

جلسه ششم: اسپیندل ها



نمای درخت ماشینها

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

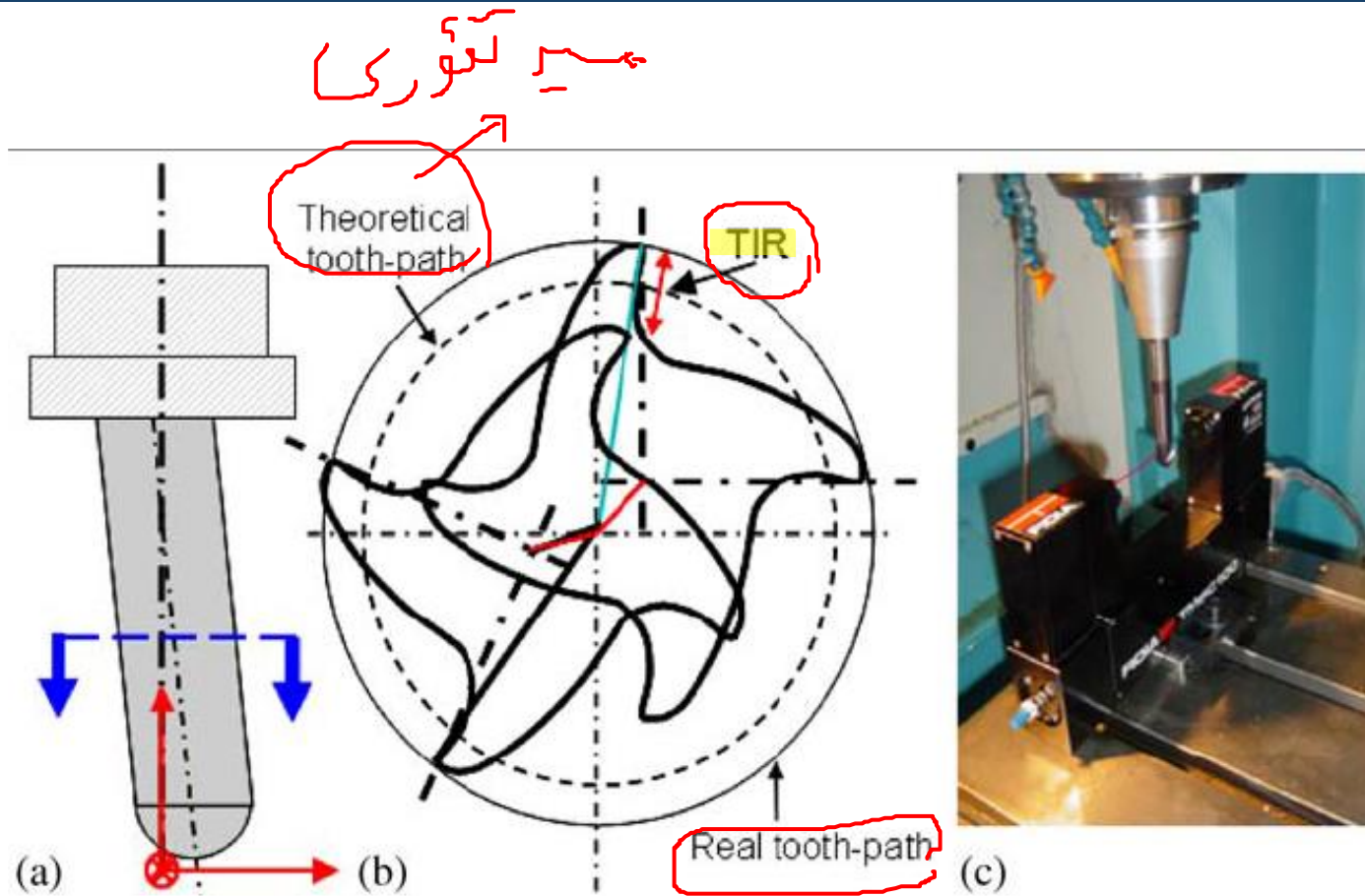
□ حداقل تاثیر پذیری از حرارت

عنوان نمونه ماشین

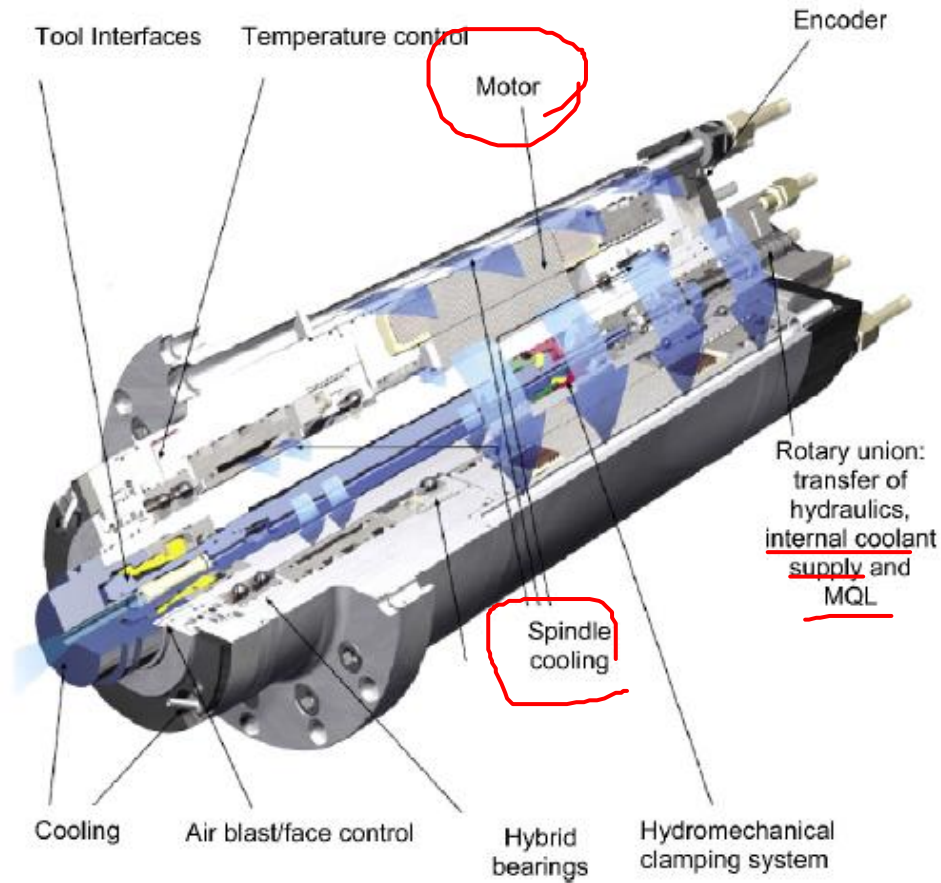
تفسیر شکل یا علت ایجاد خطا می شود

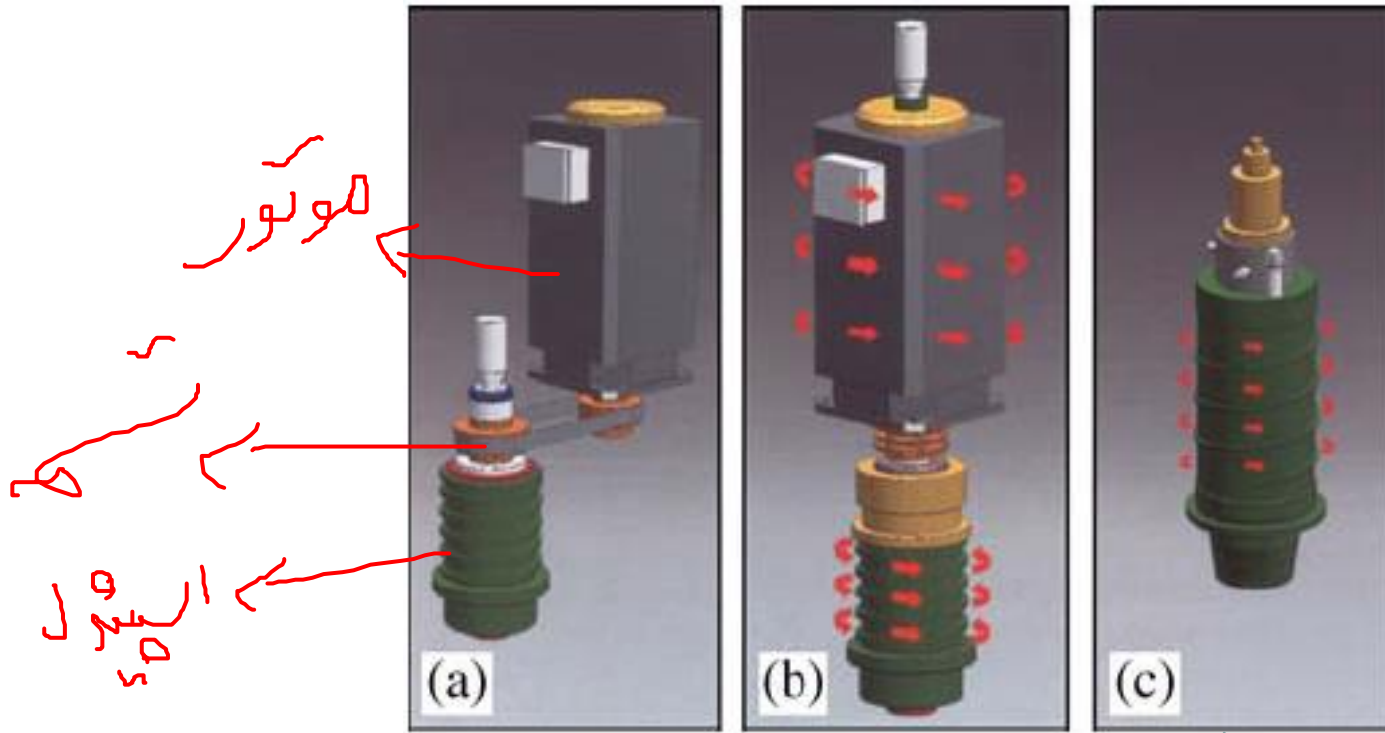
- **Requirements of spindle are**
- The spindle should rotate with high degree of accuracy. The accuracy of rotation is calculated by the **axial** and **radial** run out of the spindle nose. The radial and axial run out of the spindle nose should not exceed **certain permissible values**. These values depend upon the required machining accuracy. The rotational accuracy is influenced mainly by the stiffness and accuracy of the spindle bearings especially by the bearing which is located at the front end.
- The spindle unit must have high dynamic stiffness and damping.
- The spindle bearing should be selected in such a way that the initial accuracy of the unit should be maintained during the service life of the machine tool.

- Spindle unit should have fixture which provides quick and reliable centering and clamping of the cutting tool or workpiece.
- The spindle unit must have high static stiffness. Maximum accuracy is influenced by the bending, axial as well as torsional stiffness.
- The wear resistance of mating surface should be as high as possible.
- Deformation of the spindle due to heat transmitted to it by workpiece, cutting tool, bearings etc. should be as low as possible. Otherwise it will affect the accuracy of the machining accuracy.



اجزای مختلف اسپیندل ماشین ابزار





انتقال نیرو از طریق تسمه

یا استفاده از کوپلستر
انتقال نیروی مستقیم

اسپندل و موتور یکپارچه
(الکترواسپندل)

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 باتاقان ها را به خود اختصاص می دهد.



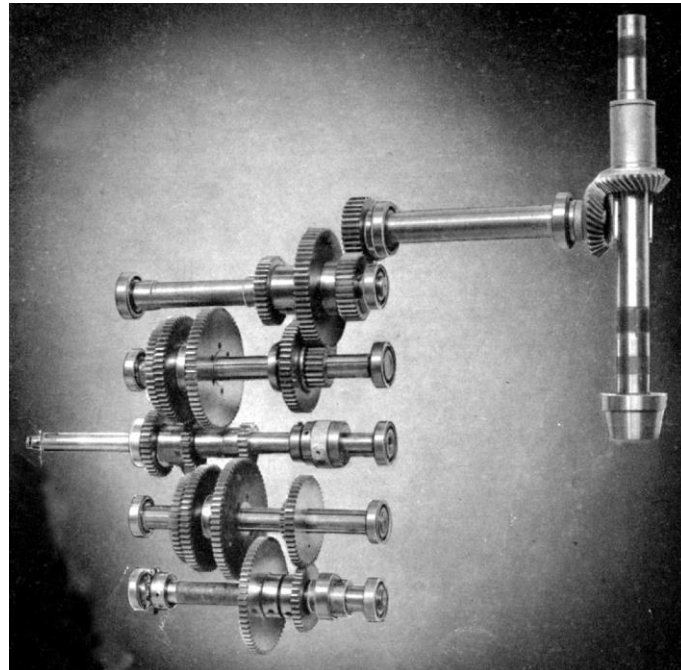
کهر تسمه
باردها یا لایتنیت به انتقال قدرت چرخ رنده و یاسن از انتقال قدرت مستقیم

Basically there are three types of main motion setup, as shown in Fig. 1.18. The first is the conventional and more widely used, where the motor is connected to the spindle by a timing belt. This rubber belt is a good vibration insulator; besides, no special care must be taken in the assembly of the group. This solution is possible up to a 6,000 rpm rotational speed.

The efficiency of beltdriven spindles, in terms of transmitting motor power to the spindle is around 95%. This is a little less efficient than direct drive spindles (nearly 100%) but clearly better than gear-driven spindles (less than 90%) [4].

A belt-driven spindle can reach moderate speeds (15,000 rpm) and perform well or with high torque at lower speeds (1,000 rpm), depending on the belts and the transmission ratio. In contrast, at low speeds, gear drives transmit the torque better and at high speeds, direct drives are better (above all in situations where dimensional precision and surface quality requirements are high) because they produce less vibration and noise. However, as belt drives are very versatile, they are used for a wide variety of jobs whose requirements range between high torque/low rotation speeds and low torque/high speeds.

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.



Gear-driven spindles (see Fig. 3.3) can reach high torque at low revolutions and they characteristically have multiple speed ranges. The gears, however, may cause vibrations which have a negative effect on the finished surface of the workpiece. In addition, as we mentioned above, they are less efficient when it comes to converting the nominal power of the motor into the cutting power of the tool, due to its constructive nature. Such power is lost as heat, with all the negative effects that this creates, such as reduced precision due to thermal expansion. For all these reasons, gear-driven spindles are unsuitable for very high velocity machining operations although very adequate for heavy-duty work.

ویزگی چرخ دنده
 ↳ نسبتاً ورت زیاد
 دور کم



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→

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.

پاردهی ۱۰۰٪

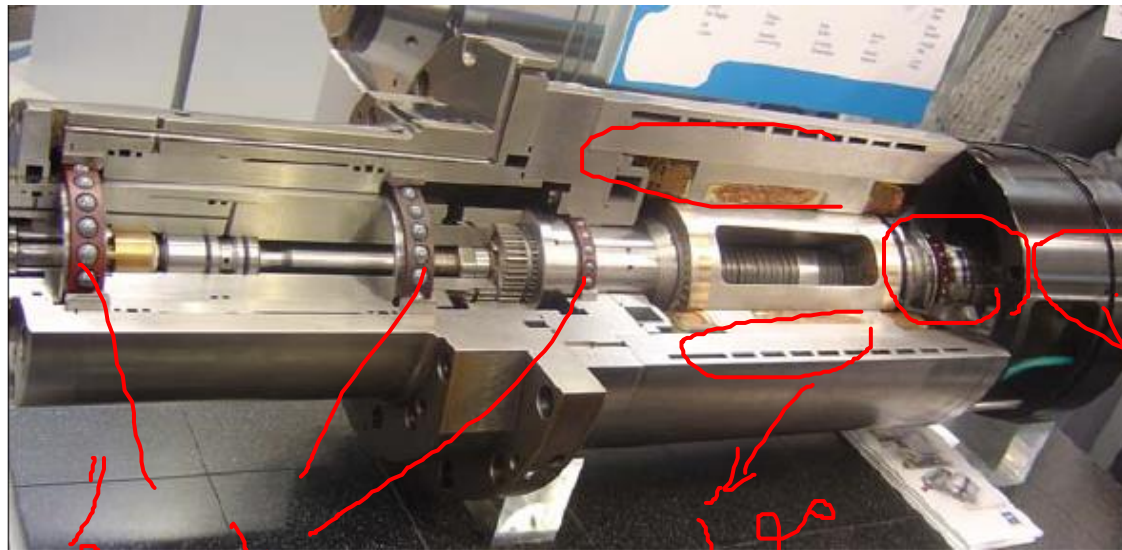


کوپلینگ برای اتصال موتور و اسپیندل

The second type is the direct drive using a flexible coupling between motor and spindle. Here, a more reliable and better torque transmission is achieved, 12,000 rpm and even 16,000 rpm in special cases being possible. At the same time the flexible coupling is an effective heat insulator between motor and spindle. Furthermore, with the correct spindle assembly to the machine structure, all its thermal growth is derived towards the coupling and the motor, with no influence on the tool position. For this reason this is the most widely used configuration for precision machines.

Direct drive spindles have almost 100% efficiency in terms of transmitting power from the motor to the cutting tool. They can work at high rotation speeds but at lower torques. Since there is no transmission chain, it is not possible to increase torque mechanically in response to reductions in motor speed. **This drive system behaves well in terms of vibrations, which means high speeds can be reached and still achieve good surface finishing.**

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.



هال تورنت

موتور

قسمت انتهای

محاسبات طراحی اسپیندل

$$A_c = a_p \times a_f$$

سطح مقطع براده تغییر شکل نیافته:

$$M = F_t \times d/2$$

گشتاور چرخش ابزار/قطعه کار

$$F_t = P_s \times A_c$$

نیروی برشی

$$P = M \times \omega$$

توان مورد نیاز اسپیندل

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 ۴۷۷۵ نیوتن بر میلی متر مربع می باشد.

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

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

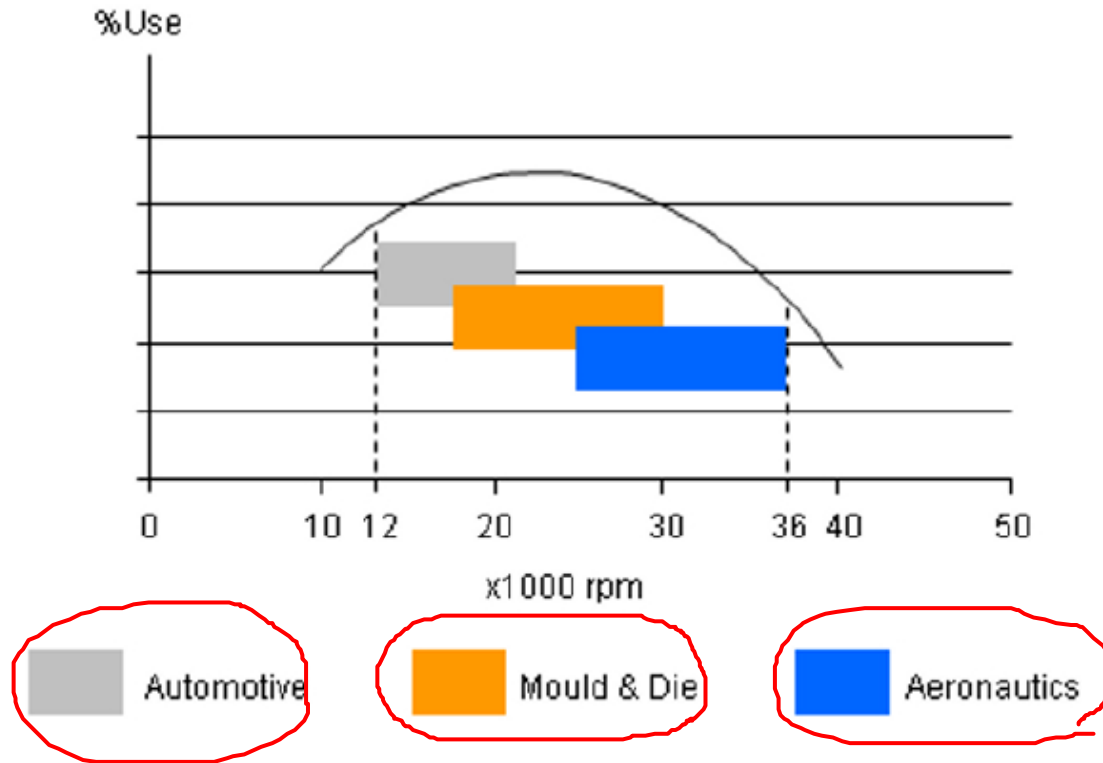
$$P = M \times \omega = 1522 \times 0.290/2 \times 275 \times (2\pi/60) = 6.364 \text{ Kw}$$

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 |

مقادیر عمق برش ۲ و ۴ در قطر هستند که مقادیر شعاعی شان همان ۱ و ۲ می شود

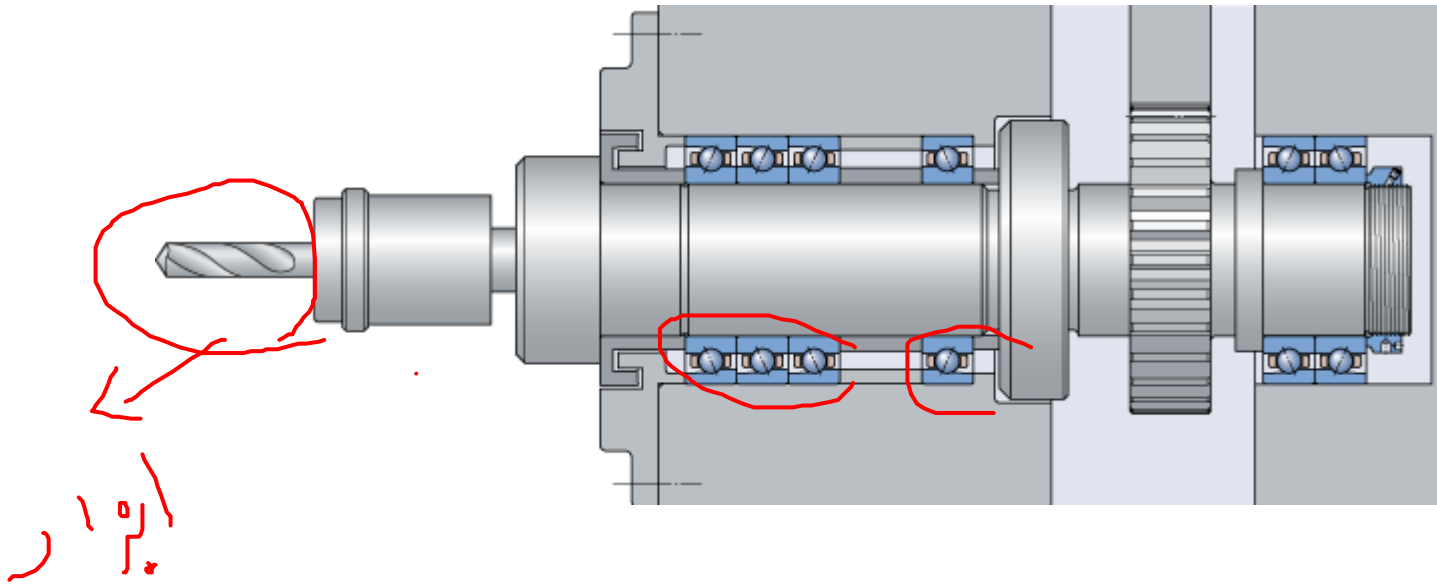
سرعت اسپیندل در کاربردهای مختلف



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 نیتريد سيليكون (Si3N4) بسیار مرسوم شده است.

| Properties (units) | Conventional steel bearing | Hybrid ceramic (Si ₃ N ₄) bearing |
|--|----------------------------|--|
| Young's modulus (GPa) | 208.00 | 315.00 |
| Hardness (VickersRe) | <u>60.00</u> | <u>78.00</u> |
| 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) | <u>45.00</u> | <u>35.00</u> |
| Chemically Inert | <u>No</u> | <u>Yes</u> |
| Electrically conductive | <u>Yes</u> | <u>No</u> |
| Magnetic | <u>Yes</u> | <u>No</u> |

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.



In addition to being excellent electric insulators, hybrid bearings have a higher speed capability and will provide longer service life than all-steel bearings in most applications.

Prevent electrical arcing



When electrical current passes across bearings, a washboard pattern appears on the raceways, along with a darkened grey appearance. Typical results include bearing surface damage, premature aging of the lubricant. The natural insulating properties of ceramic material eliminates this type of damage.

Lower maintenance costs

Extending the service life of a bearing without increasing maintenance cuts equipment operating costs. The initial cost of a hybrid bearing may be higher than a standard steel bearing, but the difference is quickly recovered in maintenance savings.

Increase service life

Because of the properties of ceramics, a hybrid bearing's service life can be up to 10 times that of a standard steel bearing, reducing the need for maintenance on your machine as well as the costly interruptions in production.

Extend grease life

MRC hybrid bearings run cooler and can operate with thinner lubricant films than conventional bearings. The result? Less aging of the grease, longer relubrication intervals, and increased service life vs. standard bearings in the same operating conditions.

Reduce wear from vibration

Equipment exposed to static vibration risks false brinelling, (erosion of the surfaces within the ball and raceway contacts), which can lead to spalling and premature failure. Lighter weight ceramic balls and dissimilar materials reduce the risk of false brinelling damage considerably.

ثبوت از ARC ← کم تر لرزش بیشتر →

به دلیل ارتعاشات کم تر سایش کمتری دارند

دماي کاری کمتر

Lower operating temperatures

Because ceramic balls are only 40% as dense as steel balls, the centrifugal load that they generate is less and the internal bearing friction is lower. The lower density and friction enables cooler running under the same operating conditions, or even higher rotational speeds.

Reduce wear from contamination

Solid particle contaminants can create dents in bearing rolling surfaces and raised edges around those dents. This condition causes noise and premature wear as the steel balls roll over those surfaces. Harder ceramic balls smooths the surface roughness with no material removal, thereby reducing noise and wear while extending bearing service life.

Available in extra-large bore sizes for wind power applications

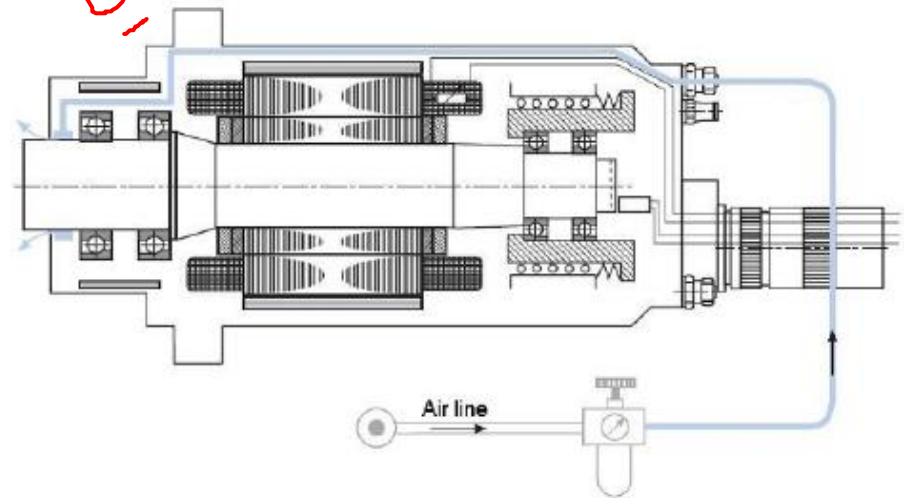
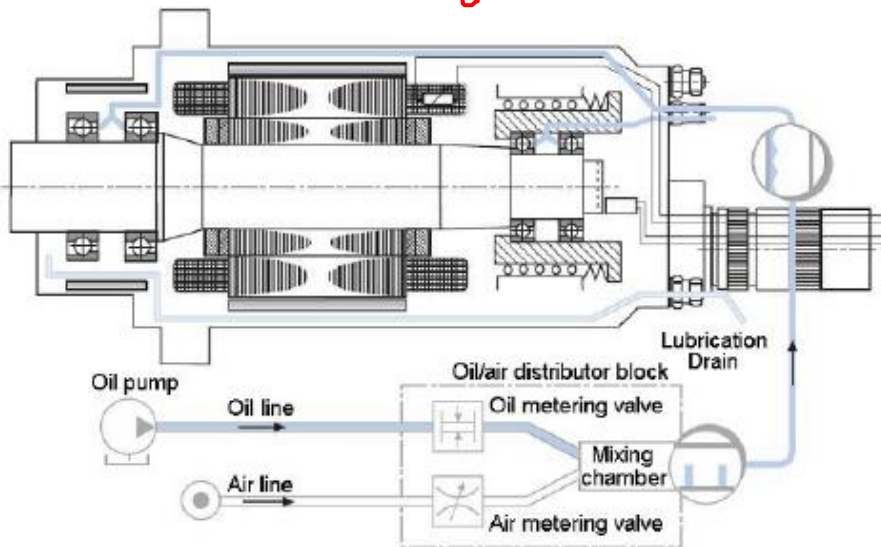
Electric current passage is the major cause of bearing damage in wind power generator applications, often resulting in premature bearing failure, generator breakdown and unplanned turbine down time. Now, MRC's hybrid ceramic ball bearings are available in sizes specifically designed to fit these turbines, reducing operating costs, the risk of costly repairs and lost production for new and installed generators.

روانکاری یاتاقان های غلتشی

با افزایش سرعت دورانی یاتاقان های غلتشی استفاده از روغنکاری دائمی یاتاقان ضرورت می یابد.

دوره بالا

دوره پایین



در روش هوا و روغن هوا برای اتمیزه کردن روغن مورد استفاده قرار می گیرد. کارکرد دیگر هوا برای خنک کاری است.

شکل سمت راست حالتی را نشان می دهد که از گریس استفاده می شود و هوای فشرده تزریقی مانع از این می شود که ذرات و گرد و غبار وارد سیستم یاتاقان ها شوند.

تاس هلیکوپتر

فرست

دور لاس پالا

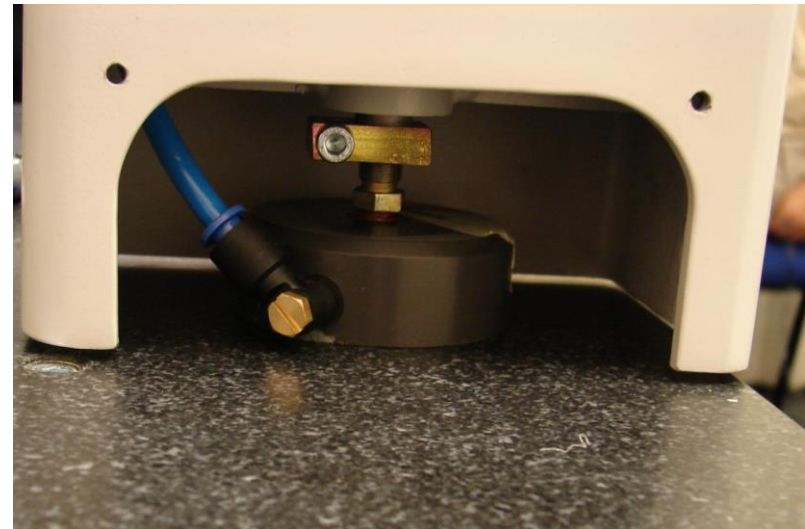
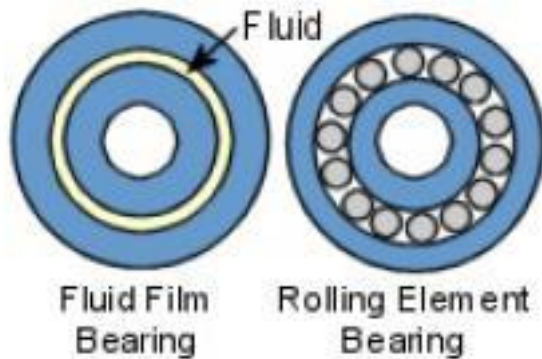
عملکرد خنک کننده

سایس لکتر

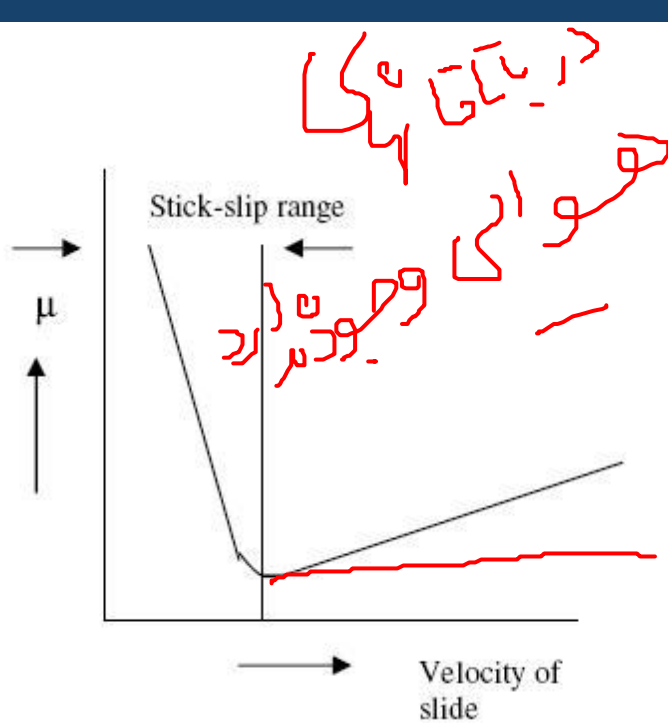
کسی
↓
آفتاب پالا



- 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 راهگامها

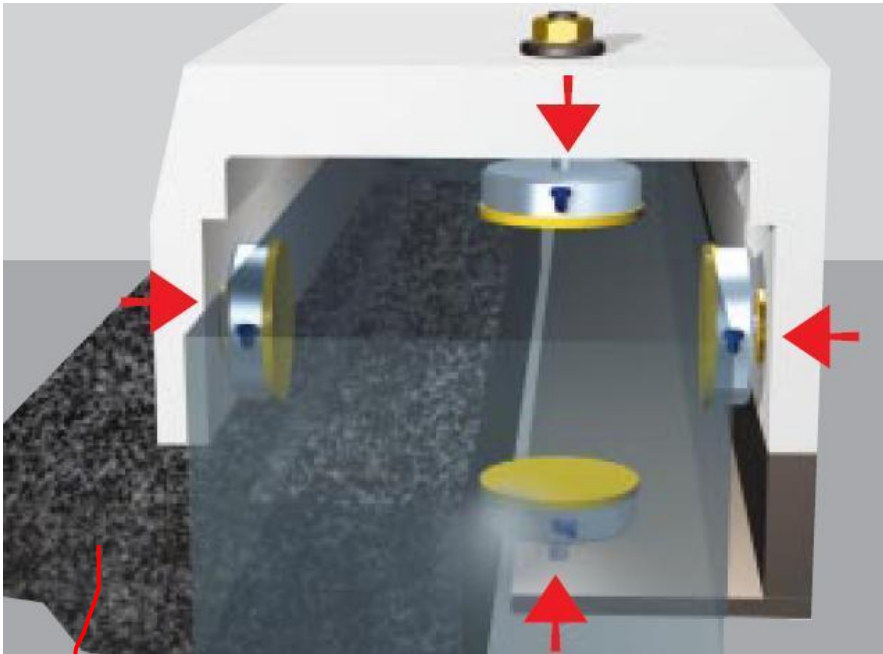


Stick & Slip

- 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.

این پدیده به این شکل عمل می کند که در ابتدای حرکت چون ضریب اصطکاک سکون داریم و مقدار آن بسیار زیاد است حرکت کند انجام می شود تا به نقطه می نیمم نمودار برسیم که در این نقطه اصطکاک استاتیکی به اصطکاک دینامیکی تبدیل می شود و از اینجا به بعد اصطکاک کاهش می یابد و میزان اصطکاک ثابت می شود. قسمت بعد از نمودار سرعت ثابت است تا حدودی. شیبش باید خیلی کمتر باشد نمودار.

ویژگیهای یاتاقانهای هوایی



کاهش اصطکاک

- 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)

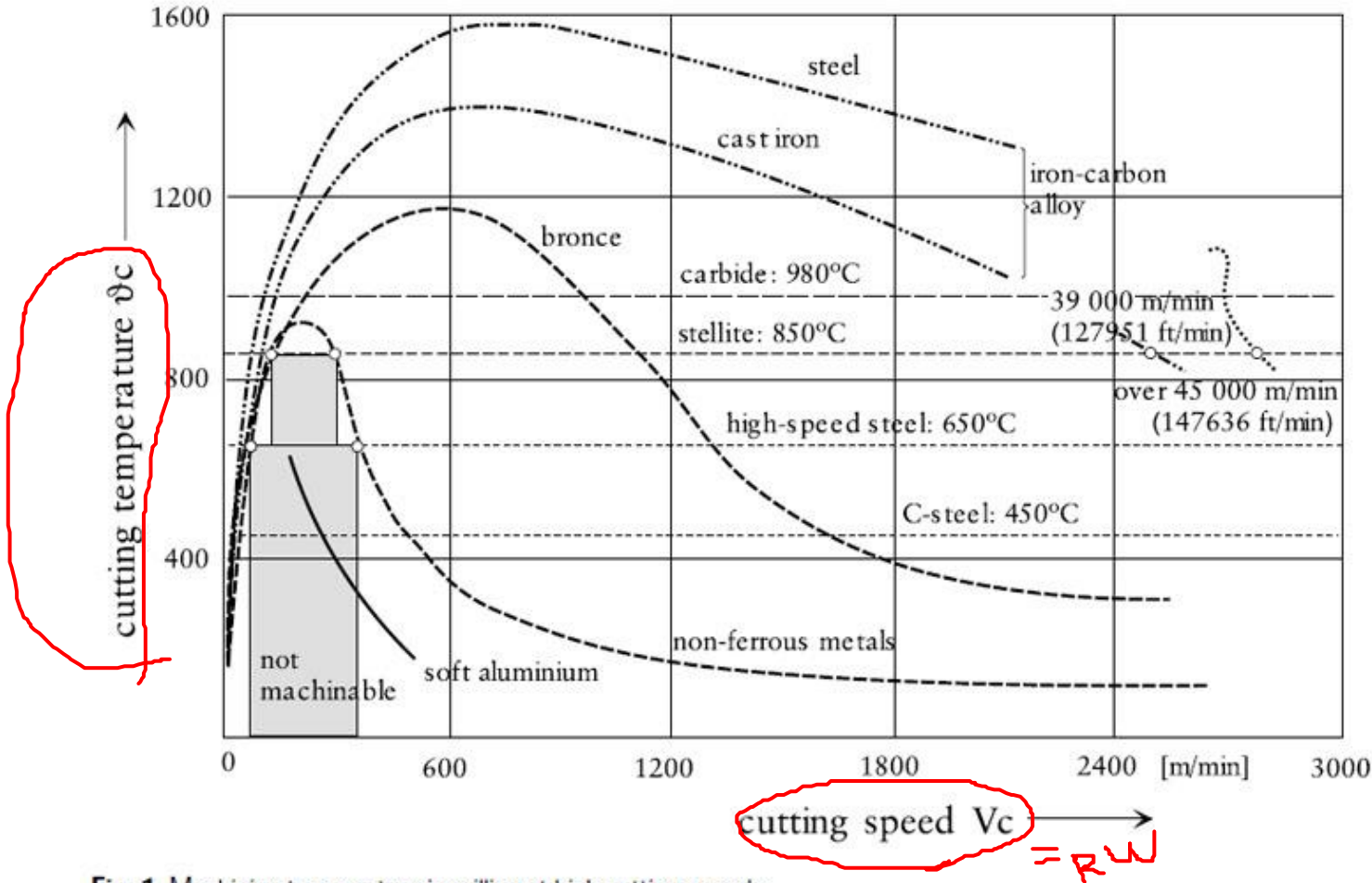


Fig. 1. Machining temperature in milling at high cutting speeds.

مکانیزم فرآیند ماشینکاری پرسرعت

در ماشینکاری پرسرعت (سرعت های بسیار زیاد چرخش ابزار) به دلیل اینکه طول تماس بین ابزار و قطعه کار کوتاه می شود اصطکاک و حرارت کم می شود و این رمز موفقیت این روش است. نکته مهم دیگر این است که با افزایش سرعت دورانی و گرمتر شدن قطعه به دلیل ترد شدن قطعه احتمالا مکانیزم تشکیل براده از حالت پیوسته به حالت گسسته تبدیل می شود و این دما را کاهش می دهد

خشن تراش

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

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

اجزای یک سیستم ماشینکاری پرسرعت

مهمترین جزء یک سیستم ماشینکاری پرسرعت، اسپیندل آن می باشد. ماشین ابزار، ابزار و سایر اجزا همگی حول استفاده کارآمد 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

