جلسه ششم: اسپیندل ها

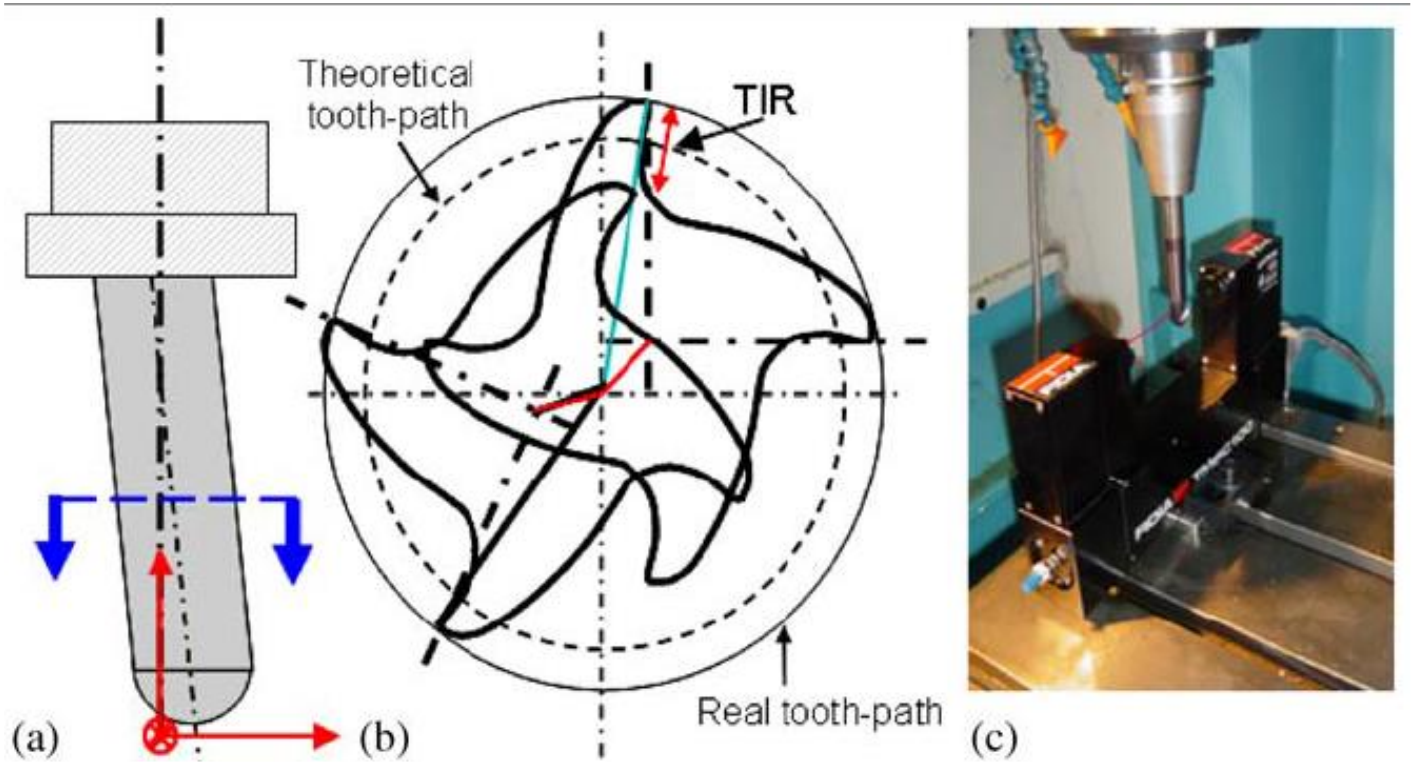
اسپیندل ماشین ابزار

- ***وظایف اسپیندل در ماشین ابزار:***
  - ***کلمپ کردن قطعه کار یا ابزار***
  - ***ایجاد حرکت چرخشی و انتقال آن به ابزار یا قطعه کار***
  - ***مرکز کردن قطعه کار یا ابزار***

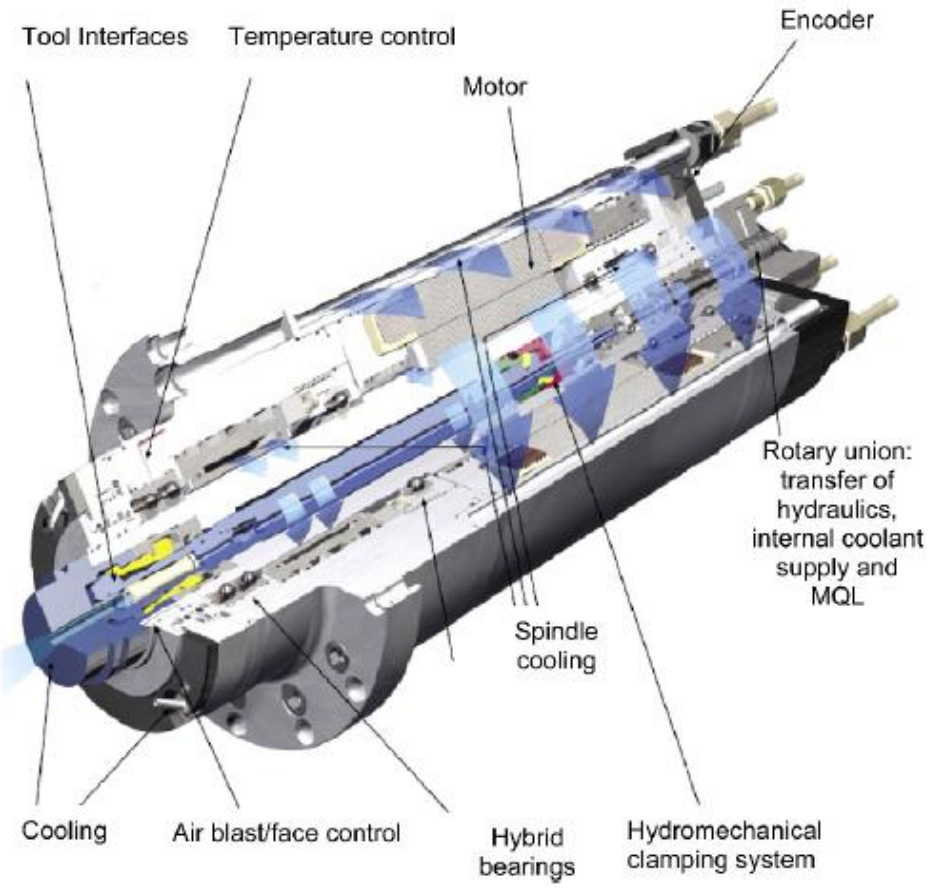
اسپیندل ماشین ابزار

- ویژگی های مورد نیاز:
  - چرخش با دقت زیاد و بدون لنگی (Run Out)
  - سفتی دینامیکی و استاتیکی زیاد
  - دقت عملکرد با گذشت زمان دستخوش تغییر نشود
  - هم مرکز نمودن سریع و مطمئن ابزار و قطعه کار
  - مقاومت به سایش زیاد سطوح انطباق
  - حداقل تاثیر پذیری از حرارت

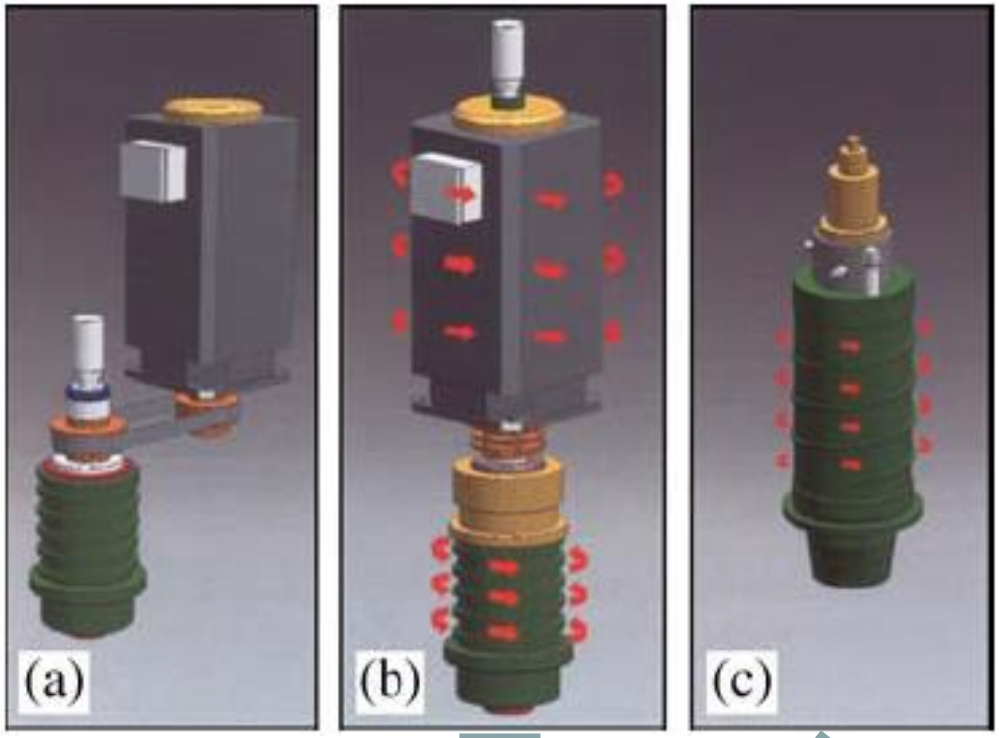
خطای لنگی اسپیندل



اجزای مختلف اسپیندل ماشین ابزار



انواع اسپیندل



انتقال نیرو از طریق تسمه

انتقال نیروی مستقیم

اسپیندل و موتور یکپارچه
(الکترواسپیندل)

انواع اسپیندل

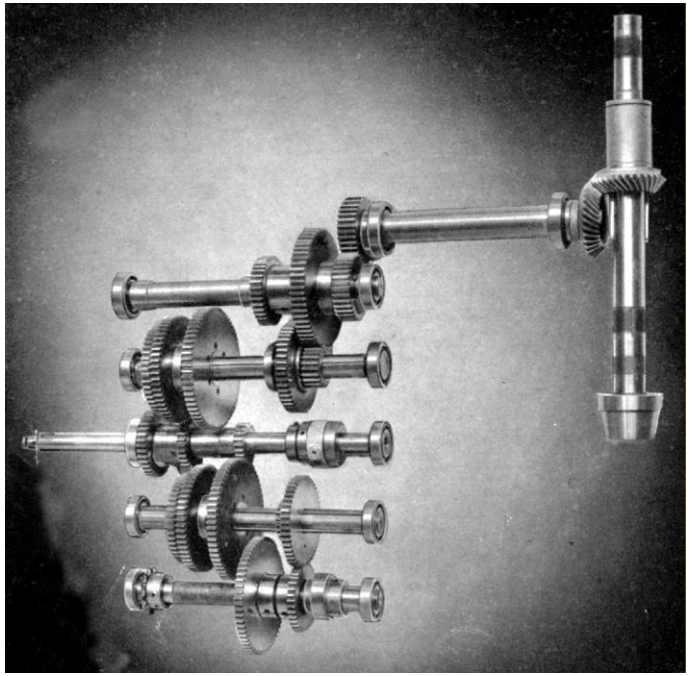
انتقال نیرو از طریق تسمه: معمول ترین روش است و مزیت آن قابلیت جذب ارتعاشات تسمه می باشد. برای سرعت های دورانی کمتر از ۶۰۰۰ دور بر دقیقه مورد استفاده قرار می گیرد.

معایب:

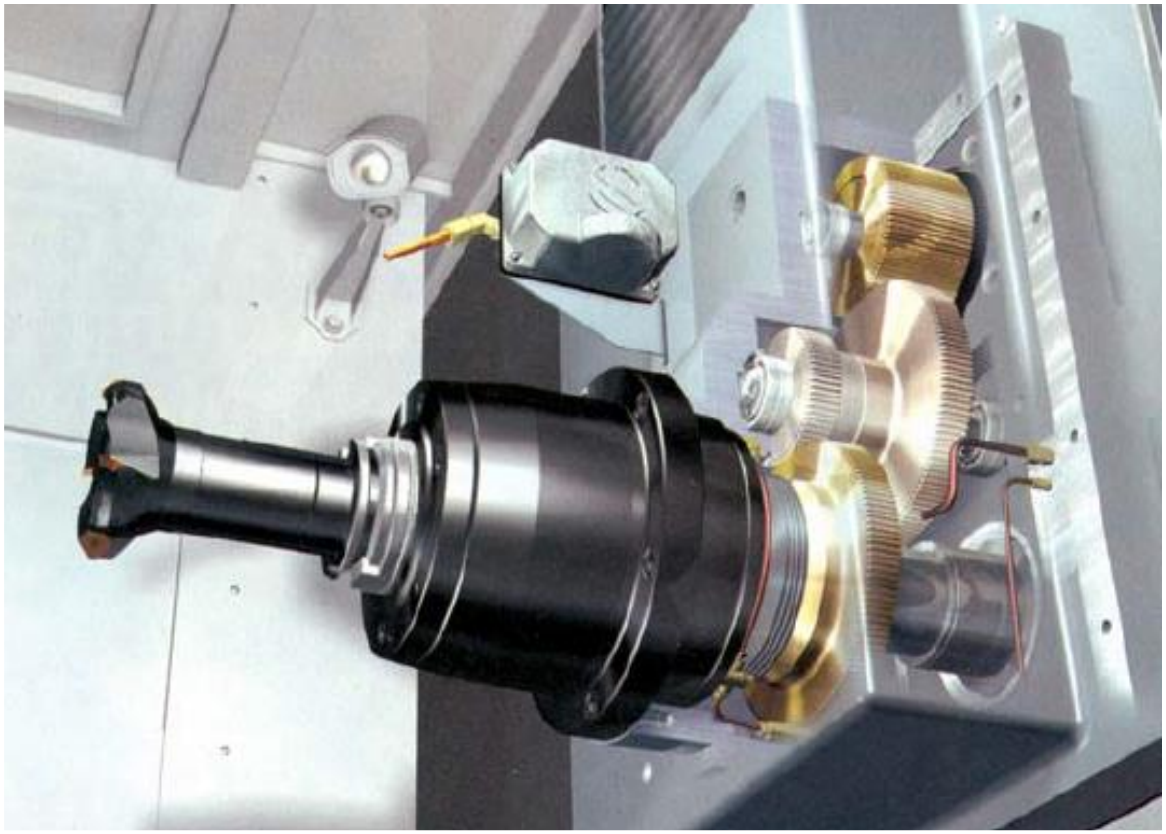
- تاثیرپذیری از بارهای حرارتی به دلیل اتصال دایمی تسمه
- سروصدای زیاد
- کشش تسمه بخشی از بار روی یاتاقان ها را به خود اختصاص می دهد.

انواع اسپیندل

انتقال نیرو از طریق چرخ دنده: به دلیل ارتعاشات زیاد این نوع انتقال، برای سرعت های اسپیندل خیلی زیاد مناسب نیستند و بیشتر برای خشن کاری که گشتاور زیاد به ابزار وارد می شود مورد استفاده قرار می گیرند.



اسپیندل چرخ دنده ای



Haas EC-630 gear-driven spindle with two-speed gearbox: 610 ft-lb of torque for heavy machining or 6,000 rpm for finish cuts, by Haas Automation→

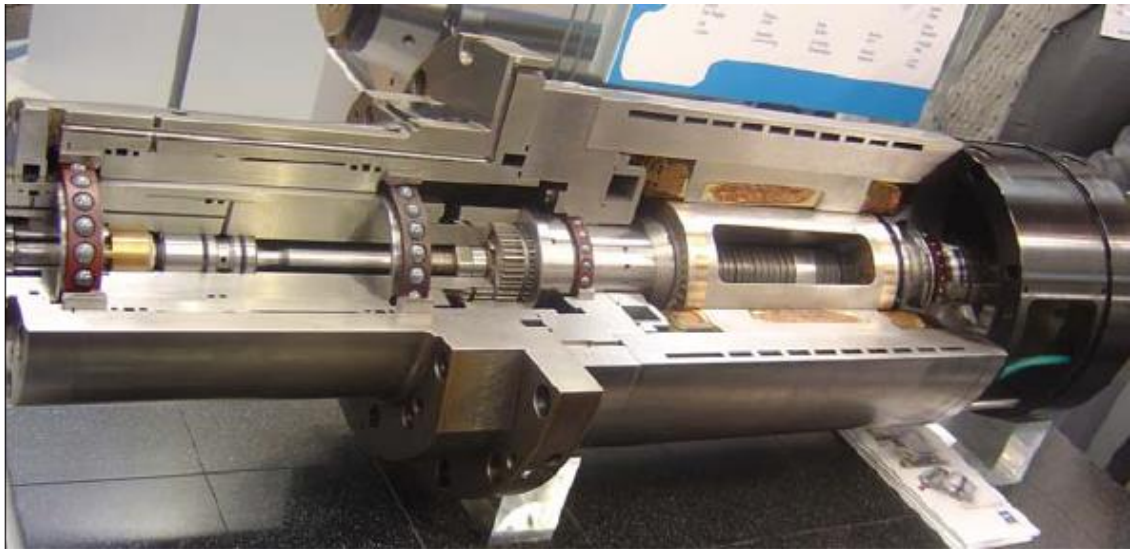
انواع اسپیندل

انتقال نیروی مستقیم: انتقال بهتر گشتاور و عایق بودن کوپلینگ از جهت حرارتی از ویژگی های آن است. برای ماشین های ابزار دقیق معمولترین انتخاب است و محدوده دور ۱۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ دور بر دقیقه محدوده دور معمول این نوع اسپیندل هاست.

کوپلینگ برای اتصال موتور و اسپیندل

انواع اسپیندل

اسپیندل و موتور یکپارچه (الکترواسپیندل): این نوع اسپیندل ها برای سرعت های دورانی بالاتر از ۱۸۰۰۰ دور بر دقیقه طراحی شده اند. این نوع اسپیندل ها هم محوری مورد نیاز ماشینکاری پر سرعت (High Speed Machining) را تامین می نمایند.



محاسبات طراحی اسپیندل

سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته:	$A_c=a_p \times a_f$
گشتاور چرخش ابزار/قطعه کار	$M=F_t \times d/2$
نیروی برشی	$F_t=P_s \times A_c$
توان مورد نیاز اسپیندل	$P=M \times \omega$

مثال

فرض کنید اگر مشتری بخواهد قطعه ای از جنس Inconel 625 با سختی ۲۶۵ برینل و قطر ۲۹۰ میلی متر را ماشینکاری کند. با فرض اینکه شرکت سندویک ابزار کاربایدی P25 (RCMX 120400 GC235) را با پیشروی ۰.۳ میلی متر بر دقیقه و سرعت برشی ۴۰ متر بر دقیقه پیشنهاد داده باشد، با فرض عمق های برش ۱ و ۲ میلی متر میران گشتاور مورد نیاز برای اسپیندل را محاسبه نمایید. دور اسپیندل برای این قطعه برابر ۲۷۵ دور بر دقیقه باید باشد.

پاسخ:

با توجه به جدول مشخصات سندویک، مقدار انرژی مخصوص تراش برای عمق های برش ۱ و ۲ میلی متر به ترتیب برابر ۵۰۷۳ و ۴۷۷۵نیوتن بر میلی متر مربع می باشد.

$A_c=a_p \times a_f=1 \times 0.3=0.3\ mm^2$

$F_t=P_s \times A_c=0.3 \times 5073=1522$

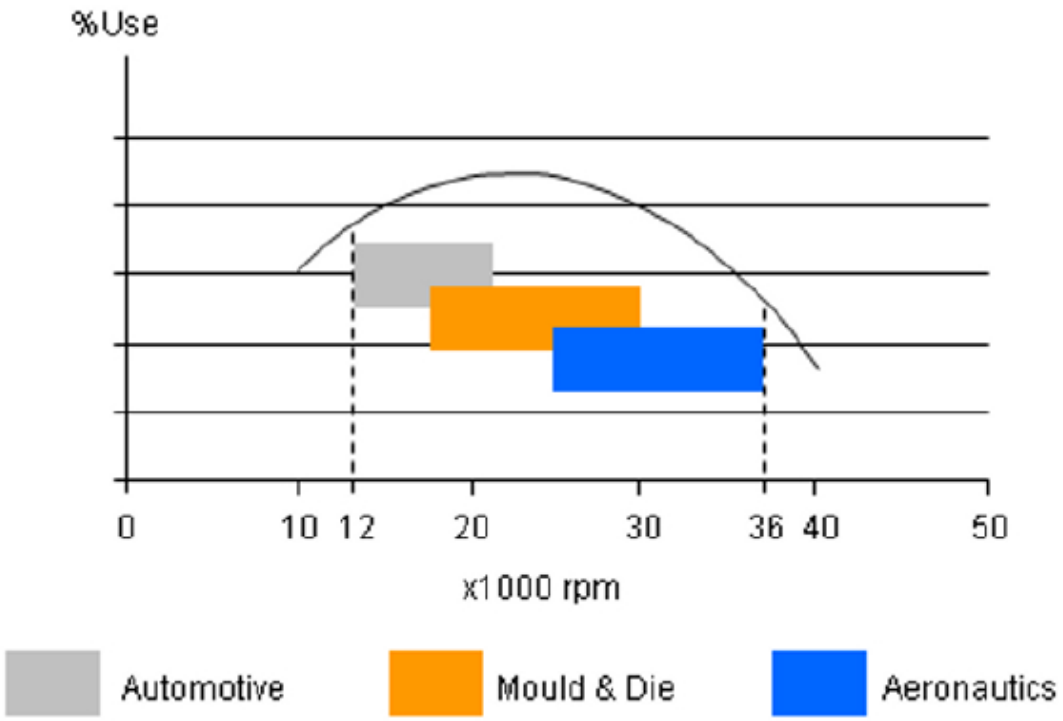
$P=M \times \omega=1522 \times 0.290/2 \times 275 \times (2\pi/60)=6.364\ Kw$

مثال

پاسخ

Depth of cut	2	4
Undeformed chip section (mm^2)	0.3	0.6
Specific cutting force (N/mm^2)	5,073 (±3%)	4,775 (±4%)
Cutting force (N)	1,522	2,850
Torque (Nm)	221	415
Power (W)	6 364	11 988

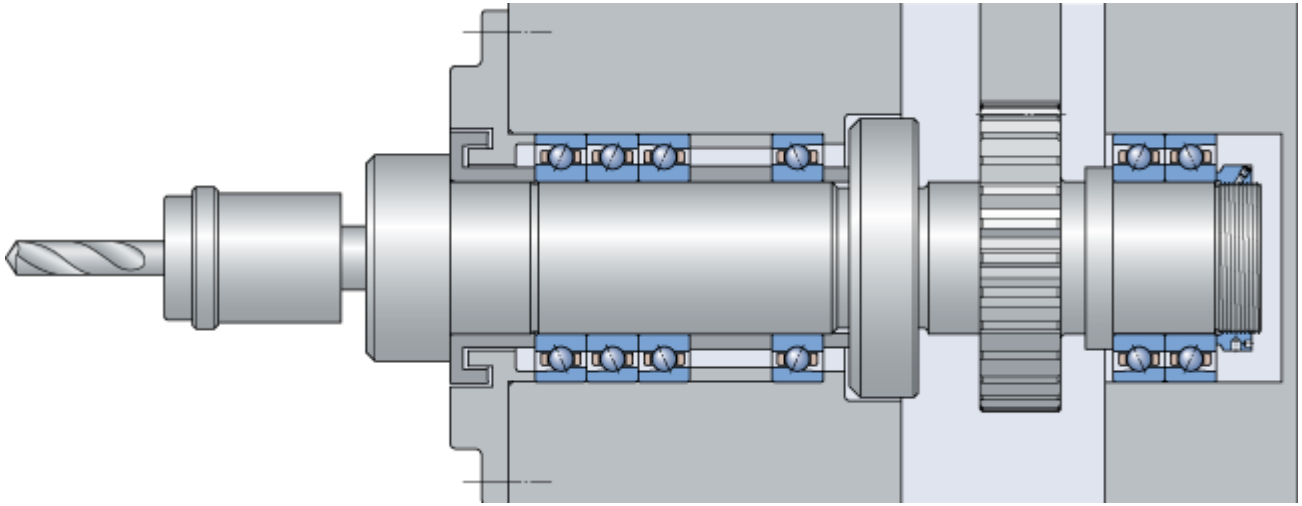
سرعت اسپیندل در کاربردهای مختلف



یاتاقان های غلتشی

یاتاقان های غلتشی برای کاهش اصطکاک بین محور چرخنده اسپیندل و پایه نگهدارنده آن مورد استفاده قرار می گیرند.

ظرفیت تحمل بار، دور و عمر مشخصه های اصلی یاتاقان های غلتشی هستند.



یاتاقان های غلتشی سرامیکی (هیبریدی)

اخیرا با توجه به نیاز به اسپیندل های با سرعت های خیلی زیاد در (High Speed Machining)استفاده از یاتاقان های غلتشی با ساچمه های سرامیکی از جنس نیترید سیلیکون (Si3N4) بسیار مرسوم شده است.

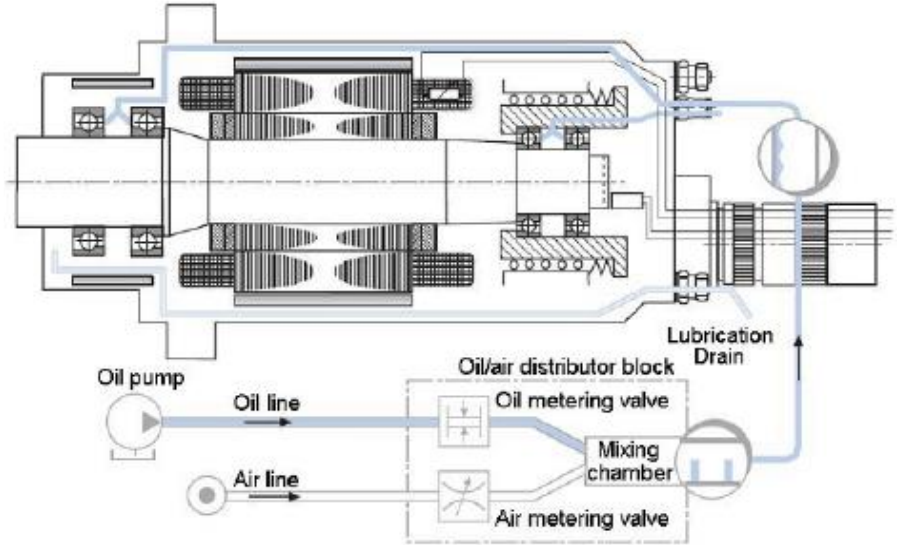
Properties (units)	Conventional steel bearing	Hybrid ceramic (Si_3N_4) bearing
Young's modulus (GPa)	208.00	315.00
Hardness (VickersRc)	60.00	78.00
Density (g/cm^3)	7.80	3.20
Max. usage temperature (°C)	120.00	800.00
Coefficient of expansion ($10^{-6}/K$)	11.50	3.20
Poisson's ratio	0.30	0.26
Thermal conductivity (W/mK)	45.00	35.00
Chemically Inert	No	Yes
Electrically conductive	Yes	No
Magnetic	Yes	No

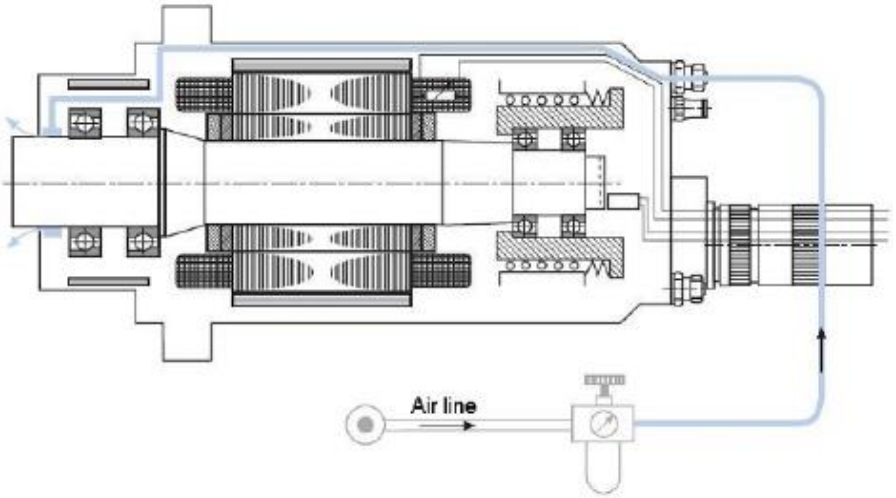
یاتاقان های غلتشی سرامیکی (هیبریدی)

به دلیل عایق بودن ساچمه ها از اثرات مضر ایجاد شده در اثر عبور جریان برق از ساچمه های فولادی جلوگیری می شود.

روانکاری یاتاقان های غلتشی

با افزایش سرعت دورانی یاتاقان های غلتشی استفاده از روغنکاری دایمی یاتاقان ضرروت می یابد.

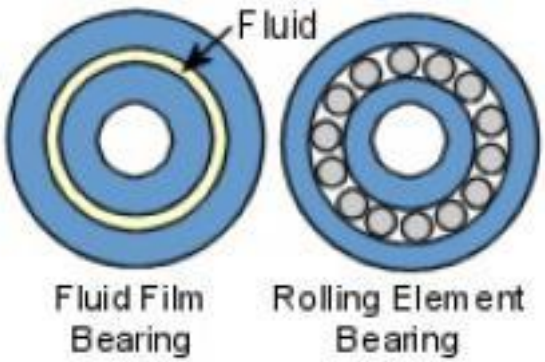


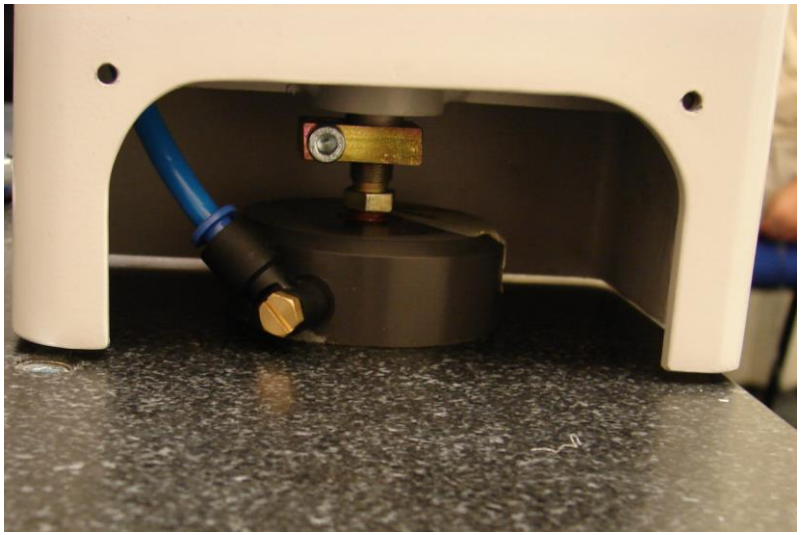


یاتاقان های مغناطیسی

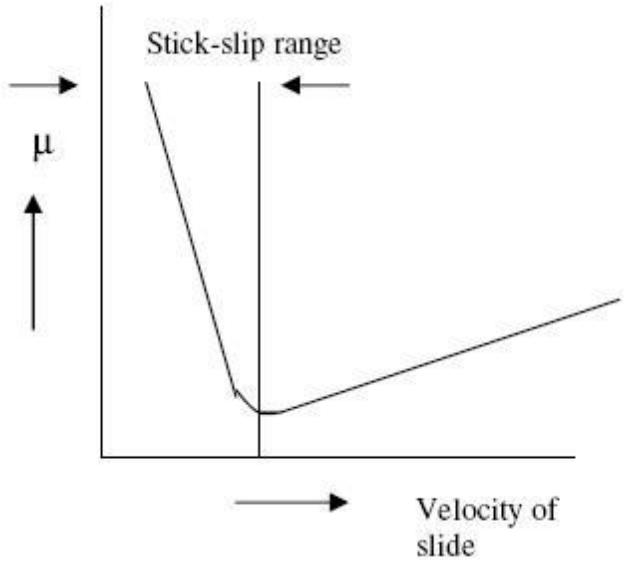
یاتاقان های هوایی

- یاتاقان هایی هستند که در آنها تماس بین دو سطحی که در یاتاقانهای اصطکاکی وجود دارد حذف شده است و بجای آن فیلمی از هوای فشرده به کار می رود.





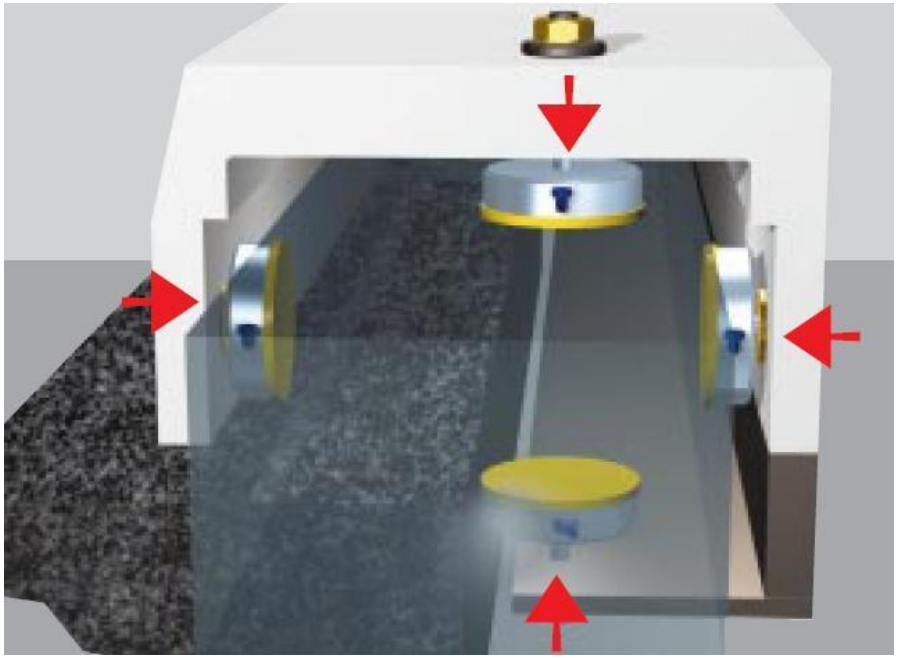
پدیده مکث و لغزش راهگاهها



- وقتی که شیب نمودار روبرو مثبت است مکث و لغزش نداریم.

- وقتی اختلاف بین اصطکاک سکون و اصطکاک دینامیکی کم است انرژی الاستیکی ذخیره شده در سیستم حرکتی کم است و این پدیده به حداقل می رسد.

ویژگیهای یاتاقانهای هوایی



- اصطکاک صفر
- عدم وجود پدیده Stick & Slip
- عدم وجود سایش یاتاقان ها
- حرکت مستقیم تر
- سرعتهای زیاد
- عدم نیاز به روغن
- سروصدای کم

ماشینکاری پر سرعت (HSM)

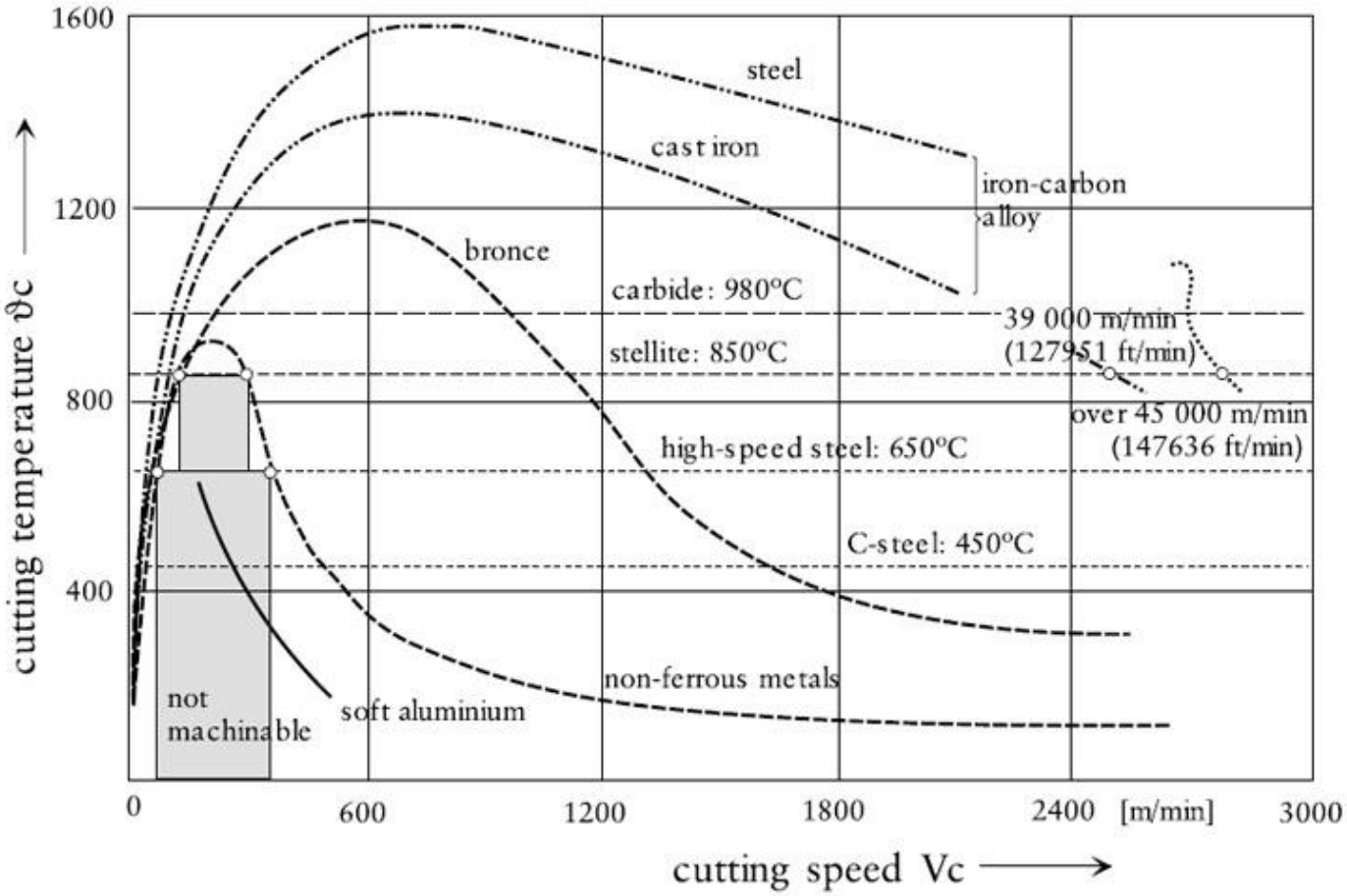


Fig. 1. Machining temperature in milling at high cutting speeds.

کاربردها

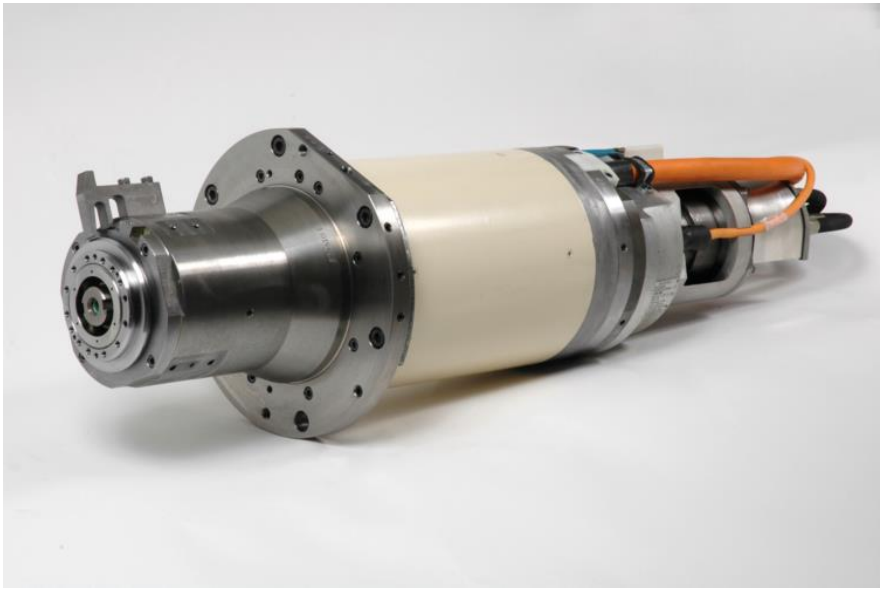
Aluminum & Composites	Die	General Production
Aerospace	Casting Dies	Excessive Roughing
Automotive Components	Forging Dies	Mid to High Production
Small Computer Parts	Injection Molds	Excessive Rouging Ops
Medical Devices	Electrodes	
Thin Walled Parts	Modeling & Prototyping	
	Finishing Hard Materials	

مقایسه ماشینکاری سنتی و پرسرعت

Conventional	HSM
The contact time between tool and work is large	Contact time is short
Less accurate work piece	More accurate work piece
Cutting force is large	Cutting force is low
Poor surface finish	Good surface finish
Material removal rate is low	Material removal rate is high
Cutting fluid is required	Cutting fluid is not required

اجزای یک سیستم ماشینکاری پرسرعت

مهمترین جزء یک سیستم ماشینکاری پرسرعت، اسپیندل آن می باشد.
ماشین ابزار، ابزار و سایر اجزا همگی حول استفاده کارامد از سرعت های بالاتر اسپیندل بهینه می شوند.
در برخی موارد حتی جایگزین کردن یک اسپیندل پرسرعت تر در یک ماشین ابزار سنتی می تواند سازنده را تا حد زیادی از مزایای HSM بهره مند سازد.



پایان جلسه ششم

Swivel head for machine tool