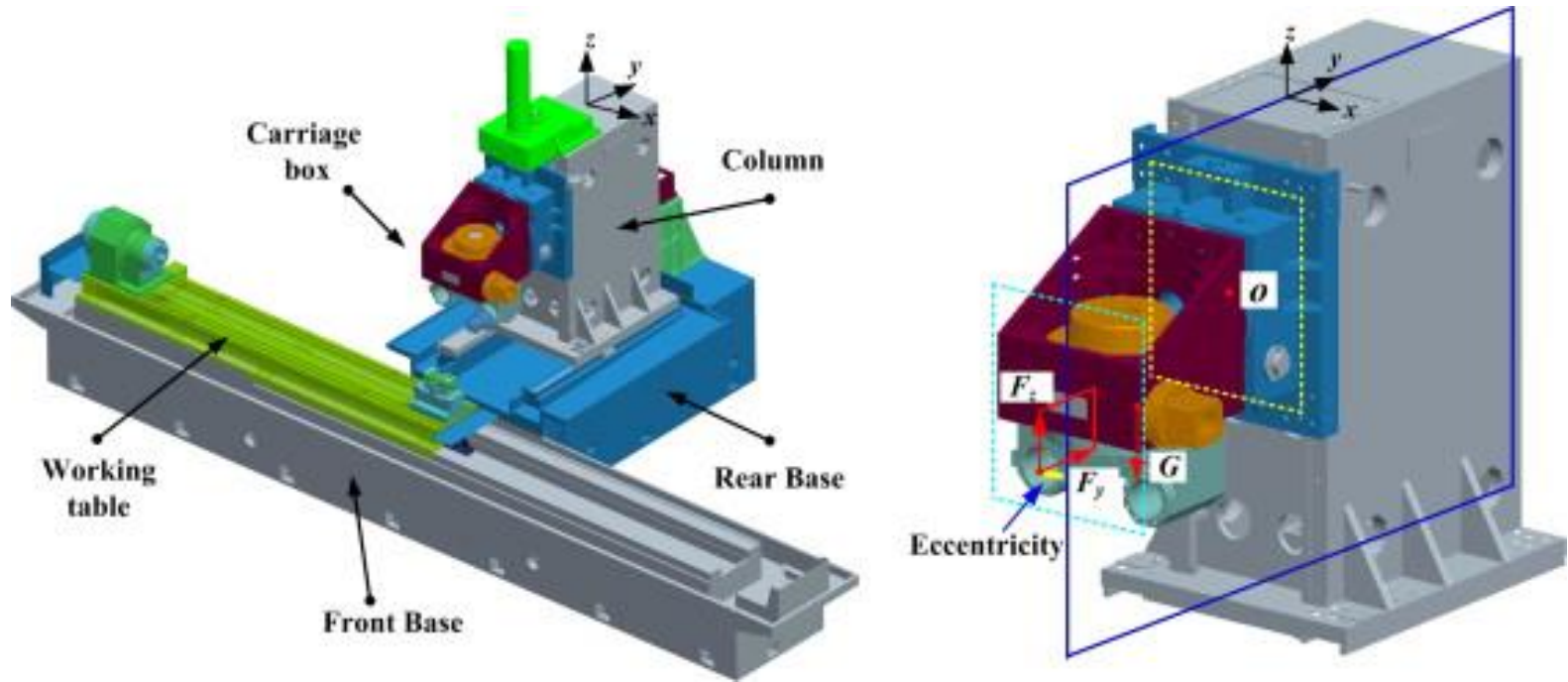
تأثير ارتعاشات روی پایداری عملکرد ماشین ابزار



Lobe diagrams for a position of a milling machine, along several feed directions
 An example is described in Fig. 1.13, for a milling machine making a rough downmilling on steel along several directions. In the dashed square in this figure are the two most restrictive directions. Along them, an axial depth of cut less than 1 mm must be applied to avoid chatter.

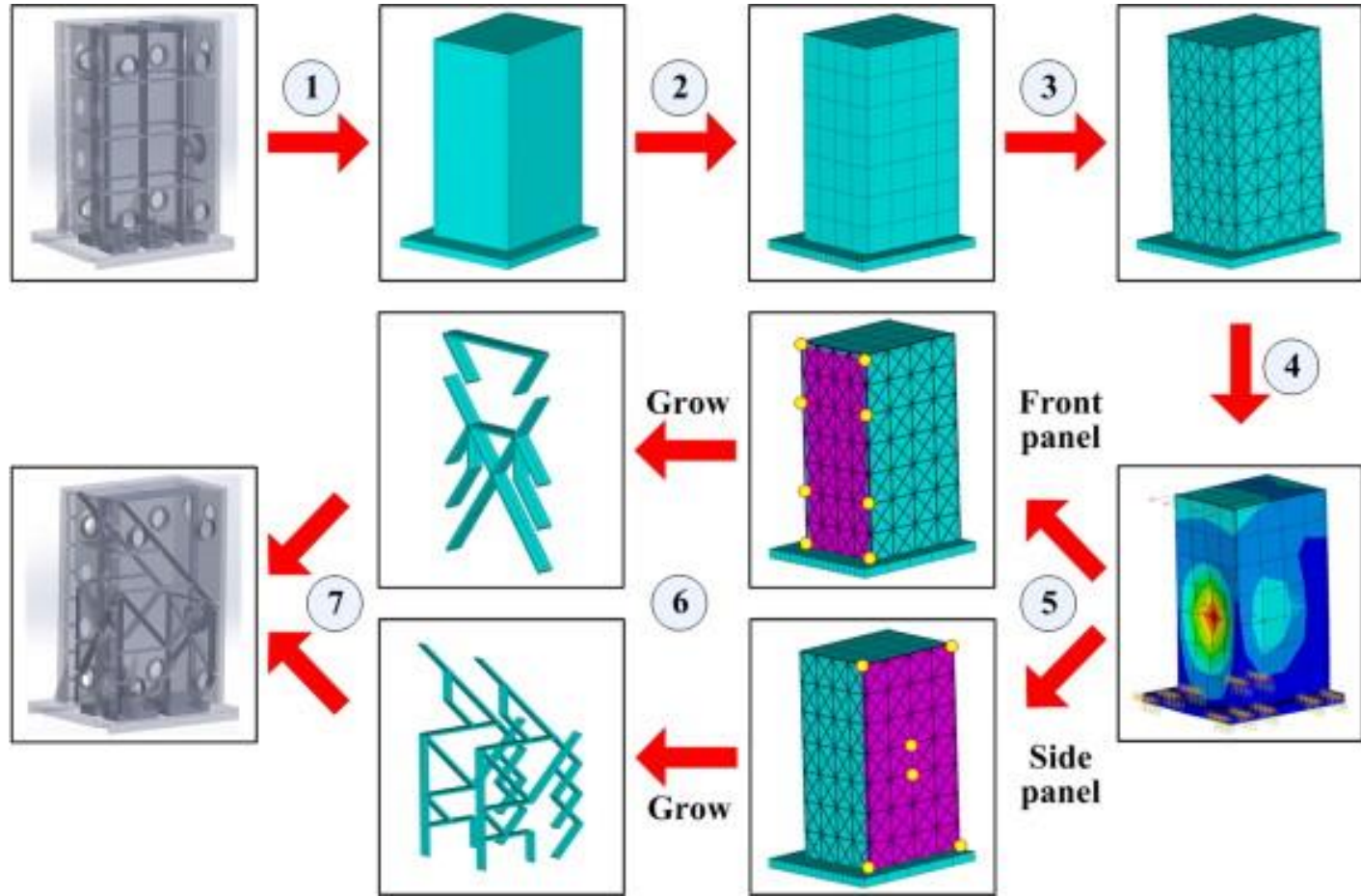
انواع ارتعاشات ماشین ابزار از جهت فرکانس

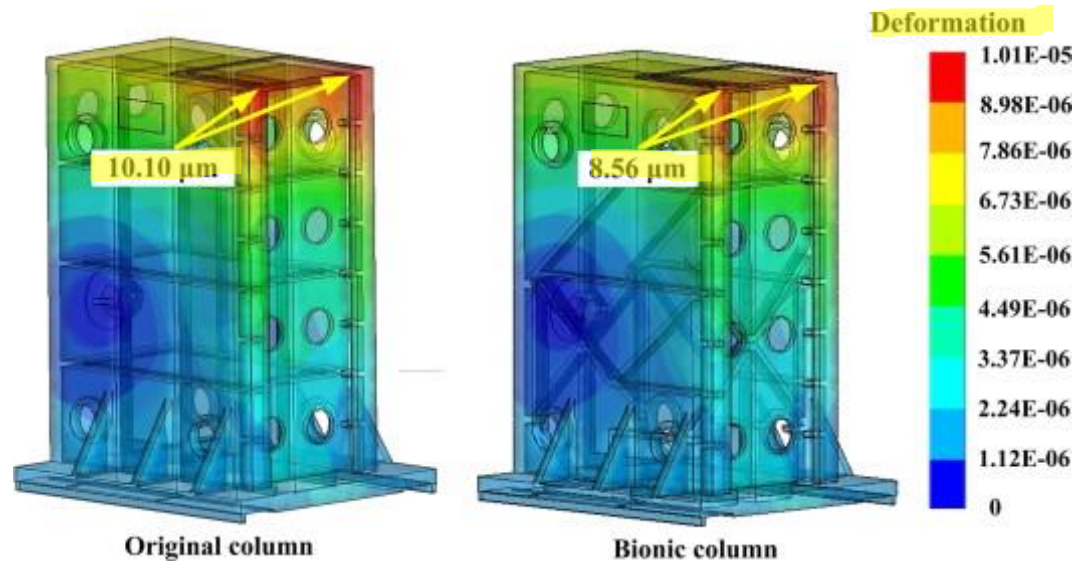




Major components of the grinding machine tool

Ref: Baotong Li, Jun Hong, Zhifeng Liu, Stiffness design of machine tool structures by a biologically inspired topology optimization method, International Journal of MachineTools&Manufacture 84(2014)33–44.





Comparison of the mechanical properties.

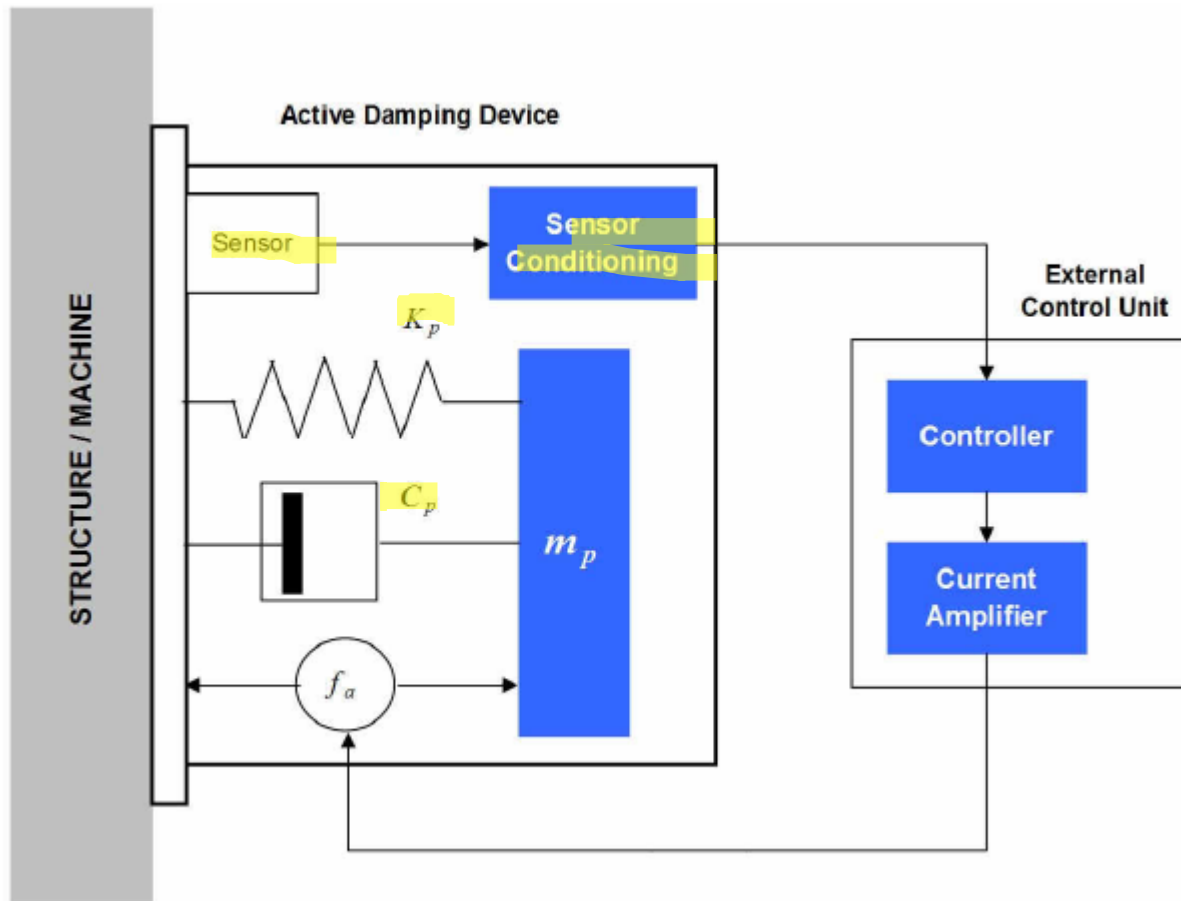
Column	Weight (kg)	Max deformation (μm)	First frequency (Hz)
Original design	1189.3	10.10	125.19
Bionic design	1174.5	8.56	133.97
Variation (%)	-1.24	-15.25	+7.01

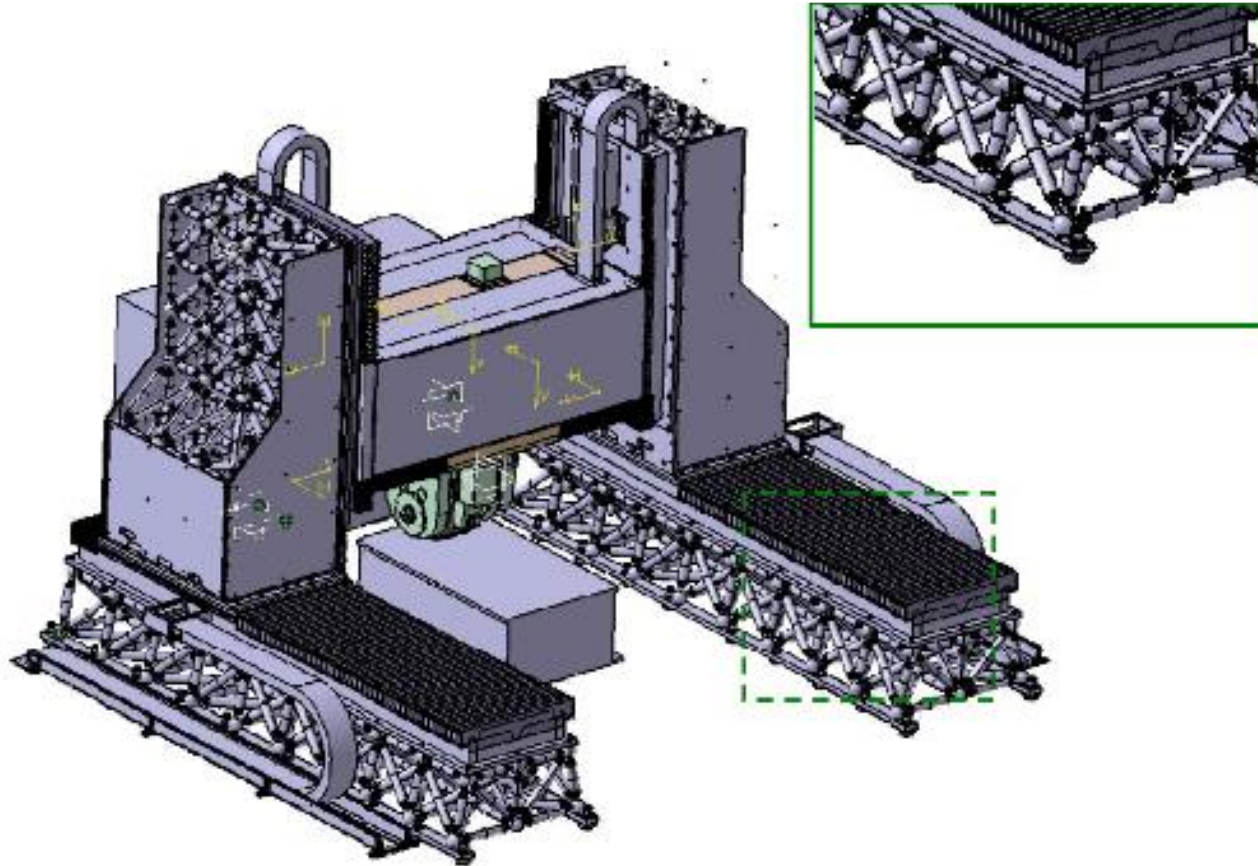
Active damping devices

با توسعه ماشین ابزارهای سبک با سفتی کم، می توان از موارد ویسکوالاستیک و سیالات ویسکوز و وسایل دمپینگ فعال برای کاهش اثرات ارتعاشات استفاده نمود.



ADD





پایان جلسه پنجم

The fundamental frequency, f_n , of a simple cantilever beam is given by:

$$f_n = \frac{k_n^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^4}} \quad (14)$$

$$I = \frac{BH^3}{12}$$

From the tables of hyperbolic and trigonometric functions [23], the values of κn for the first five modes of a cantilever beam are: $\kappa_1=1.875$, $\kappa_2=4.694$, $\kappa_3=7.855$, $\kappa_4=10.996$, $\kappa_5=14.137$. The corresponding modal shapes for the first five frequencies are shown in Table III. The Material and physical properties of cantilever beam are given in Table II.

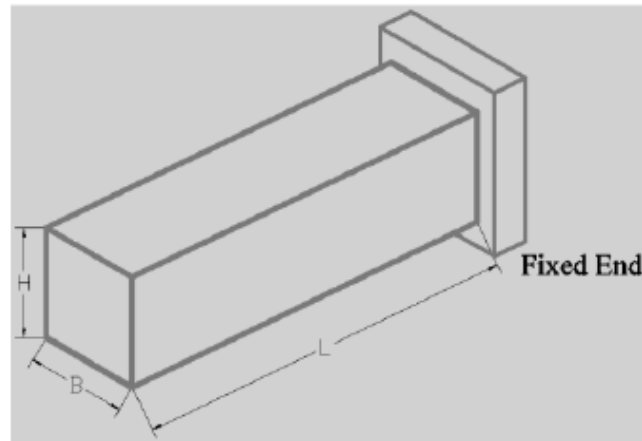


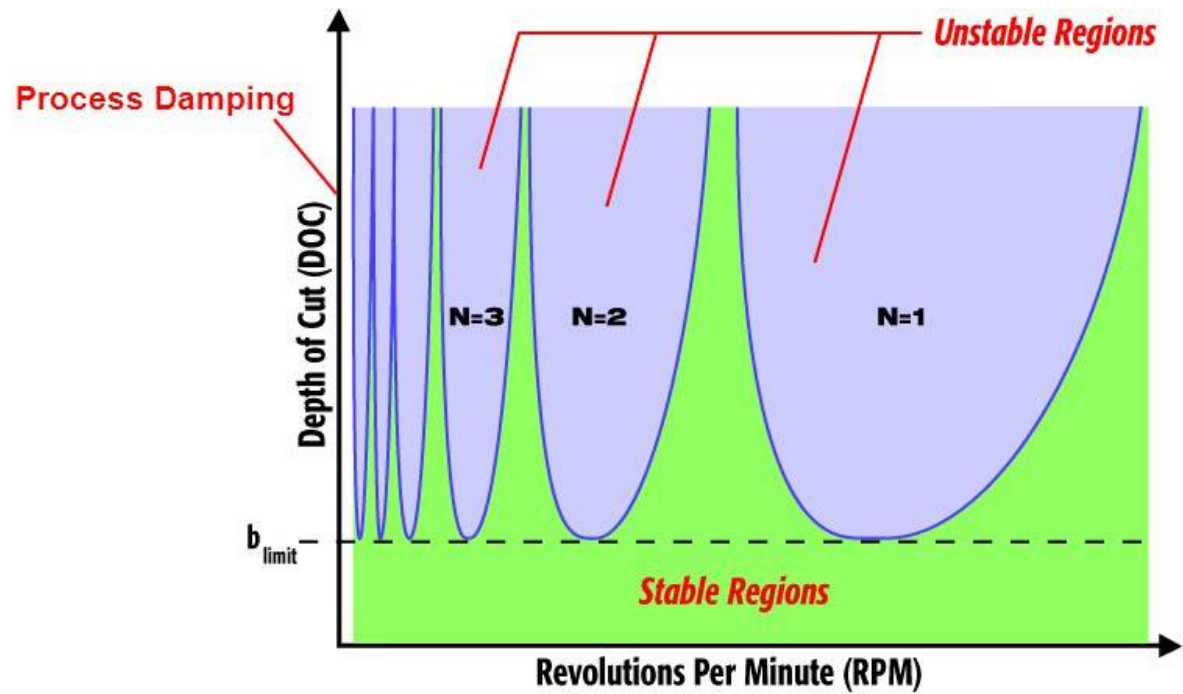
Fig. 4 Cantilever beam with rectangular cross-section.

TABLE II
MATERIAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF CANTILEVER BEAM [24]

Material	Cast iron
Young's Modulus	$2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$
Poisson's Ratio	0.22
Moment of Inertia Ixx	0.0833 cm^4
Moment of Inertia Iyy	0.0833 cm^4
Density	$7.8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
Breadth (B)	1cm
Depth (B)	1cm
Cross-sectional Area	1 cm^2
Length (L)	10cm

TABLE III
COMPARISON OF NATURAL FREQUENCIES OF COMPUTED RESULTS WITH
RESULTS FROM ANSYS

Order Number	Natural Frequencies in HZ		Percentage Error
	Analytical solution (from closed form solution)	Results from ANSYS	
1 st order	810	808.46	0.19%
2 nd order	5060	5009.2	1.004%
1 st order longitudinal vibration	12500	12551	0.408%
3 rd order bending	14160	13781	2.67%
4 th order bending	27800	26354	5.2%

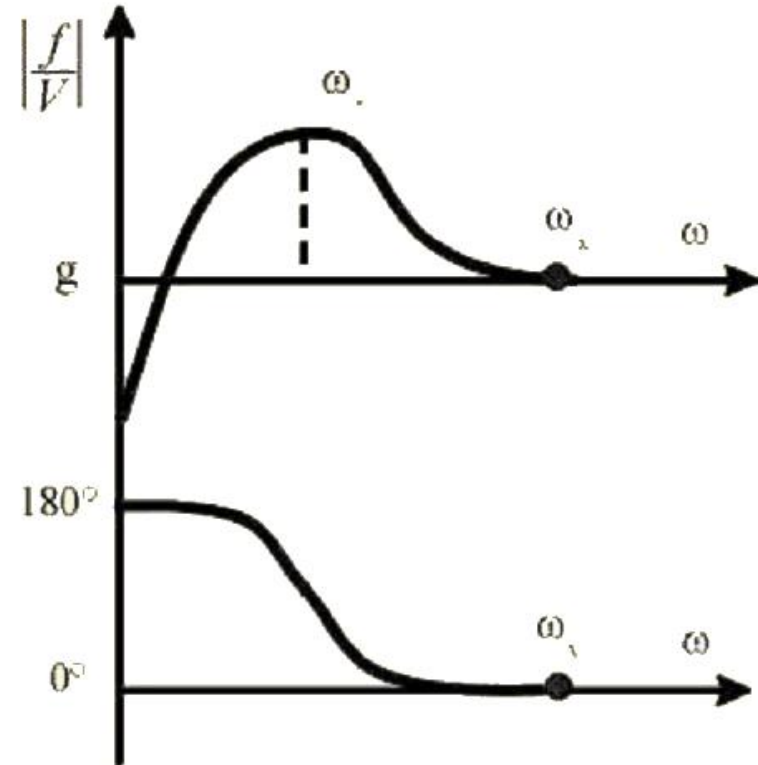
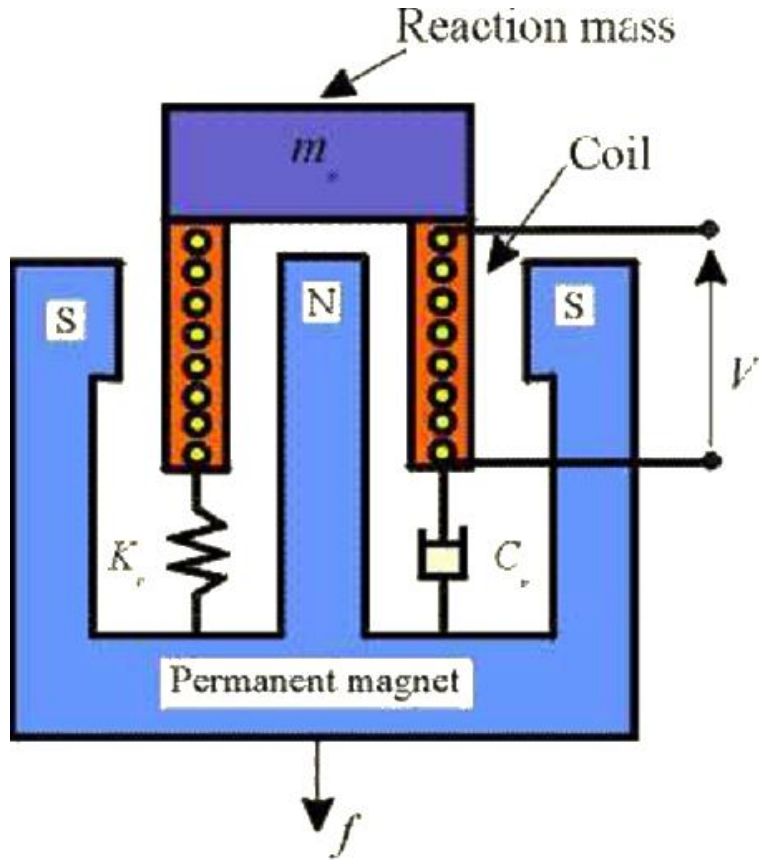


MetalMAX Training

Manufacturing Laboratories, Inc.

MMOVER-26

مکانیزم کارکرد عملگر الکترومغناطیس



$$\frac{f}{V} = g \frac{s^2}{s^2 + 2\xi_p \omega_p s + \omega_p^2}$$