

به نام خدا

درس انیورسال 2

بخش دوم: سنگ زنی



سنگ زني



• سنگ زني يکي از فرآيندهاي پرداخت کاري است که در آن از يک ابزار با بي نهايت لبه برنده براي براده برداري استفاده مي شود.

• از آنجا که ابعاد لبه هاي برنده بسيار کوچک است با استفاده از اين روش مي توان به دقت هاي ابعادي و صافي سطوح رسيد که در هيچ يک از روش هاي ماشينکاري به دست نمي آيند.

• جنس لبه هاي برنده از مواد ساينده غير فلزي است.

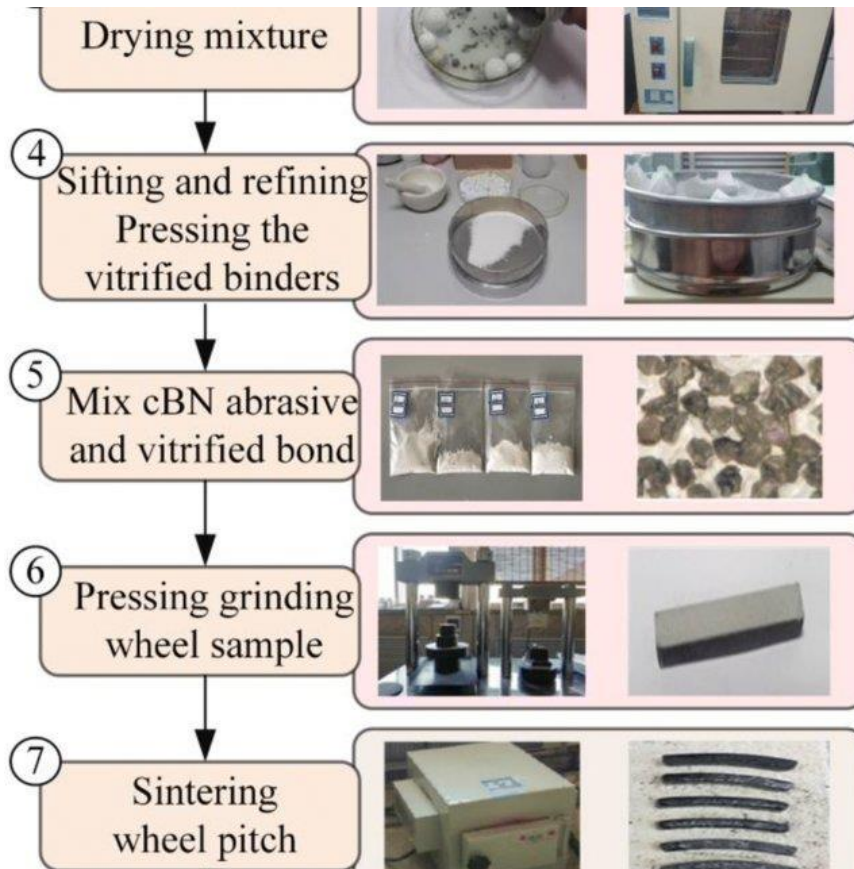
کاربردها } ۱. پرداخت کاري

برای قطعات سخت

برای قطعات با سختی بالا

سنگ زني } ۲. پرداخت کاري

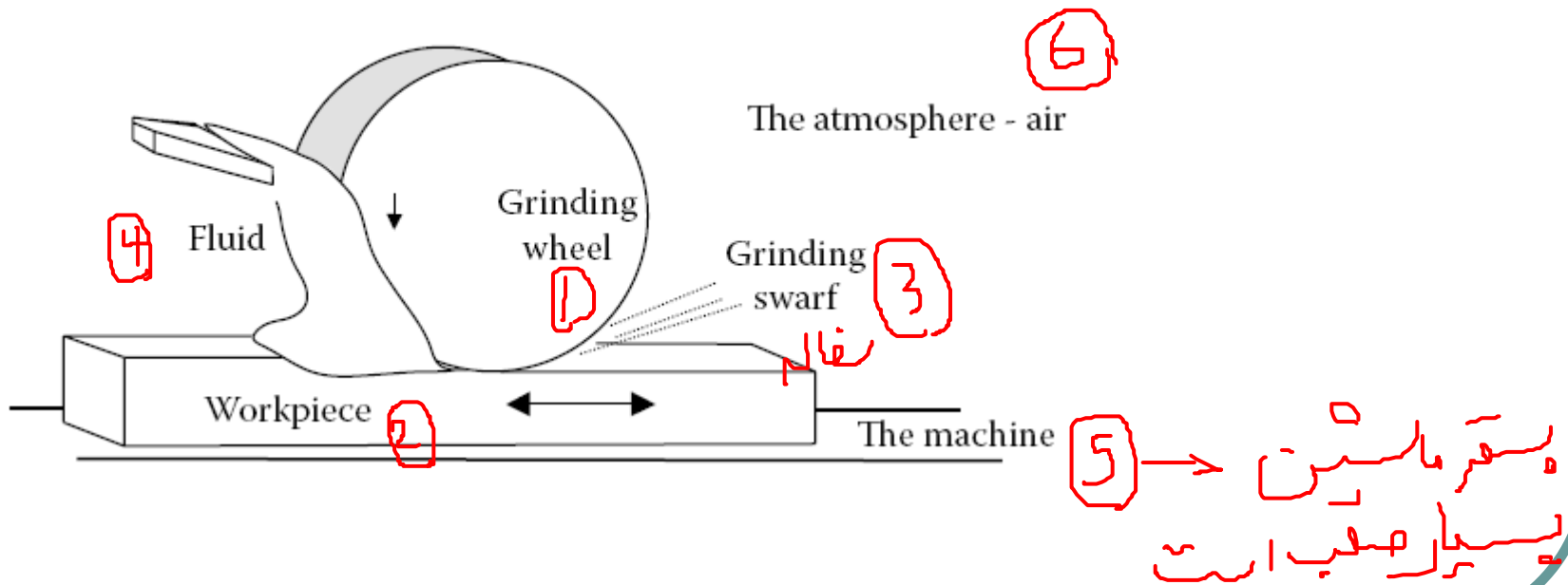
چرخ سنگ



صفت لودر :
 1- SiC
 2- Al_2O_3
 3- CBN
 4- الباس مہٹوی
 5- WC
 ...

شش جزء اصلي فرآيند سنگ زني

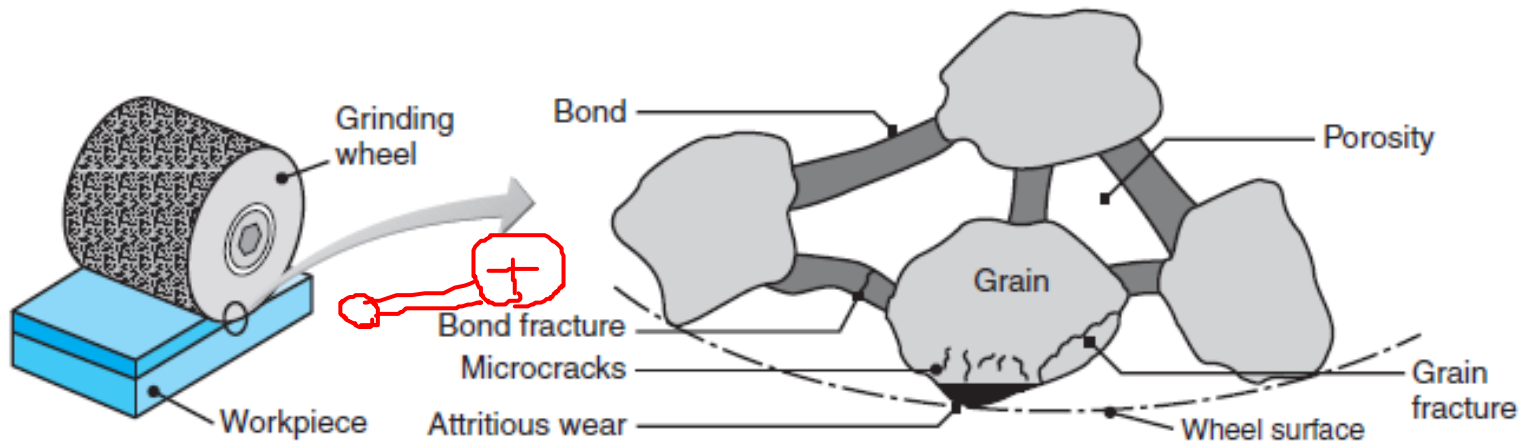
• وجود اتمسفر براي فرآيند سنگ زني ضروري است. وجود اتمسفر باعث تشكيل لايه اكسيد در سطح فلز در دماهاي زياد مي شود. اين لايه اكسيد نقش روانكاري دارد.



چرخ سنگ

- چون هر ذره ساینده فقط مقدار کمی از سطح قطعه کار را به صورت براده جدا می کند برای افزایش نرخ براده برداری باید تعداد زیادی از ذرات ساینده را به هم چسباند.
- چرخ سنگ از ماده ساینده، چسبی که مواد ساینده را به هم می چسباند و فضاهای خالی تشکیل شده است. وجود فضاهای خالی برای تشکیل براده و کمک به خنک کاری ضروری است.

حماصیت مورد نیاز



کند شدن چرخ سنگ



چرخ سنگ



مقایسه بین سنگ زنی و ماشینکاری

	Cutting edge geometry	Rake angle	Chip thickness (mm)	Specific cutting energy	Tool surface speed (m/s)	Surface roughness ($\mu\text{m } R_a$)	Type of work material
Cutting	Deterministic	+	>0.05	Low	<20	>1 μ	Soft/ductile
Grinding	Stochastic	-	<0.025	High	>20	<1 μ	Hard/brittle

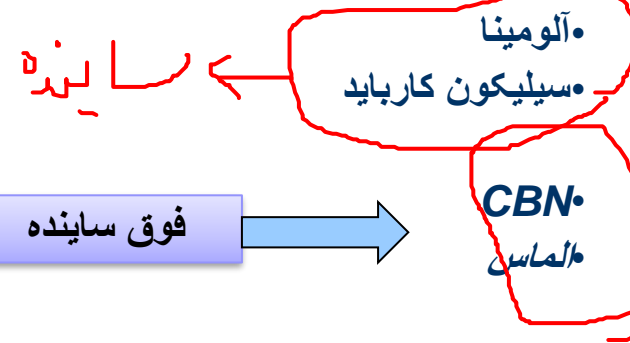
نا مستقیم

مستقیم

سنگ زنی
دانه های ریزه
سخت تر کار
رنگ زرد
دانه های ریزه

پودر ساینده

• پرکاربردترین پودرهای ساینده:



سختی ذرات ساینده مختلف

Common glass	350–500	Titanium nitride	2000
Flint, quartz	800–1100	Titanium carbide	1800–3200
Zirconium oxide	1000	Silicon carbide	2100–3000
Hardened steels	700–1300	Boron carbide	2800
Tungsten carbide	1800–2400	Cubic boron nitride	4000–5000
Aluminum oxide	2000–3000	Diamond	7000–8000



Fused alumina 99,5 % Al_2O_3
Identification: EK 1



Microcrystalline sintered alumina
Identification: EB or EX



Silicon carbide green 98-99,5 % SiC
Identification: SC 9

پودر ساینده

ویژگی های مورد نیاز

1. سختی

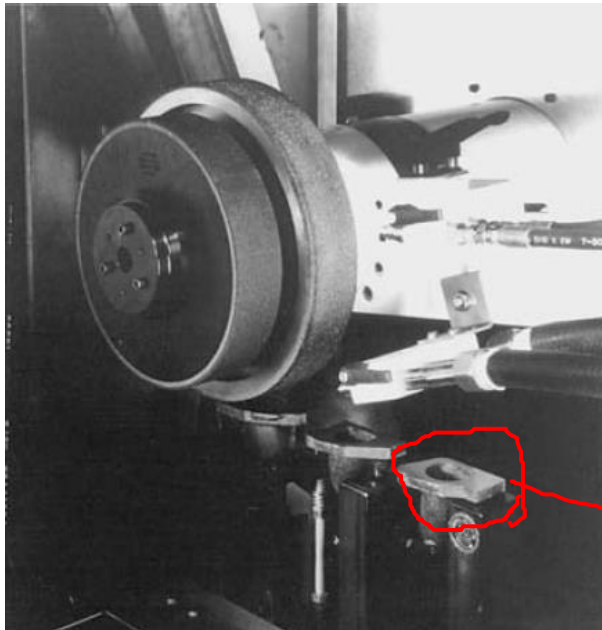
2. شکنندگی (به لبه برنده قابلیت خود تیزکنندگی را می دهد)

• پودر های ساینده موجود در طبیعت حاوی مقادیری از ناخالصی ها هستند مستقیما قابل استفاده نیستند و باید فرایندهایی روی آن ها برای تهیه پودر مناسب انجام گیرد.

• اندازه ذرات ساینده با عددی بیان می شود که تابعی از اندازه الک است. مثلا عدد 10 بیانگر خیلی درشت، 100 ریز و 500 خیلی ریز هستند.

چسب ذرات ساینده

• **چسب شیشه:** از زینتر پودر شیشه مخلوط شده با موادی از قبیل خاک رس و ... در دماهای بالا تهیه می شود. معمولترین چسبی است که مورد استفاده قرار می گیرد.



سنگ زنی چند راهه دود(خشن کاری و پرداخت کاری با چرخ سنگ از جنس CBN و چسب شیشه ای

• **پایداری در دماهای زیاد، شکنندگی، صلبیت و توان ایجاد چرخ های سنگ با تخلخل زیاد از ویژگی های این چسب است. فلدسپار، خاک رس و ماده ساینده را تحت فشار به شکل چرخ سنگ دلخواه درمی آورند. سپس آنرا تا دمای 1250 درجه گرم می کنند تا شیشه فیوز شود و استحکام لازم به دست آید.**

• **چسب رزینی:** این چسب ها از جنس رزین های ترموست هستند. چرخ های سنگ تولید شده با این چسب انعطاف پذیرتر از چرخ های تولید شده با چسب شیشه ای هستند و گاهی با چند لایه فایبر گلاس آنرا مقاوم سازی می کنند.

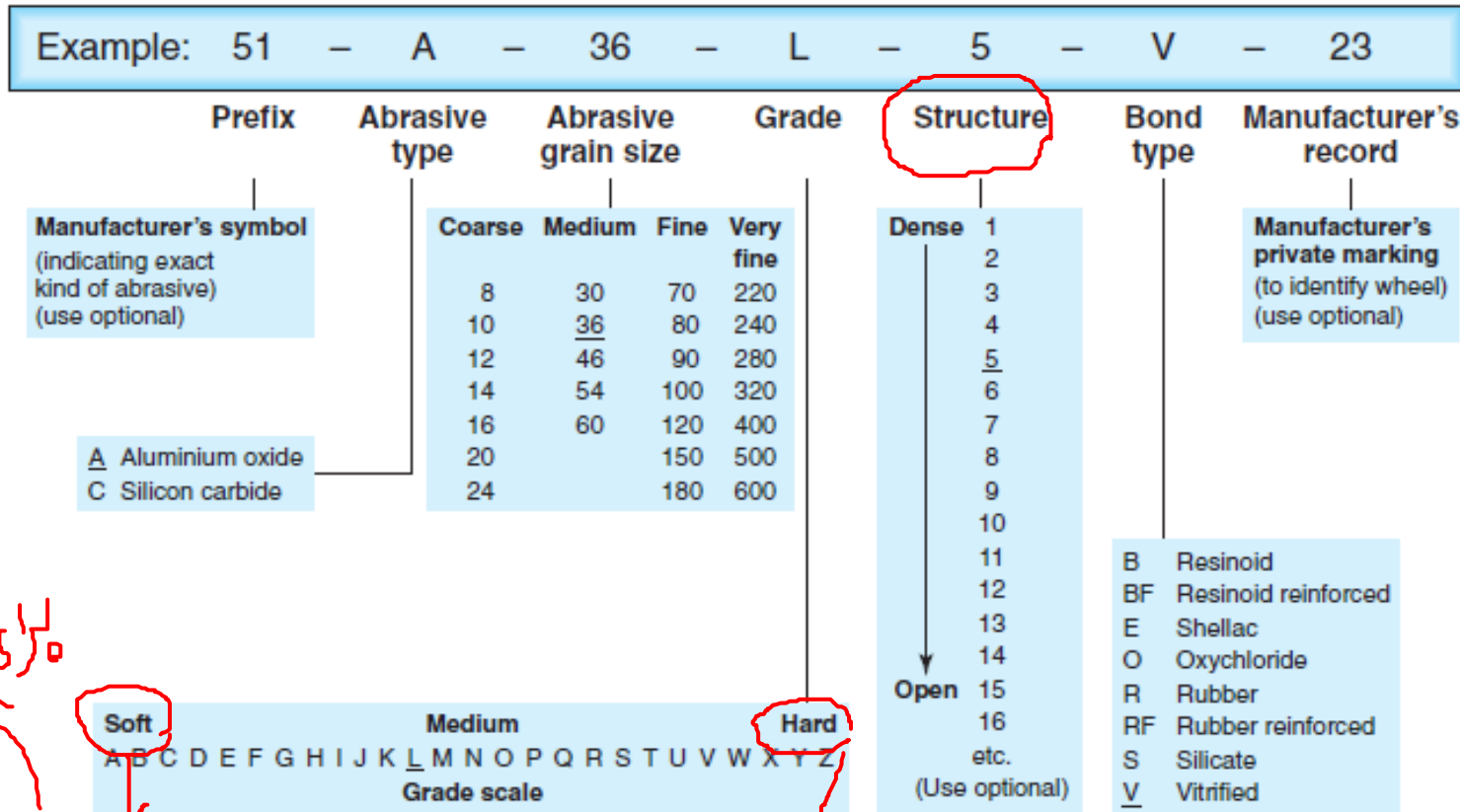
• از آنجا که یک ترکیب آلی هستند چرخ سنگ های رزینی هم نامیده می شوند. روش تولید این چرخ سنگ ها شامل ترکیب رزین های پودری یا مایع فنولی با پودر ساینده پودری (مجموعه به شکل مورد نیاز چرخ سنگ و سپس کیور (curing) تا دمای 175 درجه سانتی گراد. کاربرد چسب های رزینی برای خشن کاری و برش است.

چسب ذرات ساینده

• **چسب فلزی:** با استفاده از روش متالورژی پودر، پودر ساینده (عمدتا الماس و CBN) به دور چرخ سنگ فلزی از جنس آلومینویم، برنز، فولاد سرامیک و مواد ترکیبی به ضخامت تا 6 میلی متر چسبانده می شوند.

• **چسب لاستیکی:** انعطاف پذیرترین نوع چسب ها هستند. برای سنگ های نازک برش مورد استفاده قرار می گیرند. روش تولید شامل مخلوط کردن پودر لاستیک، گوگرد و ذرات ساینده و نورد آن ها به صورت ورقه های نازک و برش ورقه ها به شکل چرخ سنگ.

استانده سازی چرخ های سنگ



هاری مواد سنگ

Soft

Hard

برای مواد نرم → چرخ سنگ سخت

چرخ سنگ نرم و چرخ سنگ سخت

• سنگ نرم سنگی است که در آن دانه‌ها از چرخ سنگ به راحتی جدا می‌شوند. در چرخ سنگ سخت دانه‌ها به سختی از چرخ سنگ جدا می‌شوند.

*چرخ سنگ سخت برای قطعات نرم انتخاب شود تا سایش سنگ به تأخیر بیفتد و چرخ سنگ نرم برای قطعات سخت انتخاب شود تا خاصیت خودتیزکنی چرخ سنگ را تسهیل کند.

میزان فضاهای خالی (Structure)

• هر چقدر فضاهای خالی بیشتر باشند، امکان نرخ براده برداری بیشتر فراهم است. اگر فضاهای خالی کمتر باشند چون براده ها جایی برای قرار گرفتن ندارند، نرخ براده برداری کمتری خواهیم داشت.

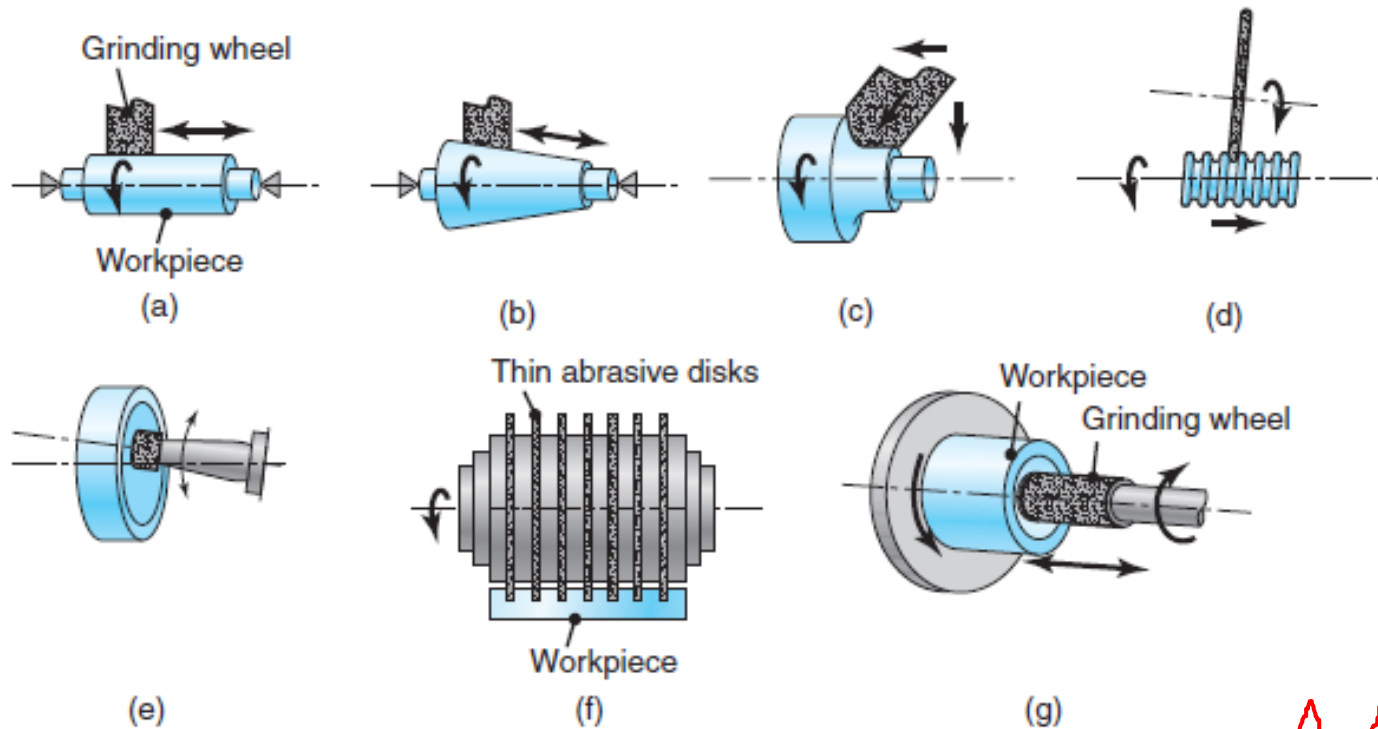
• **Dense:** فضاهای خالی کم

• **Open:** فضاهای خالی بزرگ

• از چرخ سنگ با دانه‌های ساینده بزرگ (چرخ سنگ سخت) برای قطعات نرم و شکل‌پذیر و از چرخ سنگ با دانه‌های ساینده ریز (چرخ سنگ نرم) برای قطعات ترد و سخت استفاده شود.

• از چرخ سنگ با دانه‌های ریز برای پرداخت‌کاری و چرخ سنگ با دانه‌های درشت برای خشن‌کاری (حداکثر نرخ براده‌برداری) استفاده شود.

سنگ زنی هندسه های مختلف قطعه کار

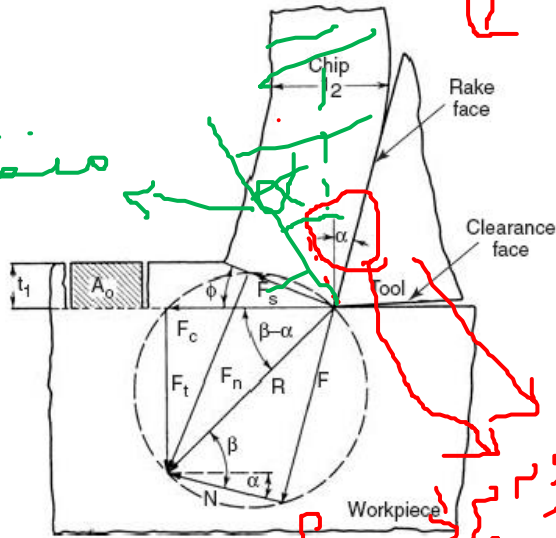


ابزار پرکام ← چس ← WC
 صافن سطح ← $R_z = 0.05 \mu_m$

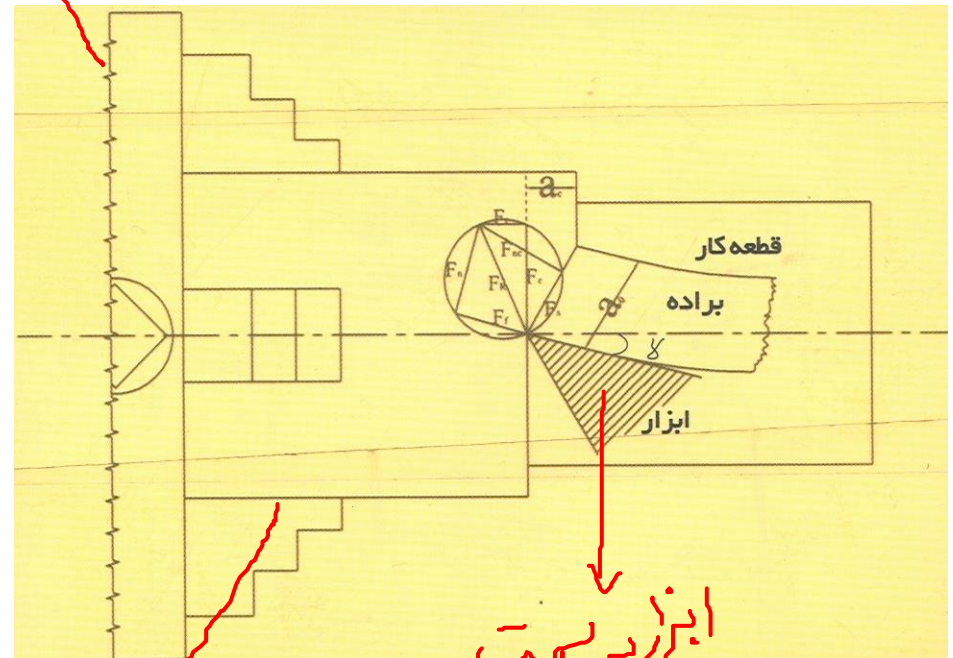
دیاگرام ازاد نیروهای ماشینکاری

زاویه حرکتی و پس

منفی



زاویه برنگ
6 مثبت



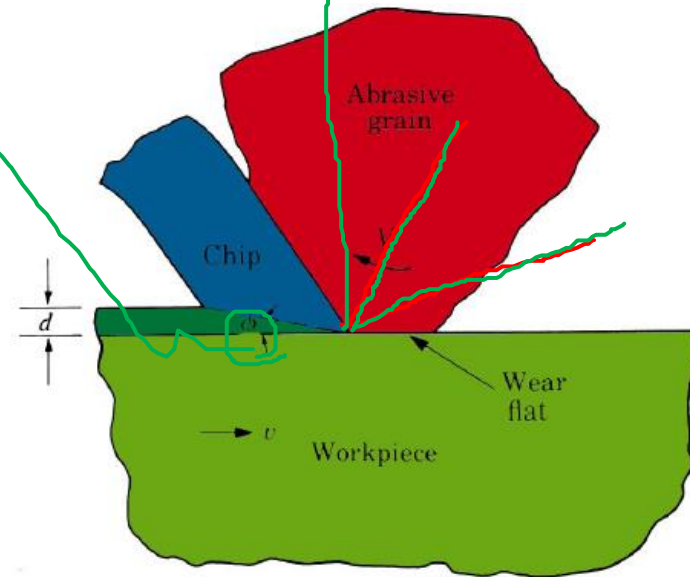
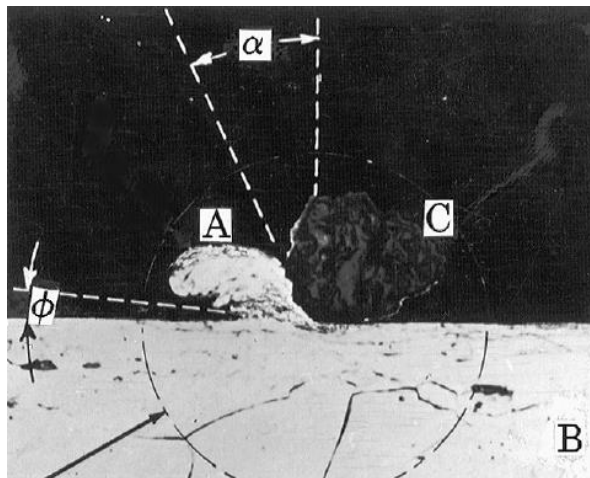
این زاویه مثبت
چسب

سیستم

سازوکار شکل گیری براده

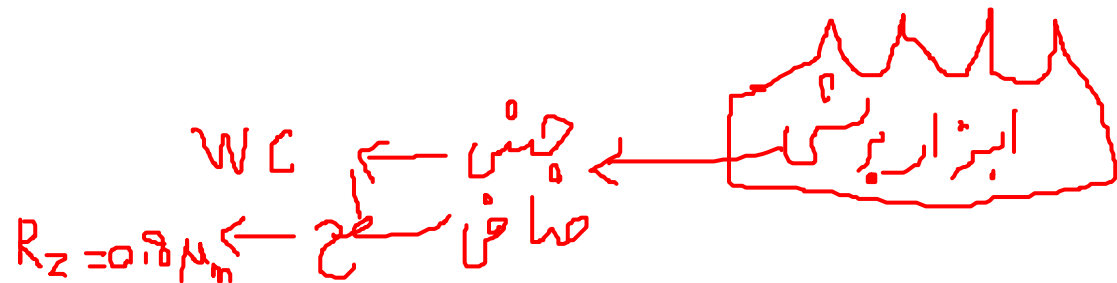
• تفاوت سنگ زنی و ماشینکاری با ابزار تک لبه این است که در سنگ زنی هر یک از لبه های برنده شکل های نامشخصی دارند و به صورت تصادفی در اطراف چرخ سنگ چیده شده اند.

• زاویه براده میانگین در چرخ سنگ منفی است بنابراین در مقایسه با روش های دیگر براده برداری، براده ها تحت تغییر شکل زیادی قرار می گیرند و زاویه صفحه برش بسیار کوچک است.



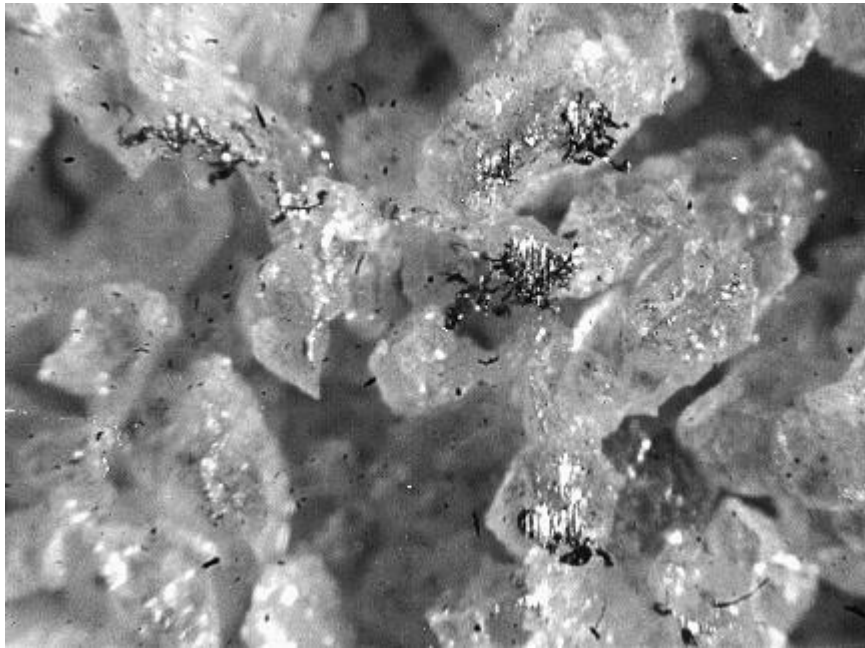
مثال:

- برای ساخت ابزار زیر دو روش سنگ زنی و وایرکات وجود دارند. این دو روش را مقایسه نماید؟
- وایرکات فرآیندی است که با استفاده از سیم نازک و جرقه براده برداری می کند. ضخامت سیم حدود ۰.۲۵ میلی متر است.



- مزیت های وایرکات: دقت ابعادی بسیار عالی - برای r های کوچک به راحتی قابل استفاده است. فرآیند غیر تماسی است و نیروهای ماشینکاری نداریم پس گیره بندی خاصی لازم نیست.
- معایب وایرکات: گران و زمان بر است

سازوکار شکل گیری براده



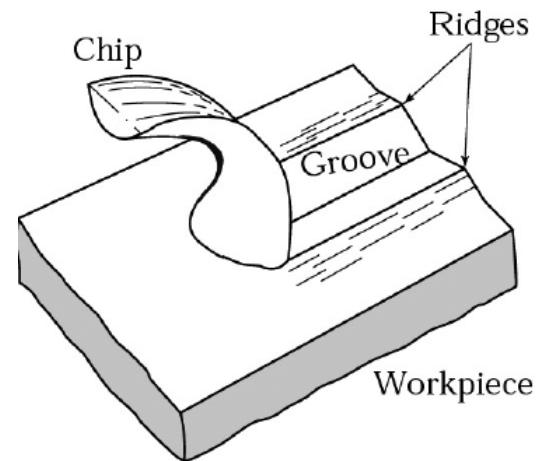
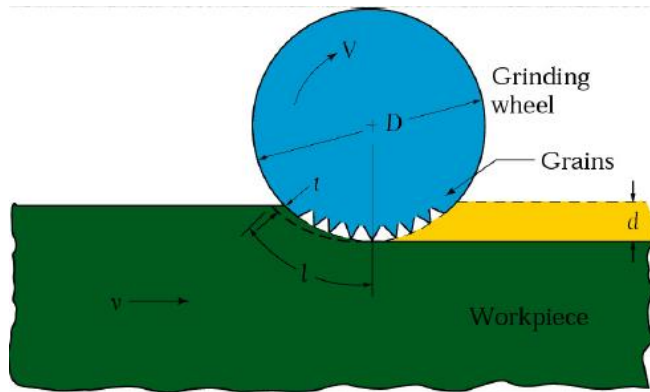
سطح یک چرخ سنگ که در آن ذرات ساینده، فضاهای خالی، سطوح سایشی روی ذرات ساینده و براده های جدا شده از سطح قطعه کار نشان داده شده است.

چرخ سنگ با بزرگنمایی 50 برابر

متغیرها و نیروها در فرایند سنگ زنی

• در سنگ زنی با توجه به اینکه عمق های برش کوچک هستند نیروهای ماشینکاری به نسبت دیگر فرایندها کمتر است ولی انرژی مخصوص مصرف شده در این فرایند به دلیل زاویه براده منفی و شکل گیری سطح تخت روی دانه ساییده نسبت به فرایندهای دیگر بسیار بیشتر است.

• انرژی صرف شده در سنگ زنی صرف شکل گیری براده، شخم روی قطعه کار با ایجاد لبه ها و اصطکاک ایجاد شده در اثر سایش سنگ روی سطح قطعه کار می شود.



EXAMPLE**Forces in Surface Grinding**

A surface-grinding operation is being performed on low-carbon steel with a wheel of diameter $D=250$ mm that is rotating at $N=4000$ rpm and a width of cut of $w=25$ mm. The depth of cut is $d=0.05$ mm and the feed rate of the workpiece, is 1.5 m/min. Calculate the cutting force and the thrust force.

The Grinding Process

Solution

Forces in Surface Grinding

The material-removal rate (MRR) is

$$MMR = d w v = (0.05)(25)(1500) = 1875 \text{ mm}^3 / \text{min}$$

u is specific energy which is 40 w.s/mm³ for low carbon steel so The power consumed is:

$$Power = (u)(MMR) = 40 \left(\frac{1}{60} \right) (1875) = 75,000 \text{ Nm/min}$$

Since power is:

$$Power = Tw$$

$$75000 = (F_c) \left(\frac{250}{2} \right) (2\pi)(4000) \left(\frac{1}{1000} \right) \Rightarrow F_c = 24 \text{ N}$$

The Grinding Process

Solution

Forces in Surface Grinding

Thrust force can be estimated by noting from experimental data in the technical literature that it is about 30% higher than the cutting force

$$F_n = 1.3 \times 24 = 31 \text{ N}$$

مقایسه انرژی مخصوص تراشکاری و سنگ زنی

TABLE 26.2

Approximate Specific-Energy Requirements for Surface Grinding

Workpiece material	Hardness	Specific energy	
		W•s/mm ³	hp•min/in ³
Aluminum	150 HB	7-27	2.5-10
Cast iron (class 40)	215 HB	12-60	4.5-22
Low-carbon steel (1020)	110 HB	14-68	5-25
Titanium alloy	300 HB	16-55	6-20
Tool steel (T15)	67 HRC	18-82	6.5-30

سنگ زنی

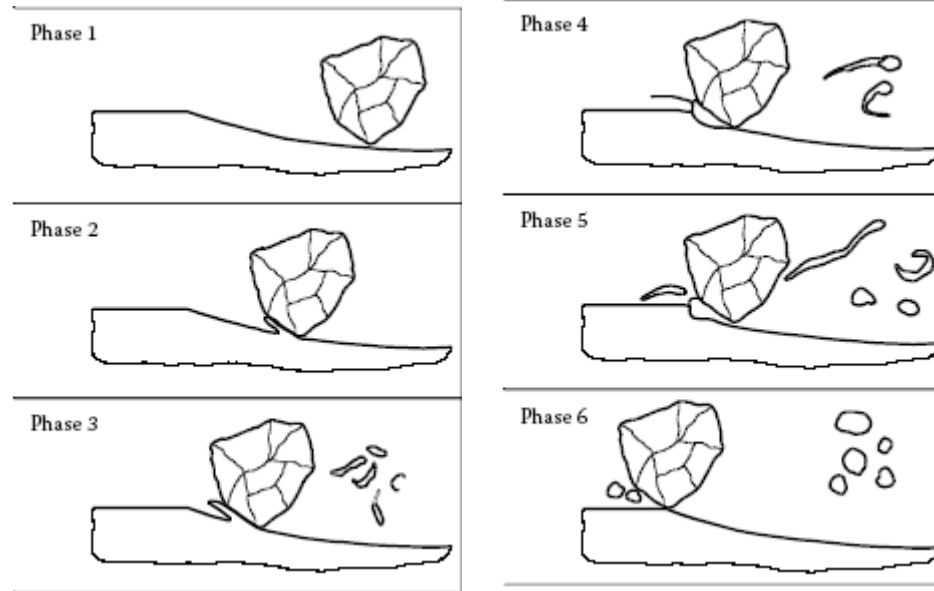
Specific energy

Material	Specific energy	
	W-s/mm ³	hp-min/in. ³
Aluminum alloys	0.4-1.1	0.15-0.4
Cast irons	1.6-5.5	0.6-2.0
Copper alloys	1.4-3.3	0.5-1.2
High-temperature alloys	3.3-8.5	1.2-3.1
Magnesium alloys	0.4-0.6	0.15-0.2
Nickel alloys	4.9-6.8	1.8-2.5
Refractory alloys	3.8-9.6	1.1-3.5
Stainless steels	3.0-5.2	1.1-1.9
Steels	2.7-9.3	1.0-3.4
Titanium alloys	3.0-4.1	1.1-1.5

تراشکاری

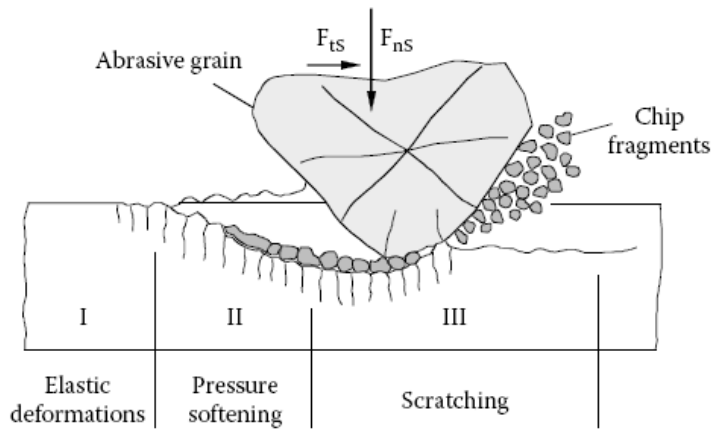
مراحل شکل گیری براده

- در ربع طول برش درگیری ذرات ساینده با سطح قطعه کار باعث ایجاد شیار می شود. این فرایند در اثر تغییر شکل مومسان و کشسان در قطعه بوجود می آید.
- در فاز دوم شکل گیری براده تشکیل می شود که مقطعی متوازی الضلاع شکل دارد. این براده مسطح است و سطح کافی برای انتقال حرارت جابجایی و تشعشعی دارد.
- تجمع مواد تحت فشار در مرحله 3 ممکن است باعث ذوب براده شود. در این مرحله چون سطح تماس موثر مایع روانکار کوچک است انتقال حرارت مناسبی نمی تواند انجام گیرد.

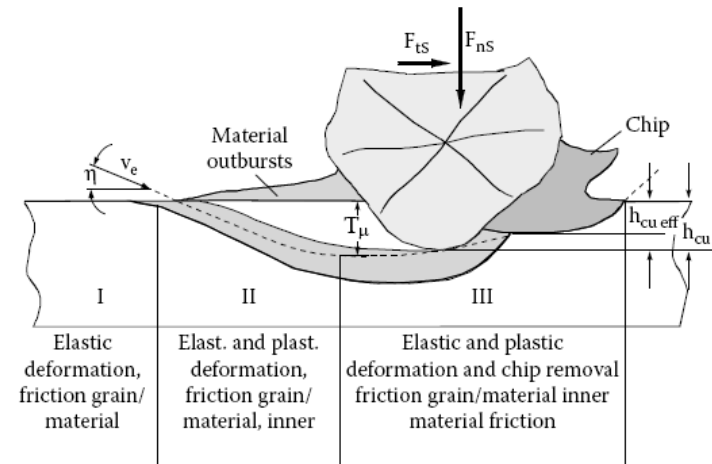


تفاوت در سازوکار براده برداری مواد نرم و ترد

سرد



نرم

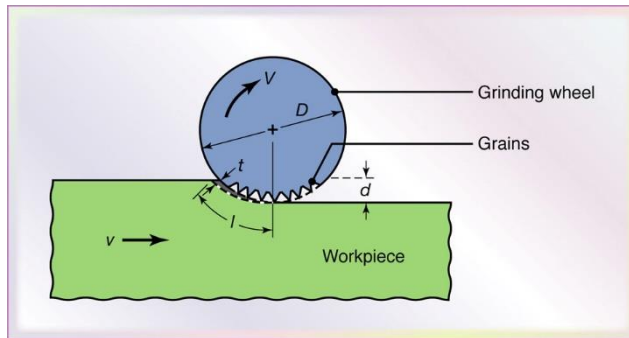


تأثيرات دما در سنگ زني

□ اهمیت دما در سنگ زني

1. تأثيرات دما روي خصوصيات سطح قطعه کار
2. باعث ايجاد تنش هاي پسماند در قطعه کار مي شود
3. انقباض و انبساط هاي متوالي سطح قطعه کار باعث ايجاد اعوجاج در قطعه کار مي شوند

$$\Delta T \propto D^{1/4} d^{3/4} \left(\frac{V}{v} \right)^{1/2}$$



• حداکثر دما در سنگ زني به 1600 درجه مي رسد.

عارضه های دمایی

□ **جرقه:** از گرمای حاصل از واکنش گرماده براده ها با اکسیژن، براده ها از خود گرما ساطع می کنند که به شکل جرقه هایی دیده می شود. گرمای حاصل از این واکنش ممکن است براده ها را ذوب کند.

□ **تمپرینگ:** گرمای حاصل از سنگ زنی ممکن است سطح قطعه کار را تمپر کند. افزایش دما باید بوسیله مایع خنک کار کنترل شود تا قطعه کار بیش از حد نرم نشود.

□ **سوختگی:** گرمای زیاد سنگ زنی ممکن است باعث سوختگی سطح قطعه کار شود. سوختگی در سطح فولاد سنگ خورده با رنگ آبی مشخص می شود. این عارضه باعث ترد شدن سطح قطعه کار می شود.

□ **ترک:** دماهای زیاد در سنگ زنی ممکن است باعث ایجاد ترک های سطحی در قطعه کار شود. ترک ها باعث کاهش مقاومت خستگی و خوردگی سطح می شود.

نرم کردن
مقصود

انواع فرایندهای سنگ زنی

- سنگ زنی صفحه ای
- سنگ زنی استوانه ای

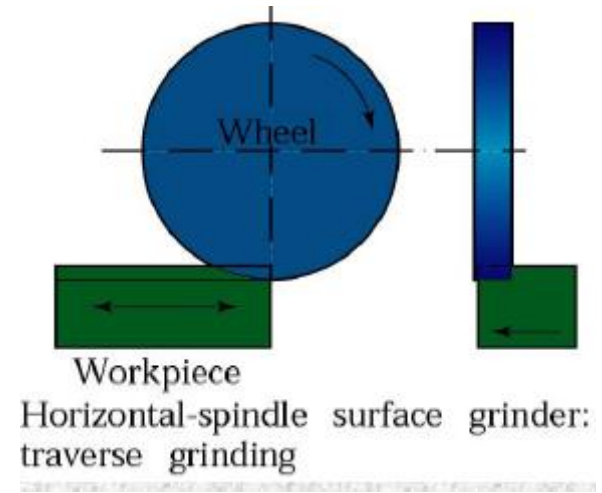
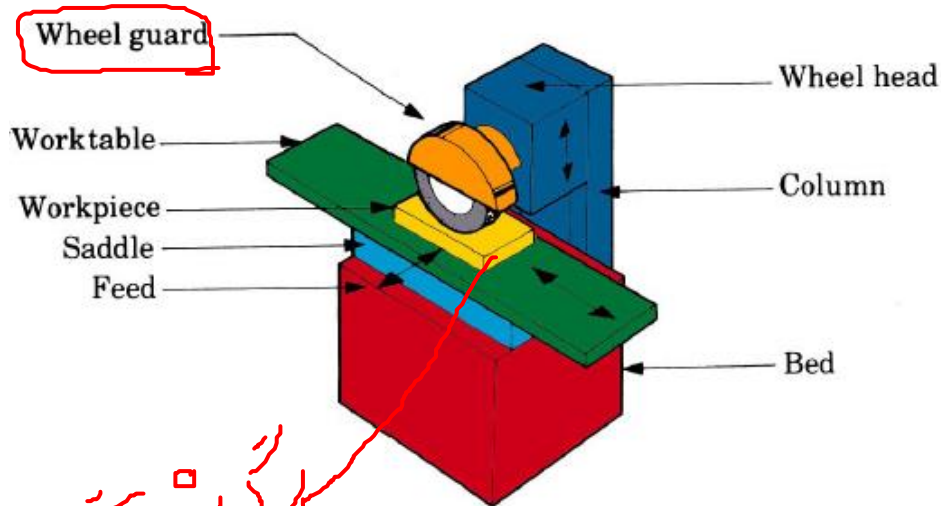
انواع فرآیندهای سنگ زنی-سنگ زنی صفحه ای

سنگ یا زرولی - سنگ گت



- سنگ زنی صفحه ای برای سنگ زنی سطوح صفحه ای مورد استفاده قرار می یگیرد.
- در این روش قطعه کار با استفاده از نیروی الکترومغناطیس به میز ماشین متصل می شود.
- قطعه کار در این روش حرکت رفت و برگشتی دارد و چرخ سنگ حرکت چرخشی حول محور افقی.

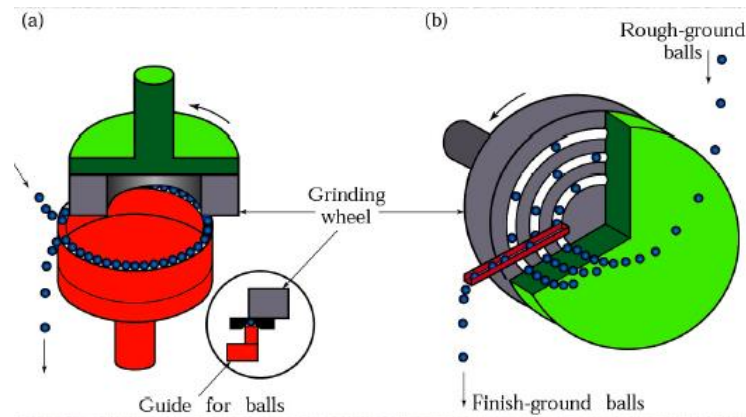
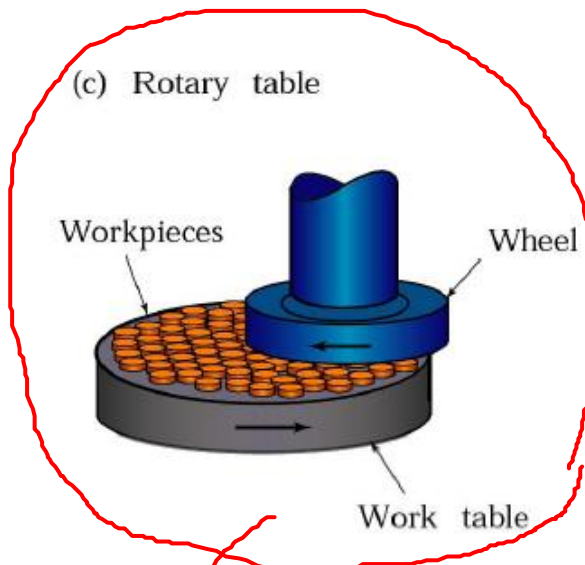
برای تولید این نوع روش مناسب است چرا؟



کے گریس با سنگت

انواع فرایندهای سنگ زنی-سنگ زنی صفحه ای

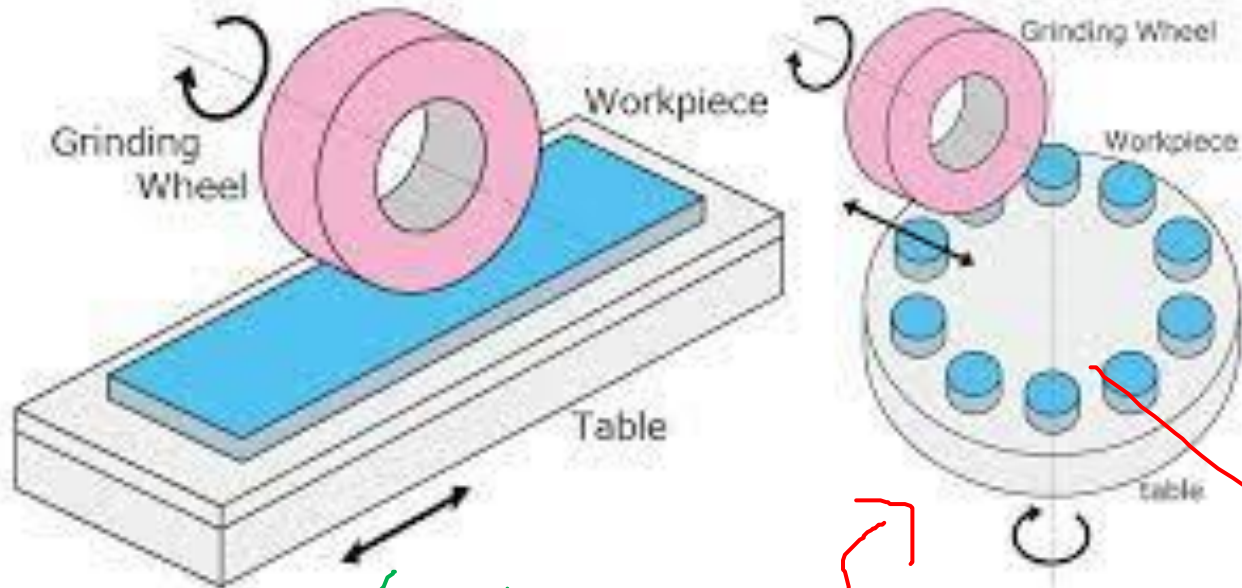
• با استفاده از اسپیندل های عمودی و میزهای گردان می توان تعداد زیادی قطعه را همزمان سنگ زد.



ویدئوی فرآیند

Rotary surface grinding

فرایند سنگ تخت

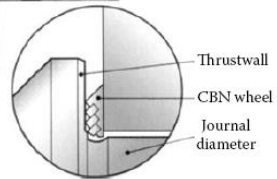
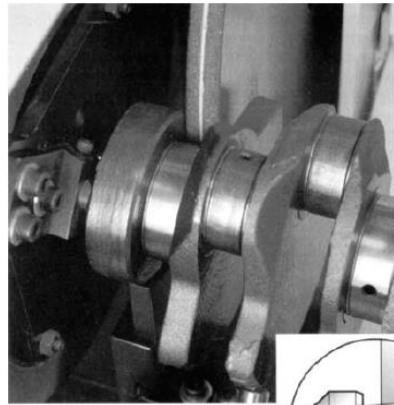


سنگ تخت
تور افش
خور مودک

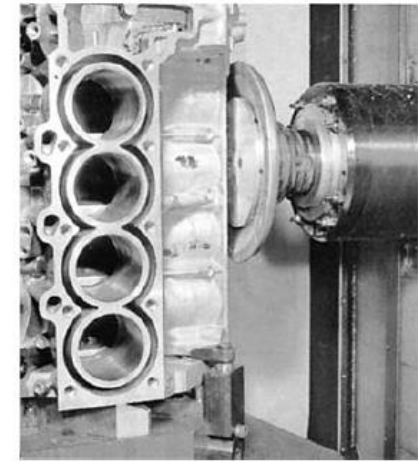
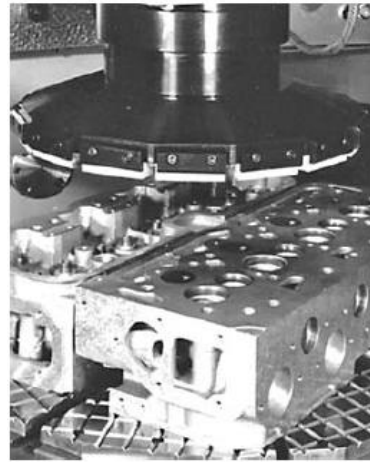
• <https://www.dideo.ir/v/yt/g7dSA6UwnEE/machine-tools-lab-during-surface-grinding>

<https://youtu.be/TS19E-T4Tmo>

مثال-سنگ زني سطوح



سنگ زني سطح جانبي ميل لنگ



سنگ زني سطح بدنه

1 ویدئوی فرآیند

2 ویدئوی فرآیند

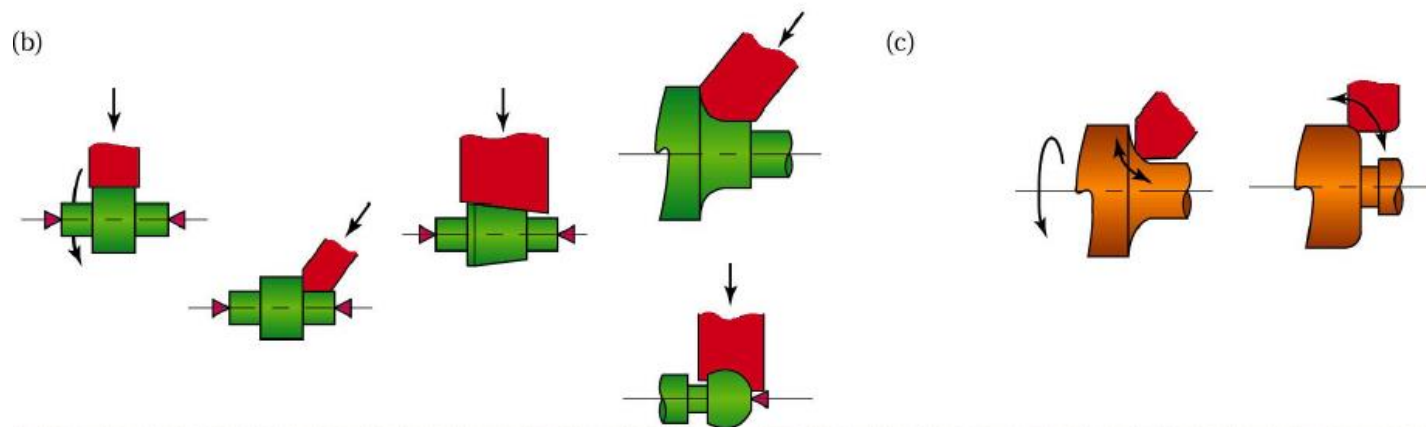
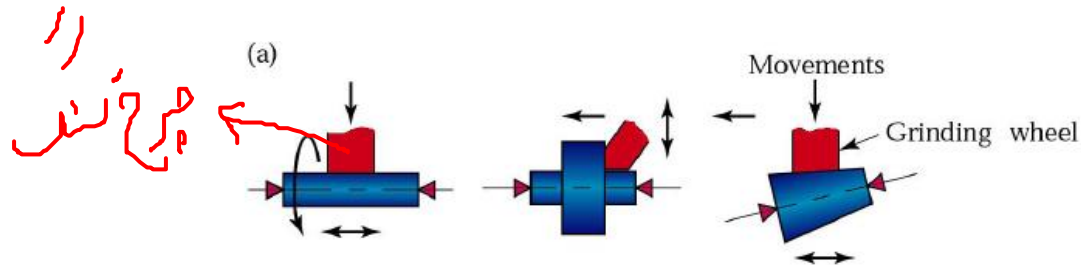
دستگاه سنگ زني استوانه اي



انواع فرآیندهای سنگ زنی-سنگ زنی استوانه ای

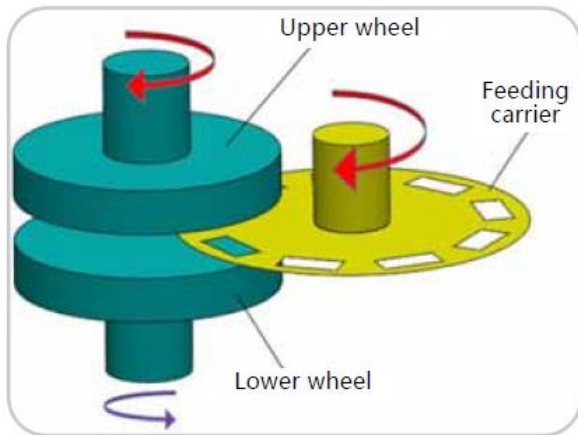
- برای سنگ زنی سطوح استوانه ای خارجی مورد استفاده قرار می گیرد.
- قطعه حول محور خود حرکت چرخشی دارد همچنین به صورت رفت و برگشتی حرکت می کند.

دسته سنگ محور استفاده می شود

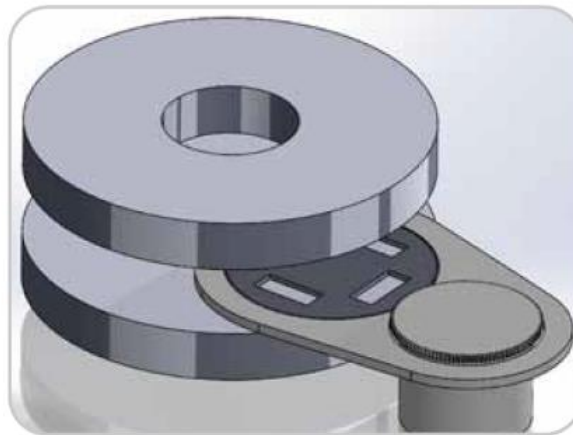


دستگاههای سنگ دو طرفه

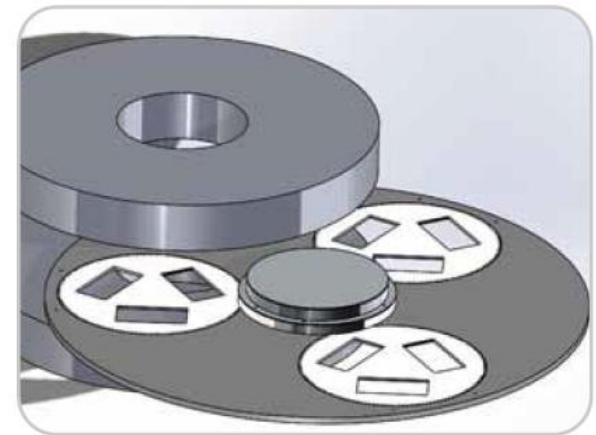
این دستگاهها معمولاً در دو نوع سنگ دو طرفه محور افقی و سنگ دو طرفه محور عمودی دسته بندی می شوند و سرعت تولید بسیار بالا و دقت بسیار خوب از ویژگی های این دستگاهها می باشد.



C type grinding



Oscillation grinding

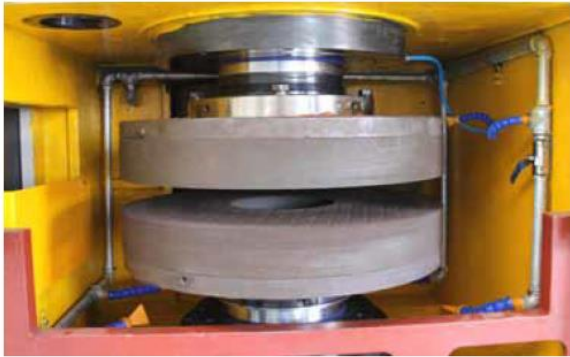


Planetary grinding

دستگاه سنگ دو طرفه با محور عمودی

• <https://www.dideo.ir/v/yt/Q2ZlsFYofBs/double-disk-grinding-at-modern-industries>

دستگاههای سنگ دو طرفه



دستگاههای سنگ دو طرفه با محور افقی



• <https://www.dideo.ir/v/yt/IIQeqPtk9Ic/bearing-face-grinding-%28double-disc-grinder%29>

نوع عملکرد دستگاههای سنگ دو طرفه با محور افقی

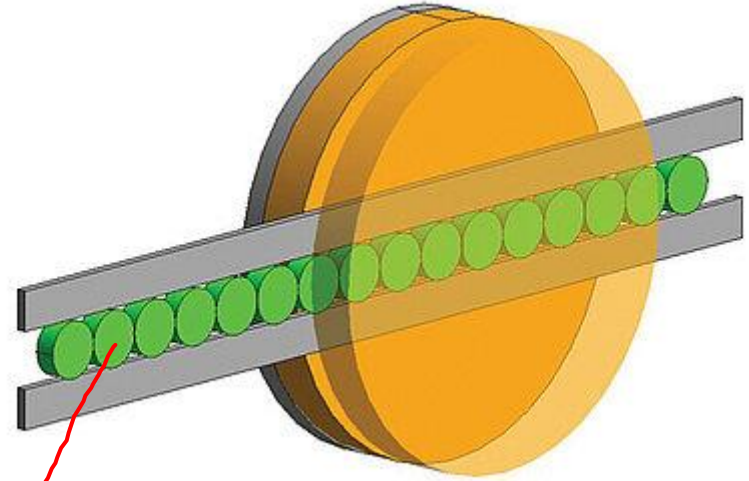
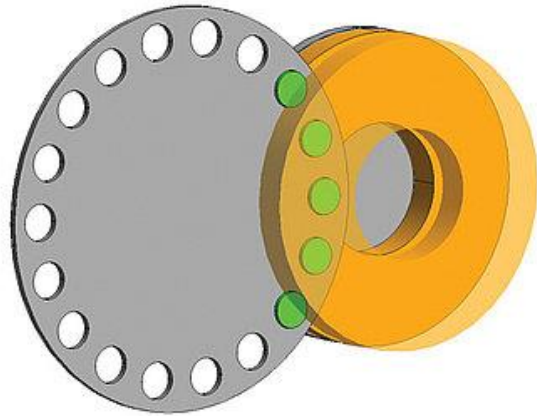
• در این دستگاهها قطعه کار در یک انباره (magazine) با نیروی مغناطیسی صفحه مدور داخل پیش بر دستگاه هدایت شده و پیش بر قطعه را بین دو چرخ سنگ، سنگ زنی نموده و از سمت دیگر دستگاه خارج می شود. نرخ تولید دستگاه بسیار بالا بوده و کلیه فرآیندهای گذاشت و برداشت قطعه به صورت اتوماتیک انجام می شود. فقط به یک اپراتور جهت نظارت و اندازه گیری ابعادی قطعه کار (چک نمودن ارتفاع و توازی) نیاز می باشد.



اندازه گیری ارتفاع بلبرینگ بعد از سنگ دو طرفه

• یک ویژگی مهم دستگاه قابلیت تنظیم فاصله بین دو چرخ سنگ جهت تنظیم ارتفاع قطعه با رزولوشن میکرونی می باشد.

تنگاهای سنگ دو طرفه با محور افقی



کامپوزیت پرده سنگ

دستگاههای سنگ دو طرفه با محور افقی

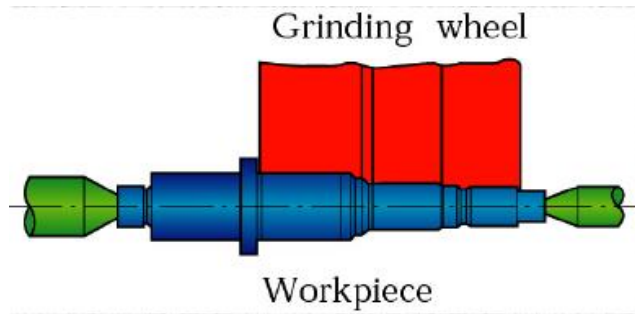


مقایسه دستگاههای سنگ دو طرفه با محور افقی و عمودی

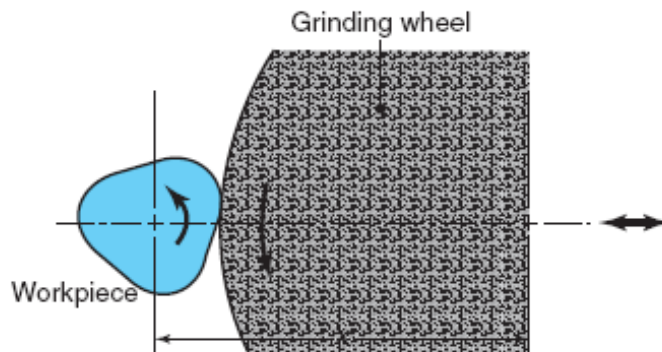
• معمولاً دقت ابعادی دستگاههای عمودی بیشتر از دستگاههای افقی است و دستگاههای افقی سرعت بالاتری دارند. معمولاً دستگاههای افقی برای سنگ زنی خشن و دستگاههای عمودی برای سنگ زنی دقیق و نهایی مورد استفاده قرار می گیرند.

انواع فرآیندهای سنگ زنی-سنگ زنی استوانه ای

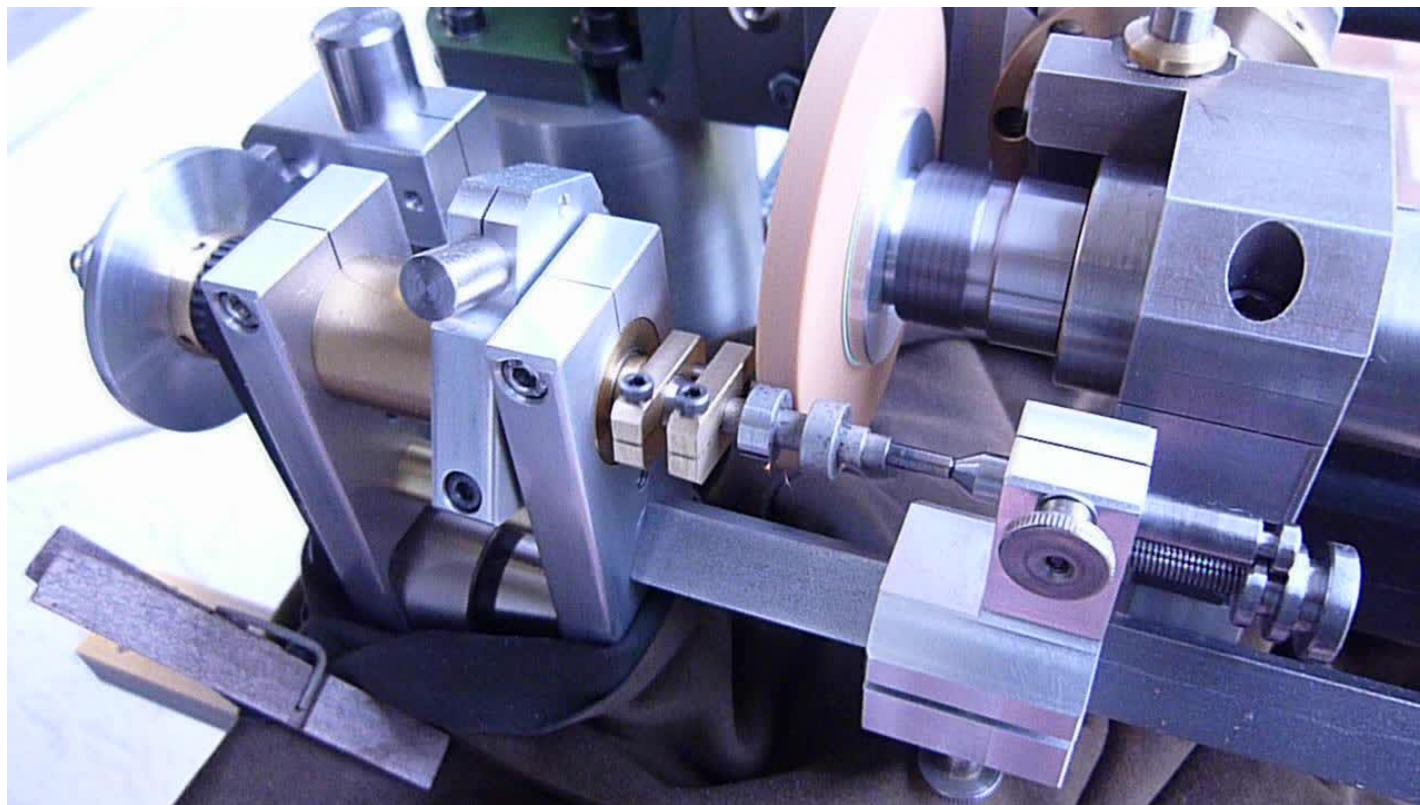
با ایجاد هندسه قطعه روی چرخ سنگ می توان یک پروفایل را سنگ زنی نمود.



با استفاده از این روش و تنظیم حرکت خطی چرخ سنگ نسبت به سرعت دورانی محور قطعه کار می توان شکل های غیر متقارن مانند بادامک را سنگ زنی نمود.



انواع فرآیندهای سنگ زنی-سنگ زنی استوانه ای

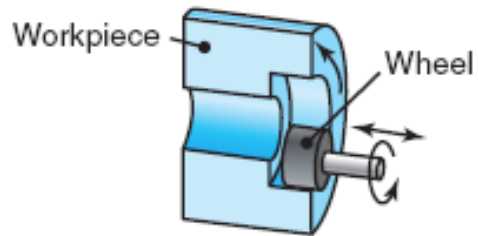


سنگ زنی میل بادامک

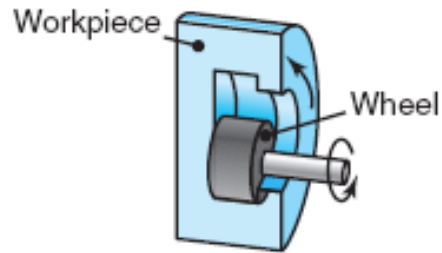
سنگ زني سطوح داخلي

□ در اين روش از يك چرخ سنگ كوچك براي سنگ زني سطح داخلي استفاده مي شود.

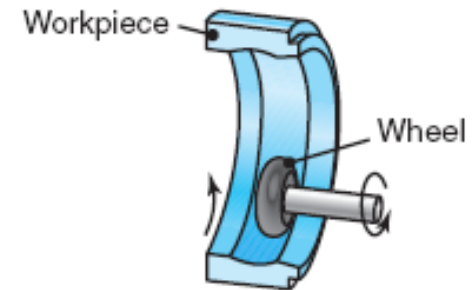
□ قطعه كار در يك سه نظام دوار قرار مي گيرد و سرعت دوراني چرخ سنگ به 30000 دور بر دقيقه مي رسد.



(a) Traverse grinding



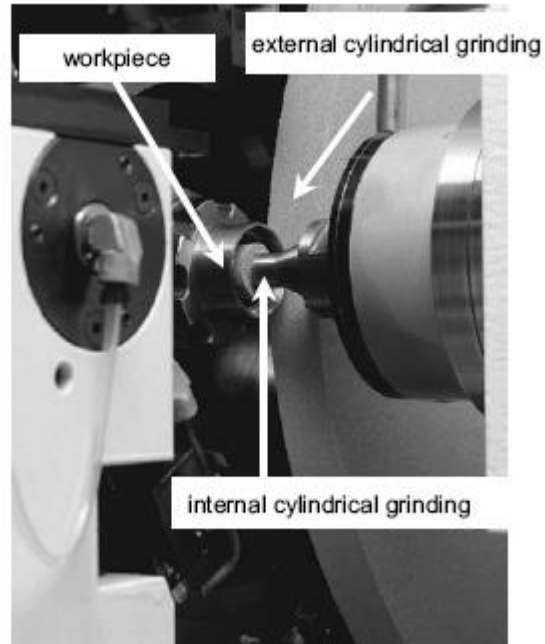
(b) Plunge grinding



(c) Profile grinding

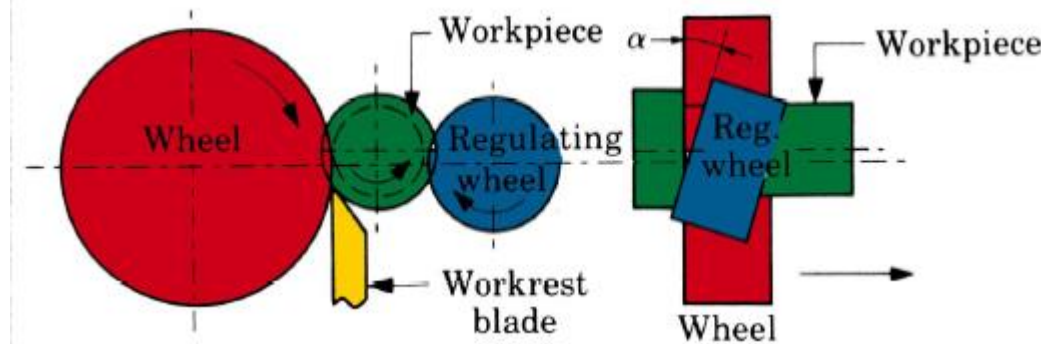
ويدئو

سنگ زني سطوح داخلي



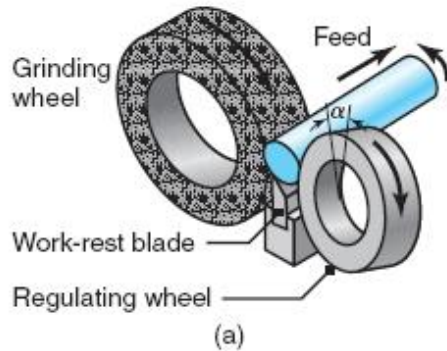
سنگ زنی بدون مرکز

Centerless grinding

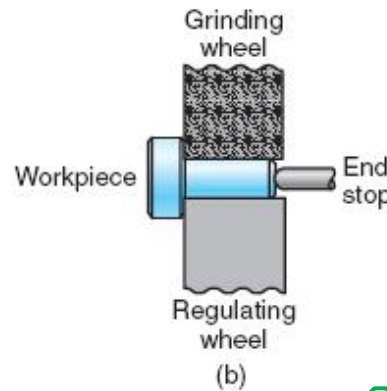


Through-feed grinding

Plunge grinding



(a)



(b)

□ در این روش که برای تولید انبوه قطعات مورد استفاده قرار می گیرد قطعه کار بین دو مرکز مقید نمی شود بلکه بوسیله یک تیغه سر جای خود نگه داشته می شود.

□ از دو چرخ سنگ برای مقید کردن و سنگ زنی استفاده می شود که قطعه کار بین این دو چرخ سنگ قرار می گیرد.

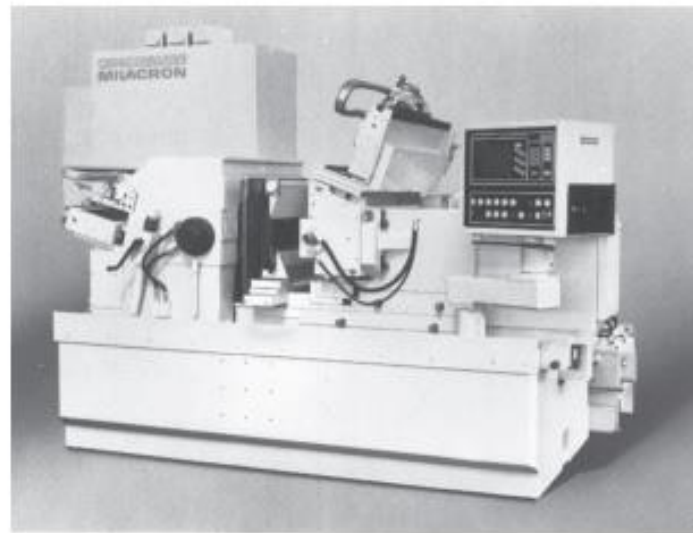
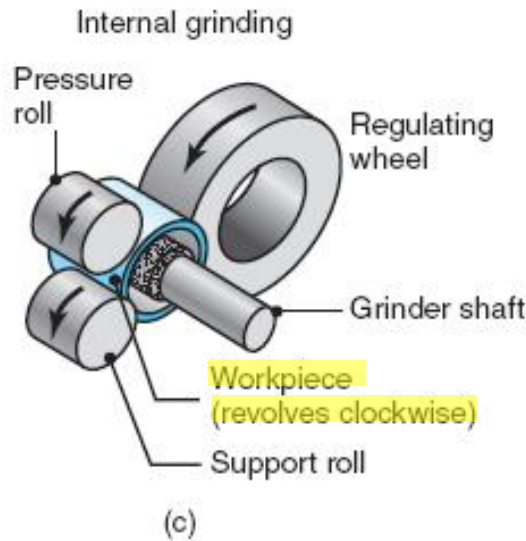


روش سنگ زنی
قطعاتی تا به حد
قطعی می شود

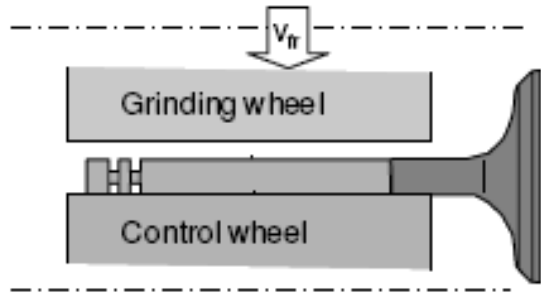
سنگ زني بدون مرغک

□ چرخ سنگ بزرگتر براي سنگ زني و چرخ سنگ کوچکتر براي تنظيم حرکت خطي قطعه کار مورد استفاده قرار مي گیرند. چرخ سنگ کوچکتر از جنس چسب لاستيكي است و سرعت چرخش آن $1/20$ چرخ سنگ اصلي است.

□ براي سطوح داخلي هم از 3 چرخ براي مقيد نمودن قطعه کار استفاده مي شود.



سنگ زني بدون مرغک - کاربردها



ویدئو 1

ویدئو 2

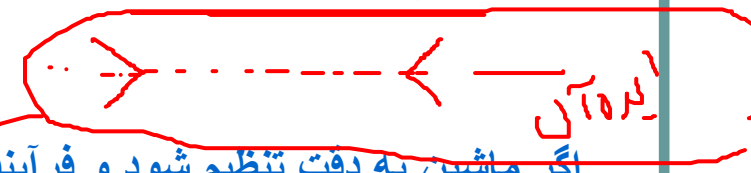
سنگ زني بدون مرغک دريچه موتور

سوپا

مزایای سنگ زنی بدون مرغک

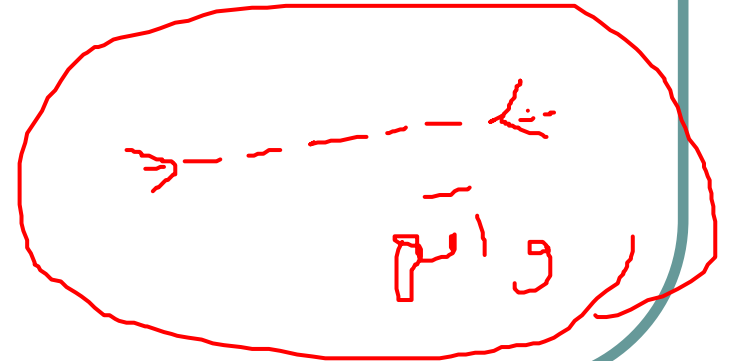
- فرایند سنگ زنی یک فرایند پیوسته است و زمان زیادی صرف مقید نمودن قطعه کار نمی شود.
- به دلیل عدم استفاده از مرغک در محکم کردن، قطعه کار تحت خمش قرار نمی گیرد.
- خطای هم مرکز کردن مرغک ها در این فرایند حذف می شود.

بسیار سریع
نویز کم
دقت ابعادی بسیار
عالی



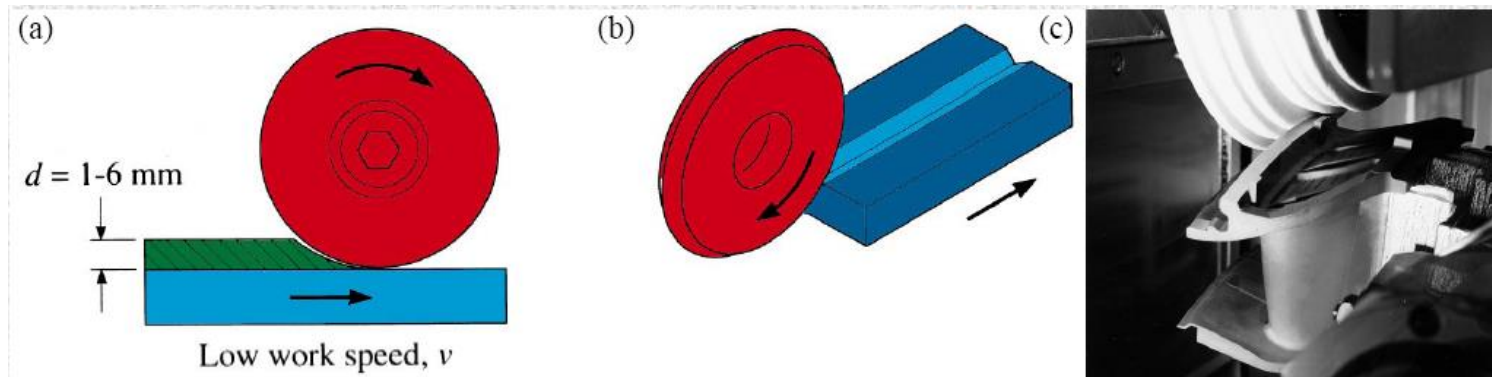
اگر ماشین به دقت تنظیم شود و فرآیند تیز کردن ابزار به درستی و به موقع انجام شود، این فرایند قابلیت دستیابی به دقت های رواداشت های هندسی گردی و استوانه ای کمتر از یک میکرون را داراست

خطای هم مرکز



سنگ زني خزشي

- در اين فرآيند سازوکار براده برداري مانند روش سنگ زني است با اين تفاوت كه عمق هاي برشي تا 6 ميلي متر را مي توان با استفاده از اين روش ماشينكاري نمود.
- در اين روش سرعت خطي قطعه كار كم است و از چرخ سنگ نرم تر با چسب رزيني استفاده مي شود.
- تخلخل چرخ سنگ انتخاب شده بالاست تا دمائي قطعه كار كمتر شده و صافي سطح بهبود يابد.
- ماشيني كه براي اين فرآيند مورد استفاده قرار مي گيرد قابليت هاي خاصي دارد.

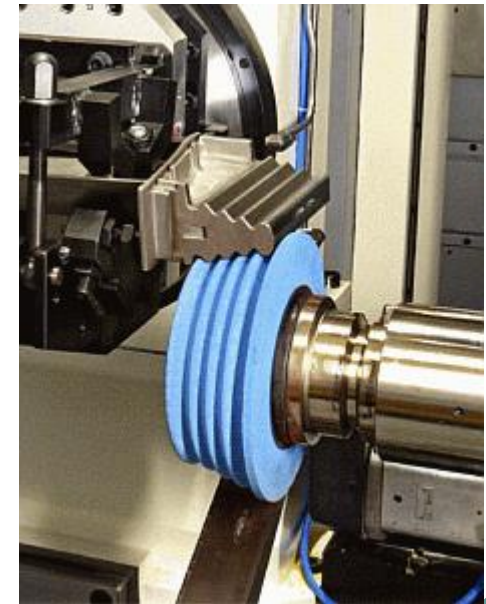
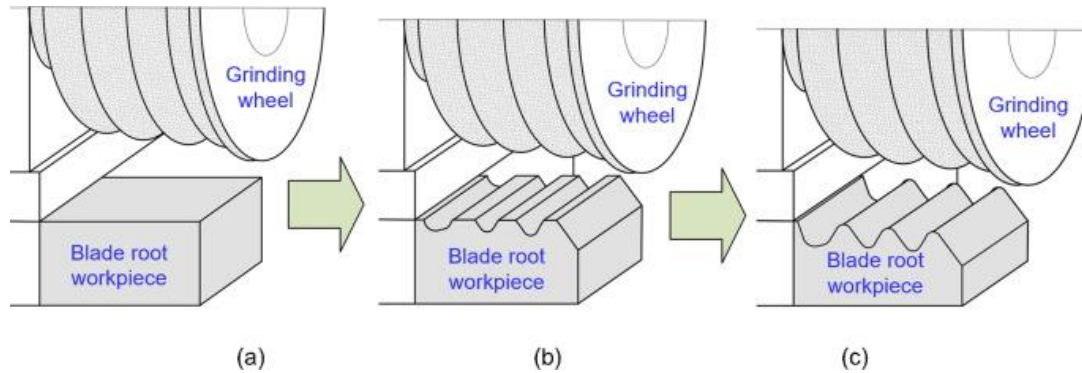


[ويدنو](#)

قابلیت های مورد نیاز سنگ زنی خزشی

چیزب ←

- توان بالا تا ۲۲۵ کیلو وات
- سفتی و صلبیت زیاد برای دمپ ارتعاشات
- قابلیت کنترل سرعت محورها و گردش اسپیندل
- جای زیاد برای مایع خنک کار



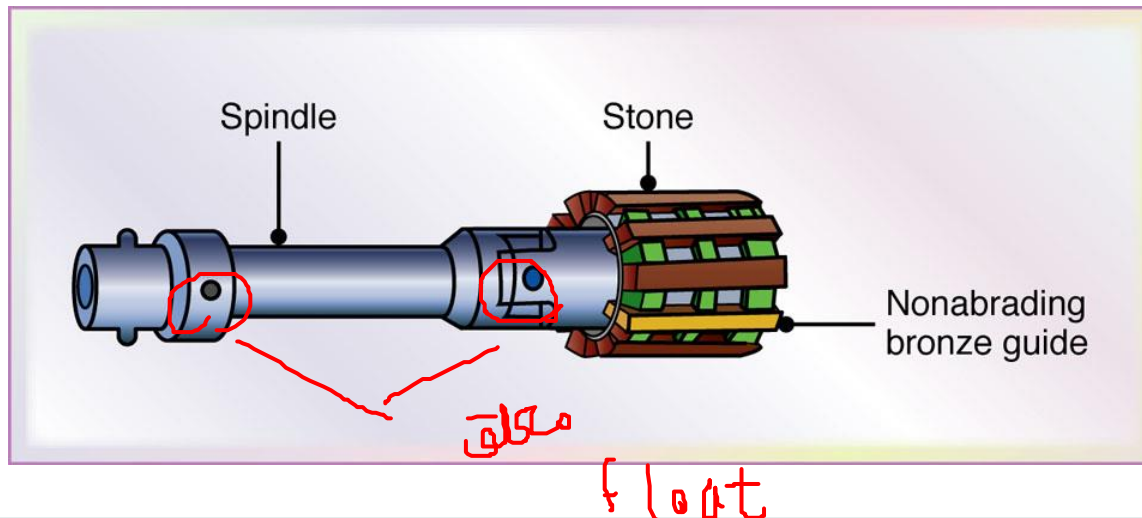
$E_2 \rightarrow AL \rightarrow E_2$ (cast iron)

هونینگ

□ در این فرآیند از ابزاری استفاده می شود که دورتادور آن سنگ های از جنس آلومینا یا CBN قرار داده شده است و برای پرداخت کاری مورد استفاده قرار می گیرد.

□ حرکات چرخشی و رفت و برگشتی ابزار باعث ایجاد آثار با زاویه خاصی (با توجه به سرعت خطی و چرخشی) روی سطح می شود. وجود این خراش ها در استوانه موتور برای نگهداری روغن و جلوگیری از سایش سمبه و حلقه ضروری است.

□ چشم های بزرگ دسته سمبه هم هونینگ می شوند.



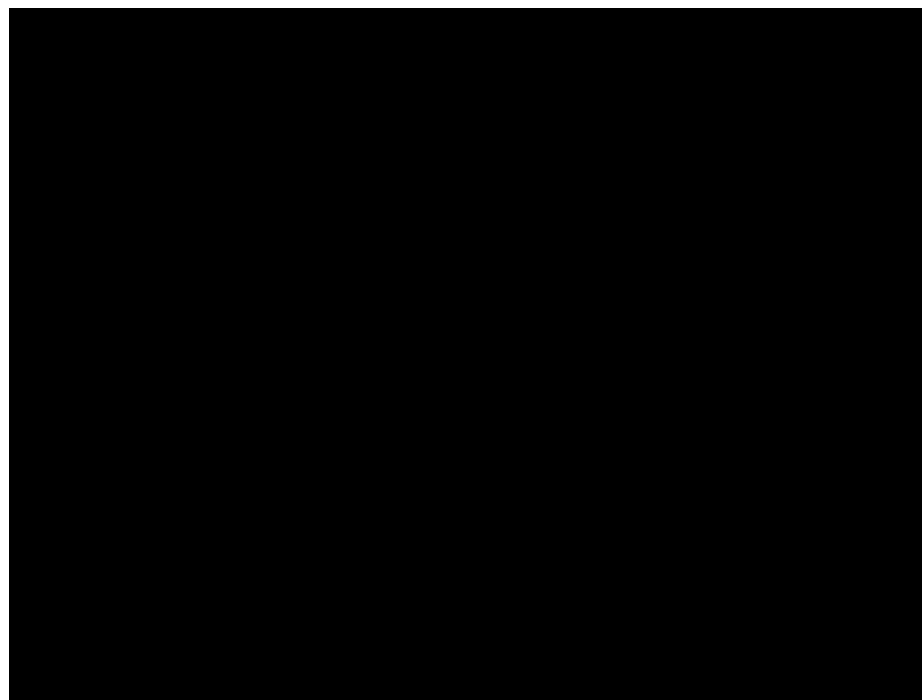
[ویدئو](#)

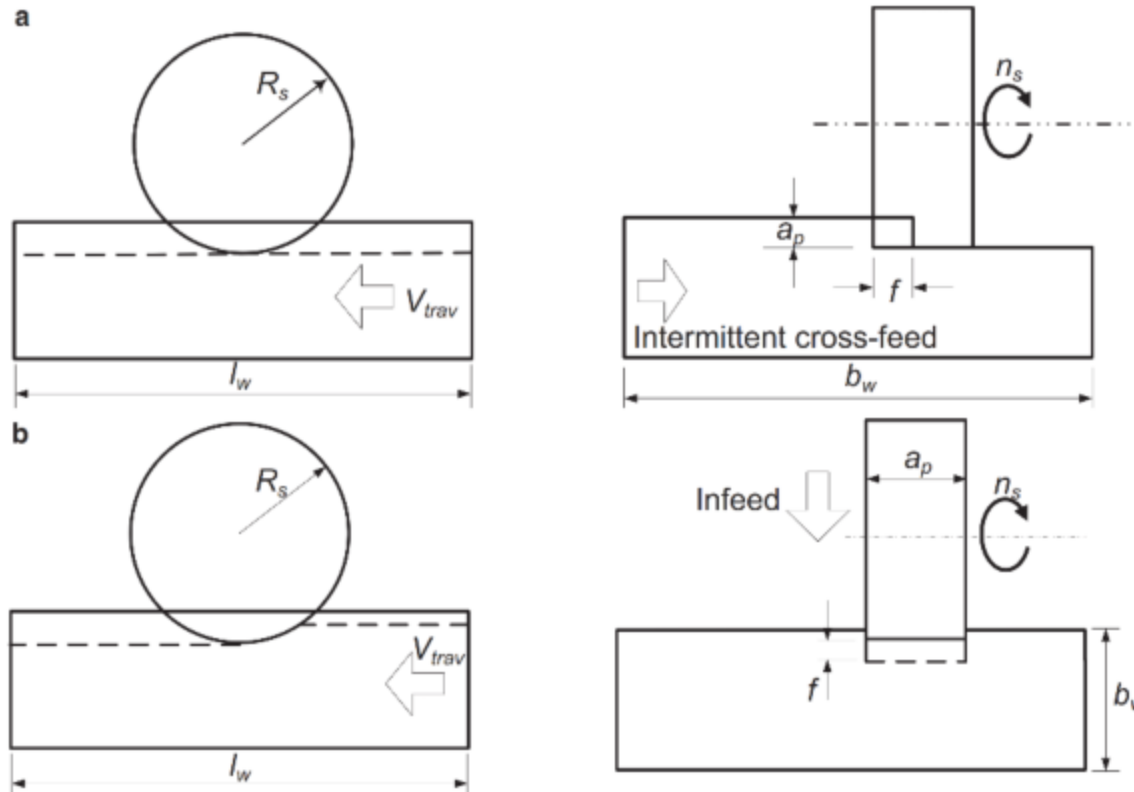
ابزار هونینگ



حلقه استند
کلیه مستطیلی

Cross
hatch





شکل ۱-۴ سنگ زنی صفحه‌ای با محور اسپیندل افقی (الف) سنگ زنی رفت و برگشتی (ب) سنگ زنی حفره‌ای

$$Z_w = f a_p v_{trav}$$

در سنگ زنی رفت و برگشتی $f a_p v_{trav} = a_p h_{eff} (\pi D_s n_s \pm v_{trav})$ (۲-۴)

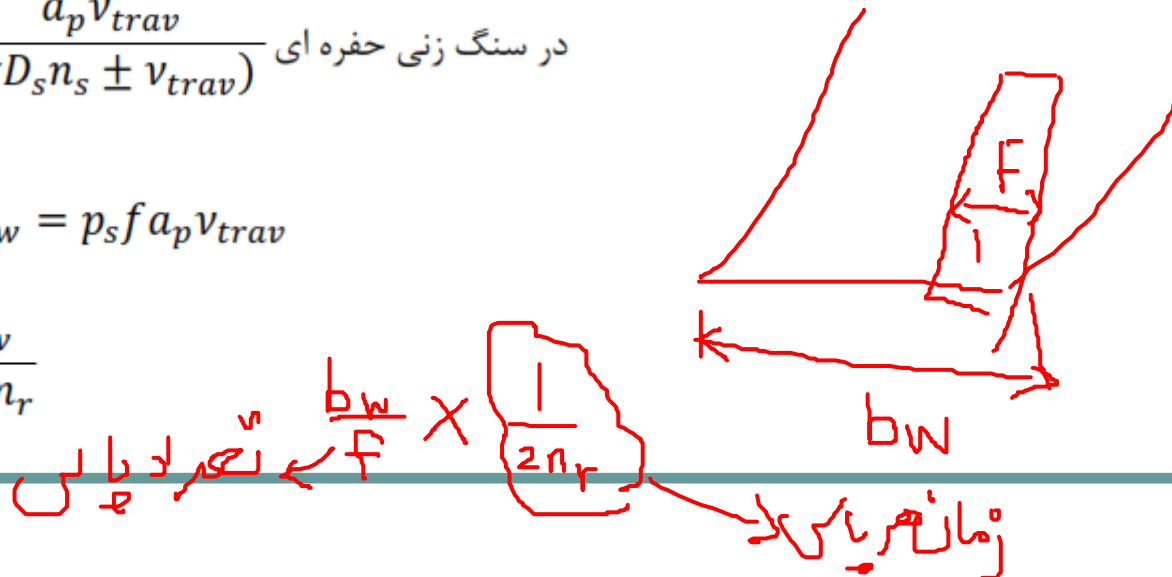
در سنگ زنی حفره ای $f a_p v_{trav} = f h_{eff} (\pi D_s n_s \pm v_{trav})$

در سنگ زنی رفت و برگشتی $h_{eff} = \frac{f v_{trav}}{(\pi D_s n_s \pm v_{trav})}$

در سنگ زنی حفره ای $h_{eff} = \frac{a_p v_{trav}}{(\pi D_s n_s \pm v_{trav})}$

$$P = p_s Z_w = p_s f a_p v_{trav}$$

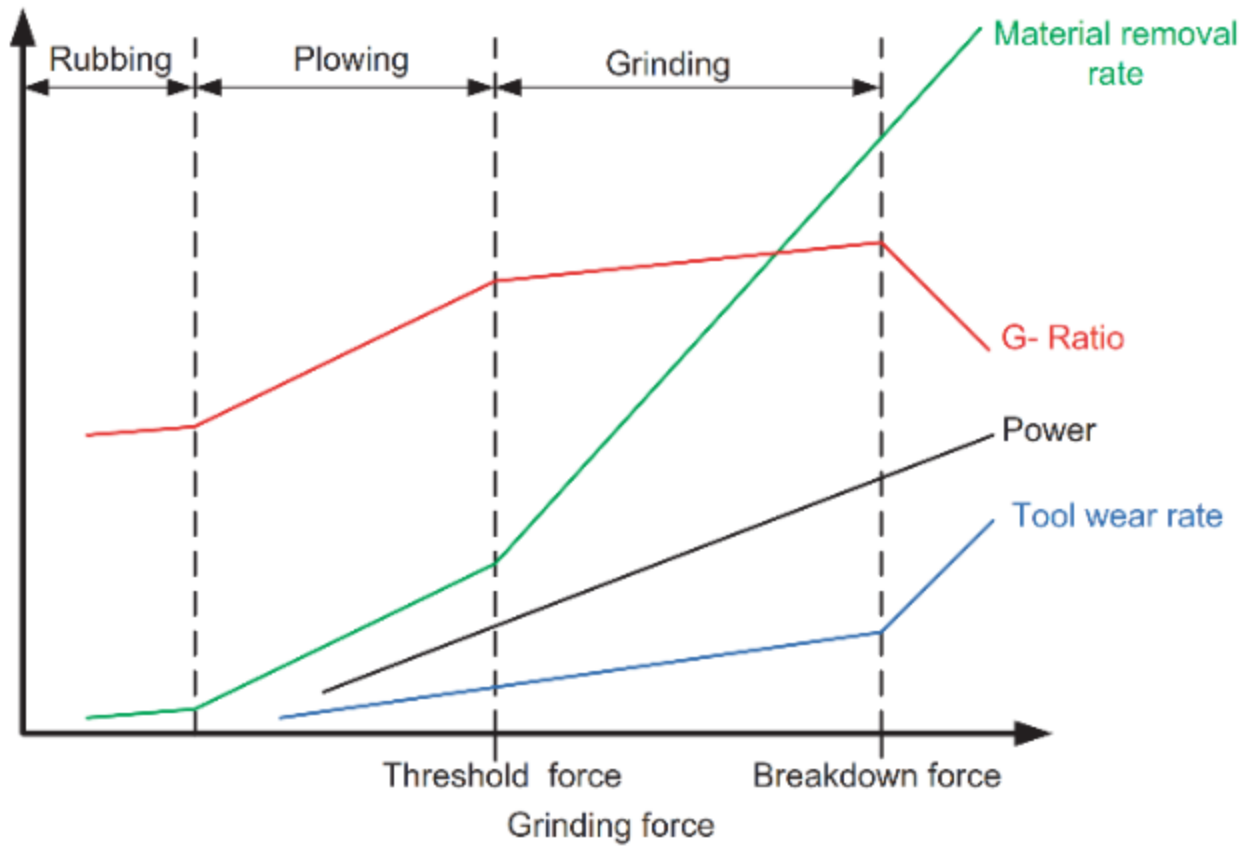
$$t_m = \frac{b_w}{2 f n_r}$$



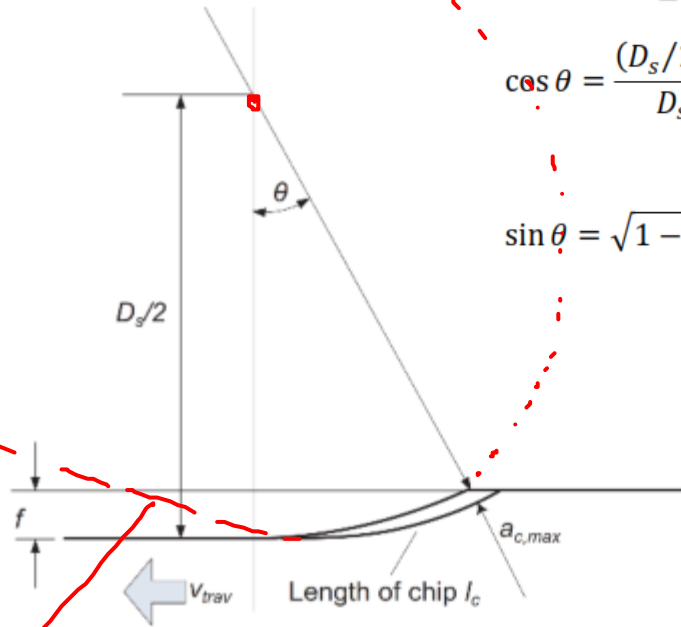
$$n_r = \frac{v_{trav}}{2 \left\{ l_w + 2 \sqrt{(D_s/2)^2 - (D_s/2 - a_p)^2} \right\}}$$

$$G = \frac{\text{نرخ براده برداری از قطعه کار}}{\text{نرخ سایش ابزار}}$$

نسبت سنگ زنی



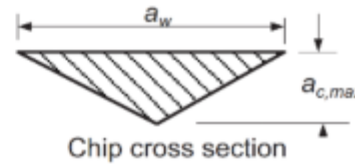
هندسه سنگ



$$l_c = \frac{D_s}{2} \theta \approx \frac{D_s}{2} \sin \theta$$

$$\cos \theta = \frac{(D_s/2) - f}{D_s/2} = 1 - \frac{2f}{D_s} \quad (11-4)$$

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = \sqrt{\frac{4f}{D_s} - \frac{4f^2}{D_s^2} - \dots} \quad (12-4)$$



شکل ۳-۴ هندسه براده برداری در سنگ زنی حفره ای

لتره سطح

با جای‌گذاری معادلات بالا در معادله ۴-۱۰ و صرف‌نظر از عبارتهای مرتبه دوم:

$$l_c = \sqrt{fD_s - f^2} \approx \sqrt{fD_s} \quad (۴-۱۳)$$

$$V_o = \frac{1}{4} a_w a_{c,max} l_c$$

حجم براده با فرض مثلثی بودن آن

که در آن، a_w عرض متوسط براده و $a_{c,max}$ حداکثر ضخامت براده تغییرشکل نیافته است و این متغیرها می‌توانند با ضریب ابعادی دانه Γ_g به صورت زیر مرتبط شوند:

$$r_g = \frac{a_w}{a_{c,max}} \quad (۴-۱۵)$$

تعداد براده‌های ایجادشده در واحد زمان N_c برابر است با:

$$N_c = v_t a_p C_g \quad (۴-۱۶)$$

که در آن، v_t سرعت خطی چرخ سنگ و C_g تعداد دانه‌های ساینده فعال بر واحد سطح چرخ سنگ است. روش معمول برای تخمین زدن C_g ، استفاده از رابطه زیر است:

$$C_g = \frac{1}{10} \left(\frac{1}{\frac{\pi d_g^2}{4}} \right) \approx \frac{1}{10 d_g^2} \quad (۱۷-۴)$$

$$a_{c,max}^2 = \frac{4v_{trav}}{C_g r_g v_t} \sqrt{\frac{f}{D_s}}$$

از آنجا که $a_{c,max}$ بیانگر میزان نفوذ دانه‌ها در قطعه کار است، مقدار $a_{c,max}$ بزرگ‌تر نشان‌دهنده نیروی بیشتر اعمال شده روی هر دانه ساینده در هنگام سنگ‌زنی است. در نتیجه، هر تغییری در شرایط فرایند سنگ‌زنی که $a_{c,max}$ را افزایش می‌دهد، باعث افزایش فرایند خودتیزکنی می‌شود و چرخ سنگ تمایل بیشتری پیدا می‌کند که به صورت نرم‌تر باشد. بنابراین با توجه به رابطه بالا تغییرات زیر در شرایط سنگ‌زنی می‌تواند باعث نرم‌تر شدن چرخ سنگ شود: افزایش سرعت حرکت قطعه کار v_{trav} ، افزایش پیشروی f و کاهش سرعت خطی چرخ سنگ v_t . توجه داشته باشید که رابطه ۴-۱۸ بر اساس چیدمان روش سنگ‌زنی حفره‌ای به دست آمده است. برای فرایند سنگ‌زنی رفت و برگشتی، پیشروی f باید جایگزین a_p شود.

مثال

یک قطعه از جنس فولاد ضدّ زنگ با چرخ سنگی به قطر ۸ اینچ، سنگ‌زنی طولی می‌شود. دانه‌های ساینده چرخ سنگ از جنس سیلیکون کارباید و چرخ سنگ دانه‌ریز با چگالی متوسط است. پیشروی مورد استفاده، برابر 0.3×10^{-3} اینچ و سرعت حرکت قطعه کار، برابر ۱,۲۵ اینچ بر دقیقه است. سختی چرخ سنگ به تناسب فرایند، مناسب تشخیص داده شده است. فرض کنید قرار است از یک چرخ سنگ ۶ اینچی با اندازه دانه‌ها و چگالی یکسان، استفاده شود و قرار نیست سختی سنگ جدید بیش از چرخ سنگ قبلی باشد. با نرخ براده‌برداری یکسان بین دو حالت، چه محدودیتی روی پیشروی و سرعت حرکت قطعه کار باید اعمال شود؟

حل:

$$a_{c,max}^2 = \frac{4v_{trav}}{C_g r_g v_t} \sqrt{\frac{f}{D_s}} = \frac{4Z_w}{\sqrt{f D_s} a_p C_g r_g v_t} \left(\text{چون } v_{trav} = \frac{Z_w}{f a_p} \right)$$

$$= \frac{4Z_w}{\sqrt{f D_s^3} a_p C_g r_g \pi n_t} \left(\text{چون } v_t = \pi D_s n_t \right)$$

که در آن، n_t فرکانس دوران چرخ سنگ است. برای داشتن $a_{c,max}$ بیشتر از حالت اول باید:

$$f \dot{D}_s^3 < f D_s^3 \Rightarrow f < \frac{f D_s^3}{\dot{D}_s^3} = \frac{(0.3) \times 8^3}{6^3} = 0.7 \times 10^{-3} \text{ in}$$

همچنین، برای Z_w یکسان، پیشروی f باید با v_{trav} نسبت معکوس داشته باشد. بنابراین:

$$\frac{\dot{D}_s^3}{v_{trav}'} < \frac{D_s^3}{v_{trav}} \Rightarrow v_{trav}' > v_{trav} \frac{\dot{D}_s^3}{D_s^3} = \frac{(1.25)6^3}{8^3} = 0.527 \text{ ipm}$$

یک روش برای تخمین میزان صافی سطح حاصل از سنگ‌زنی، استفاده از تشابه بین فرزکاری و سنگ‌زنی صفحه‌ای است. از قبل، در فرزکاری گوشه‌ای داشتیم که:

$$R_t \approx \frac{s_z^2}{8\left(\frac{D}{2} \pm \frac{s_z N_t}{\pi}\right)} \quad (19-3)$$

قطر چرخ سنگ D_s به جای قطر D ابزار فرزکاری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از عبارت $(S_z N_t / 2\pi)$ به دلیل کوچک بودن آن در مقایسه با عبارت $(D/2)$ در سنگ‌زنی، می‌توان صرف‌نظر کرد. عبارت s_z در سنگ‌زنی که پیشروی به‌ازای دانه ساینده مؤثر است، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$s_z = \frac{v_{trav}}{v_t} L \quad (19-4)$$

که در آن، L فاصله بین نقاط برش متوالی است. بنابراین L/v_t فاصله زمانی بین برش است. پارامتر L به سختی به صورت مستقیم قابل اندازه گیری است؛ اما با مقایسه رابطه ۴-۱۸ و تعریف هندسی حداکثر ضخامت براده در شکل ۴-۳ می توان گفت:

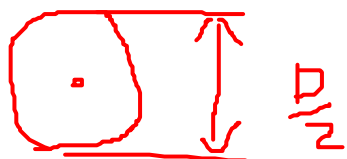
$$a_{c,max} = s_z \sin\theta \quad (۴-۲۰)$$

در نتیجه:

$$L \approx \frac{2}{C_g a_w} = \frac{2}{C_g r_g a_{c,max}} \quad (۴-۲۱)$$

مثال

یک صفحه فولادی از جنس 4340 با ابعاد 200×300 (طول ۳۰۰ میلی‌متر در راستای حرکت رفت و برگشتی قطعه کار) و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر، به وسیله یک چرخ سنگ به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و اندازه ذره ساینده ۶۰، توسط سنگ‌زنی صفحه‌ای به عمق ۰,۱ میلی‌متر سنگ‌زنی می‌شود. سرعت چرخشی چرخ سنگ برابر ۲۰ دور بر ثانیه، چرخه رفت و برگشت قطعه کار ۴ ثانیه بوده و پیشروی جانبی ۲ میلی‌متر است. صافی سطح و توان مورد نیاز برای سنگ‌زنی را محاسبه کنید.



$$V_t = \frac{D}{2} \omega = \frac{D}{2} \times \pi \times 20 = \frac{150 \times \pi \times 20}{2} \text{ mm/s}$$

حل:

از رابطه ۴-۶

$$v_{trav} = n_r \left\{ 2 \left(L + 2 \sqrt{\left(\frac{D_s}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_s}{2} - a_p\right)^2} \right) \right\}$$

$$= \frac{1}{4} (2) \left(300 + 2 \sqrt{\left(\frac{150}{2}\right)^2 - \left(\frac{150}{2} - 0.1\right)^2} \right) = 154 \text{ mm/s}$$

$$d_g = (0.6)(1/60)(25.4) = 0.254 \text{ mm}$$

تعداد دانه‌های ساینده مؤثر درگیر بر واحد سطح (mm^2) برابر است با:

$$C_g \approx \frac{1}{10d_g^2} = 1.55$$

حداکثر ضخامت براده تغییر شکل نیافته عبارت است از:

$$a_{c,max}^2 = \frac{4v_{trav}}{C_g r_g v_t} \sqrt{\frac{a_p}{D_s}} = \frac{4(154)}{(1.55)(10)(150\pi)(20)} \sqrt{\frac{0.1}{150}} \Rightarrow a_{c,max}^2$$

$$= 0.010mm$$

از رابطه ۱۹-۴

$$s_z = \frac{2v_{trav}}{v_t C_g r_g a_{c,max}} = \frac{2(154)}{\pi(150)(20)(1.55)(10)(0.01)} = 0.211mm$$

از رابطه ۱۹-۳ در فصل ۳

$$R_t \approx \frac{0.211^2}{8(150/2)} = 7.41 \times 10^{-5}mm$$

از رابطه ۳-۴

$$h_{eff} = \frac{2(154)}{(150\pi)(20)} = 0.033mm$$

توجه شود که ± 154 میلی‌متر بر ثانیه در این حالت قابل صرف‌نظر کردن است.

از رابطه ۴-۲ داریم:

$$p_s = 10^{0.19-0.46 \log 0.033} = 7.44 J/mm^3$$

از رابطه ۴-۴ داریم:

$$P = (7.44)(2)(0.1)(154) = 229W$$

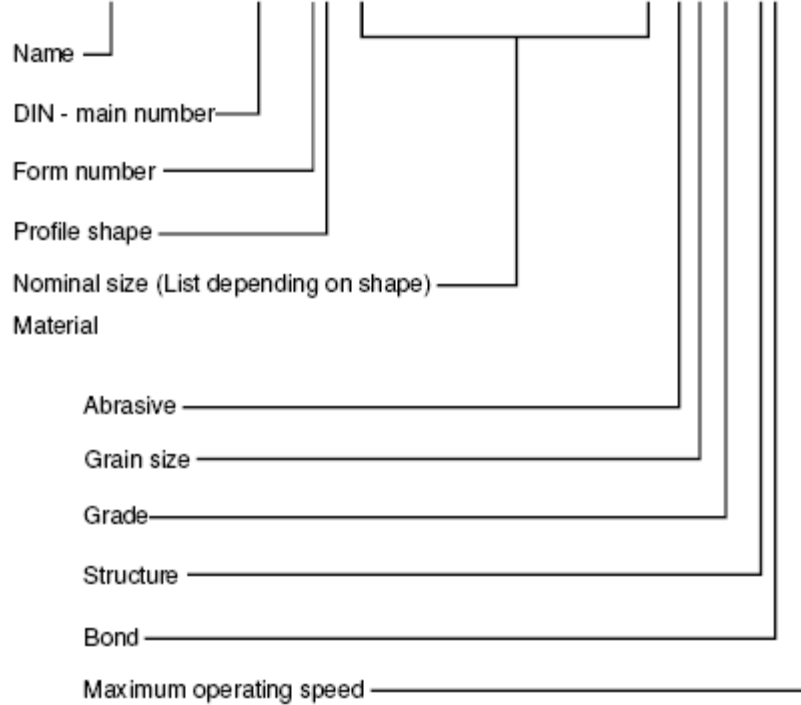
از مثال مشخص است که فرایند سنگ‌زنی در مقایسه با تراشکاری و فرزکاری، فرایندی با

صافی سطح زیاد، انرژی مخصوص ماشین‌کاری زیاد و توان مصرفی کم است.

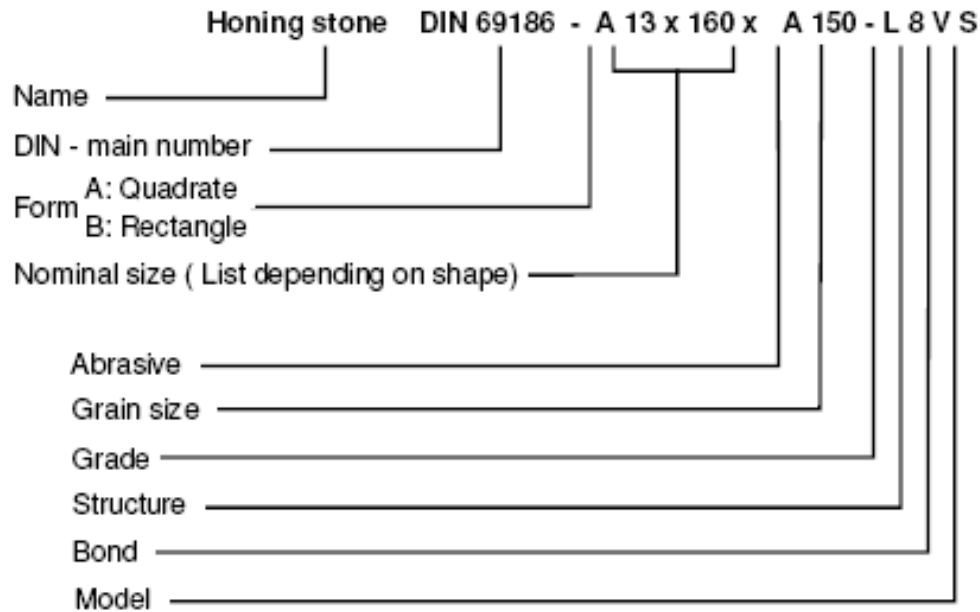
پایان

انواع روش های فرزکاری

Grinding wheel DIN 69100 - 5A - 500x250x304 - P390 x F20 A60 L - 5V -50



انواع روش های فرزکاری



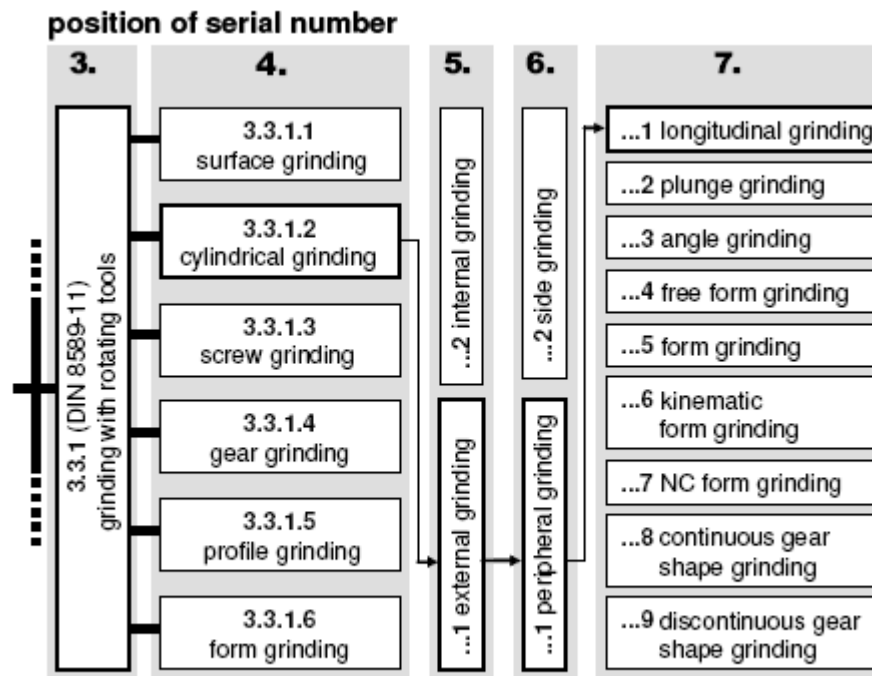


Fig. 6-30. Classification of methods for machining with grinding wheels in accordance with DIN 8589 [DIN78a]