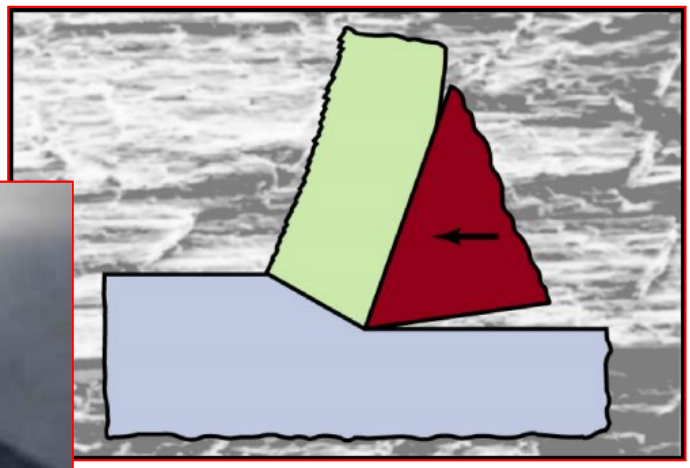
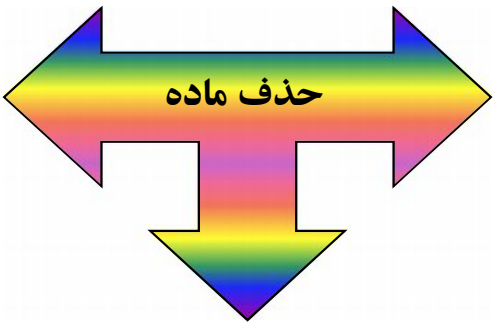
اصول ماشین کاری (براده برداری)



فرایندهای حذف ماده (Material removal processes)

از فرایندهای شکل دهی که با **حذف ماده** از بخش های اضافی **قطعه اولیه**، **شکل هندسی** مورد نظر ایجاد می گردد

فرایندهای سایشی – حذف ماده توسط ذرات ساینده سخت مانند سنگ زنی، سمباده زنی



ماشین کاری – حذف ماده با جزء برنده تیز مانند تراش کاری، فرزکاری و مته کاری

فرایندهای غیر سنتی – سایر روش های متنوع انتقال انرژی به قطعه جهت حذف ماده مانند روش های الکتروشیمیایی، گرمایی، سیال پر فشار و...

دلایل استفاده از روش های ماشین کاری

- انواع مختلفی از مواد قابل ماشین کاری هستند
- انواع مختلفی از اشکال و ویژگی های هندسی خاص قابل حصولند، مانند شیارهای پیچ ها، حفره های دقیق، لبه ها و صفحات بسیار صیقلی و صاف و...
- بهینه سازی دقت ابعاد برای قطعات حاصل از ریخته گری، فرم دهی و شکل دهی را امکان پذیر می سازد.
- امکان ایجاد ویژگی هایی را که با سایر روش های فرم دهی و شکل دهی امکان پذیر نیستند مانند لبه های تیز و سطوح تخت و ...
- اعوجاج و تغییر رنگ حاصل از روش های پرداخت گرمایی را کاهش می دهد.
- هزینه های تولید (معمولا در تعداد کم) را کاهش می دهند.
- ویژگی های سطح و بافت مورد نظر را ایجاد می نمایند.

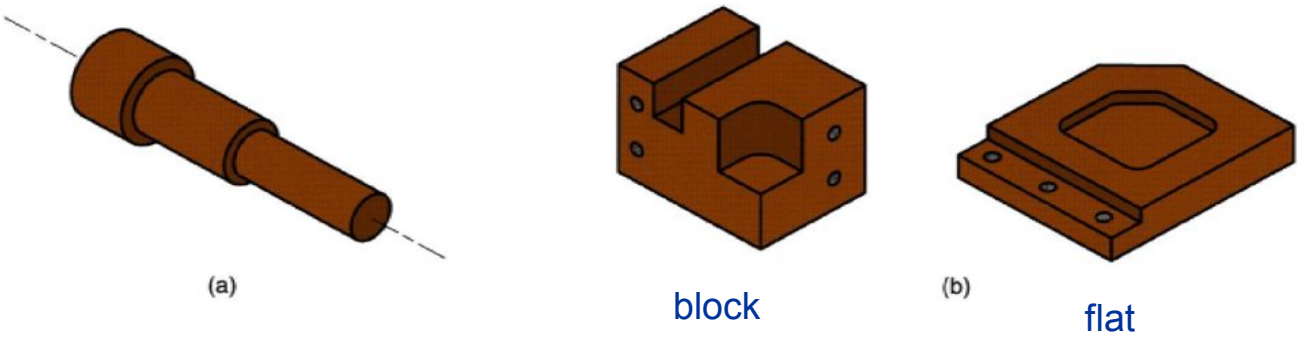
محدودیت های ماشین کاری

- ضایعات مواد بیشتری ایجاد می کنند.
  - براده های حاصل در ضمن ماشین کاری ساده ترین فرم ضایعات در عملیات واحد هستند.
- وقت گیر هستند.
  - یک فرایند ماشین کاری برای ایجاد قطعه خاص در مقایسه با سایر روش های شکل دهی مانند ریخته گری و متالوژی پودر یا فرم دهی به زمان بیشتری نیاز دارد.
- برای تولید انبوه گران تر هستند.
- انرژی بیشتری صرف می کنند.
- می توانند اثرات نامطلوبی بر کیفیت سطح و خواص قطعه داشته باشند.

دسته بندی قطعات ماشین کاری

دورانی (چرخشی یا استوانه ای) – شکل های استوانه ای یا دیسک مانند

غیر چرخشی (منشوری [prismatic]) – قطعات بلوک مانند یا صفحه مانند

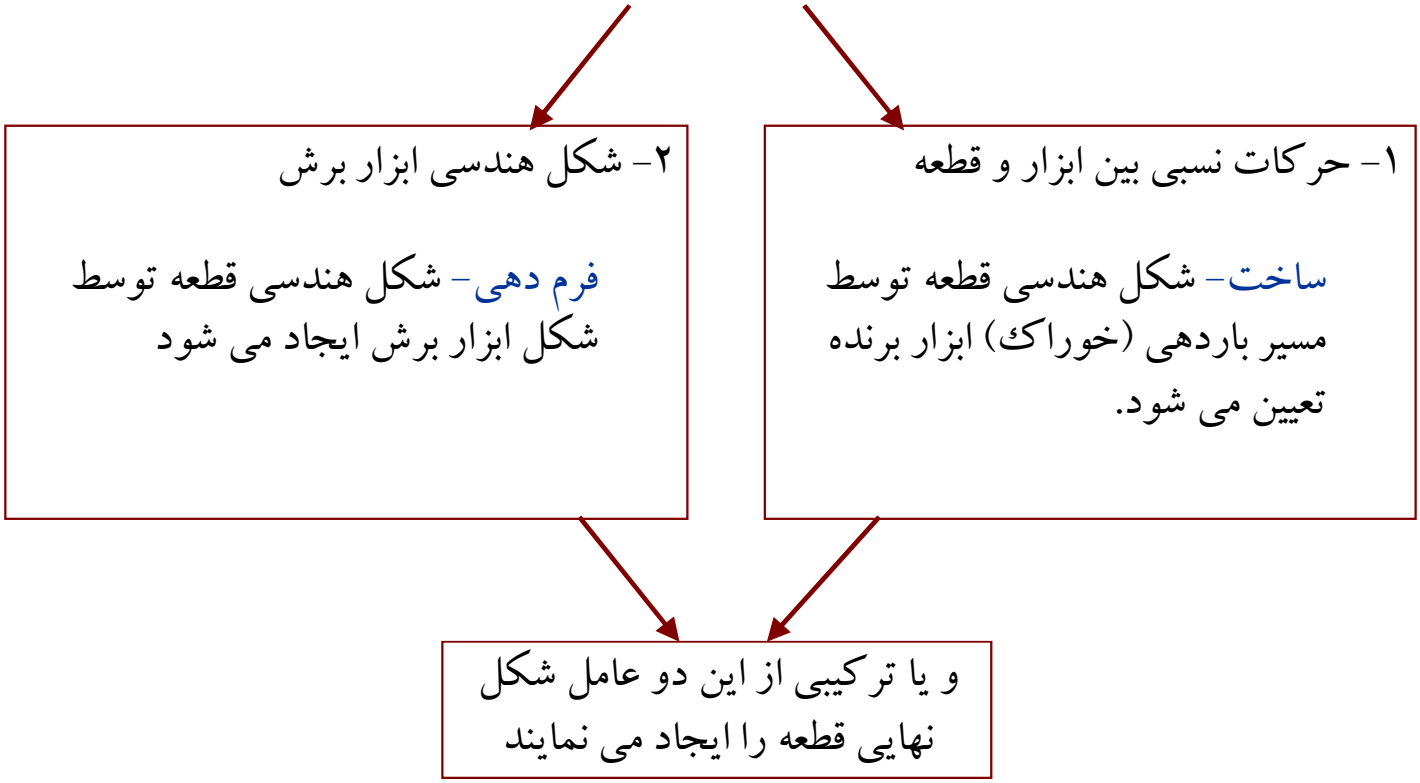


rotational

Non-rotational

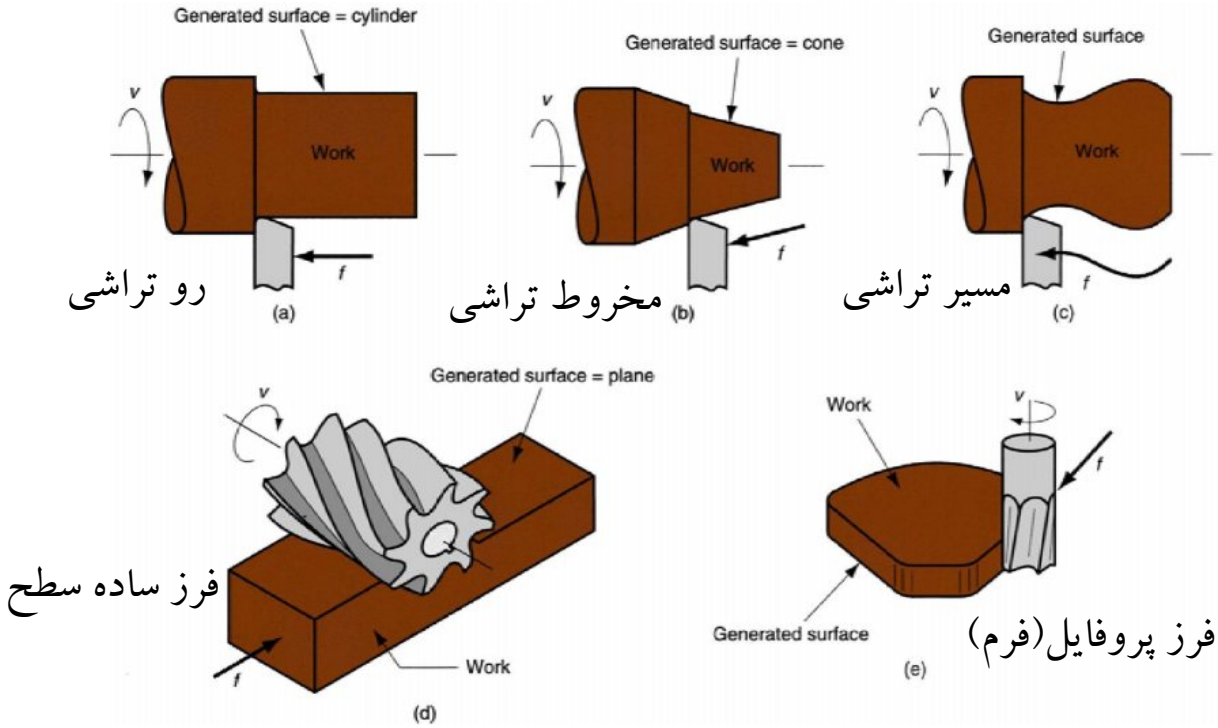
عملیات ماشین کاری و شکل قطعه

هر عملیات ماشین کاری بر اساس دو عامل زیر بر شکل هندسی قطعه تاثیرگذار است



ساخت شکل

شکل هندسی قطعه توسط مسیر باردهی (خوراک) ابزار برنده تعیین می شود.



رو تراشی

مخروط تراشی

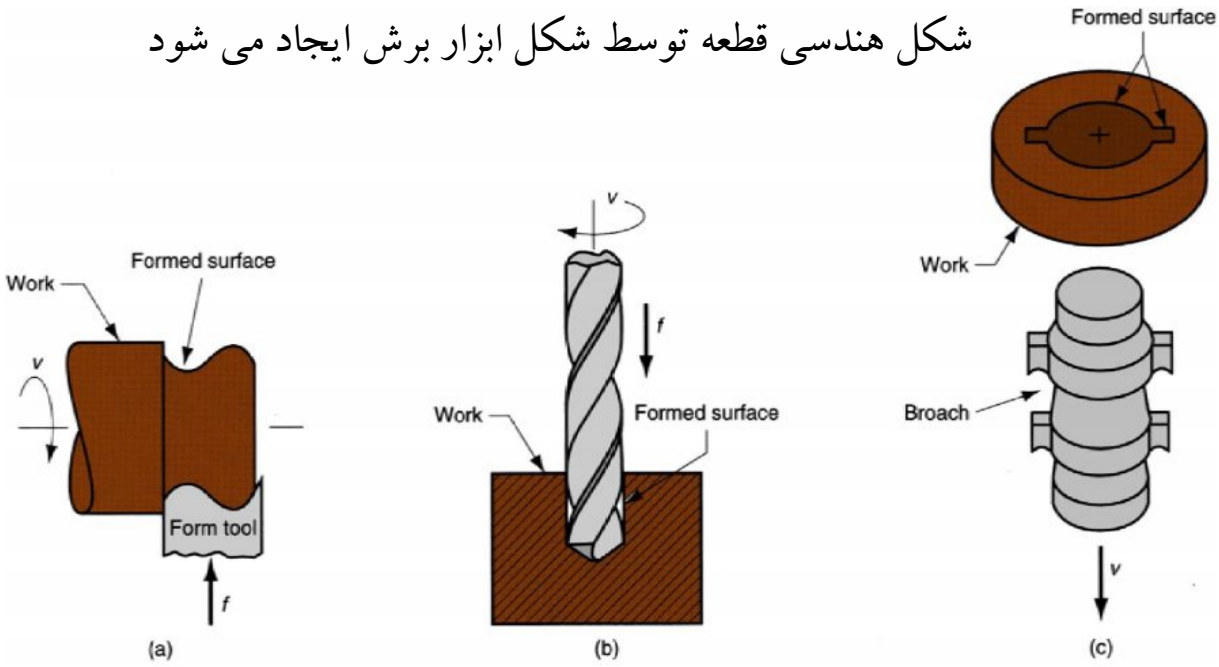
مسیر تراشی

فرز ساده سطح

فرز پروفایل(فرم)

فرم دهی برای ایجاد شکل

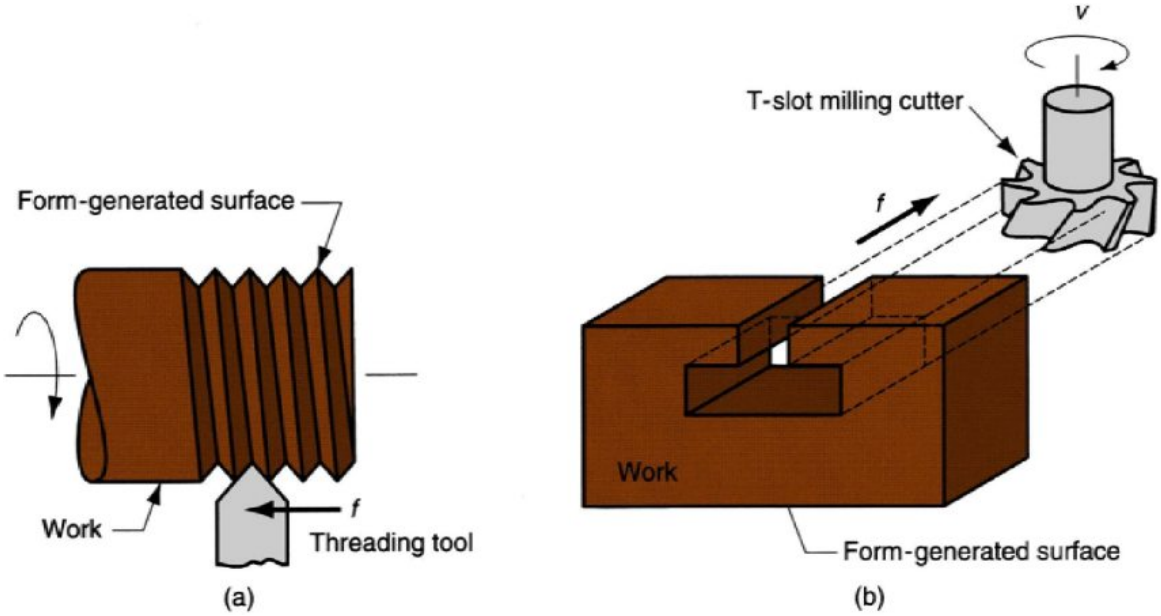
شکل هندسی قطعه توسط شکل ابزار برش ایجاد می شود



فرم تراشی | مته زنی | خان کشی

ساخت و فرم دهی همزمان

شکل هندسی قطعه توسط **مسیر** باردهی ابزار برنده و **شکل هندسی تیغه** آن تعیین می شود.



فرزکاری شکاف T

شیار تراشی

فرایندهای ماشین کاری

ماشین کاری سنتی

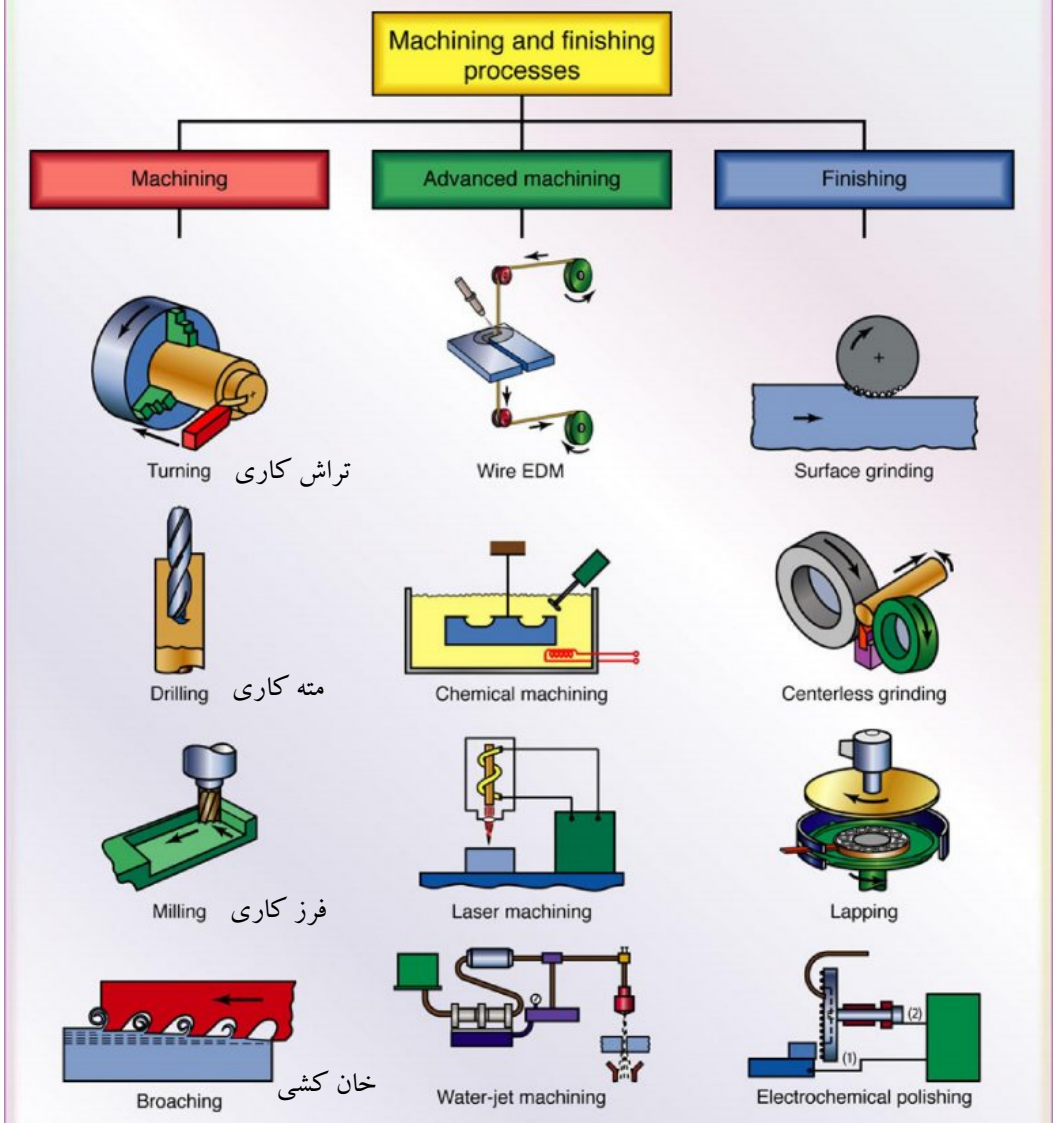
- ✓ تراش کاری Turning
- ✓ فرز کاری Milling
- ✓ مته زنی Drilling
- ✓ داخل تراشی Boring
- ✓ بُرقو زنی Reaming
- ✓ صفحه تراشی Shaping

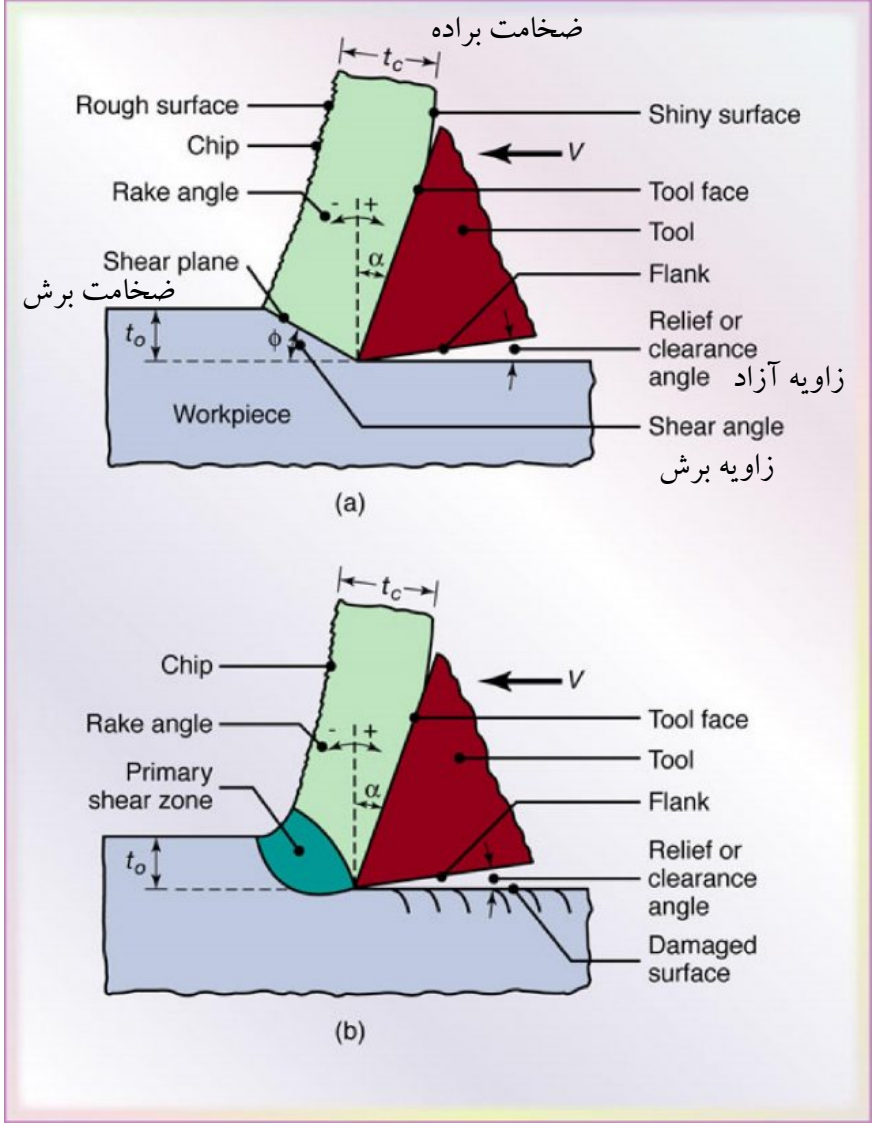
- ✓ اره کاری Sawing
- ✓ خان کشی Broaching
- ✓ صفحه تراشی Planing
- ✓ سنگ زنی Grinding
- ✓ سنگ کشی Honing
- ✓ صیقل کاری Lapping

ماشین کاری غیر سنتی و مدرن

- ✓ ماورا صوت Ultrasonic
- ✓ تخلیه الکتریکی Electrical Discharge
- ✓ قوس الکتریکی Electro-arc
- ✓ لیزر نوری Optical Lasers
- ✓ الکتروشیمیایی Electrochemical
- ✓ فرزکاری شیمیایی Chem-milling
- ✓ برش جریان جت ساینده Abrasive Jet Cutting
- ✓ ماشین کاری پرتو الکترونی Electron Beam Machining
- ✓ ماشین کاری قوس پلاسما Plasma Arc Machining

ماشین کاری
(براده برداری)





فرایند برش دو بعدی راست گوشه

a) برش دو بعدی با صفحه برش مشخص (Merchant Model)

b) برش دو بعدی با صفحه برش نامشخص

شکل ابزار برش، عمق برش (t_o) و سرعت برش (V) همگی متغییرهای مستقل هستند

مکانیک برش

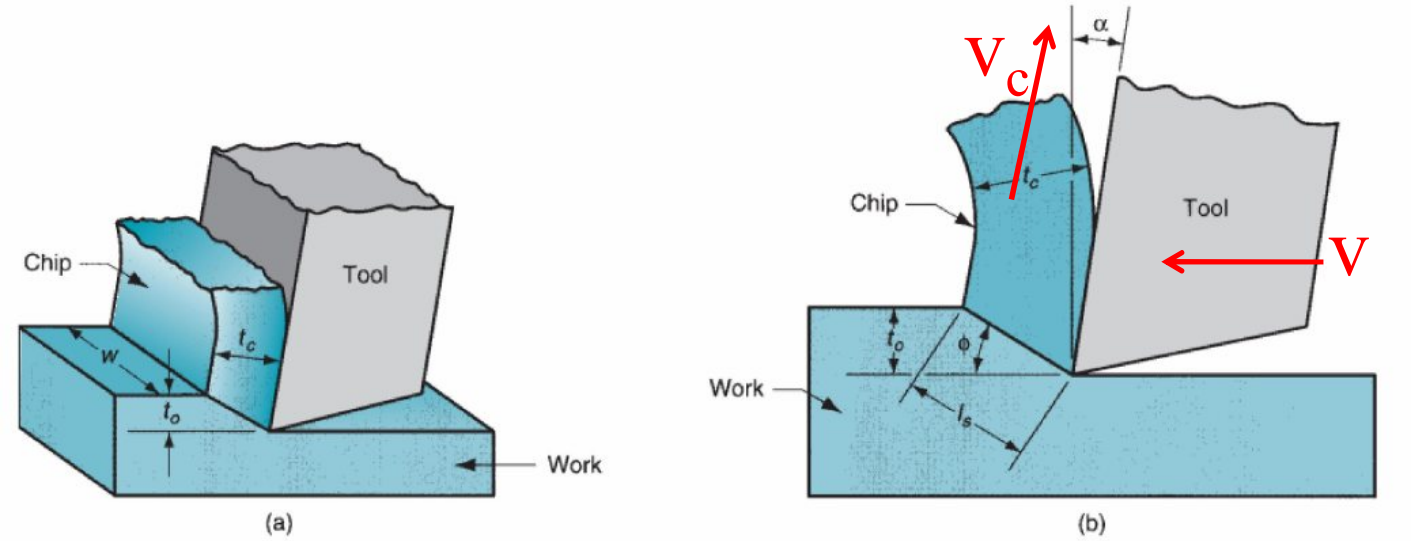
Shear angle predictions:

$$\phi = 45° + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2}$$

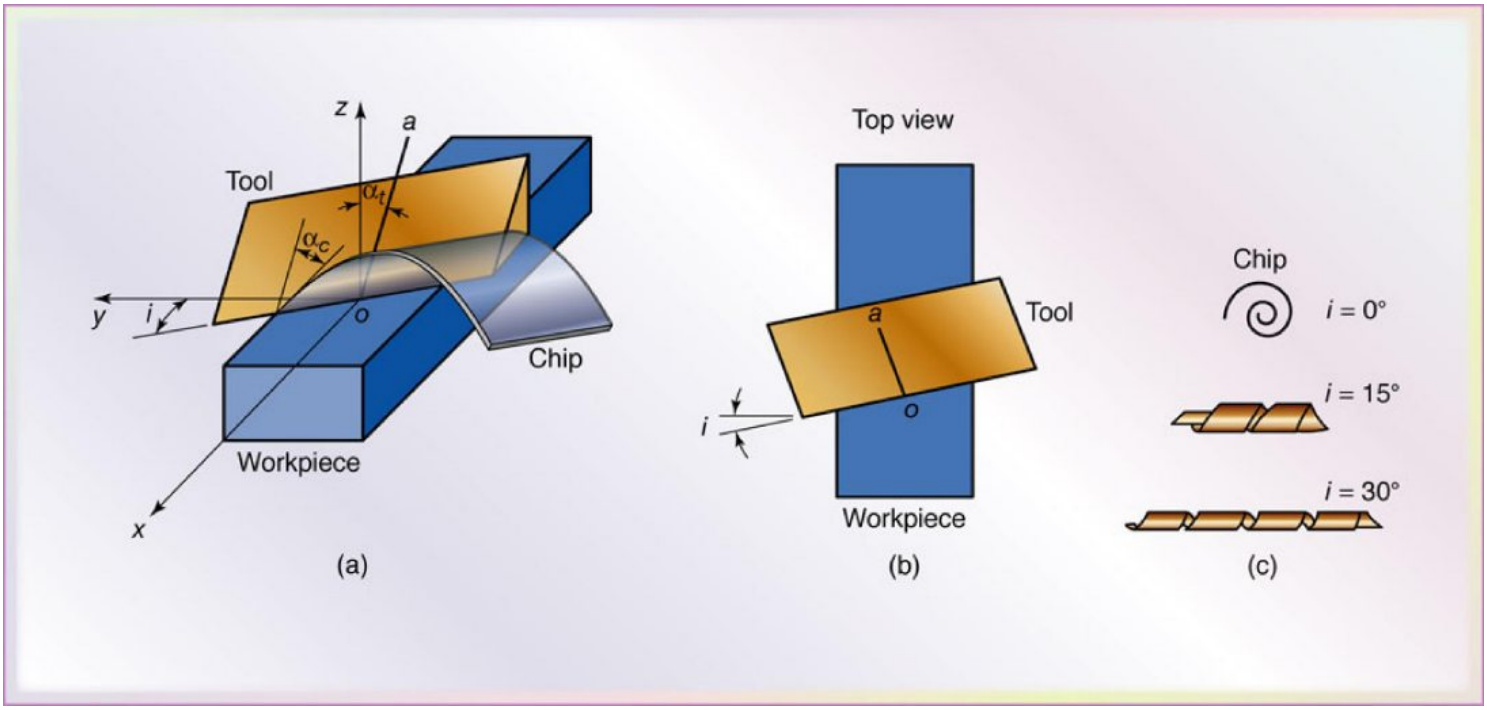
$$\phi = 45° + \alpha - \beta$$

نسبت برش Cutting ratio, $r = \frac{t_o}{t_c} = \frac{\sin\phi}{\cos(\phi - \alpha)} = \frac{V_c}{V}$

Velocities, $V_c = \frac{V \sin\phi}{\cos(\phi - \alpha)}$

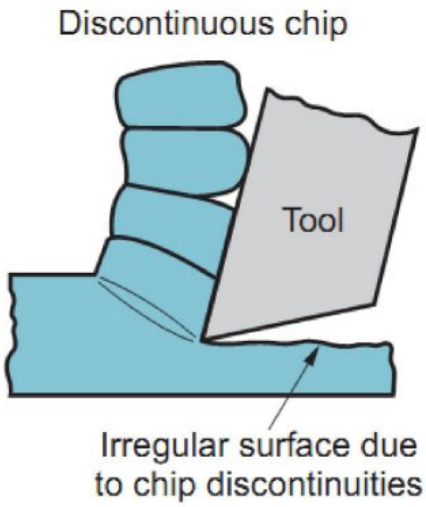


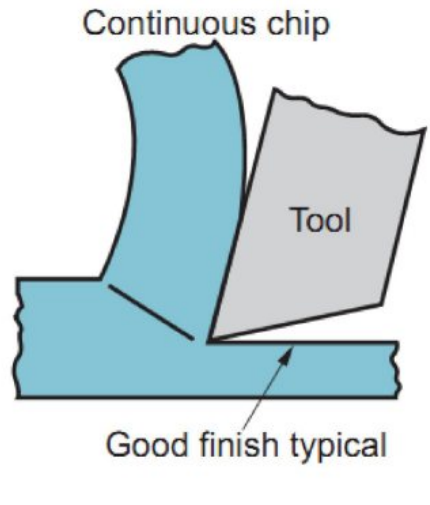
برش با ابزار مایل (مورب)



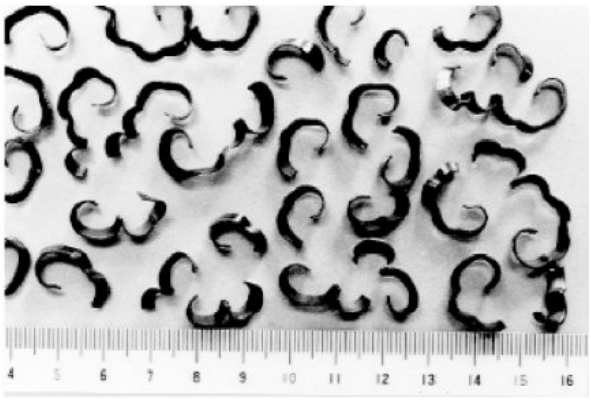
ایجاد براده تحت اثر برش

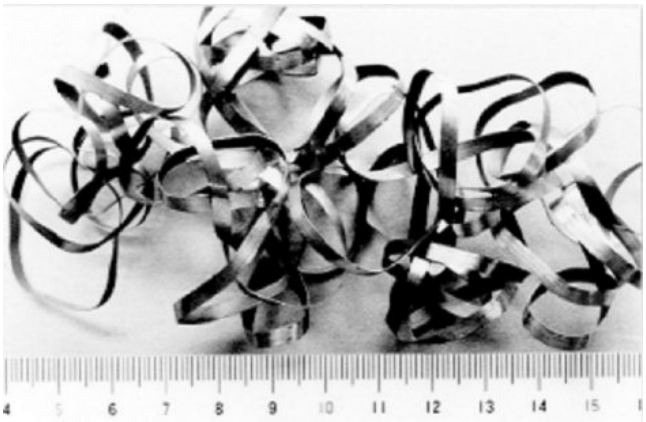
براده غیر پیوسته





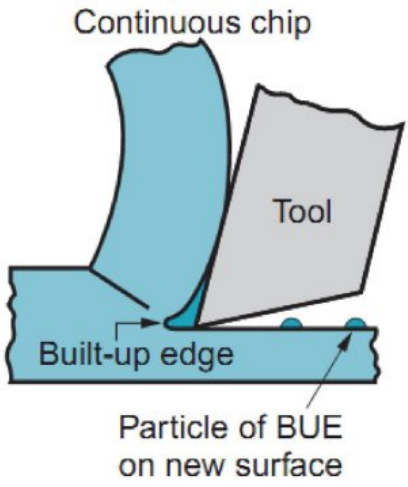
براده پیوسته

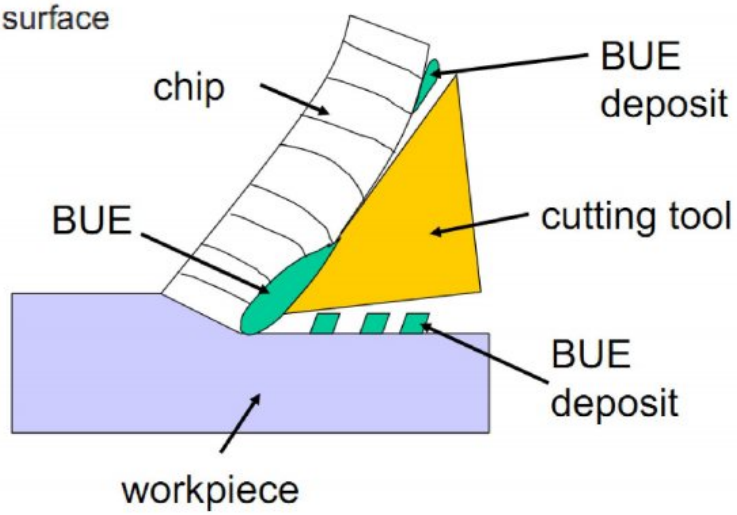


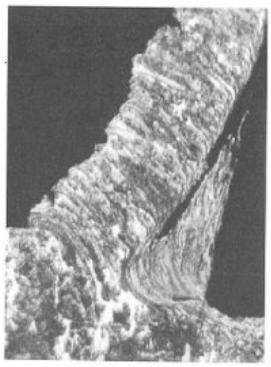


ایجاد براده تحت اثر برش

براده با لبه انباشته

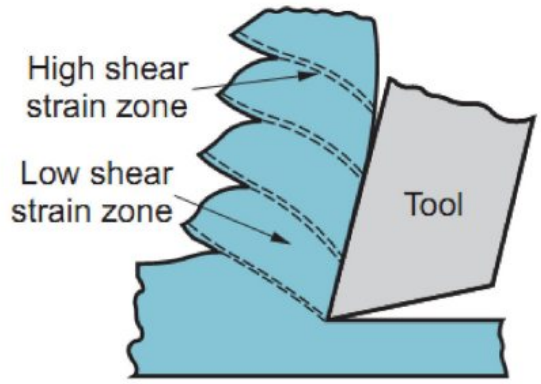


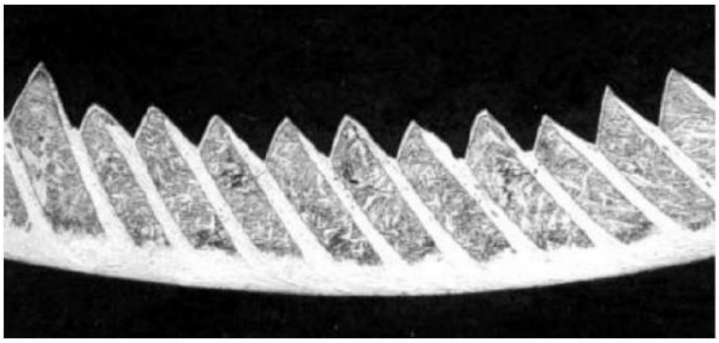


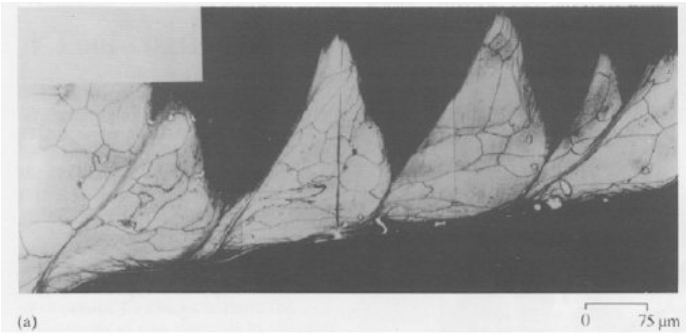


ایجاد براده تحت اثر برش

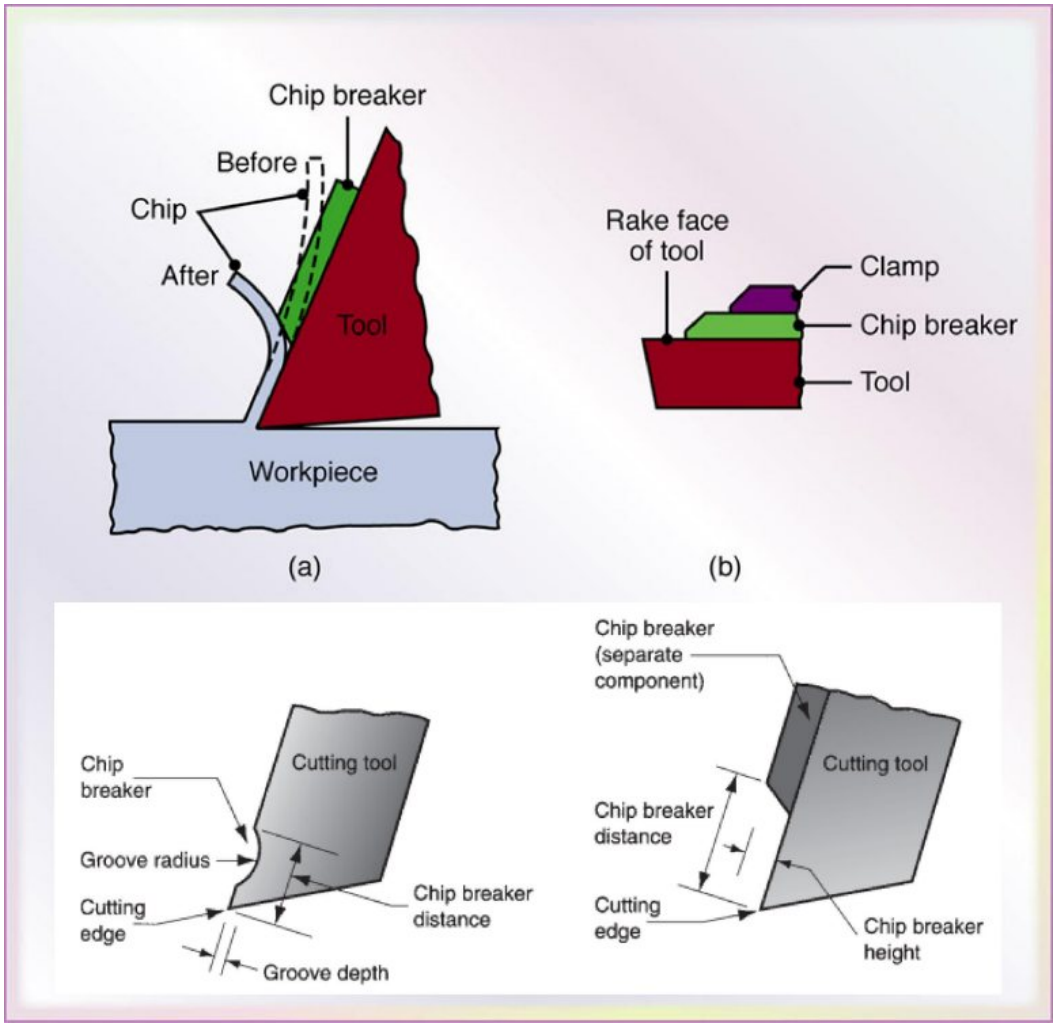
براده تیغه اره ای یا دندانه ای







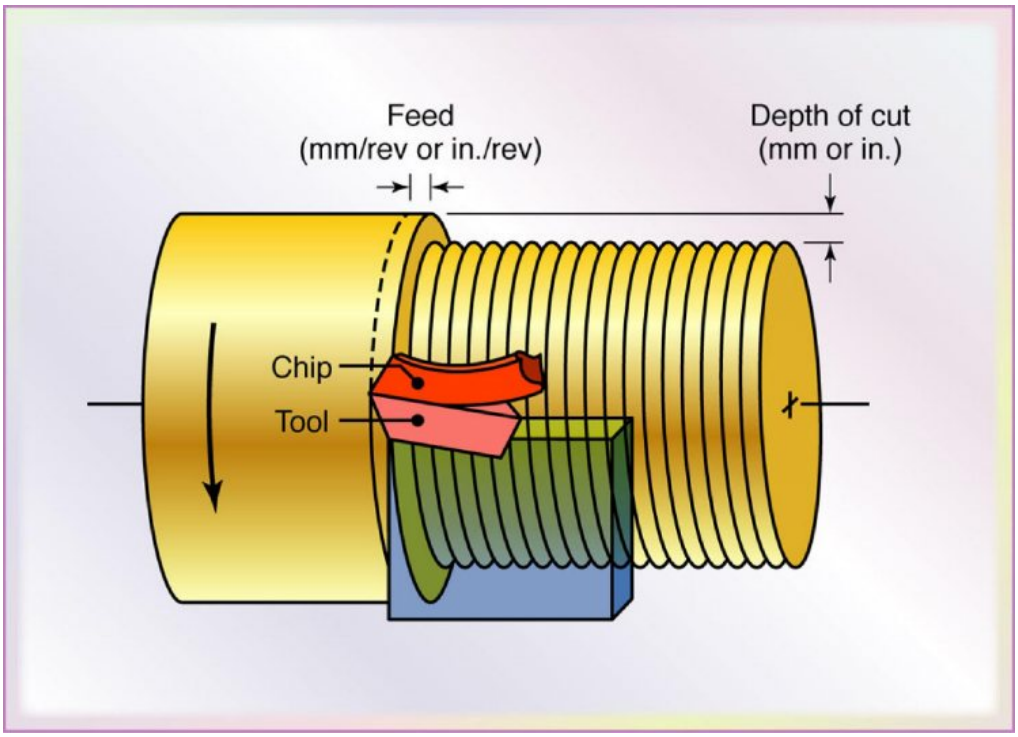
ممانعت براده در برش موثر و اتلاف انرژی با استفاده از "شکاننده براده" حذف می شود.



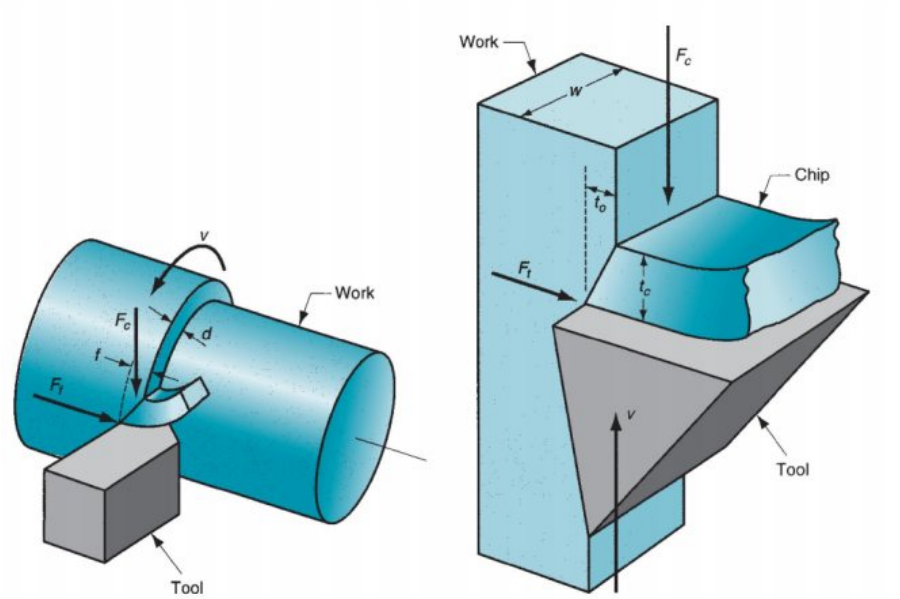
فاکتورهای اثرگذار بر فرایندهای ماشین کاری

پارامتر	اثر یا ارتباط
سرعت برش، عمق برش، خوراک سیال روان کاری	نیرو، توان و افزایش دما، عمر ابزار، نوع براده، پرداخت و یکنواختی سطح
زوایای ابزار	علاوه بر موارد فوق بر زاویه خروج براده و مقاومت در برابر سایت ابزار و براده زایی
براده پیوسته	پرداخت سطح خوب، نیروی برشی پایدار، نامناسب برای ماشین کاری بویژه در حالت اتوماتیک
براده لبه انباشته (Build-Up Edge)	پرداخت سطح و یکنواختی نامناسب، اگر این براده نازک و پایدار باشد می تواند از ابزار محافظت نماید
براده ناپیوسته	مناسب برای حذف براده، افت و خیز نیروی برش بر پرداخت نهایی سطح اثر گذاشته و منجر به ارتعاش و نویز می شود
افزایش دما	اثر بر عمر ابزار، بویژه سایش ابزار و دقت ابعادی قطعه کار، آسیب گرمایی سطح قطعه
سایش ابزار	اثر بر پرداخت سطح و یکنواختی، دقت ابعادی، افزایش دما، نیرو و توان مصرفی
قابلیت ماشین کاری	مرتبط با عمر ابزار، پرداخت سطح، نیروها و توان و نوع براده

نمونه معادل: عملیات تراش کاری

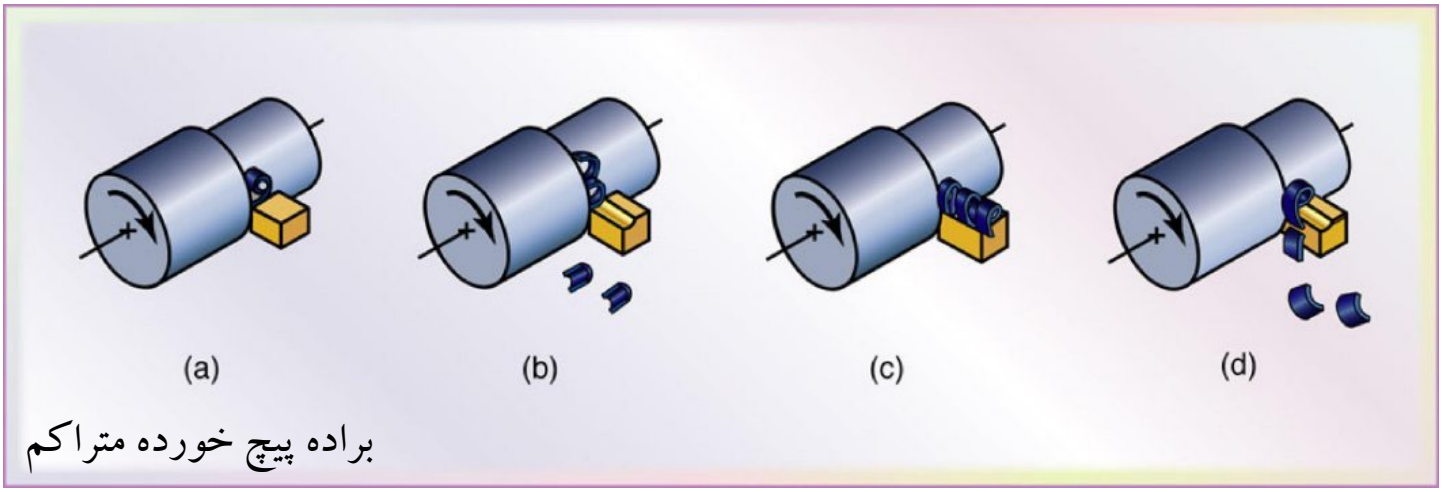


نمونه معادل: عملیات تراش کاری



Turning Operation	Orthogonal Cutting Model
Feed f =	Chip thickness before cut t_o
Depth d =	Width of cut w
Cutting speed v =	Cutting speed v
Cutting force F_c =	Cutting force F_c
Feed force F_f =	Thrust force F_t

براده های حاصل در عملیات تراش کاری



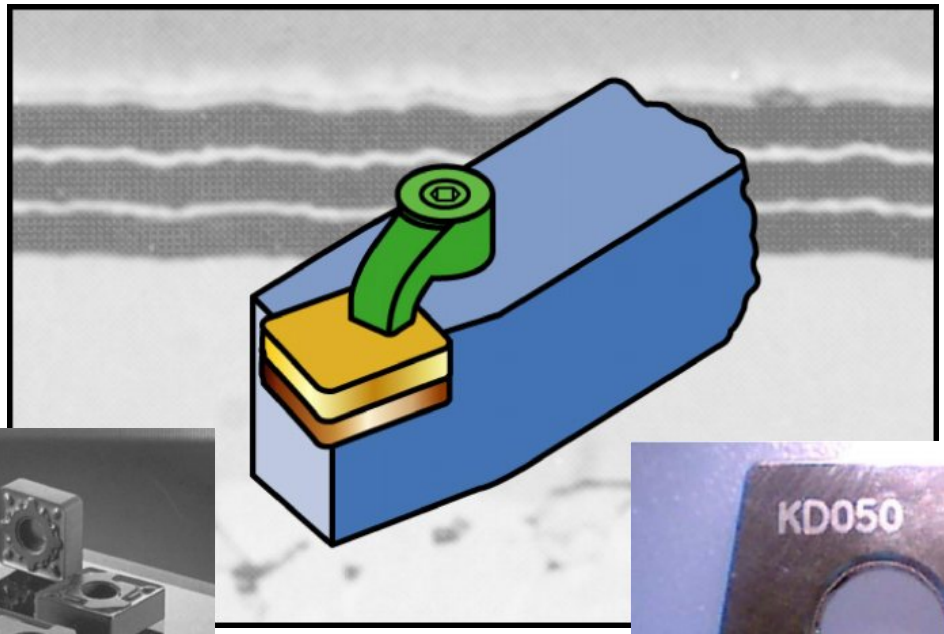
براده پیچ خورده متراکم

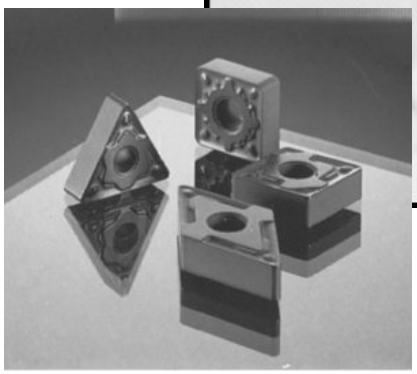
براده پیوسته که در برخورد با قطعه میشکند

براده پیوسته که از قطعه میشکند

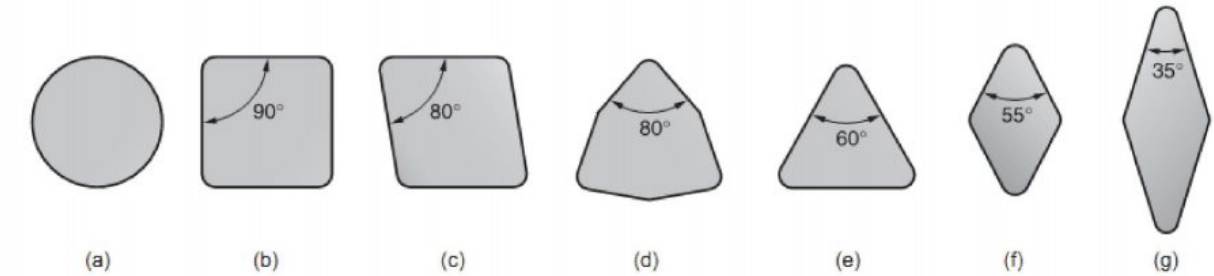
براده پیوسته که در برخورد با گیره تیغه میشکند

ابزار برش و سیال برش





تیغه برنده (رنده) و ابزار نگهدارنده (قلم)

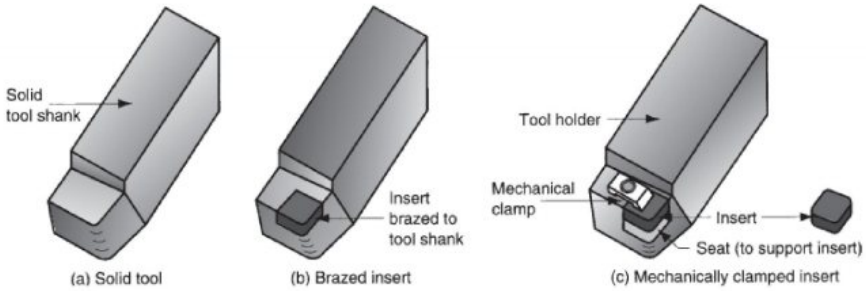


افزایش قدرت، انرژی مورد نیاز و ارتعاش ←

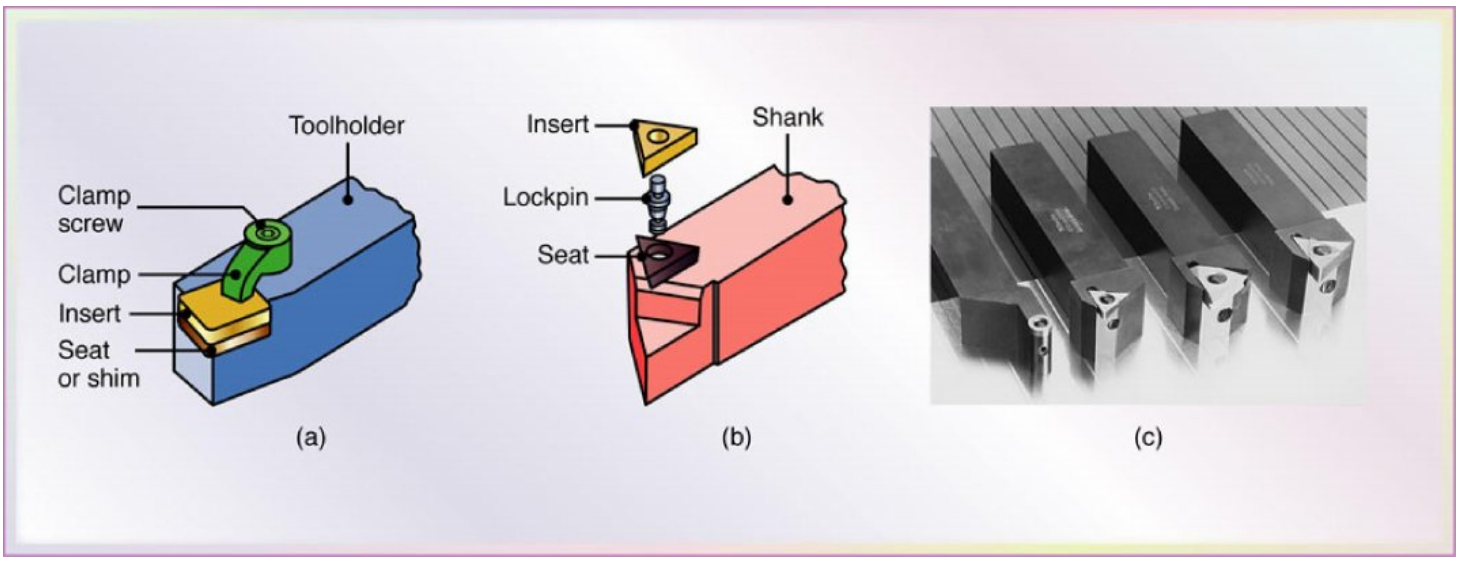
افزایش تنوع کاربرد، براده و احتمال شکستن →

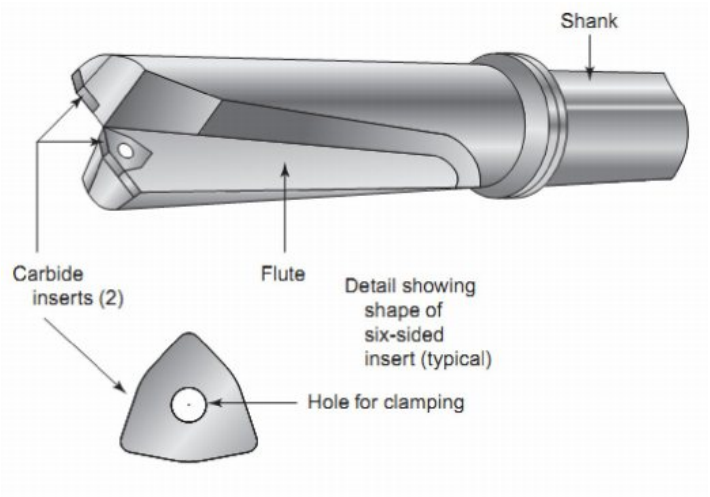
polycrystalline cubic boron nitride

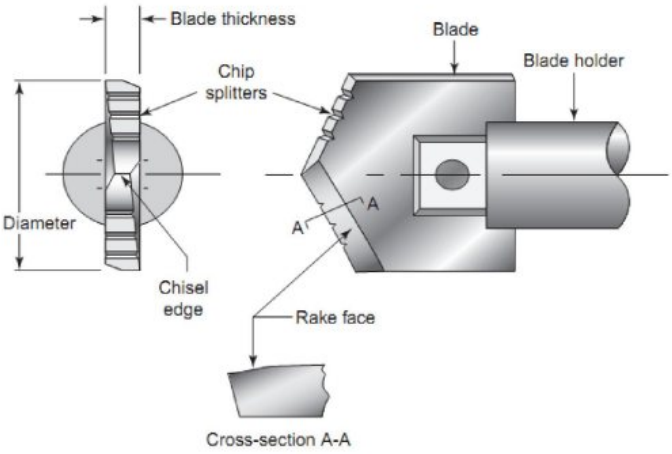
تیغه برنده (رنده) و ابزار نگهدارنده (قلم)

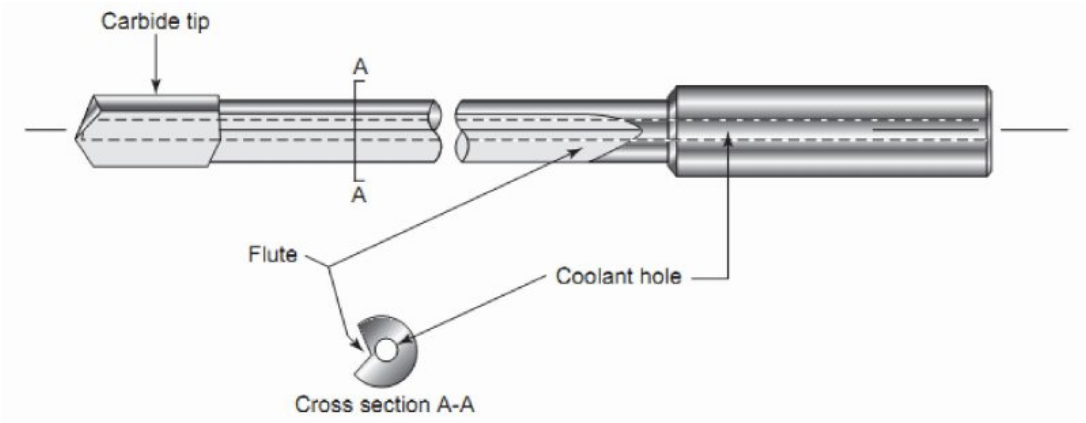


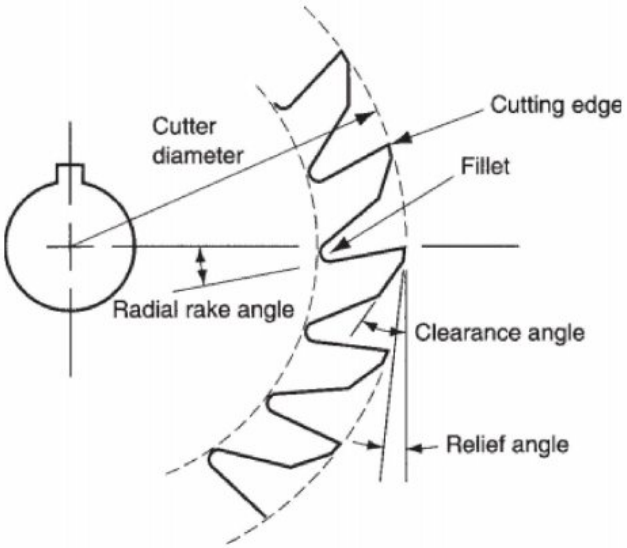
یکپارچه جوش خورده پیچ شده (متصل)

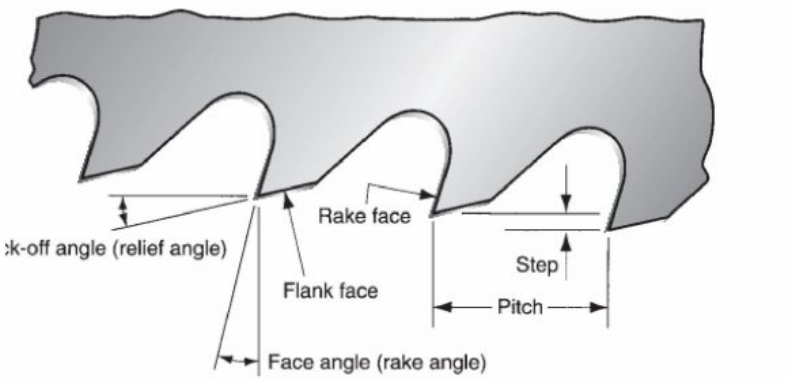


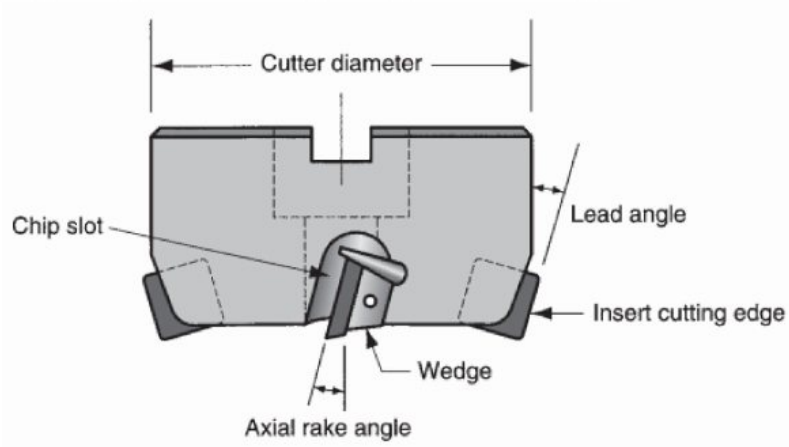

Shank
Carbide inserts (2)
Flute
Detail showing shape of six-sided insert (typical)
Hole for clamping

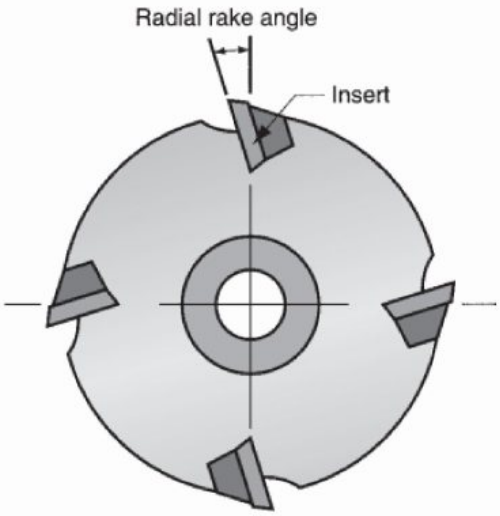

Blade thickness
Blade
Blade holder
Chip splitters
Diameter
A
A
Chisel edge
Rake face
Cross-section A-A


Carbide tip
A
A
Flute
Coolant hole
Cross section A-A


Cutter
diameter
Cutting edge
Fillet
Radial rake angle
Clearance angle
Relief angle


ck-off angle (relief angle)
Rake face
Step
Flank face
Pitch
Face angle (rake angle)


Cutter diameter
Chip slot
Lead angle
Insert cutting edge
Wedge
Axial rake angle


Radial rake angle
Insert

خواص عمومی مواد تیغه

فولاد تند بر | آلیاژ کبالت ریخته گری | کاربیدهای تنگستن و تیتانیوم | سرامیک ها | نیترید بور مکعبی | الماس تک بلور

Property	High-speed steels	Cast-cobalt alloys	Carbides		Ceramics	Cubic boron nitride	Single-crystal diamond *
			WC	TiC			
Hardness	83–86 HRA 46–62 HRC	82–84 HRA	90–95 HRA 1800–2400 HK	91–93 HRA 1800–3200 HK	91–95 HRA 2000–3000 HK	4000–5000 HK	7000–8000 HK
Compressive strength,							
MPa	4100–4500	1500–2300	4100–5850	3100–3850	2750–4500	6900	6900
psi * 10^3	600–650	220–335	600–850	450–560	400–650	1000	1000
Transverse rupture strength,							
MPa	2400–4800	1380–2050	1050–2600	1380–1900	345–950	700	1350
psi * 10^3	350–700	200–300	150–375	200–275	50–135	105	200
Impact strength,							
J	1.35–8	0.34–1.25	0.34–1.35	0.79–1.24	6 0.1	6 0.5	6 0.2
in.-lb	12–70	3–11	3–12	7–11	6 1	6 5	6 2
Modulus of elasticity,							
GPa	200	—	520–690	310–450	310–410	850	820–1050
psi * 10^6	30	—	75–100	45–65	45–60	125	120–150
Density,							
kg/m^3	8600	8000–8700	10,000–15,000	5500–5800	4000–4500	3500	3500
lb/in^3	0.31	0.29–0.31	0.36–0.54	0.2–0.22	0.14–0.16	0.13	0.13
Volume of hard phase, %	7–15	10–20	70–90	—	100	95	95
Melting or decomposition temperature,							
°C	1300	—	1400	1400	2000	1300	700
°F	2370	—	2550	2550	3600	2400	1300
Thermal conductivity, W/m K	30–50	—	42–125	17	29	13	500–2000
Coefficient of thermal expansion, * 10^{-6}/°C	12	—	4–6.5	7.5–9	6–8.5	4.8	1.5–4.8

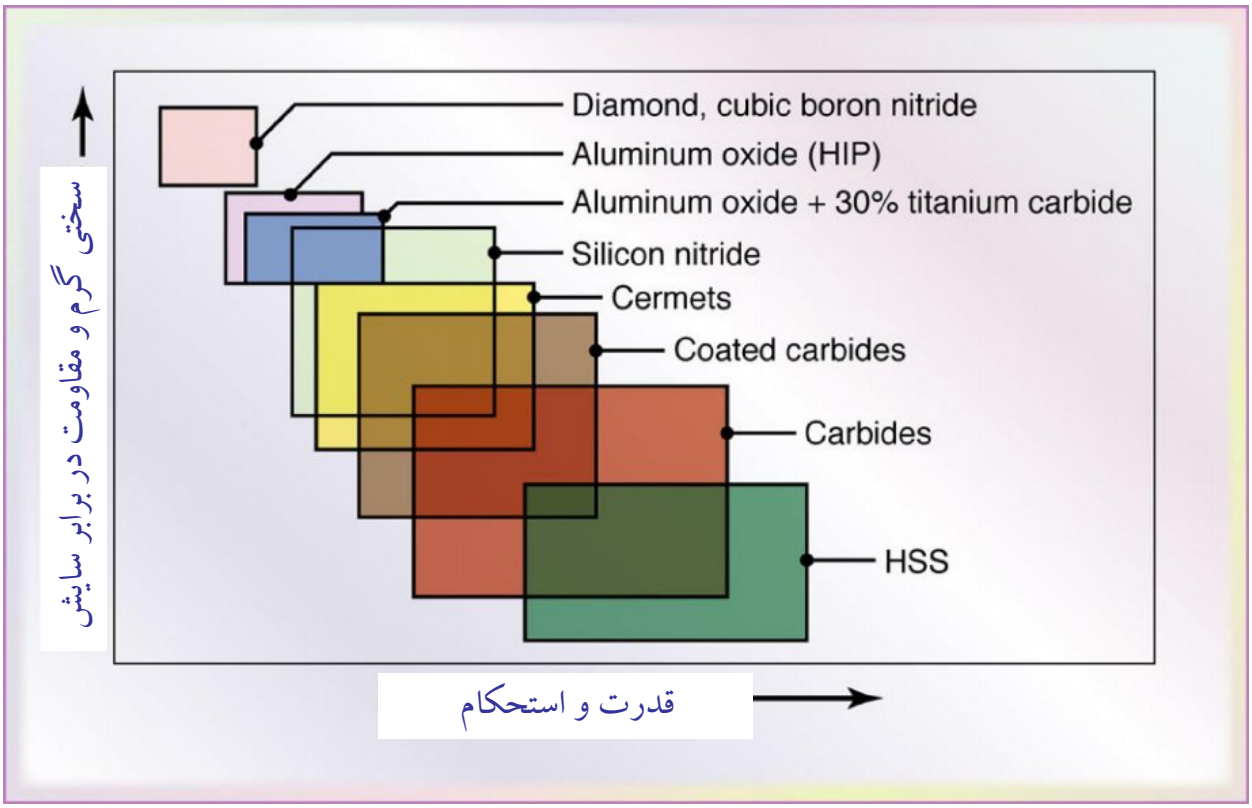
*The values for polycrystalline diamond are generally lower, except impact strength, which is higher.

خواص عمومی مواد تیغه

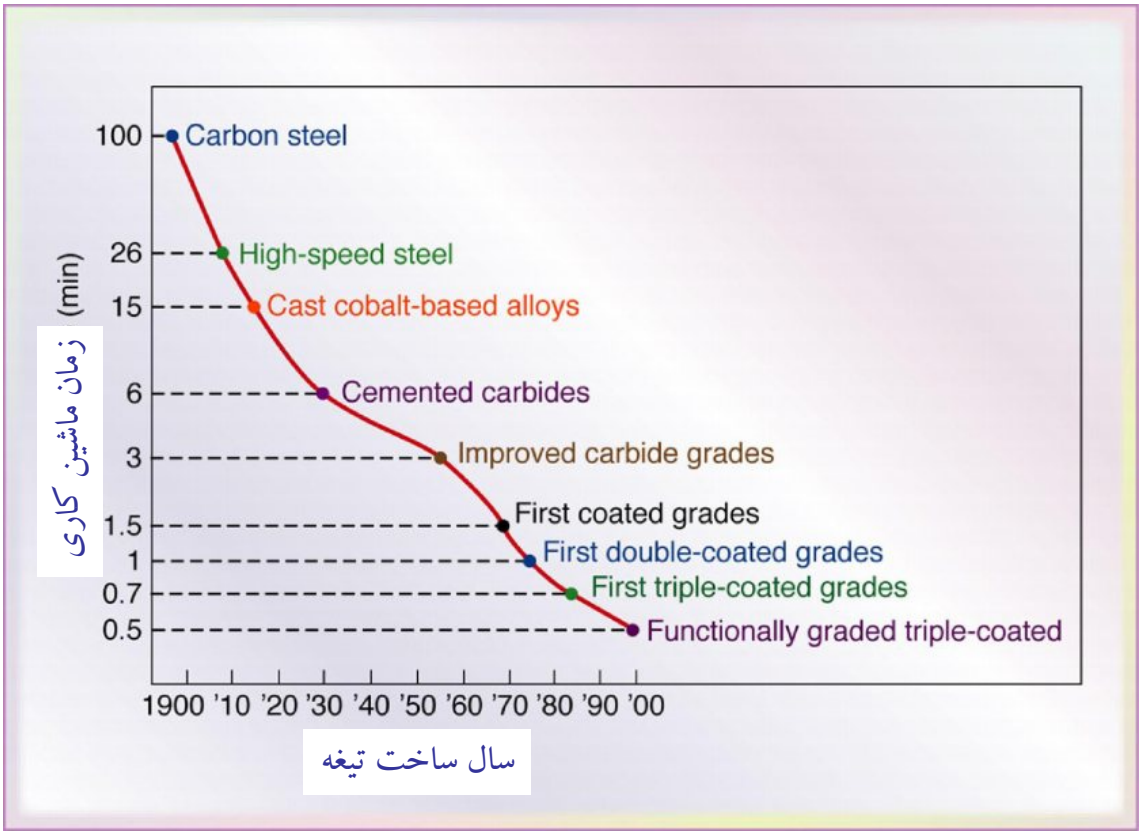
فولاد پُرتند بر
آلیاژ کبالت ریخته گری
کاربیدهای بدون پوشش
کاربیدهای پوشش دهی شده
سرامیک ها
نیتریدبور مکعبی
الماس تک بلور

	High-speed steels	Cast-cobalt alloys	Uncoated carbides	Coated carbides	Ceramics	Polycrystalline cubic boron nitride	Diamond
Hot hardness	←	←	←	← سختی گرم	→	→	→
Toughness	→	→	→	→	→	→	→
Impact strength	→	→	→	→	→	→	→
Wear resistance	←	←	← مقاومت در برابر سایش	→	→	→	→
Chipping resistance	→	→	→	→ مقاومت در برابر براده	←	←	←
Cutting speed	←	←	←	←	→	→	→
Thermal-shock resistance	→	→	→	→	←	←	←
Tool material cost	←	←	←	← قیمت	→	→	→
Depth of cut	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Very light for siingle-crystal diamond
سرعت برش							
Processing method	Wrought, cast, HIP* sintering	Cast and HIP sintering	Cold pressing and sintering	CVD or PVD†	Cold pressing and sintering or HIP sintering	High-pressure, high-temperature sintering	High-pressure, high-temperature sintering

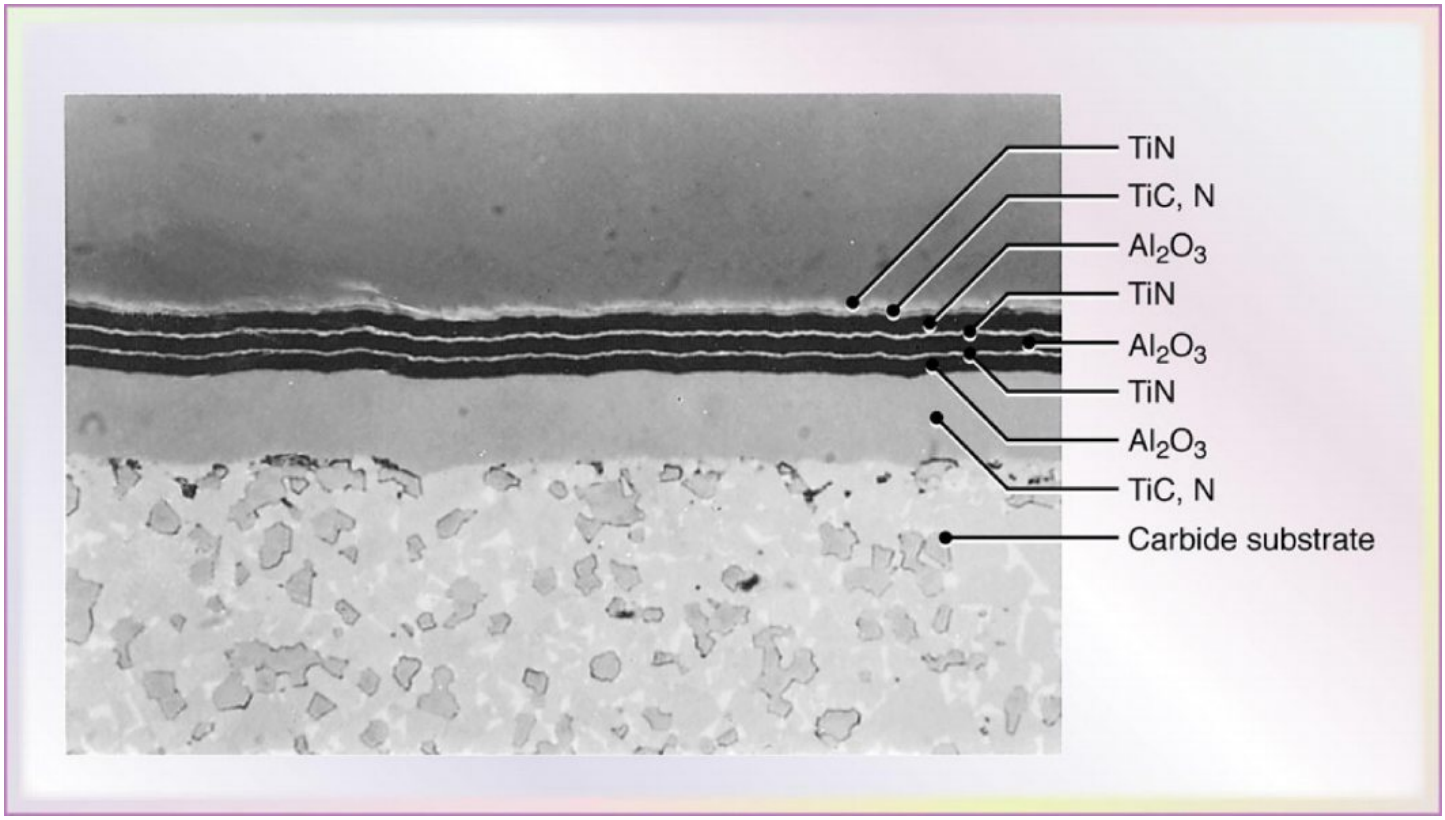
Source: After R. Komanduri .
*Hot-isostatic pressing.
†Chemical-vapor deposition, physical-vapor deposition.


Diamond, cubic boron nitride
Aluminum oxide (HIP)
Aluminum oxide + 30% titanium carbide
Silicon nitride
Cermets
Coated carbides
Carbides
HSS
سختی گرم و مقاومت در برابر سایش
قدرت و استحکام

انواع تیغه ها و زمان ماشین کاری

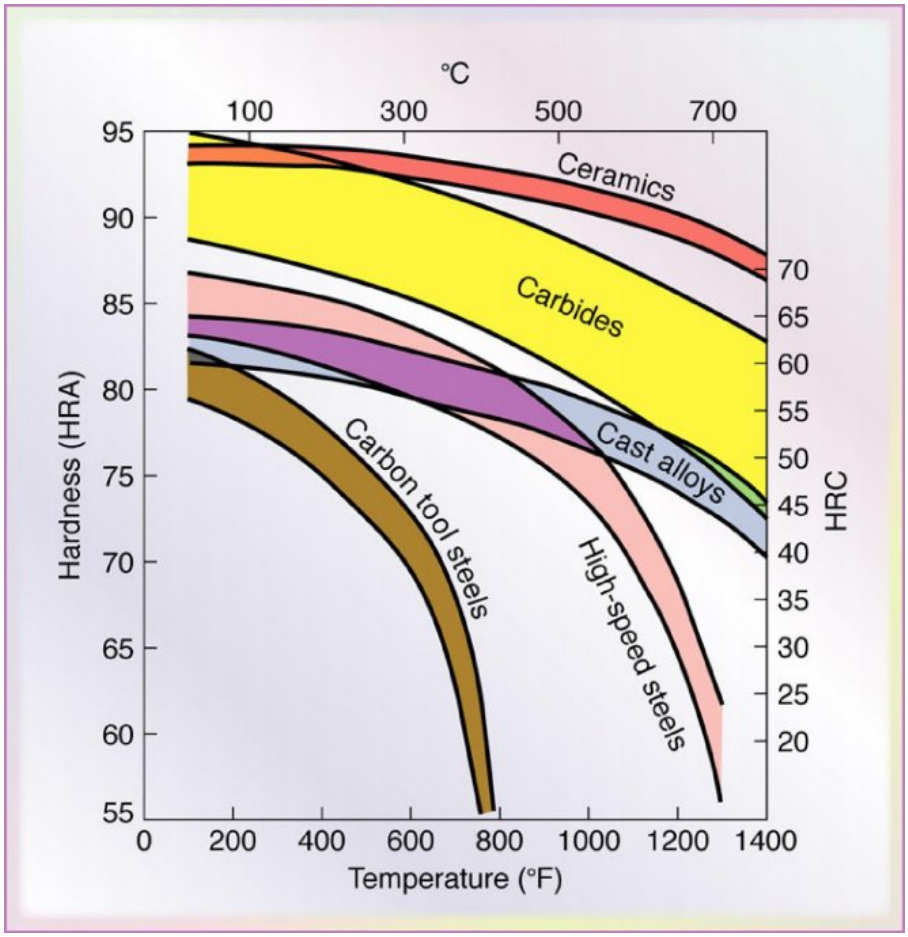


نمونه تیغه کاربید تنگستن لایه نشانی شده



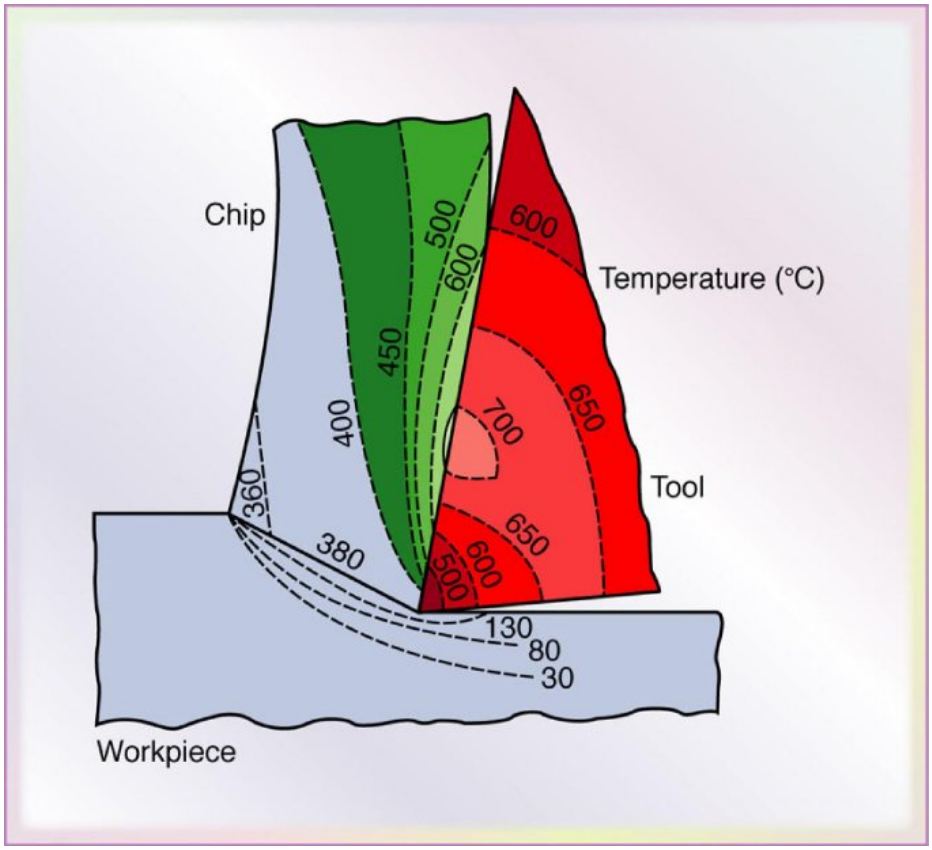
CUBIC BORON NITRIDE

اثر دما بر سختی ابزار برش

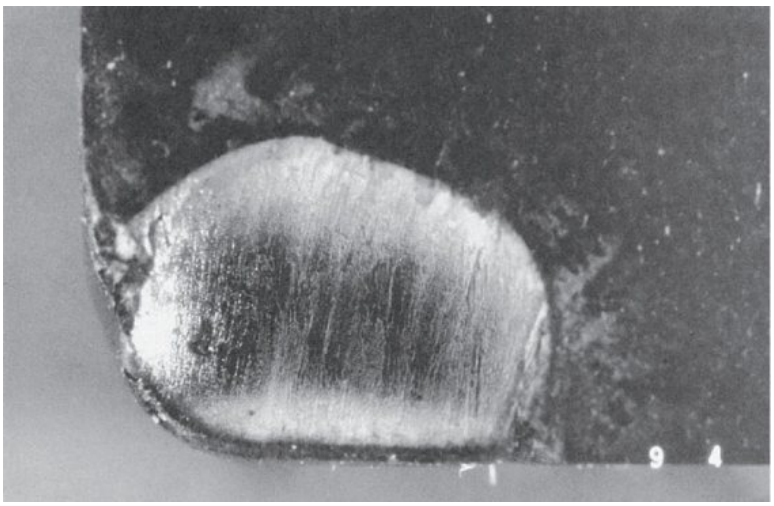


پهنای باند هر نوع از مواد به تنوع ترکیبات و پرداخت ابزار مرتبط است

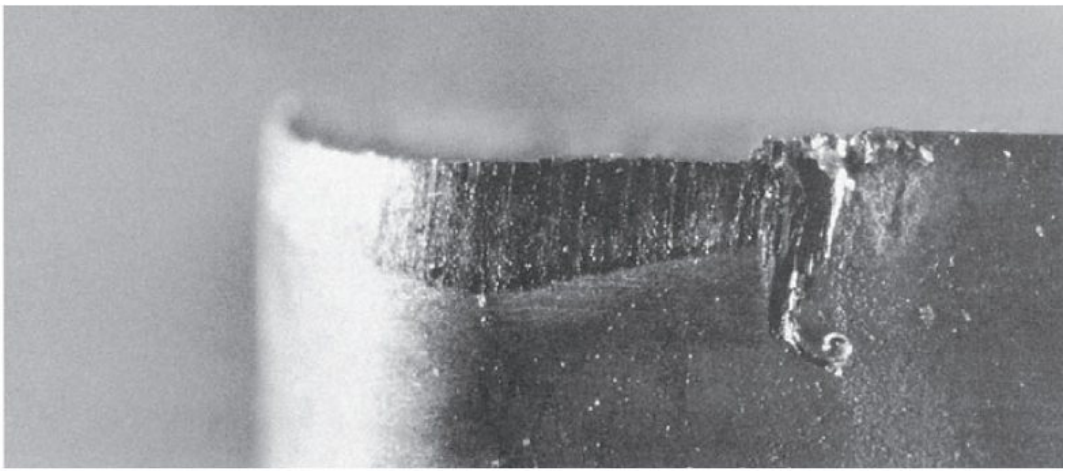
توزیع دمایی در تیغه برنده و قطعه



مکانیسم سایش در تیغه برنده



- ✓ سایش
- ✓ چسبندگی (جوش)
- ✓ نفوذ
- ✓ واکنش شیمیایی
- ✓ تغییر شکل پلاستیکی

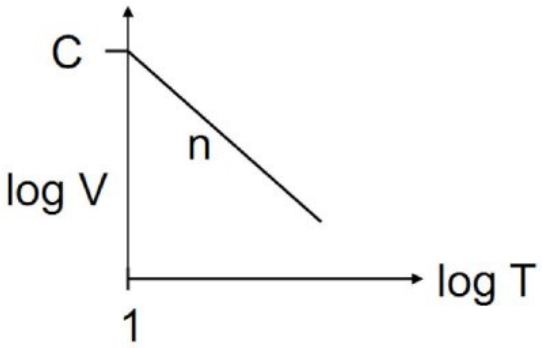


معادله طول عمر ابزار تیلور

Frederick W. Taylor
1856-1915

$$VT^n = C$$

$$VT^n d^x f^y = C$$



$$vT^n f^m d^p H^p = KT_{\text{ref}}{}^n f_{\text{ref}}{}^m d_{\text{ref}}{}^p H_{\text{ref}}{}^q$$

سرعت ابزار برش m/min

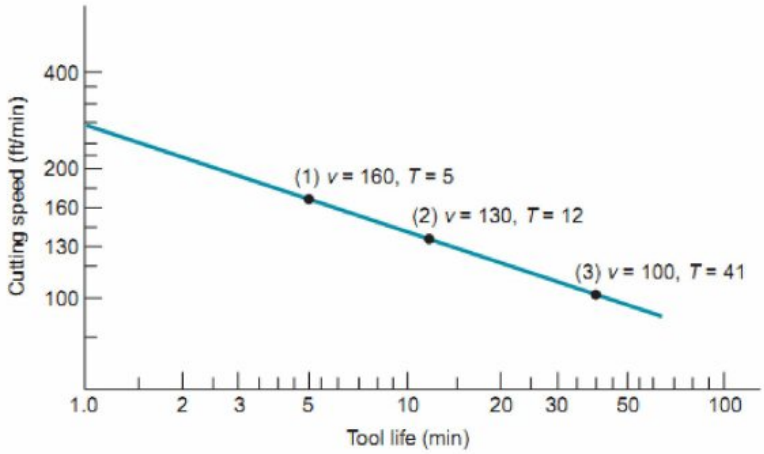
عمر ابزار min

سختی

عمق برش mm

خوراک mm

Ranges of *n* Values for the Taylor Eq. (21.20a) for Various Tool Materials	
High-speed steels	0.08-0.2
Cast alloys	0.1-0.15
Carbides	0.2-0.5
Coated carbides	0.4-0.6
Ceramics	0.5-0.7



$$vT^n = C\left(T_{\text{ref}}{}^n\right)$$

Determine the values of C and n in the plot of Figure 23.5, using two of the three points on the curve and solving simultaneous equations of the form of Eq. (23.1).

Solution: Choosing the two extreme points: $v = 160$ m/min, $T = 5$ min; and $v = 100$ m/min, $T = 41$ min; we have

$$160(5)^n = C$$
$$100(41)^n = C$$

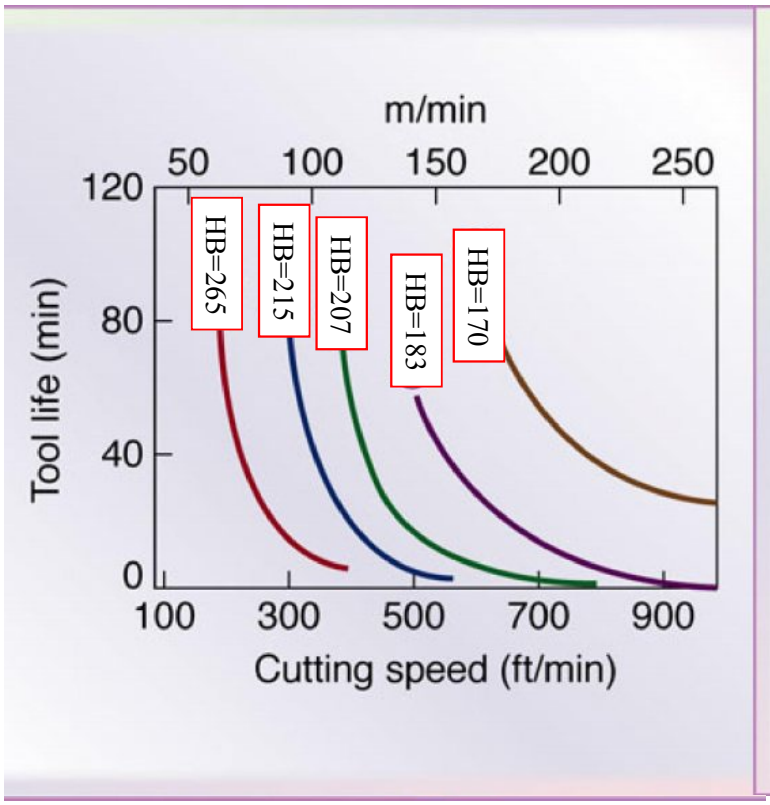
Setting the left-hand sides of each equation equal,

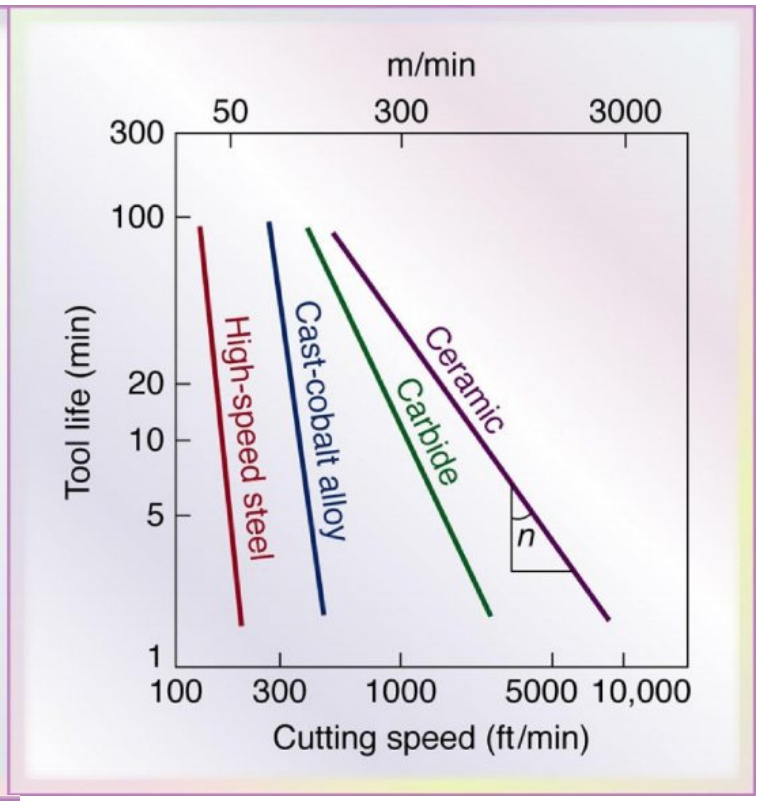
$$160(5)^n = 100(41)^n$$

Taking the natural logarithms of each term,

$$\ln(160) + n\ln(5) = \ln(100) + n\ln(41)$$
$$5.0752 + 1.6094\,n = 4.6052 + 3.7136\,n$$
$$0.4700 = 2.1042\,n$$
$$n = \frac{0.4700}{2.1042} = 0.223$$

اثر سختی قطعه و سرعت برش بر عمر ابزار





نقش سیال روان کاری برش

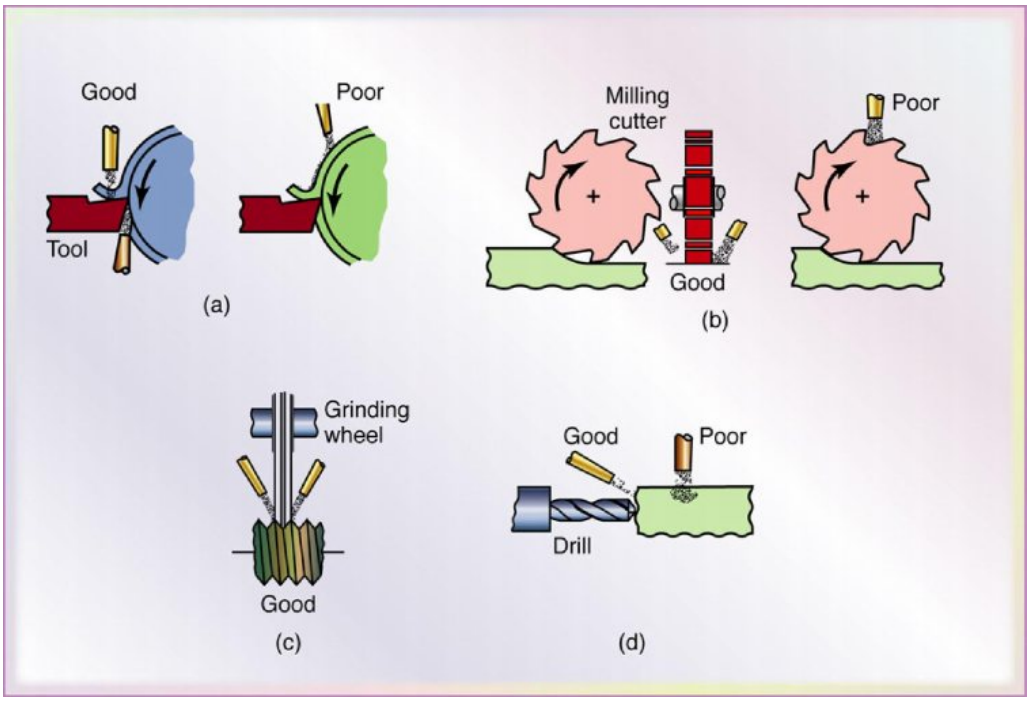
- ✓ کاهش اصطحکاک و سایش
- ✓ افزایش عمر ابزار و بهینه سازی سطح پرداخت
- ✓ خنک سازی سطح کار
- ✓ حذف ضایعات
- ✓ جلوگیری از خوردگی
- ✓ کاهش میزان انرژی مورد نیاز و نیروی اعمال شده

انواع سیال روان کاری برش

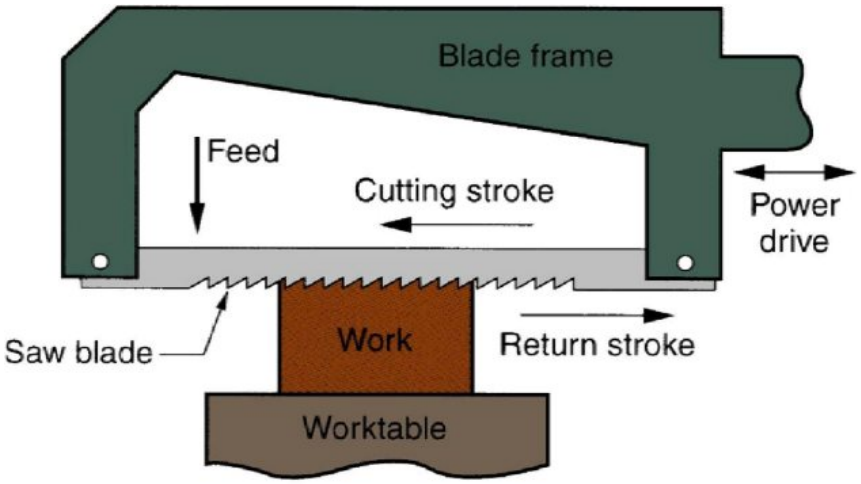
- ✓ مقوم در برابر عوامل زیستی
- ✓ صابونی
- ✓ ضد کف
- ✓ سولفور دار
- ✓ کلردار
- ✓ مبتنی بر آب حاوی نمک یا روغن های محلول
- ✓ مبتنی بر روغن معدنی
- ✓ سنتزی
- ✓ زیست تخریب پذیر

روش های پاشش سیال و موقعیت مناسب

- ✓ پاشش جریان مستقیم (سَیَلانی)
- ✓ پاشش مه مانند (غالبا مبتنی بر آب)
- ✓ پاشش پر فشار
- ✓ پاشش از طریق مجرای داخل ابزار

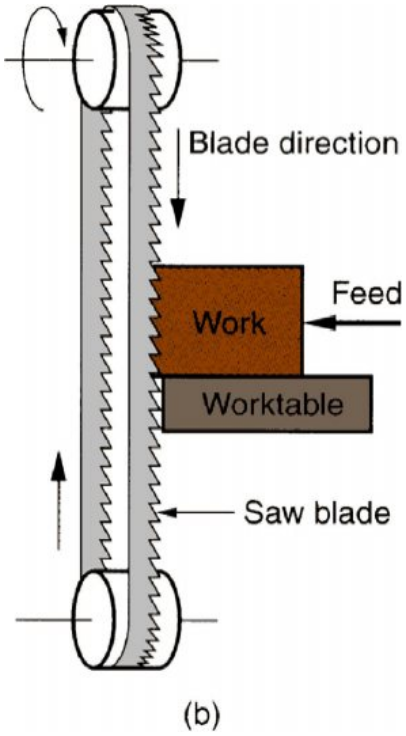


اره خطی رفت و برگشتی



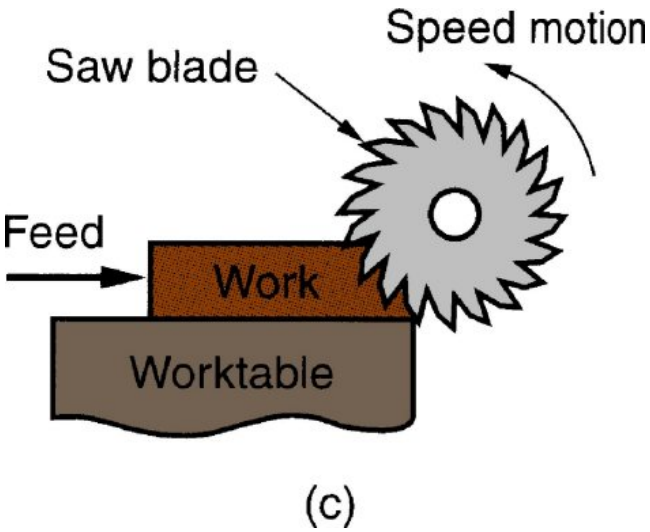
(a)

اره خطی نواری

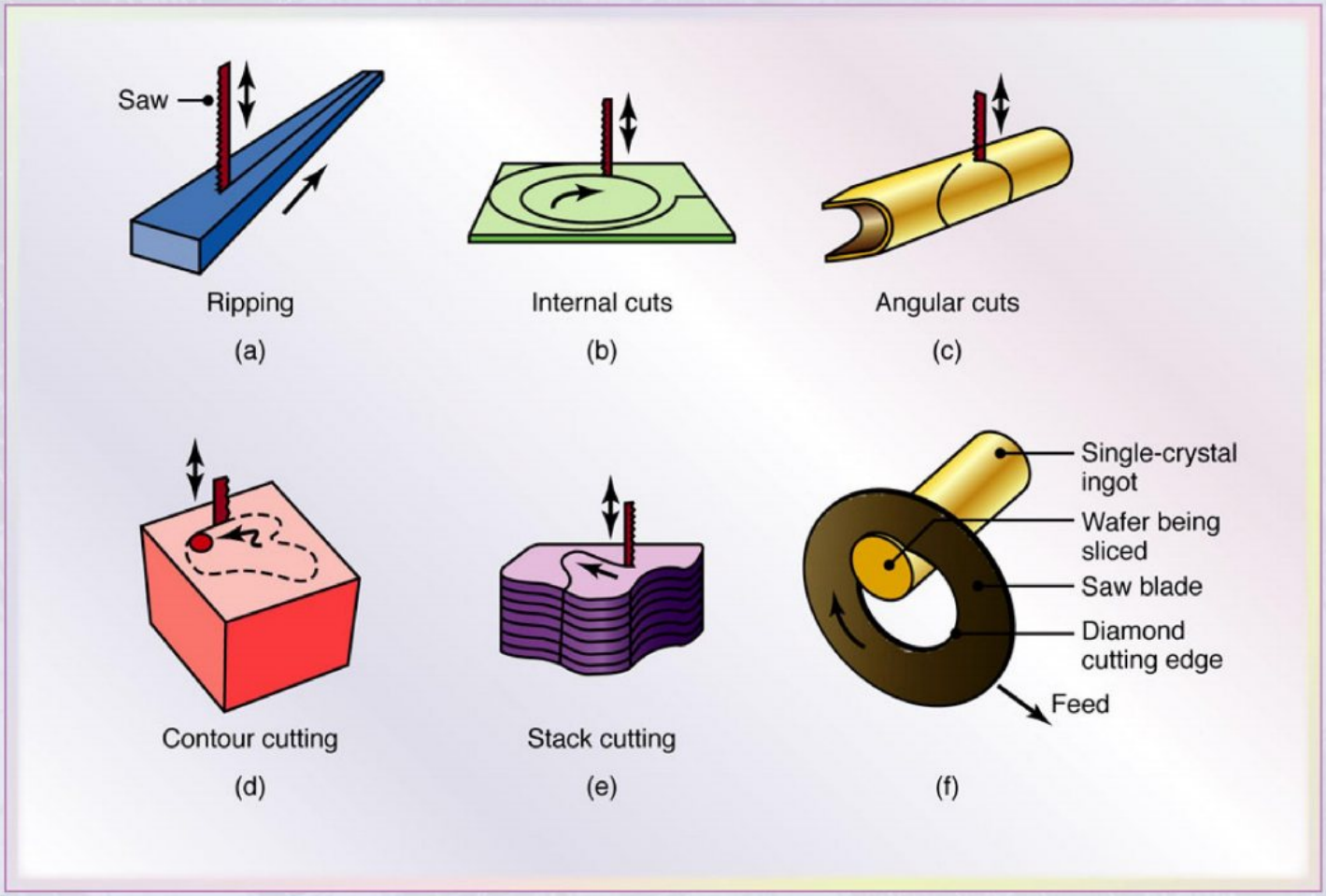


حرکت خطی پیوسته نوار اره

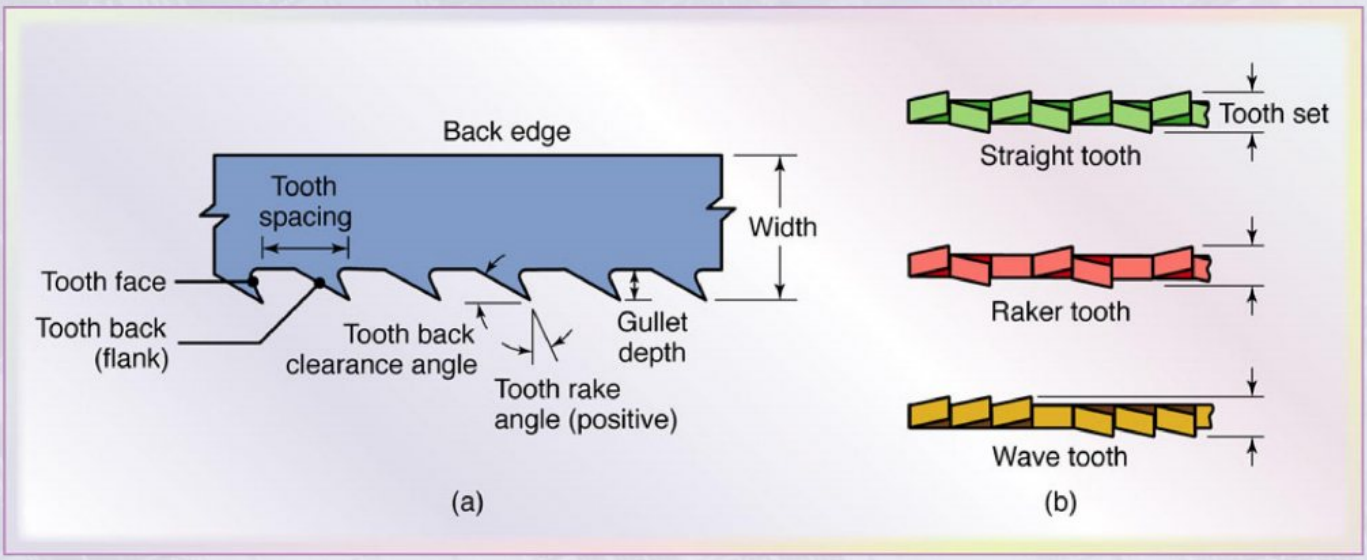
اره چرخشی

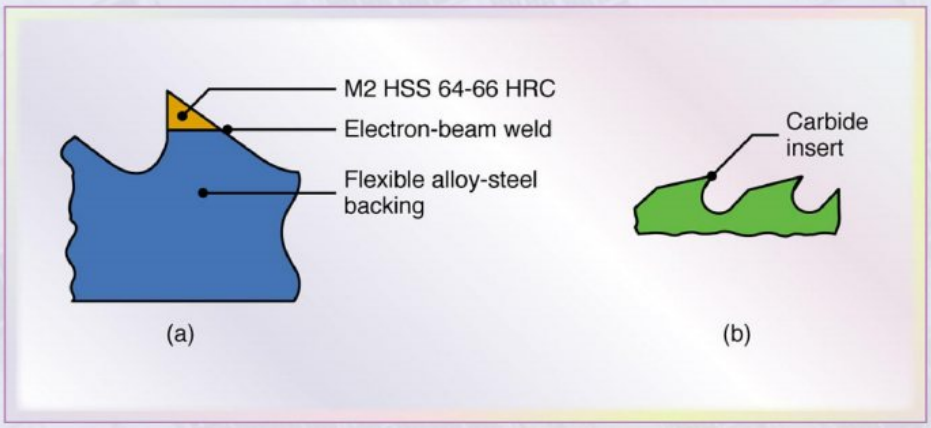


عملیات اره کاری

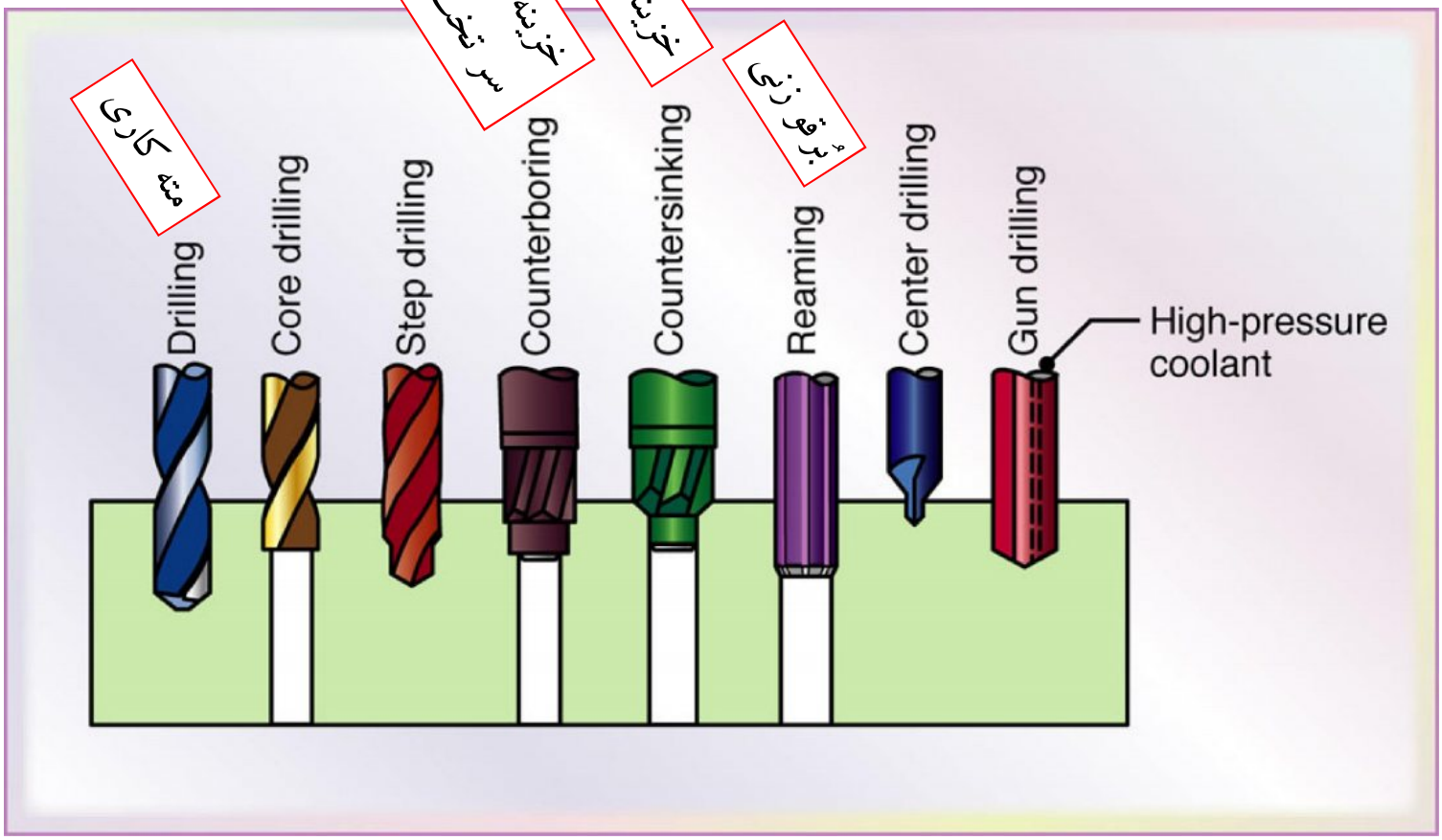


دندانه های اره

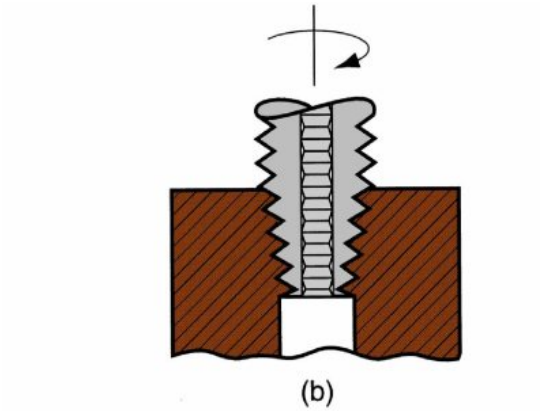


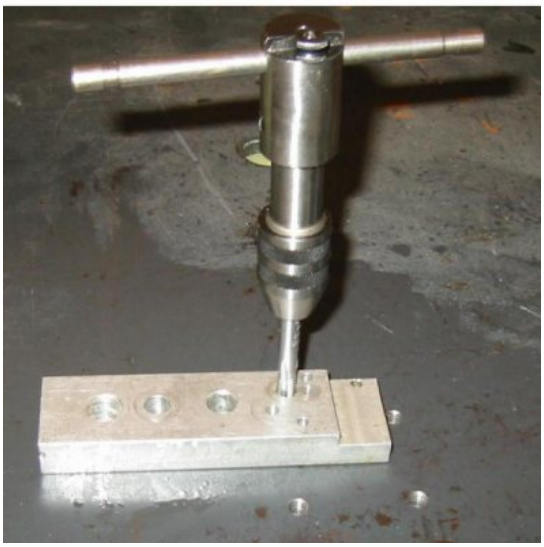


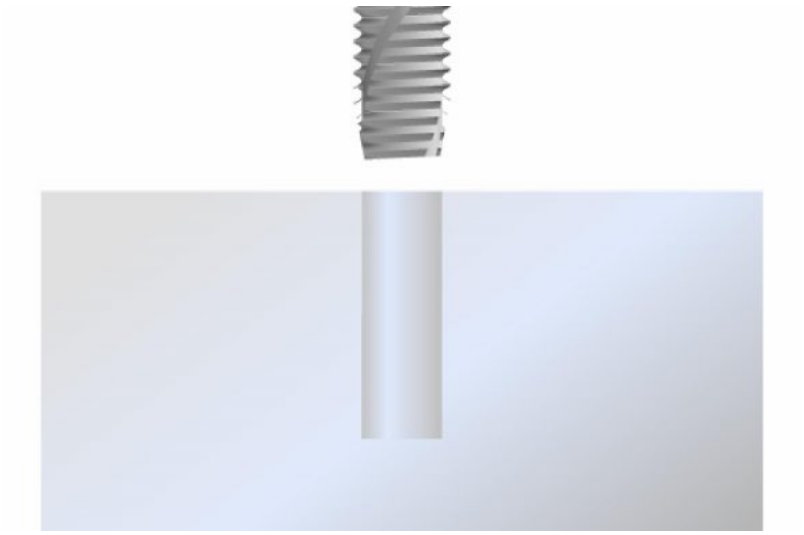
سوراخ کاری


مته کاری
خزینه کاری سر تخت
خزینه کاری
برقو زنی
Drilling
Core drilling
Step drilling
Counterboring
Countersinking
Reaming
Center drilling
Gun drilling
High-pressure coolant

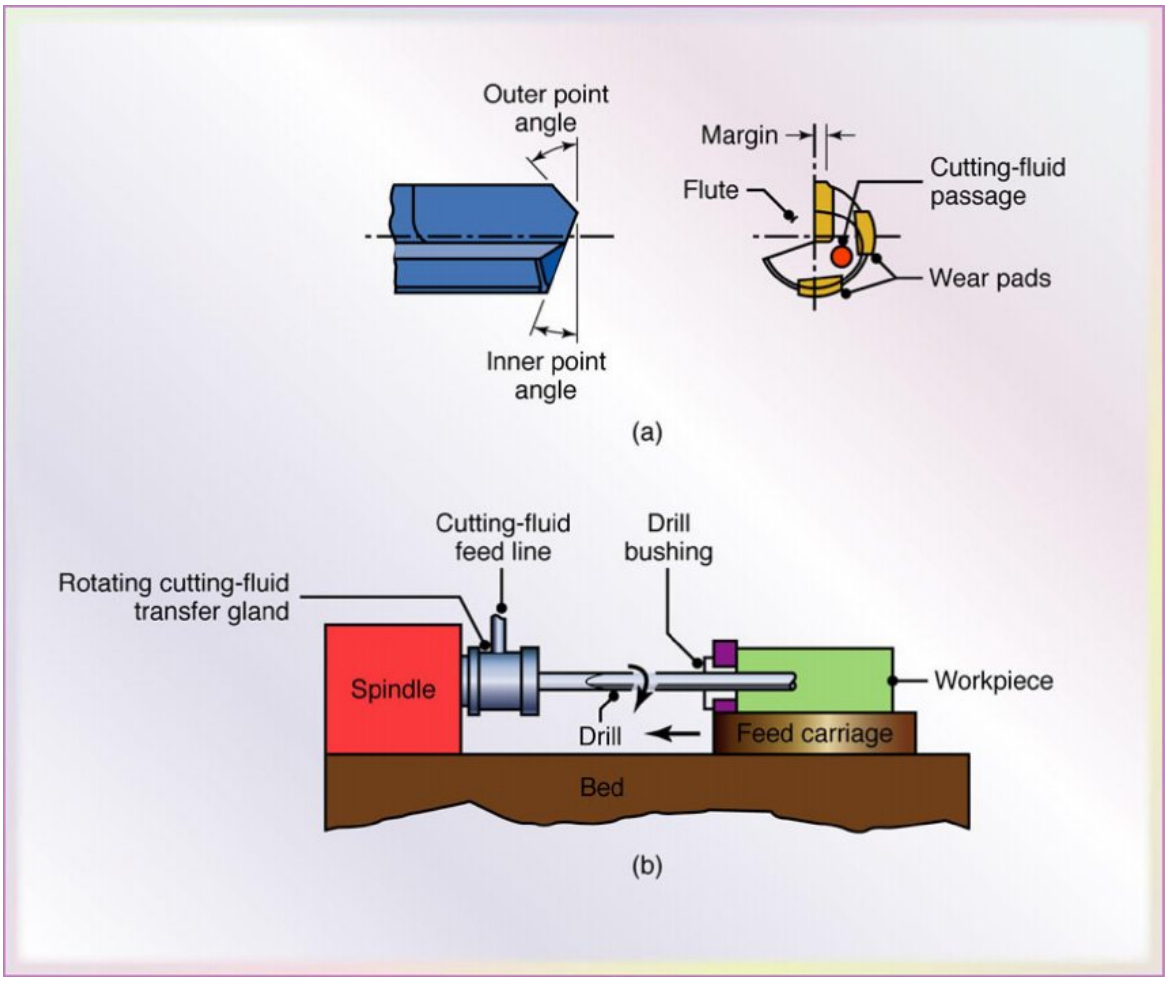
قلاویز کاری



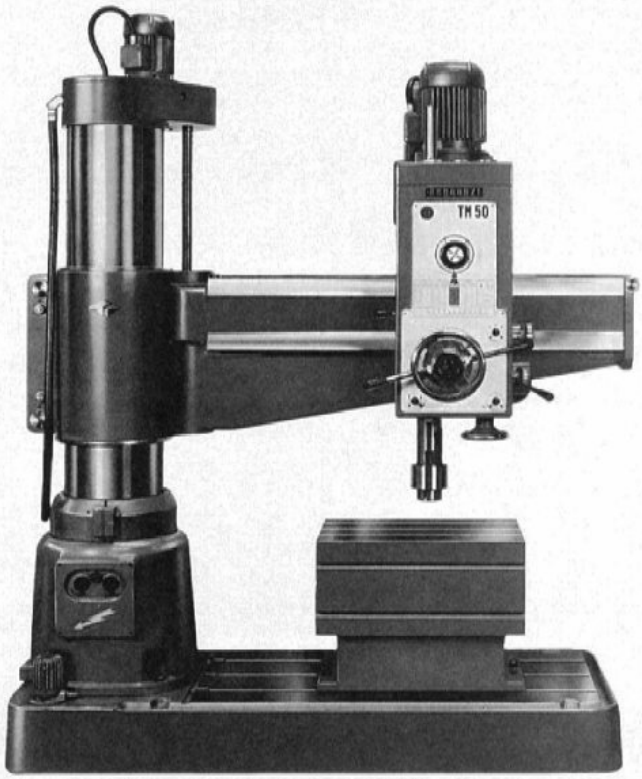




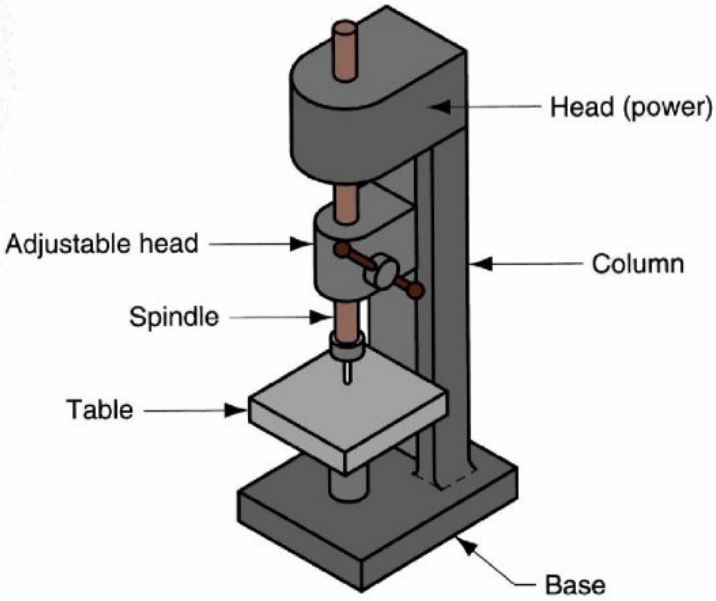
مته تفنگی


Outer point angle
Inner point angle
Margin
Flute
Cutting-fluid passage
Wear pads
(a)
Cutting-fluid feed line
Drill bushing
Rotating cutting-fluid transfer gland
Spindle
Drill
Feed carriage
Workpiece
Bed
(b)

ماشین مته رادیال



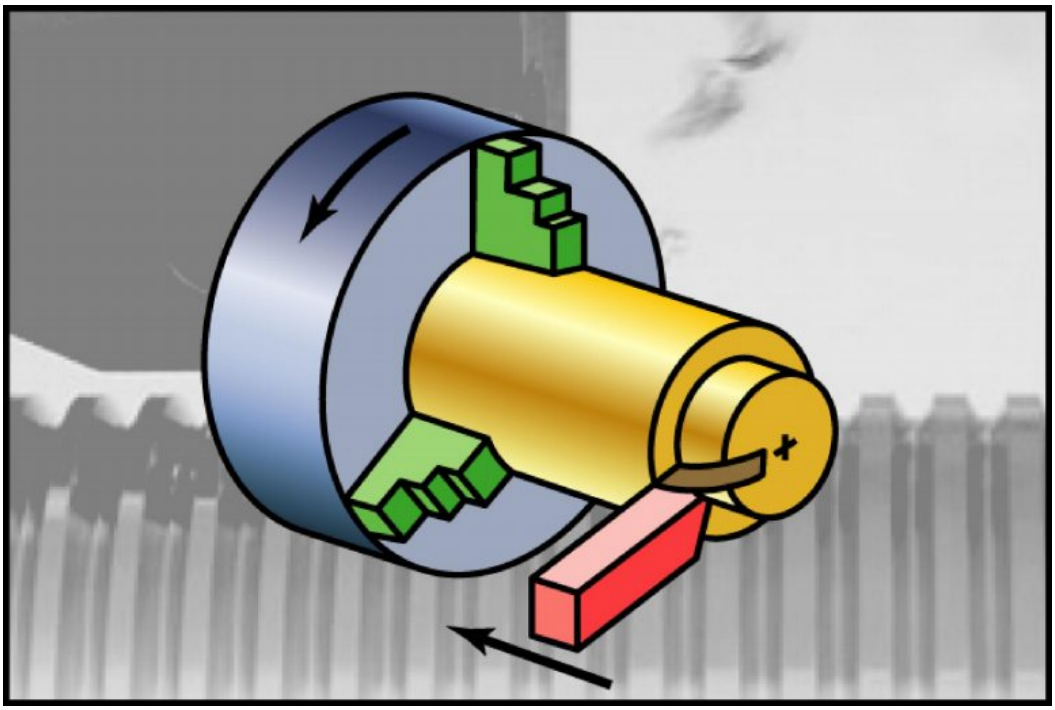
ماشین مته عمودی



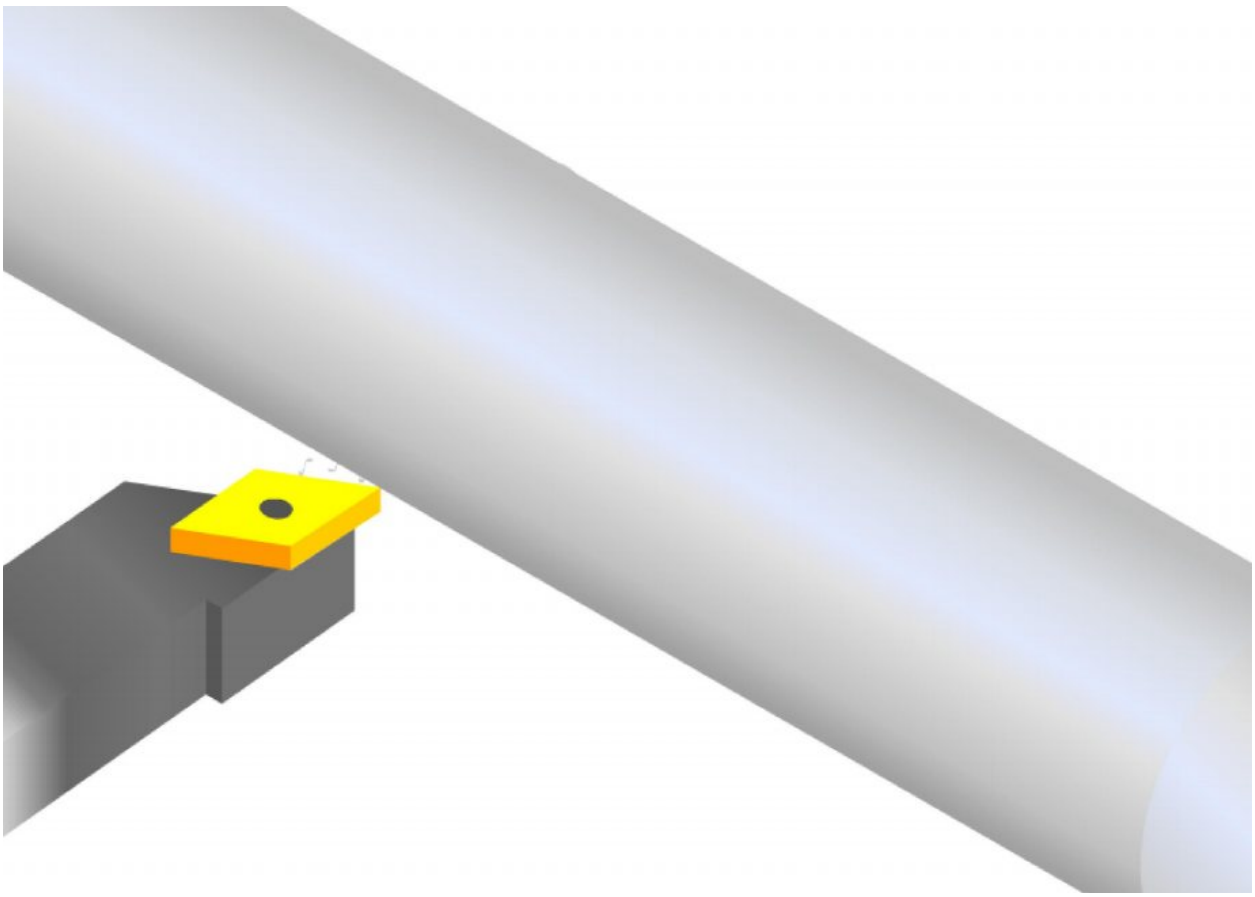
ماشین مته چند محوره

Multi spindle

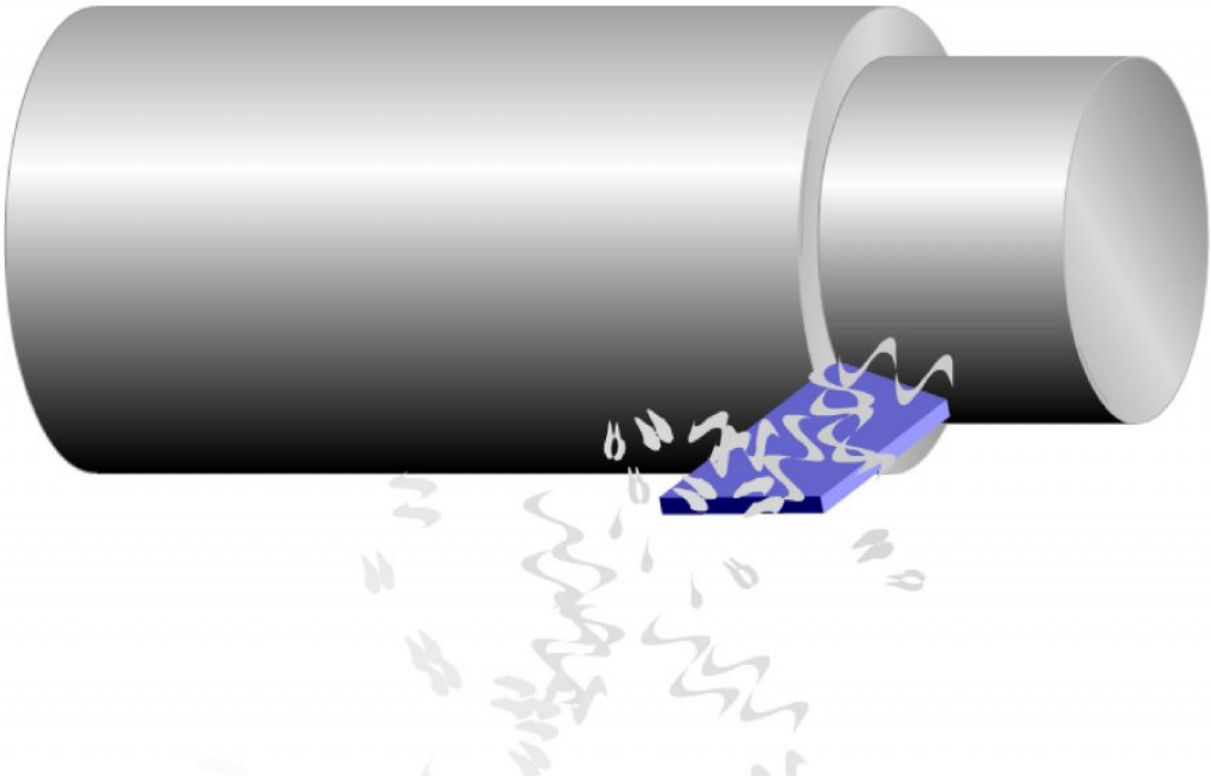
تراش کاری



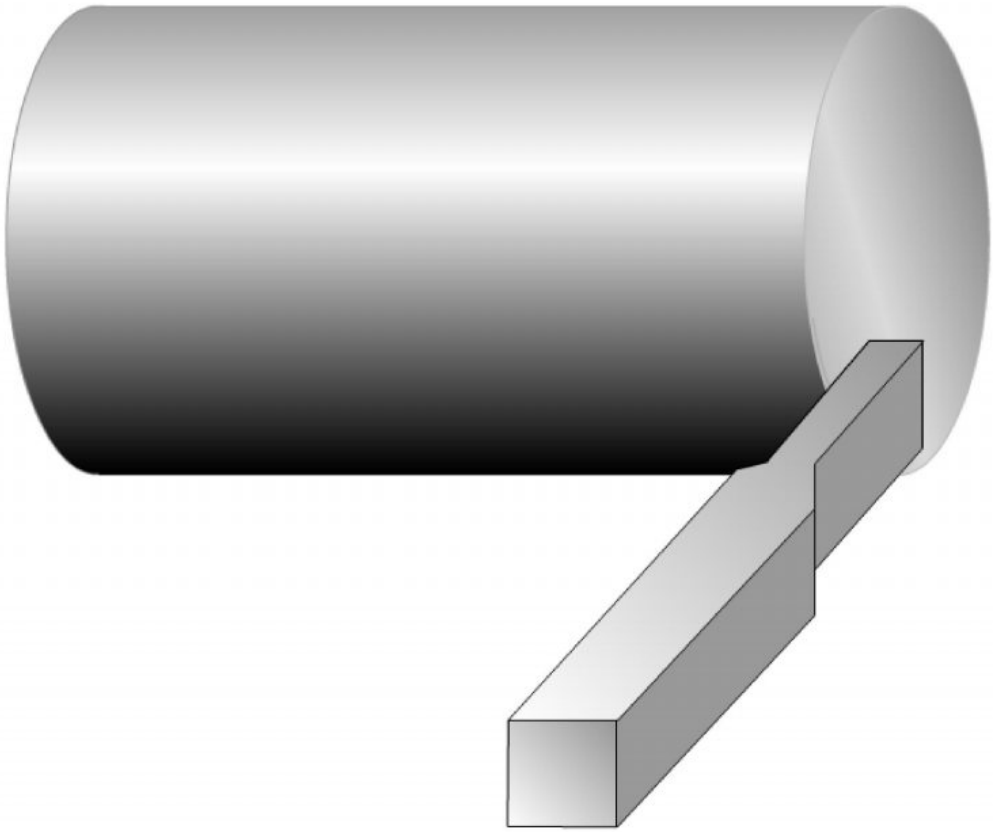
تراش کاری – رو تراشی



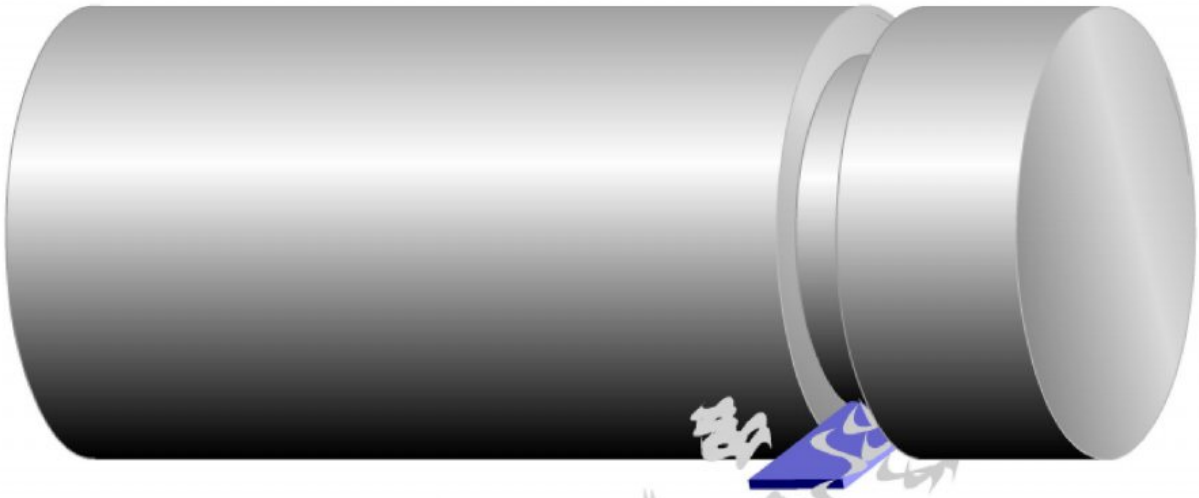
تراش کاری



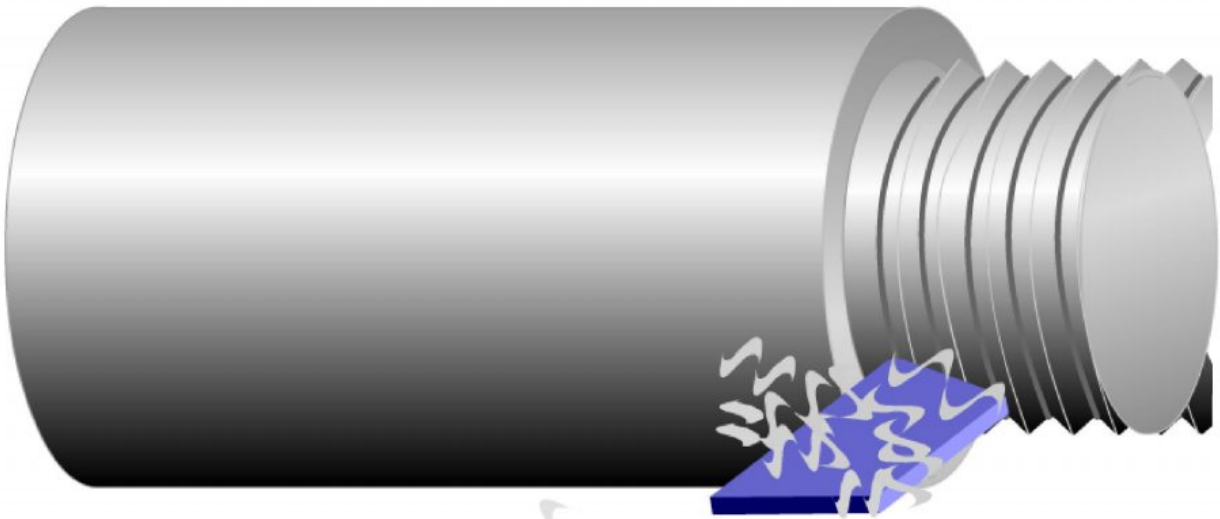
تراش کاری - صفحه تراشی

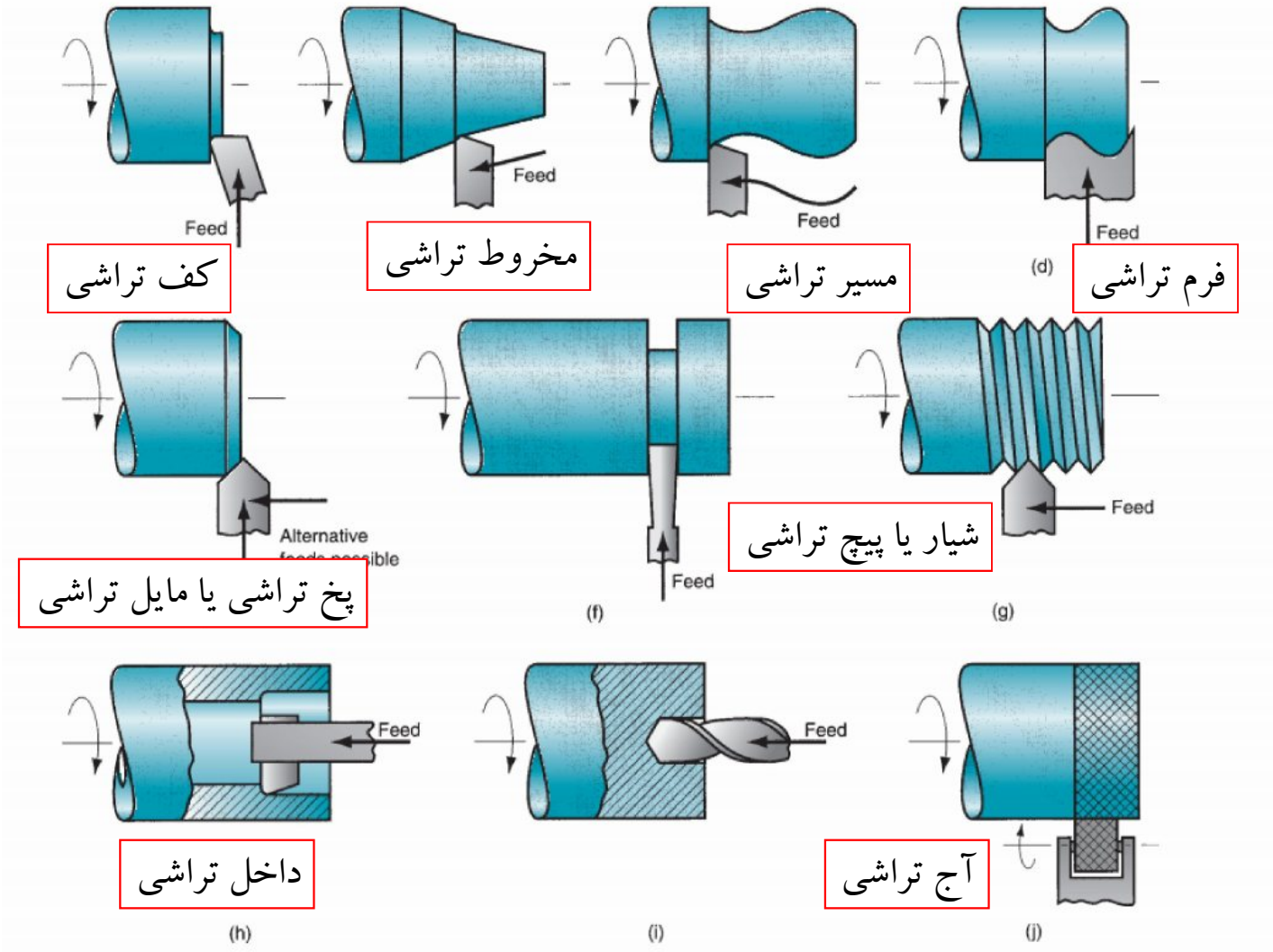


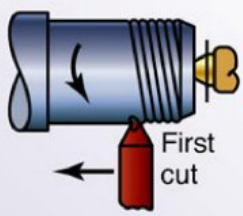
تراش کاری - گاه گیری و برش

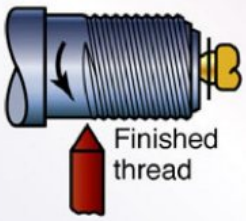


تراش کاری - پیچ تراشی

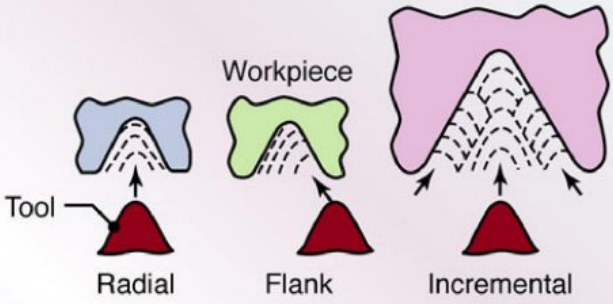



Feed
کف تراشی
Feed
مخروط تراشی
Feed
مسیر تراشی
Feed
(d)
فرم تراشی
Alternative
پخ تراشی یا مایل تراشی
Feed
(f)
Feed
شیار یا پیچ تراشی
(g)
Feed
داخل تراشی
(h)
Feed
(i)
آج تراشی
(j)

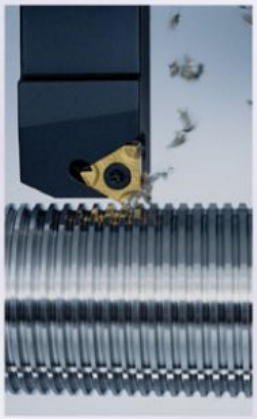

First
cut


Finished
thread

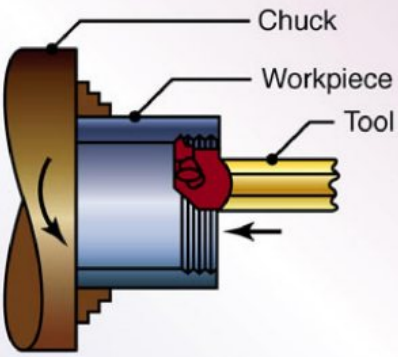
(a)


Workpiece
Tool
Radial
Flank
Incremental

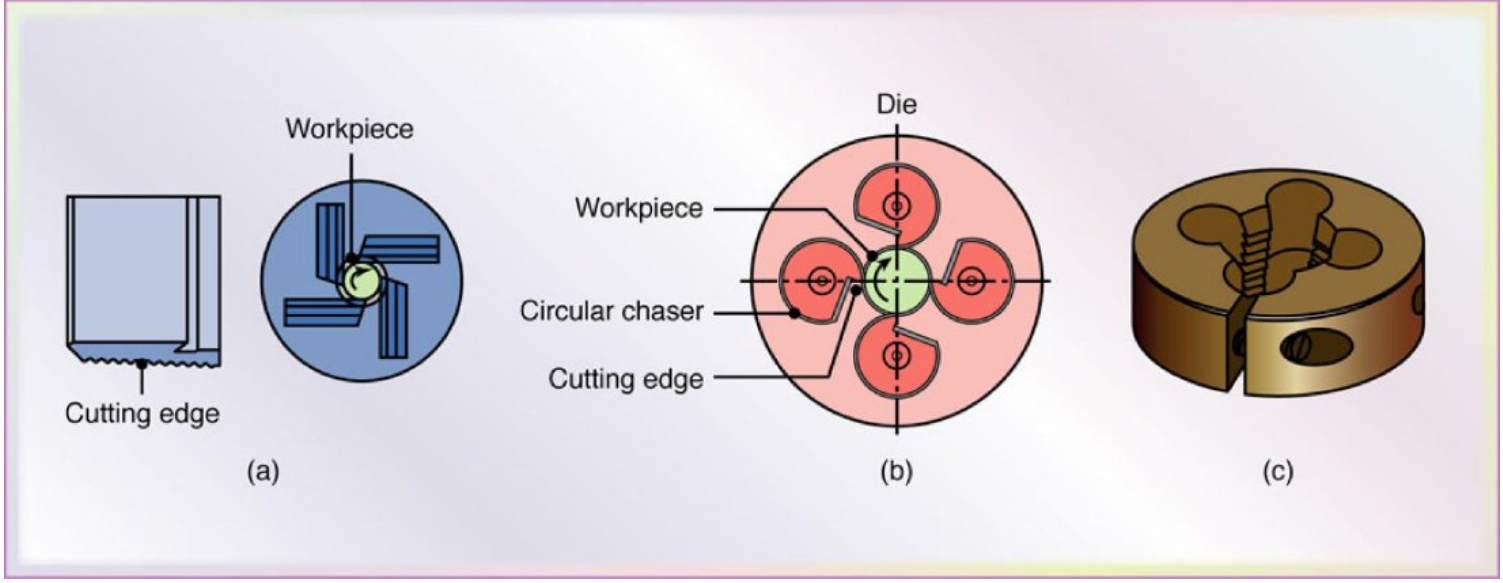
(b)

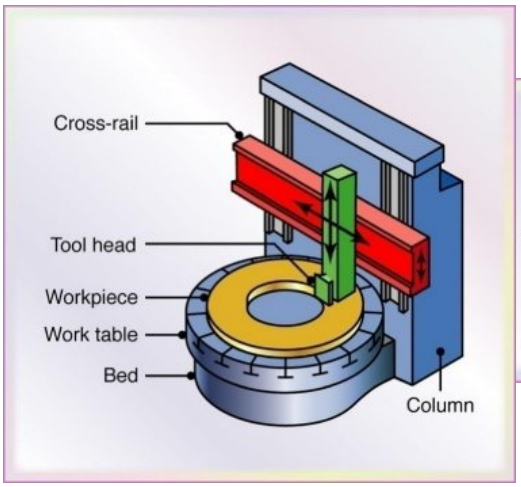


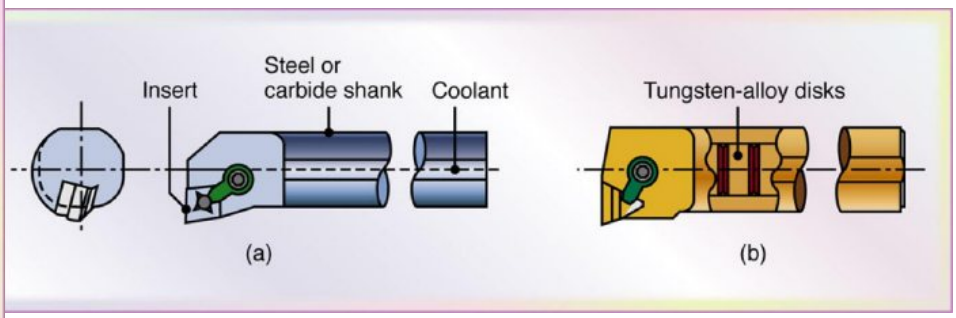
(c)


Chuck
Workpiece
Tool

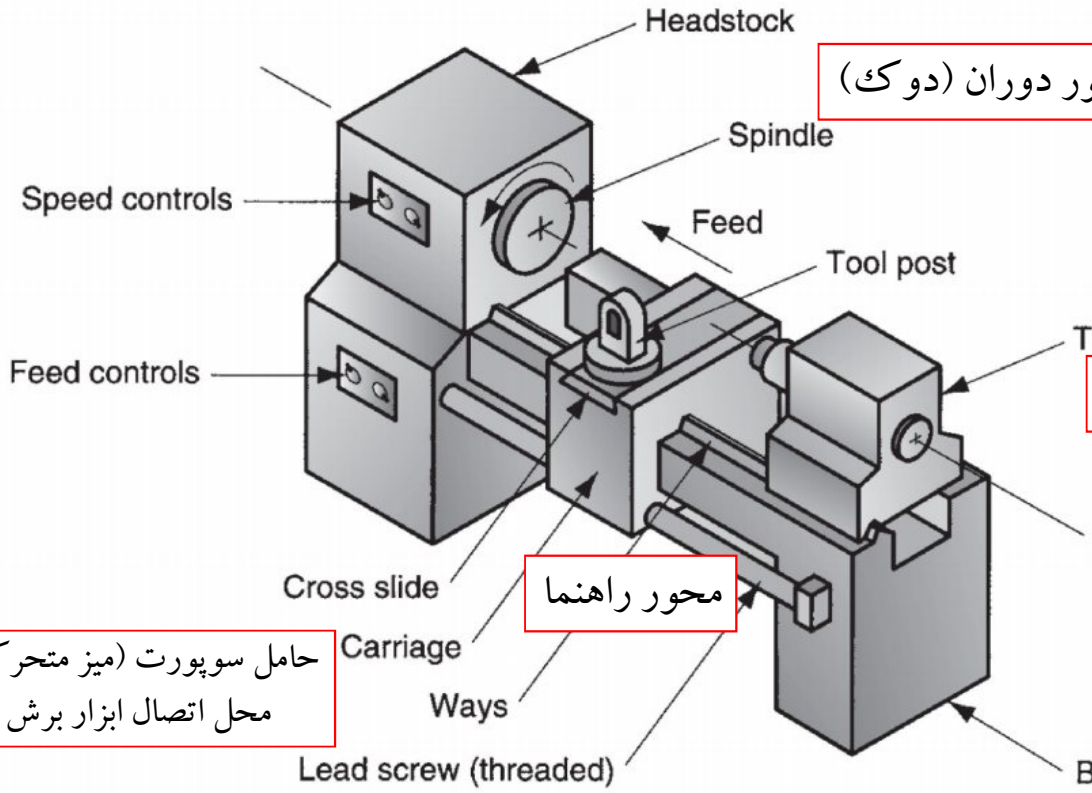
(d)


Workpiece
Cutting edge
(a)
Die
Workpiece
Circular chaser
Cutting edge
(b)
(c)


Cross-rail
Tool head
Workpiece
Work table
Bed
Column


Insert
Steel or
carbide shank
Coolant
(a)
Tungsten-alloy disks
(b)

سر – کله گی (مولد حرکت)



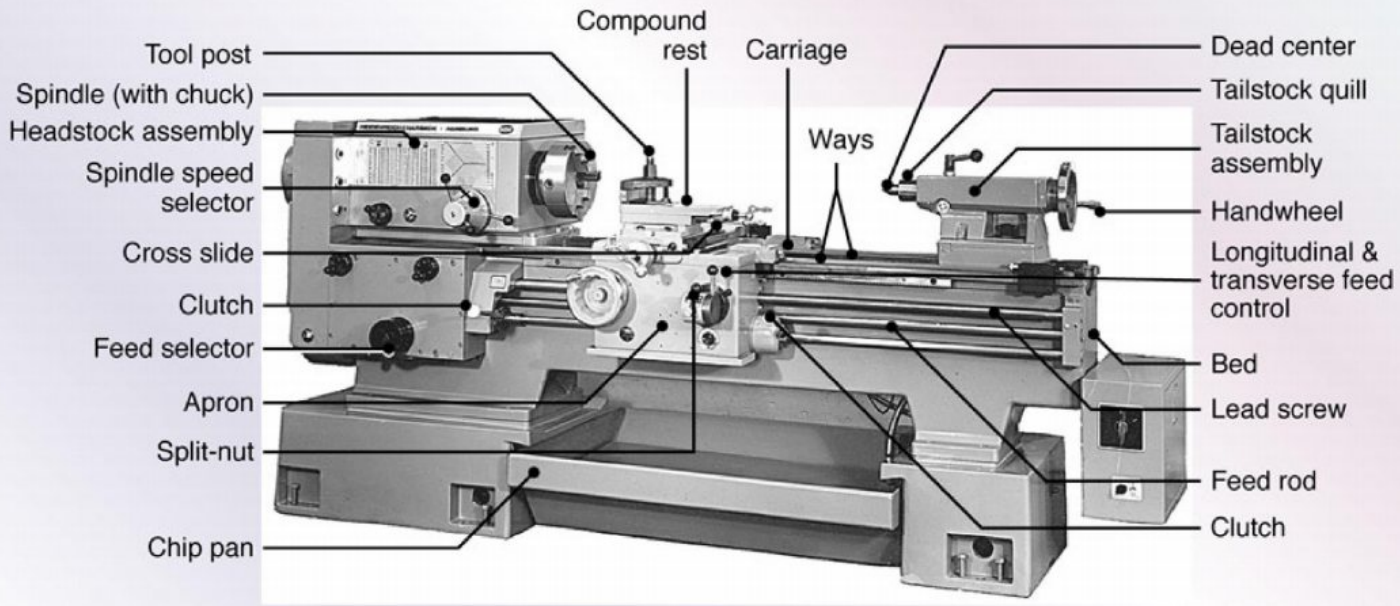
محور دوران (دوک)

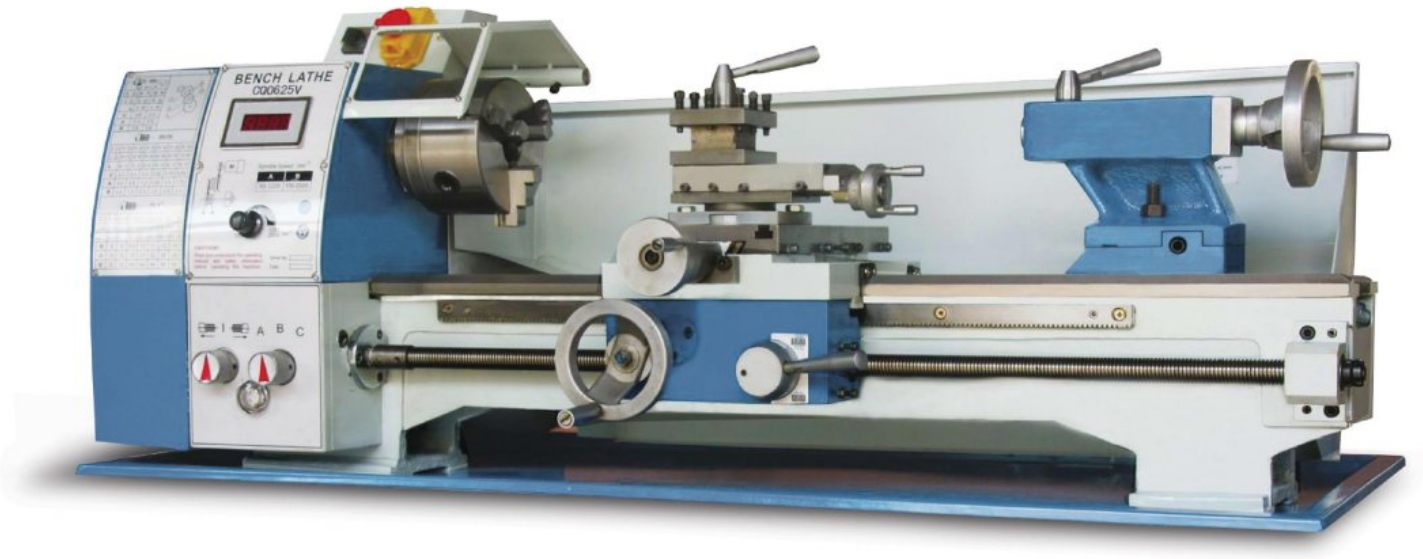
دستگاه مرغک

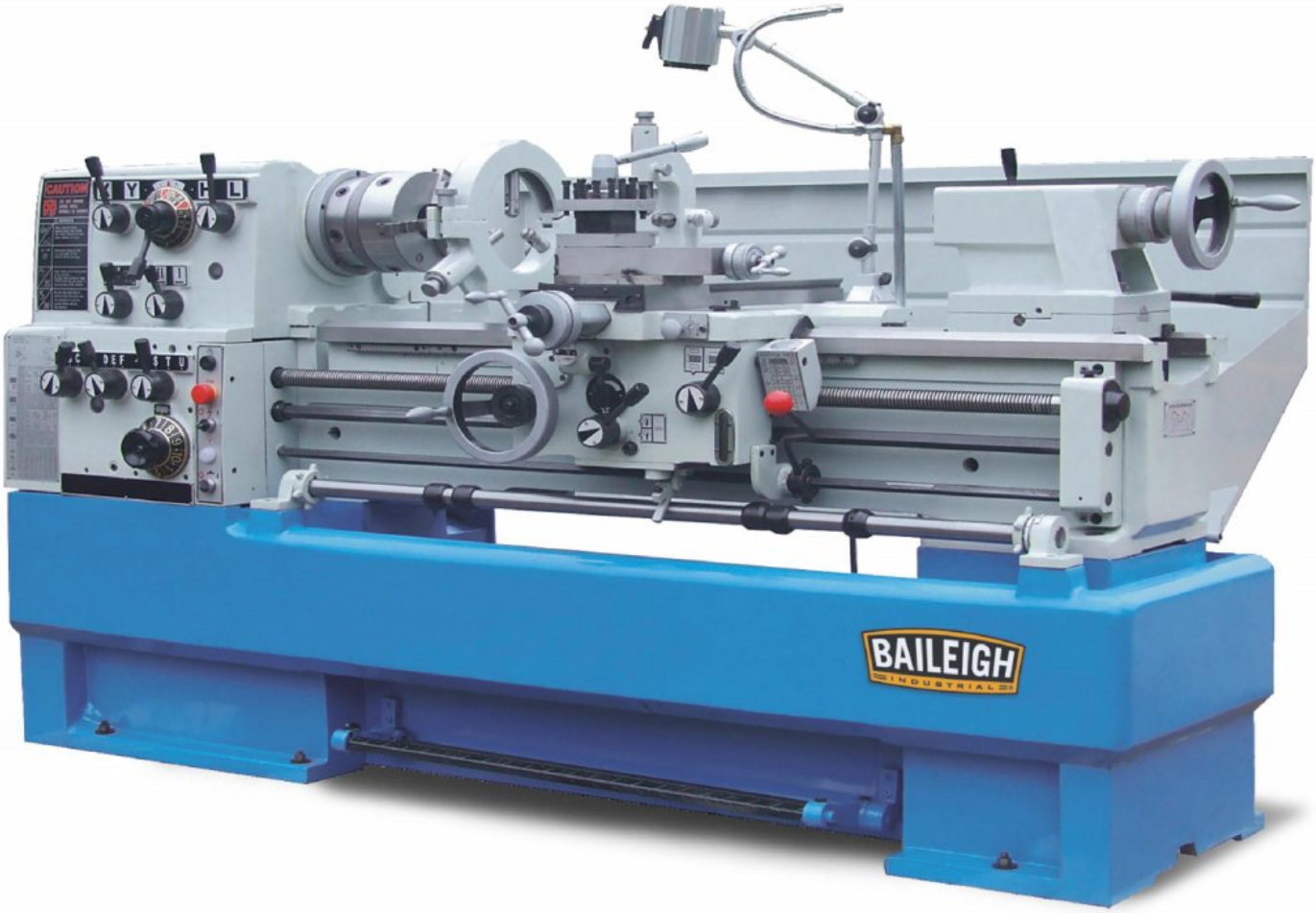
محور راهنما

حامل سوپورت (میز متحرک)
محل اتصال ابزار برش

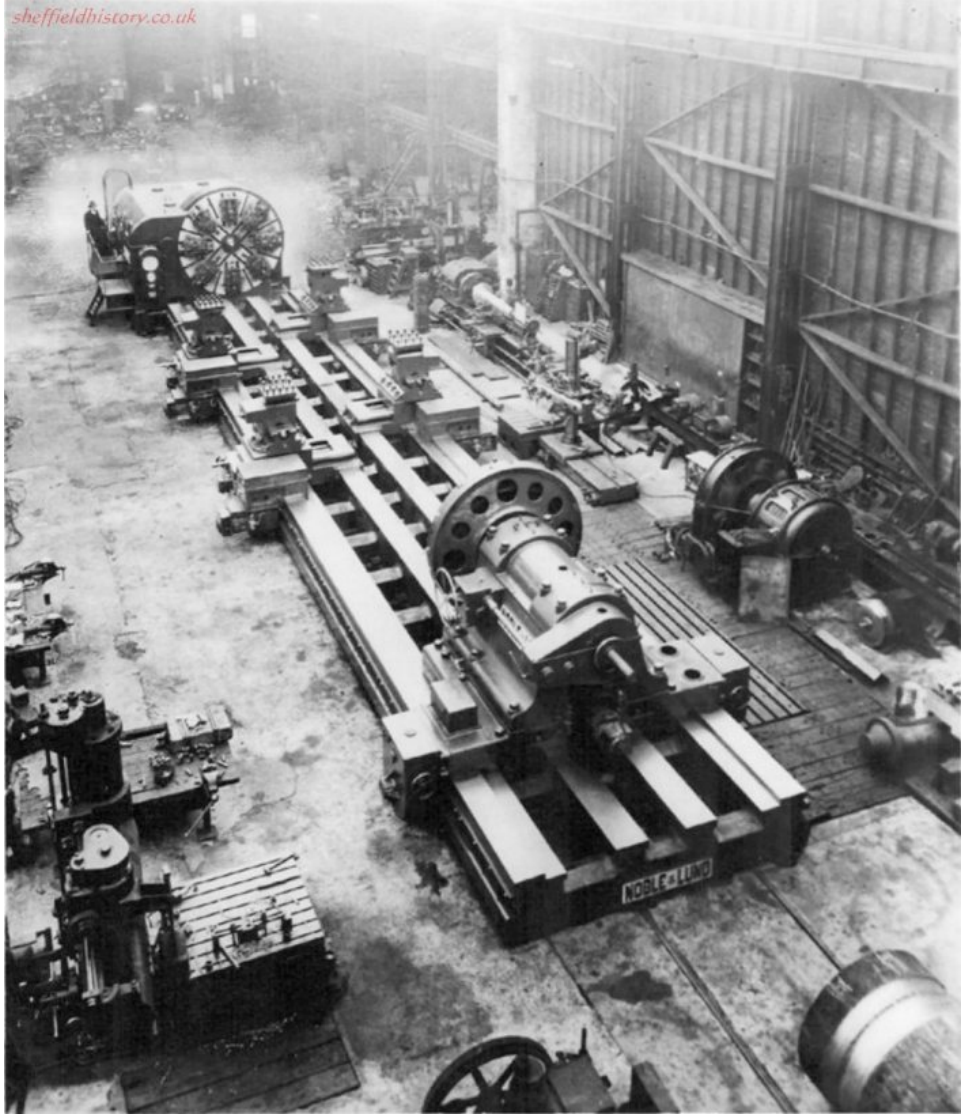
پیچ راهنما

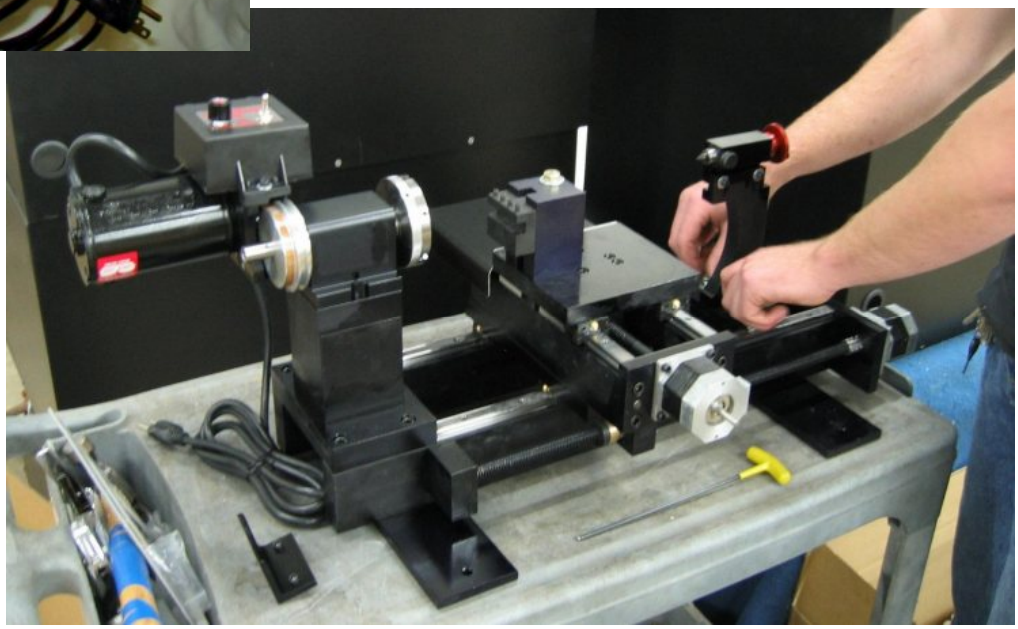

Tool post
Spindle (with chuck)
Headstock assembly
Spindle speed selector
Cross slide
Clutch
Feed selector
Apron
Split-nut
Chip pan
Compound rest
Carriage
Ways
Dead center
Tailstock quill
Tailstock assembly
Handwheel
Longitudinal & transverse feed control
Bed
Lead screw
Feed rod
Clutch

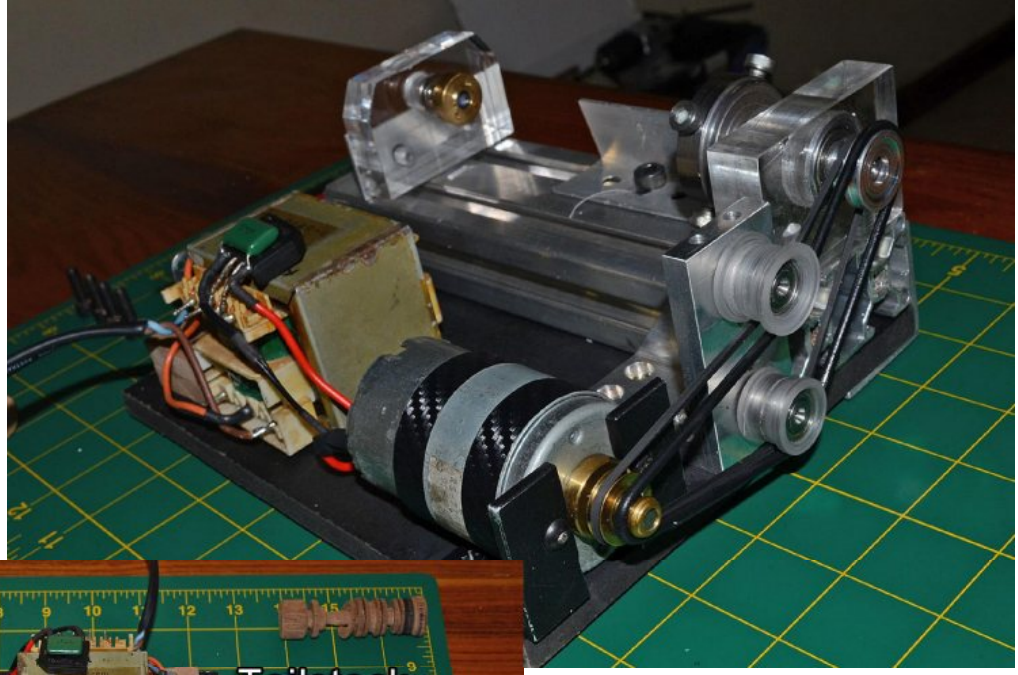

BENCH LATHE
CQ0625V
A B C

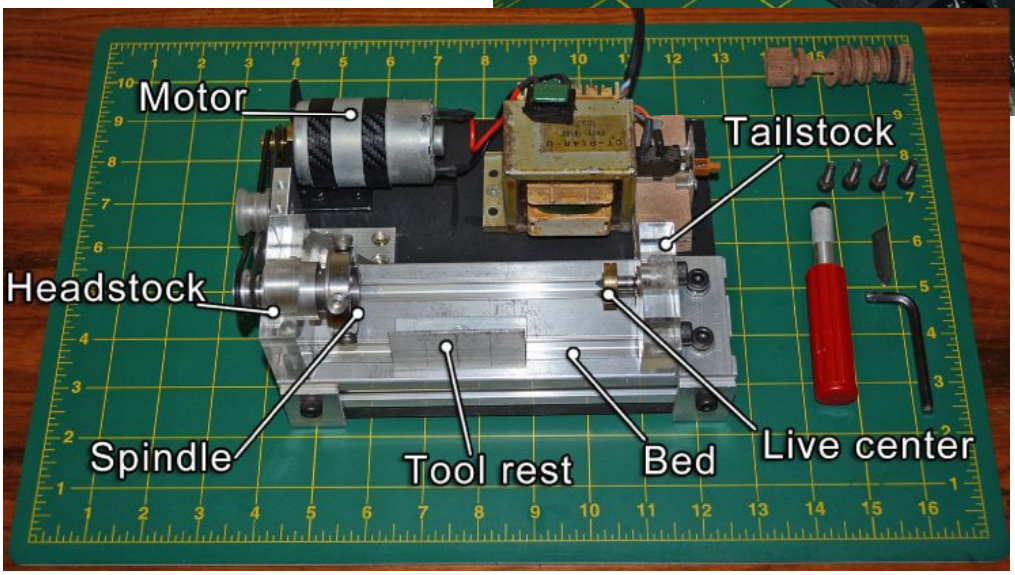

BAILEIGH
INDUSTRIAL

sheffieldhistory.co.uk

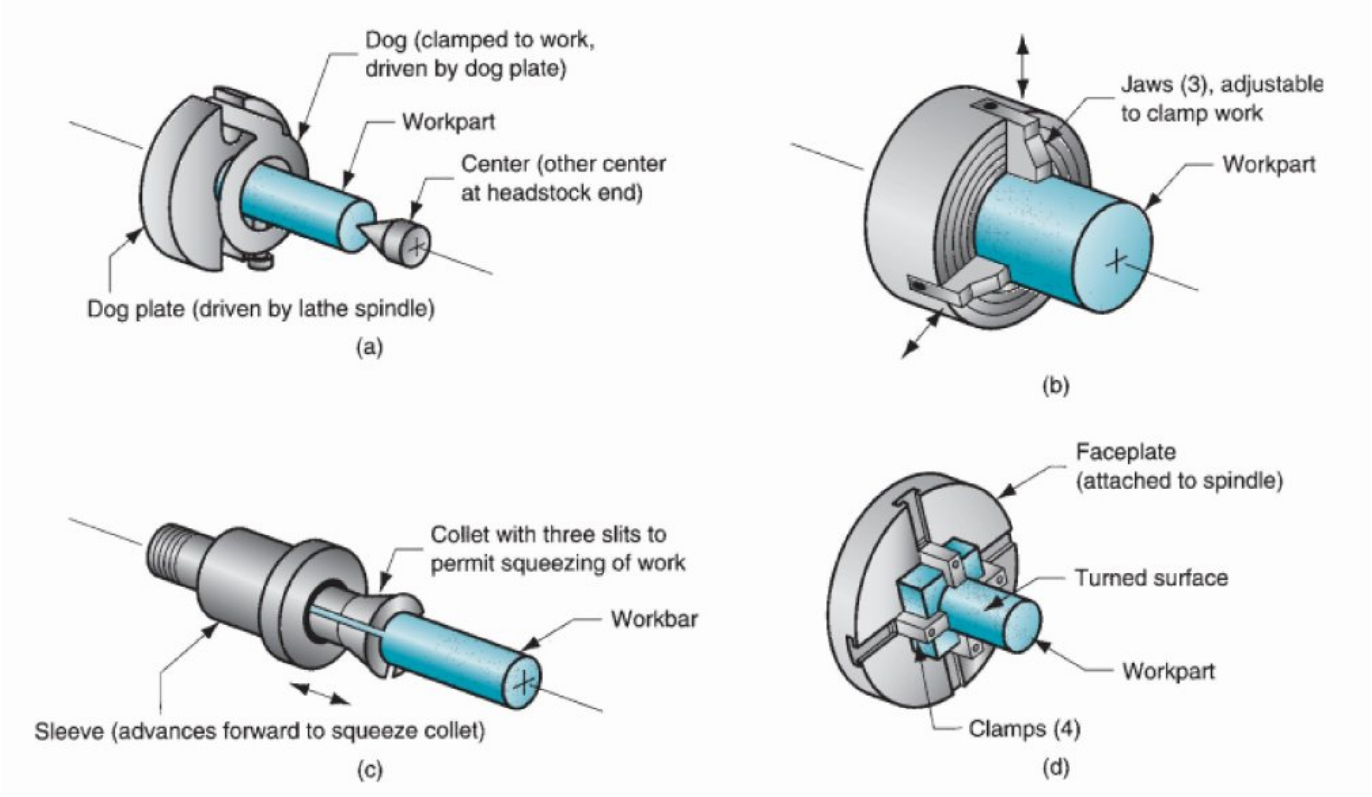


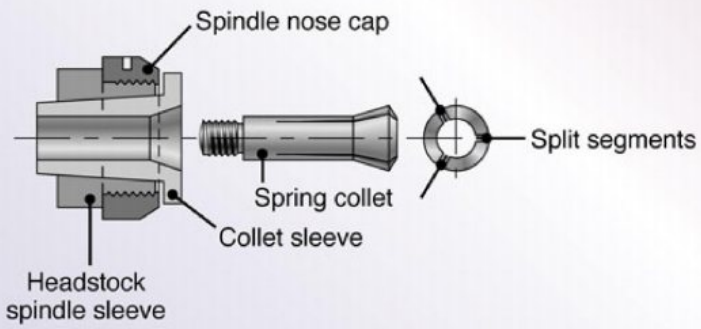




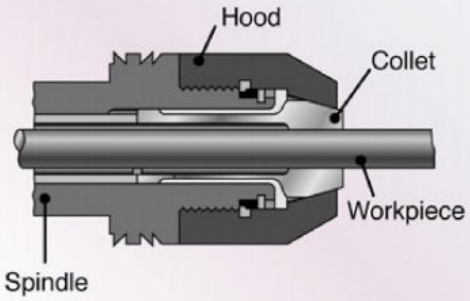

Motor
Tailstock
Headstock
Spindle
Tool rest
Bed
Live center

اتصال قطعه

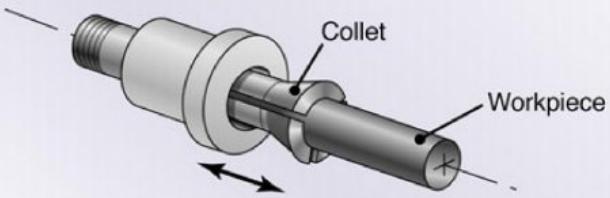

Dog (clamped to work, driven by dog plate)
Workpart
Center (other center at headstock end)
Dog plate (driven by lathe spindle)
(a)
Jaws (3), adjustable to clamp work
Workpart
(b)
Collet with three slits to permit squeezing of work
Workbar
Sleeve (advances forward to squeeze collet)
(c)
Faceplate (attached to spindle)
Turned surface
Workpart
Clamps (4)
(d)


Spindle nose cap
Split segments
Spring collet
Collet sleeve
Headstock
spindle sleeve

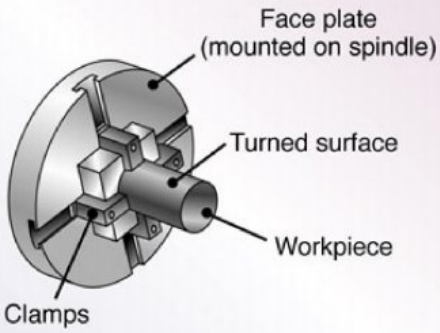
(a)


Hood
Collet
Workpiece
Spindle

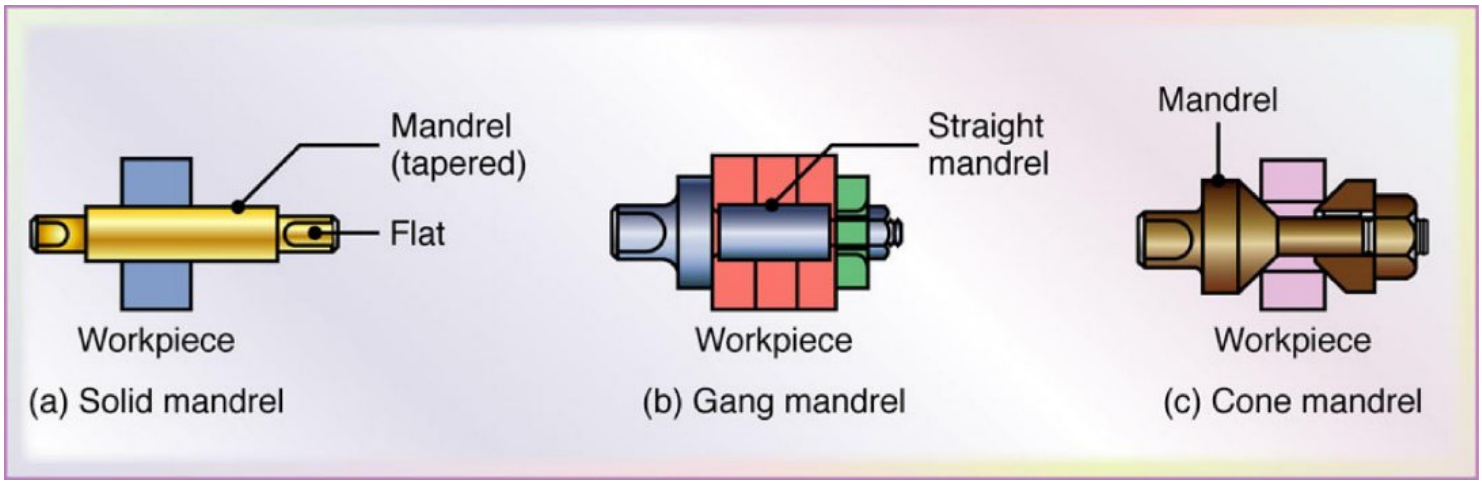
(c)

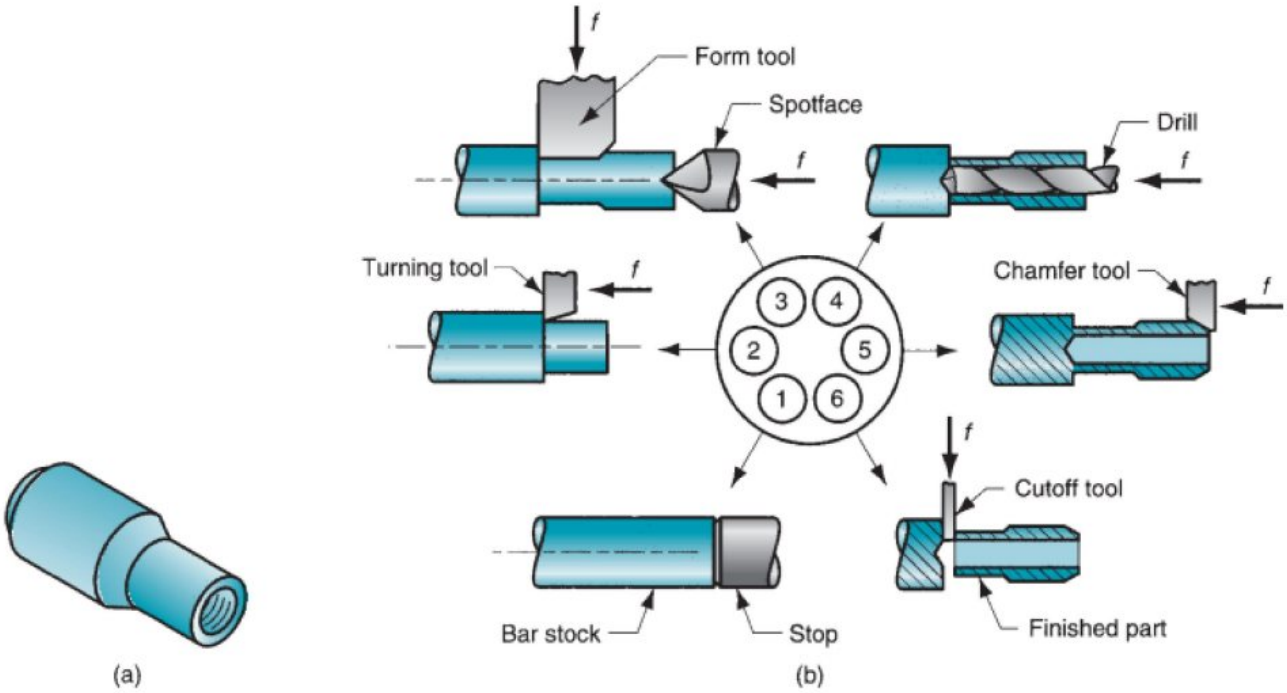

Collet
Workpiece

(b)

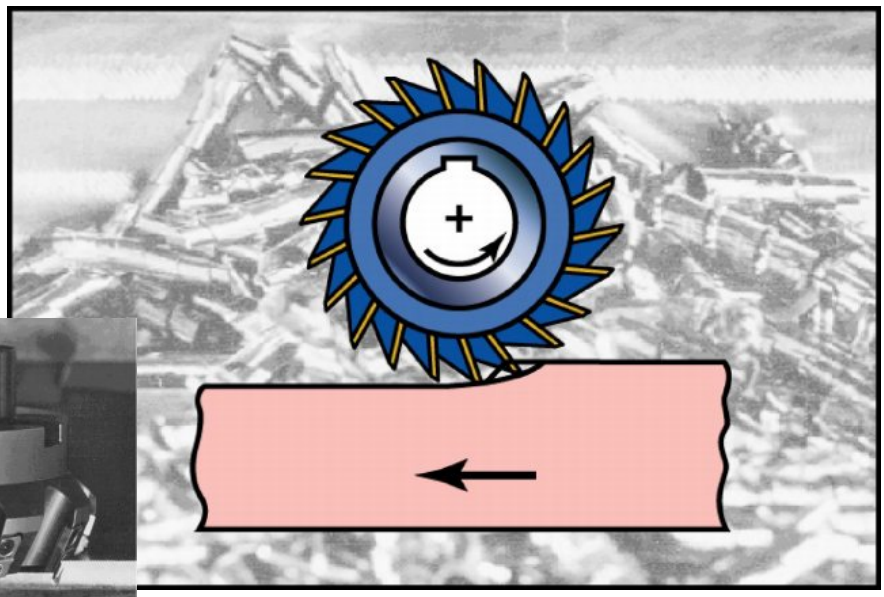

Face plate
(mounted on spindle)
Turned surface
Workpiece
Clamps

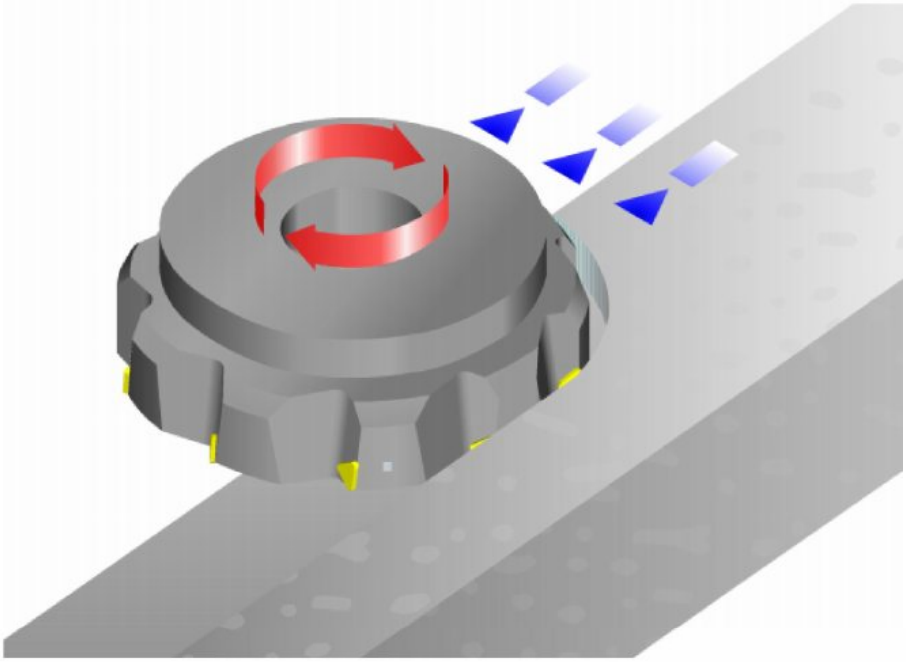
(d)

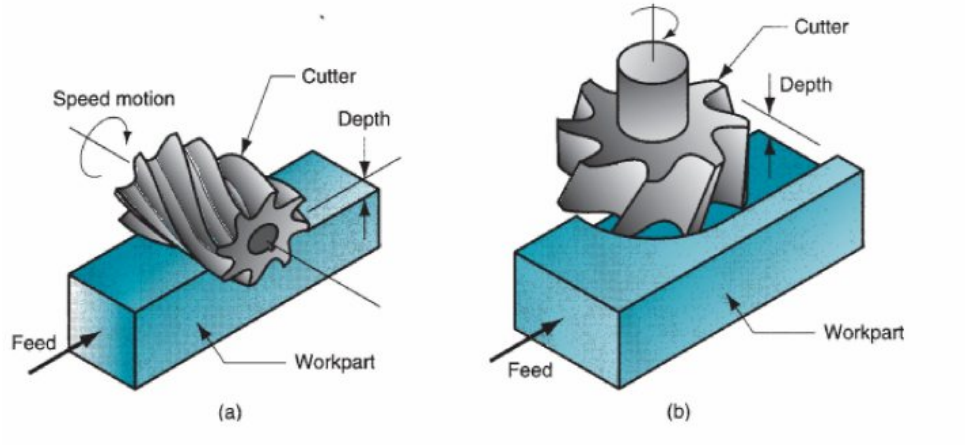

Mandrel
(tapered)
Flat
Workpiece
(a) Solid mandrel
Straight
mandrel
Workpiece
(b) Gang mandrel
Mandrel
Workpiece
(c) Cone mandrel

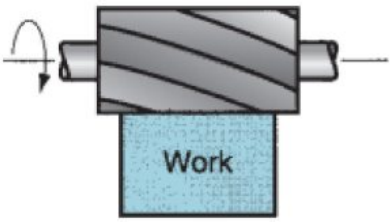

f
Form tool
Spotface
Drill
f
f
Turning tool
f
Chamfer tool
f
3
4
2
5
1
6
f
Cutoff tool
Bar stock
Stop
Finished part
(a)
(b)

فرز کاری

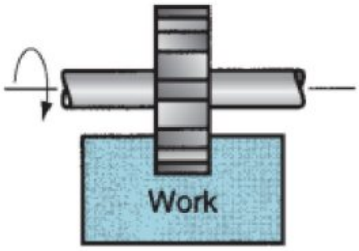




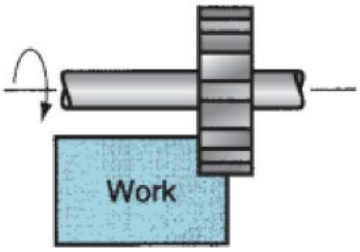

Speed motion
Cutter
Depth
Feed
Workpart
(a)
Cutter
Depth
Workpart
Feed
(b)



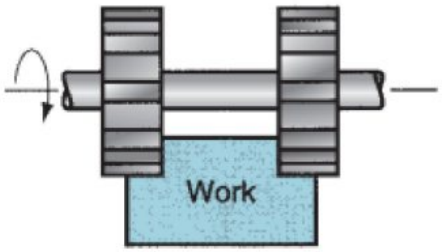
فرزکاری محیطی



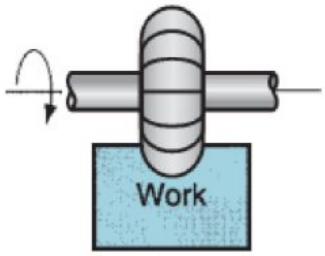
فرزکاری شیار



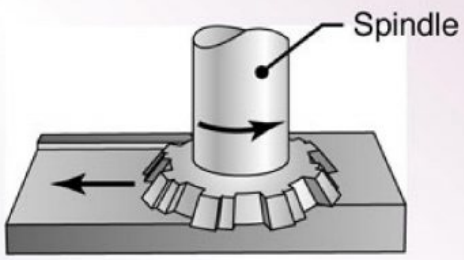
فرزکاری حاشیه



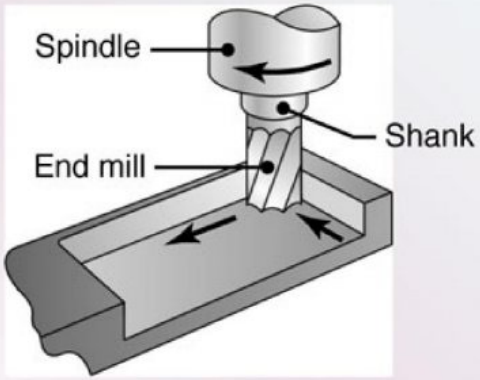
فرزکاری دوطرفه



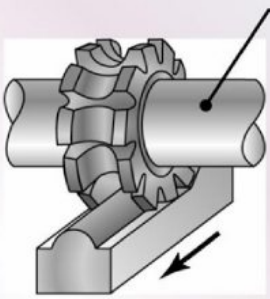
فرزکاری فرم



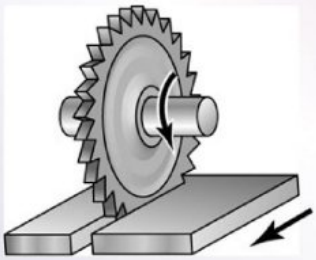
فرزکاری پیشانی



فرزکاری انتهایی (انگشتی)

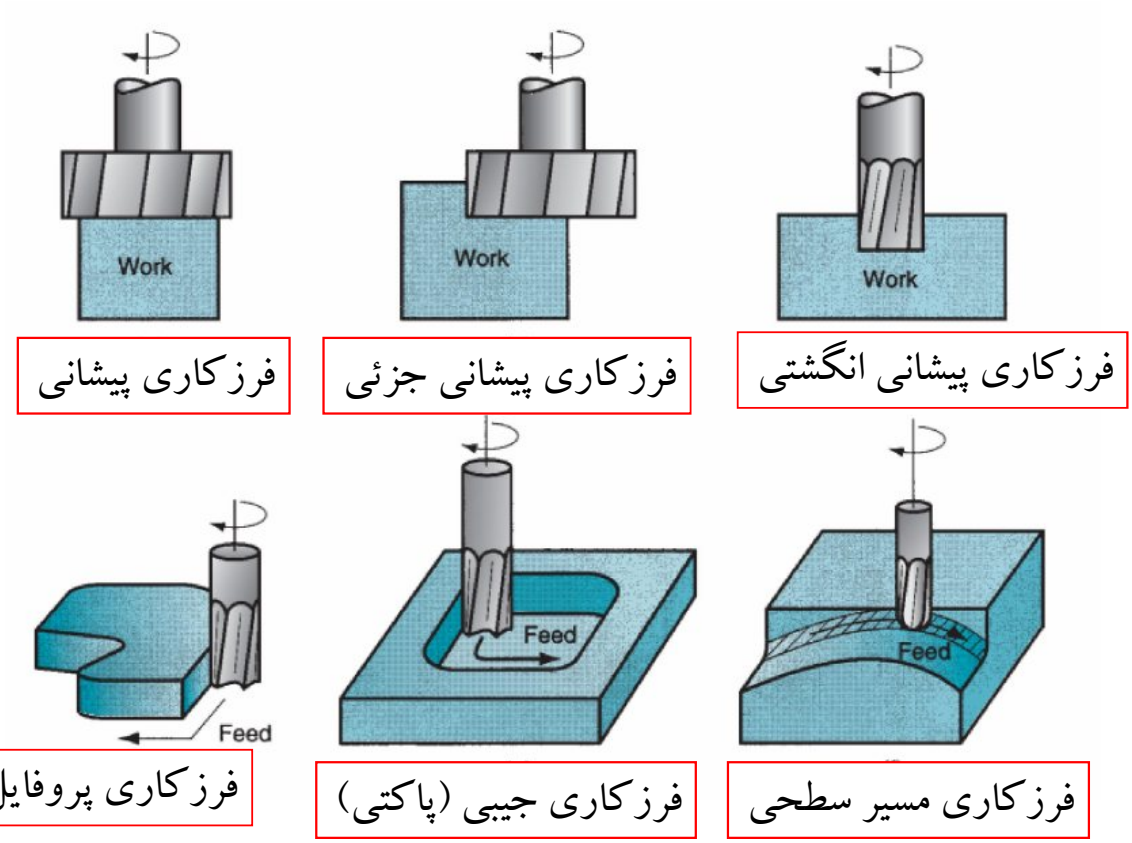


فرزکاری فرم



فرزکاری شیار (چاک)

انواع پیشانی تراشی



فرزکاری پیشانی

فرزکاری پیشانی جزئی

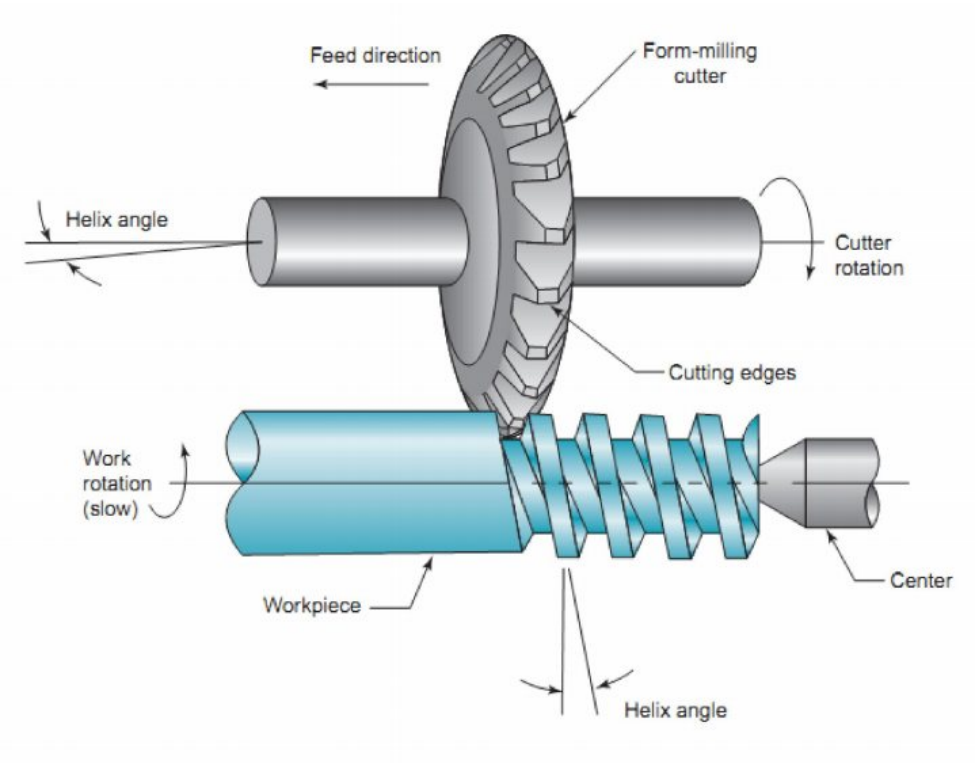
فرزکاری پیشانی انگشتی

فرزکاری پروفایل

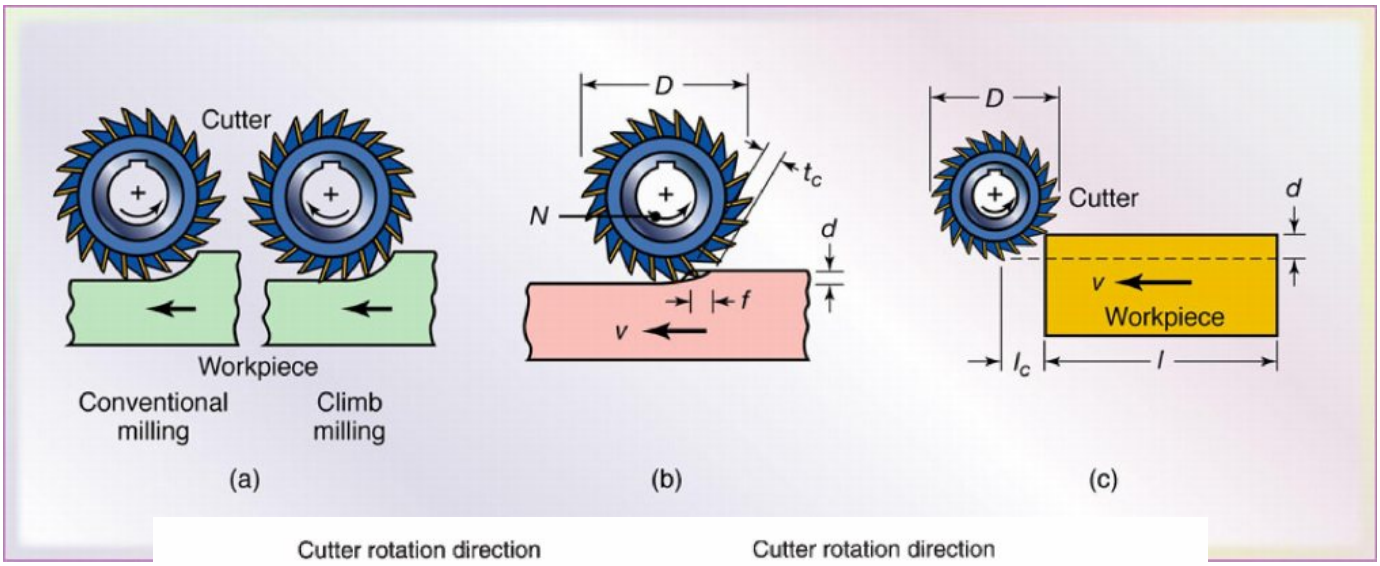
فرزکاری جیبی (پاکتی)

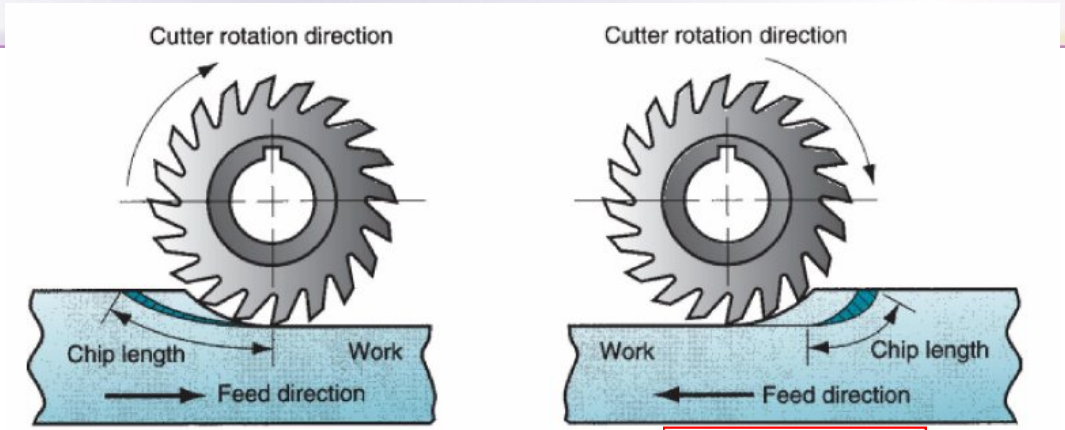
فرزکاری مسیر سطحی

فرز کاری - شیار تراشی



انواع فرز کاری





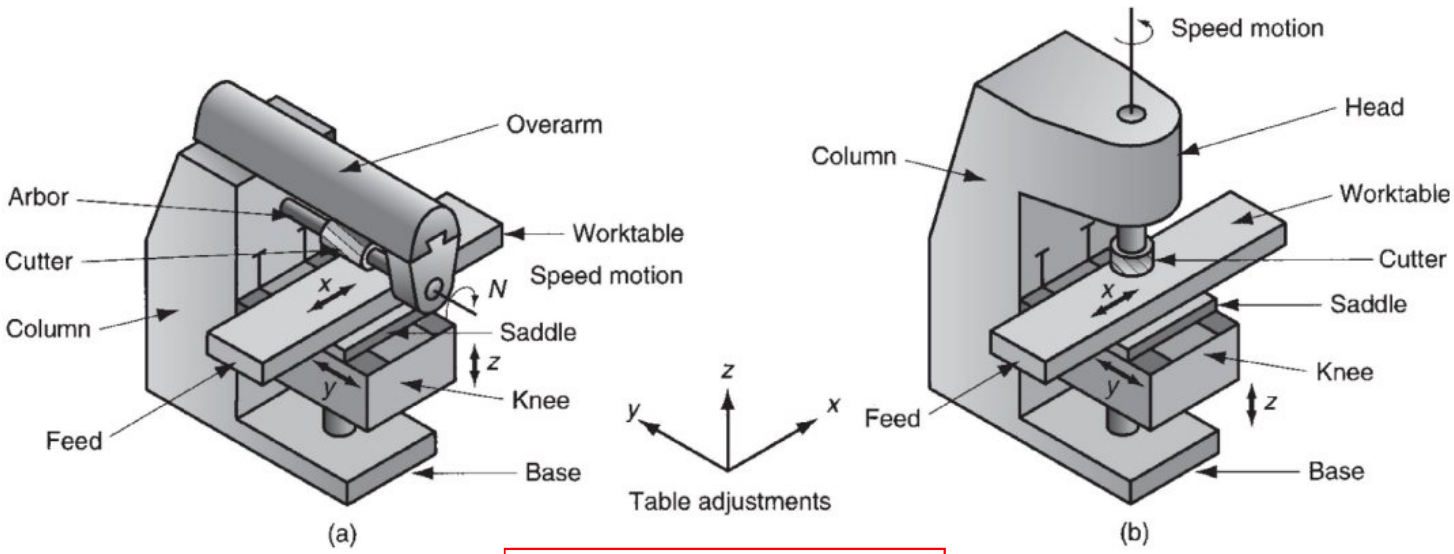
فرزکاری مخالف

فرزکاری موافق

10DP NO4 26-34T 14 1/2PA D. 216
HS TEC

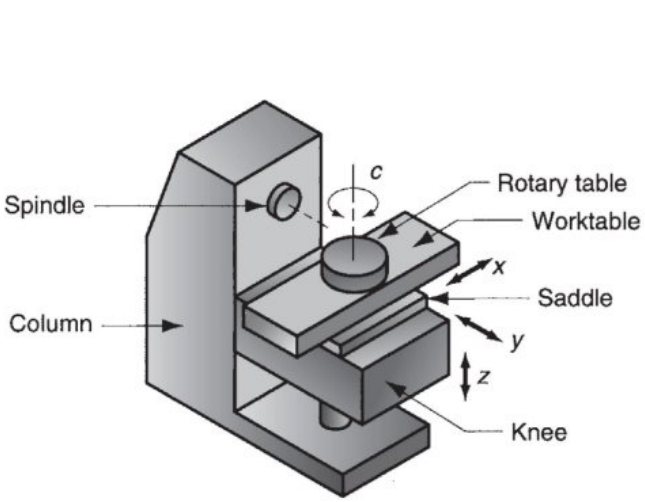
ماشین فرزکاری افقی

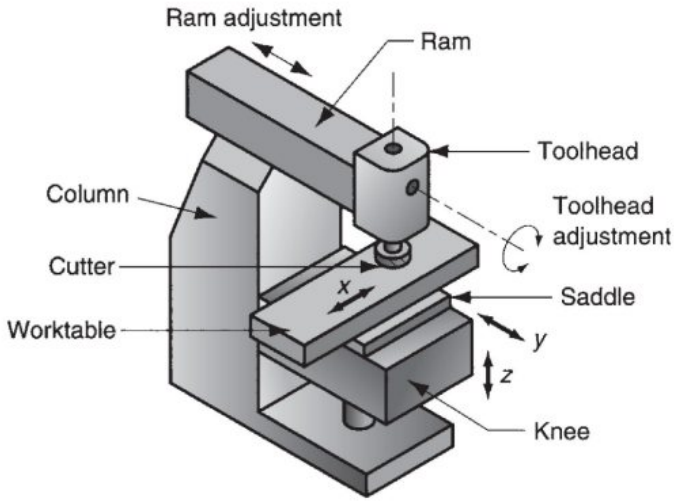
ماشین فرزکاری عمودی



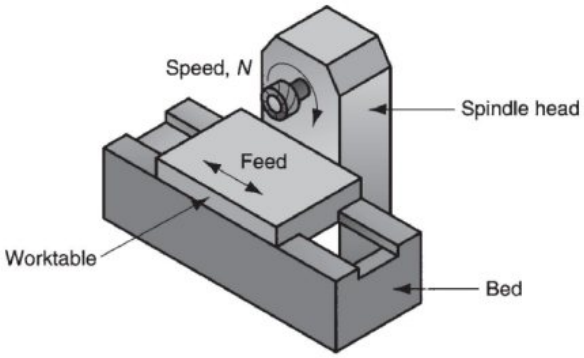
فرزکاری زانویی و ستونی
Knee-and-Column

فرزکاری با شکل H یا C ؟



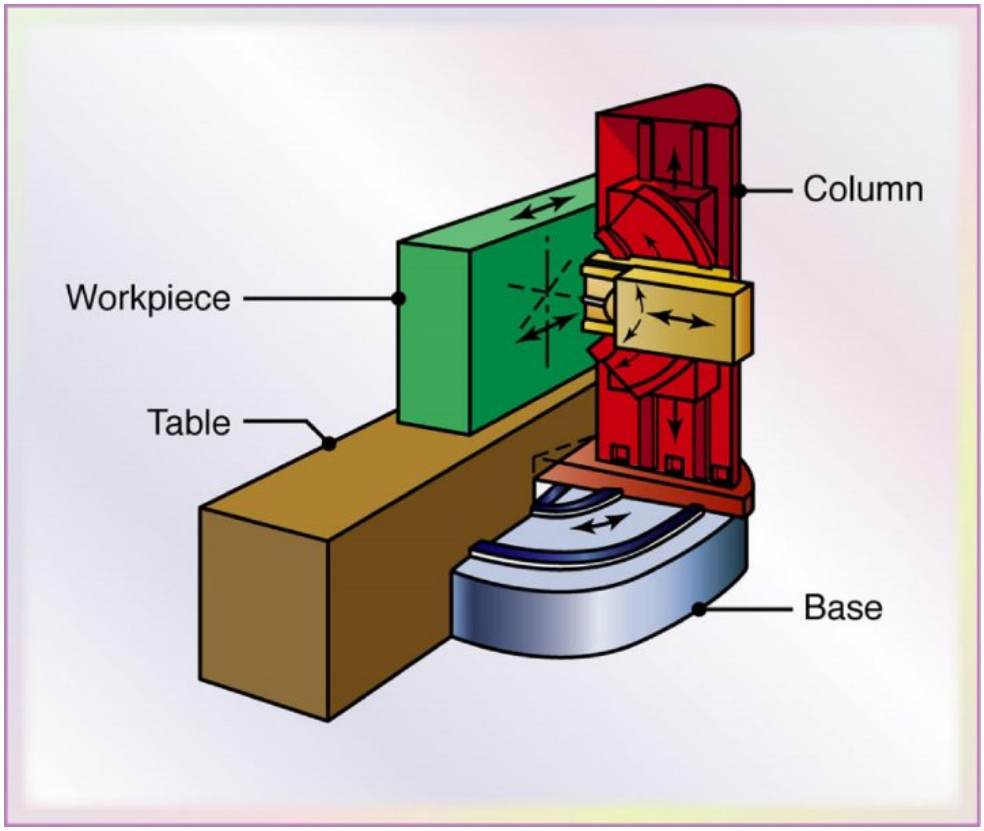


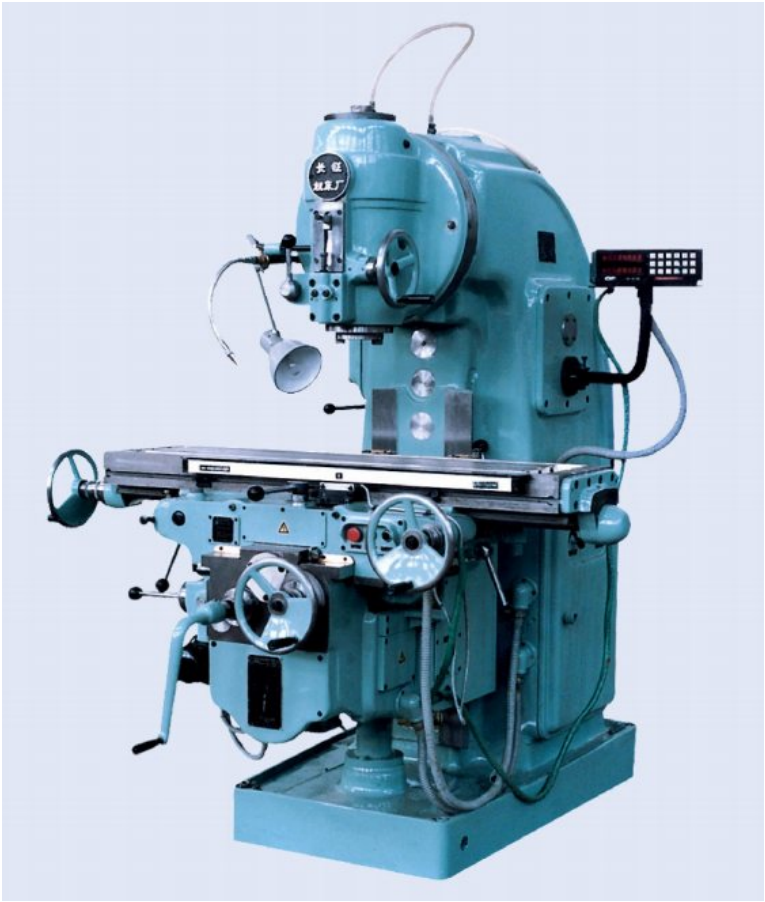
ماشین فرزکاری با محور متحرک اسپیندل و قطعه

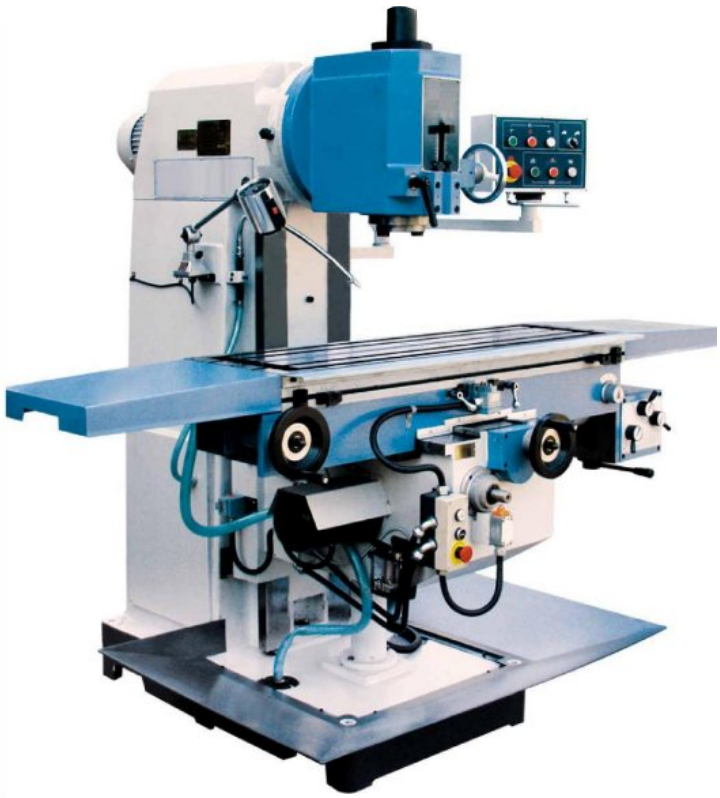


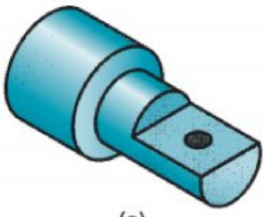
ماشین فرزکاری افقی

ماشین فرزکاری پنج محوره

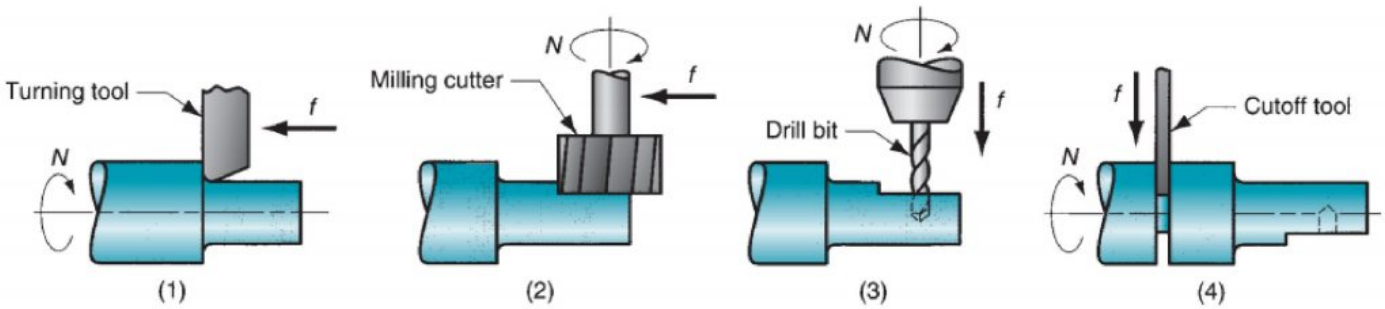






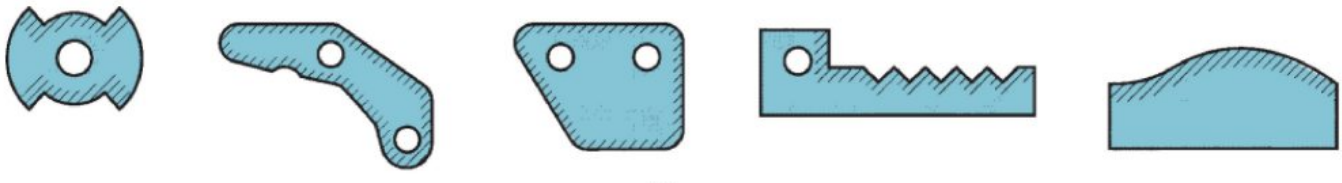


(a)

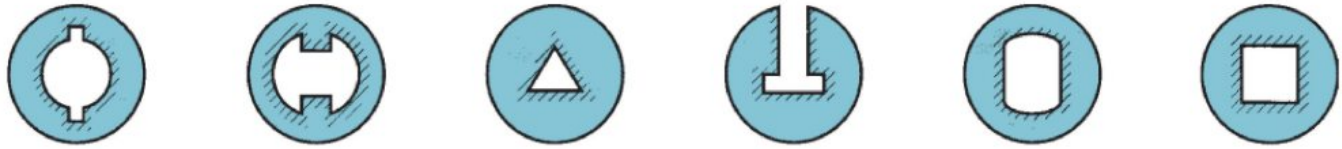

Turning tool
f
N
(1)
Milling cutter
N
f
(2)
N
Drill bit
f
(3)
f
Cutoff tool
N
(4)

(b)

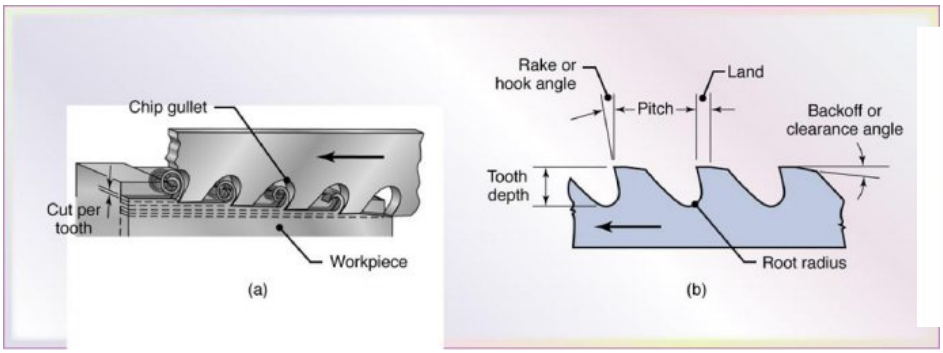
خان کشی

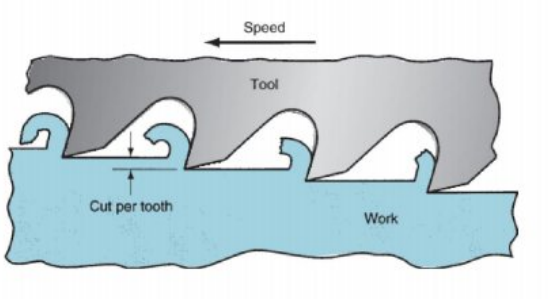


(a)

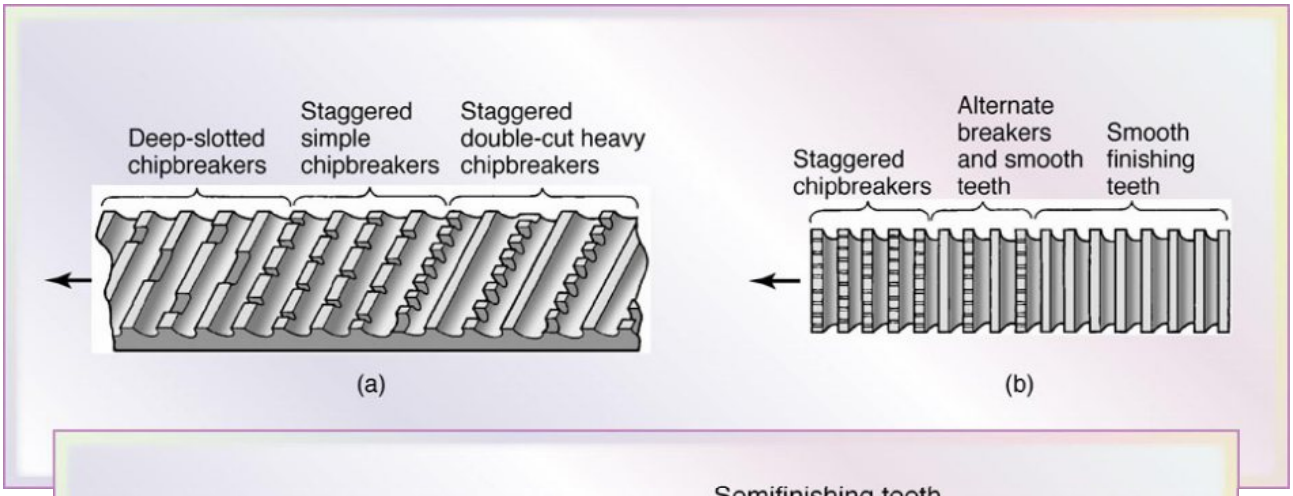


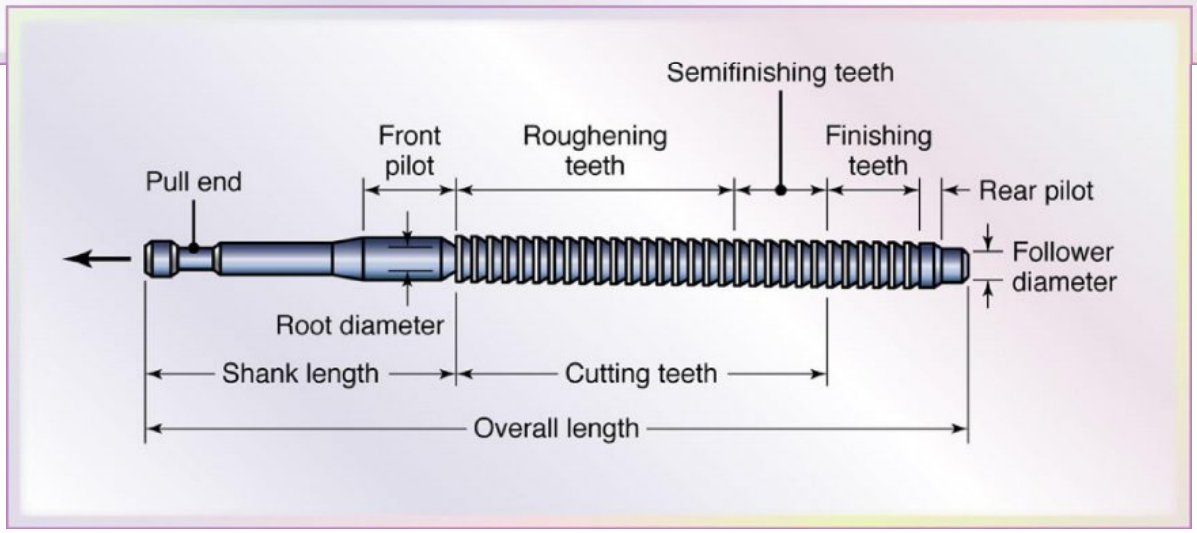
(b)

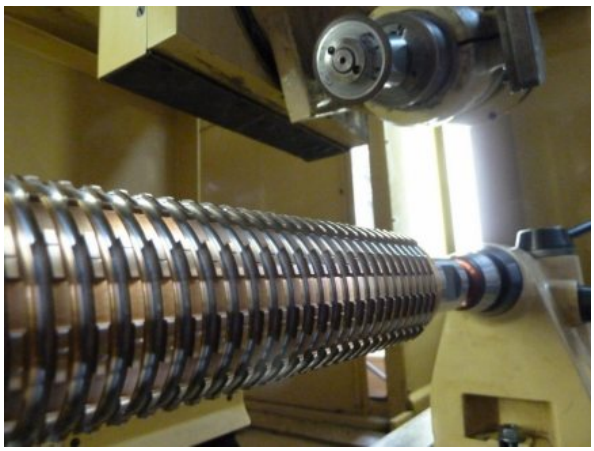

Chip gullet
Cut per tooth
Workpiece
(a)
Rake or hook angle
Land
Pitch
Backoff or clearance angle
Tooth depth
Root radius
(b)

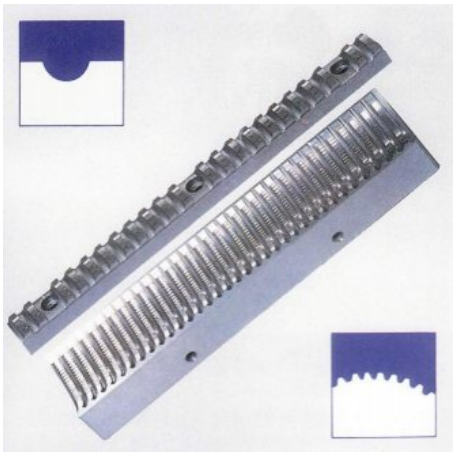

Speed
Tool
Cut per tooth
Work

تیغه خان کشی و شکاننده براده



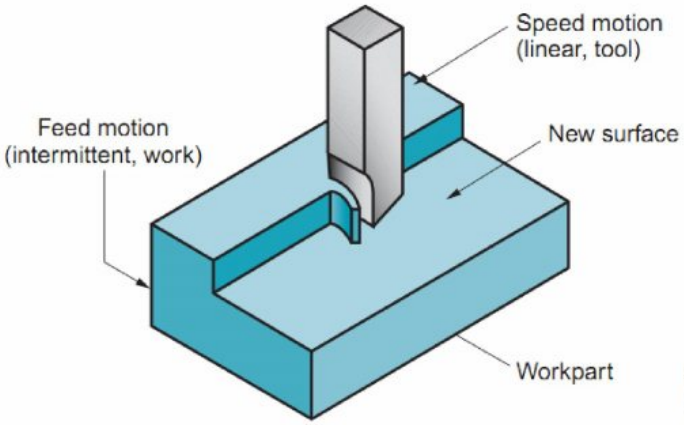




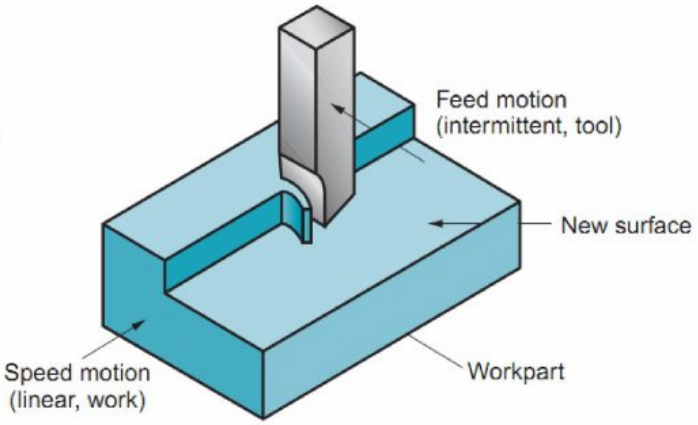


صفحه تراش (Shaping)

صفحه تراش (Planning)

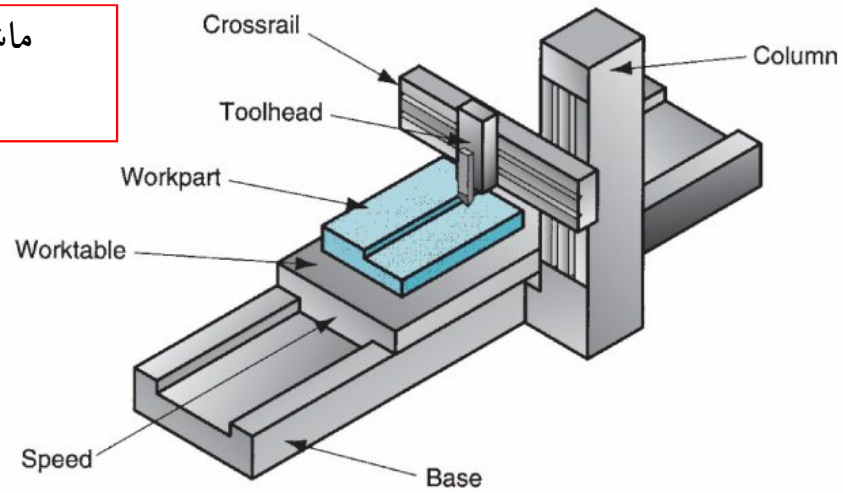


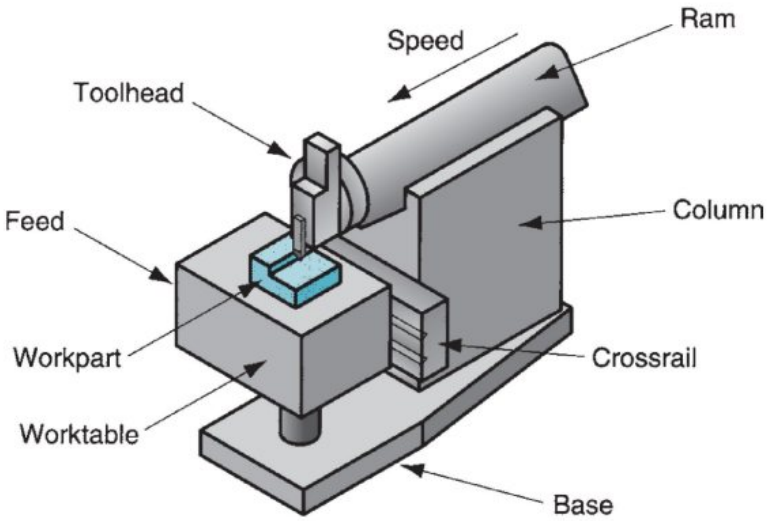
(a) Shaping



(b) Planing

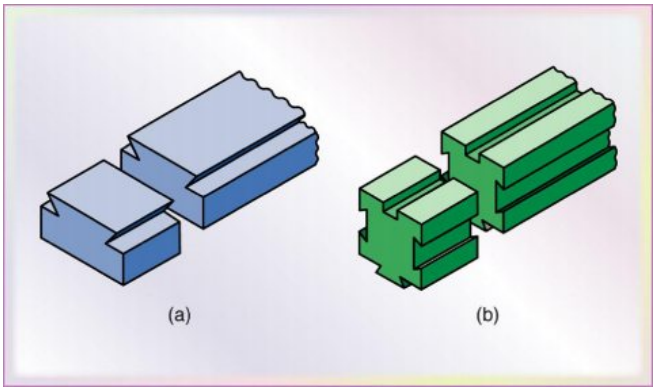
ماشین صفحه تراش
(Planer)

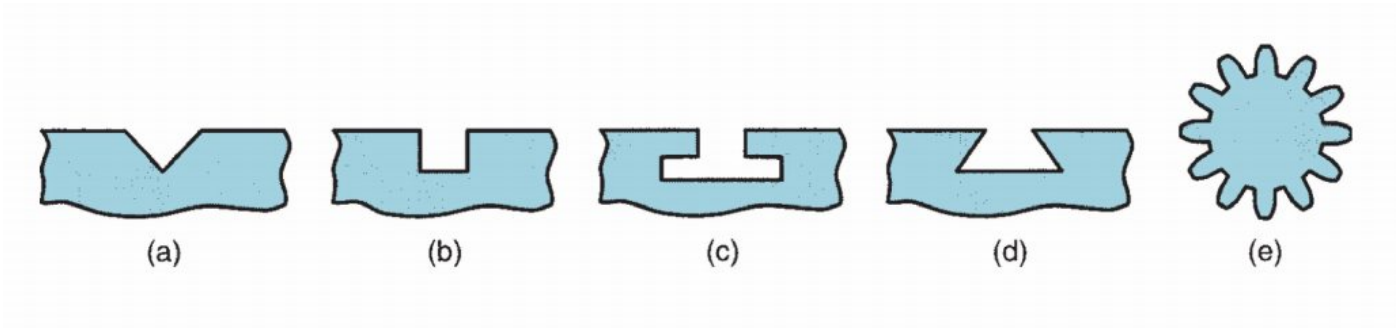




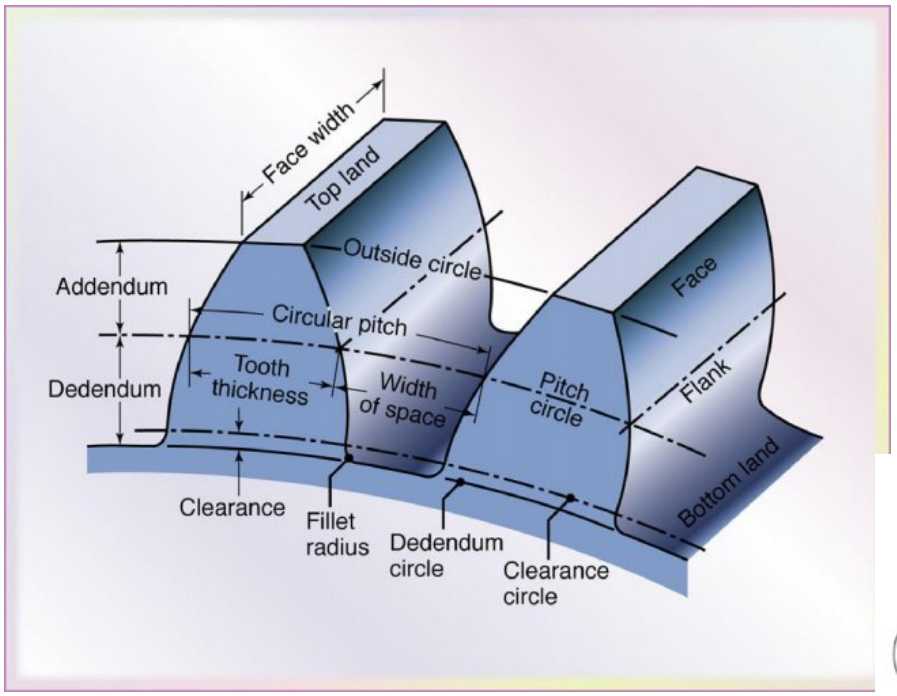
ماشین صفحه تراش
(Shaper)

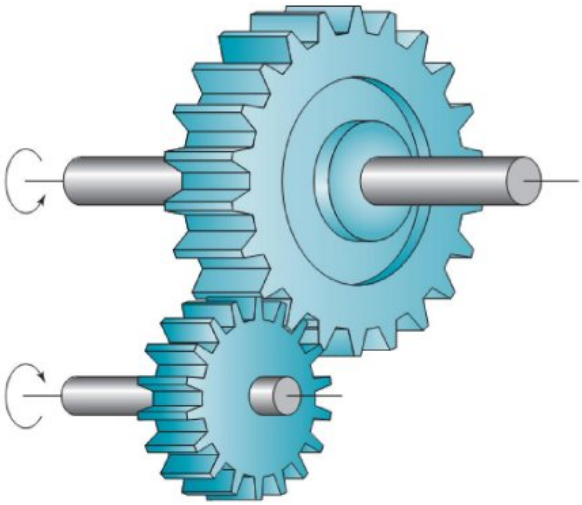
قطعات قابل ساخت با صفحه تراشی



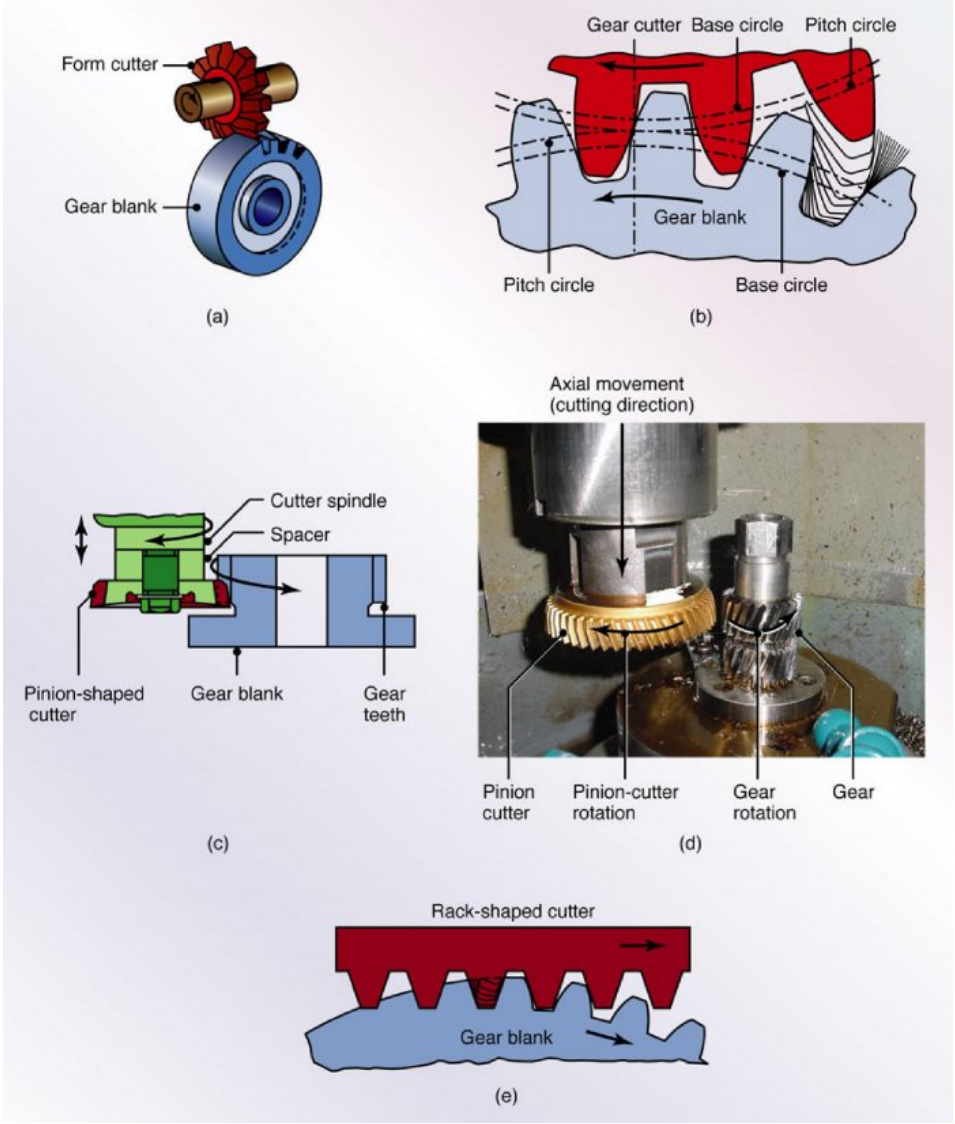


دنده تراشی

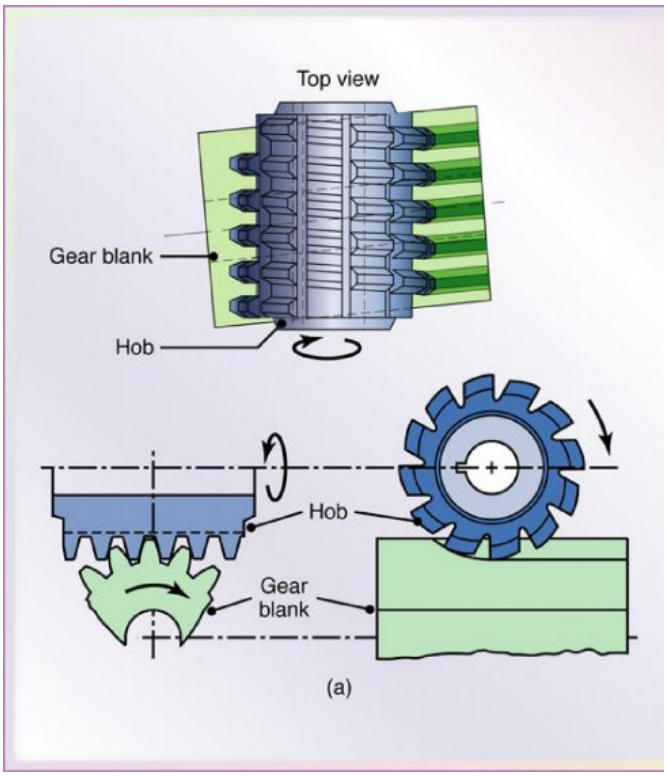

Face width
Top land
Outside circle
Face
Addendum
Circular pitch
Dedendum
Tooth thickness
Width of space
Pitch circle
Flank
Bottom land
Clearance
Fillet radius
Dedendum circle
Clearance circle

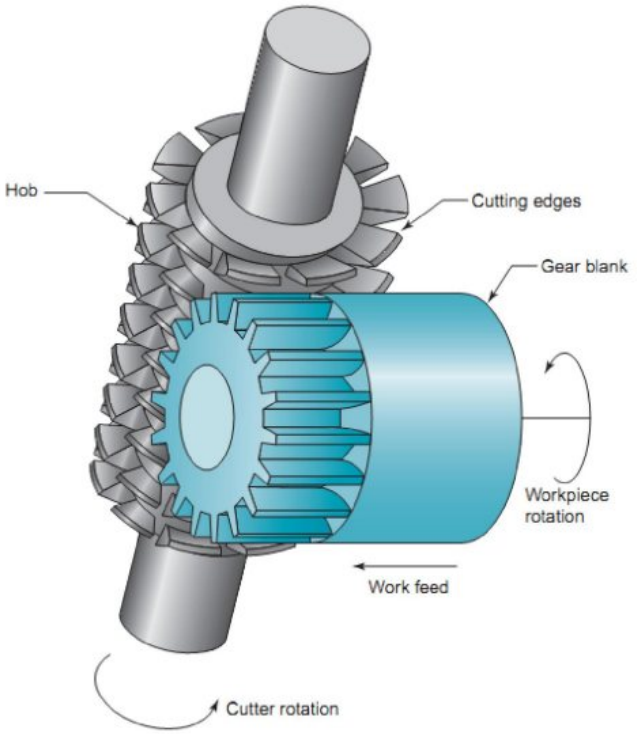


انواع روش های دنده تراشی

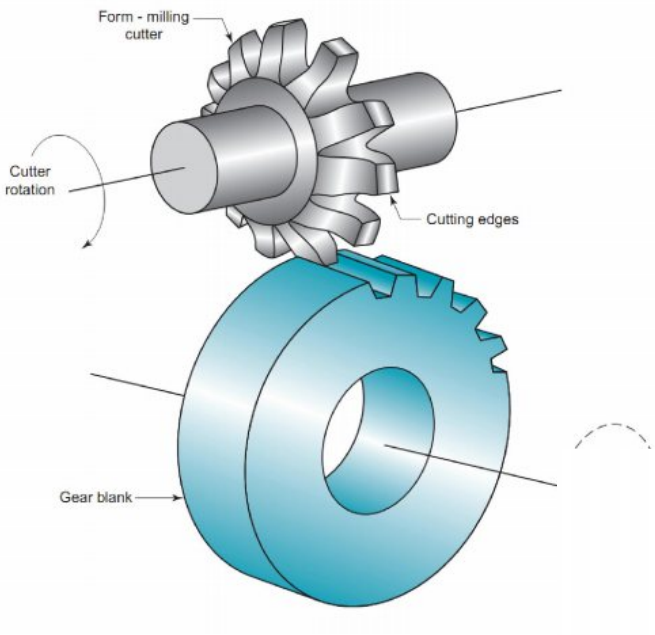


دنده تراشی فرم دار چندتایی (هاب)

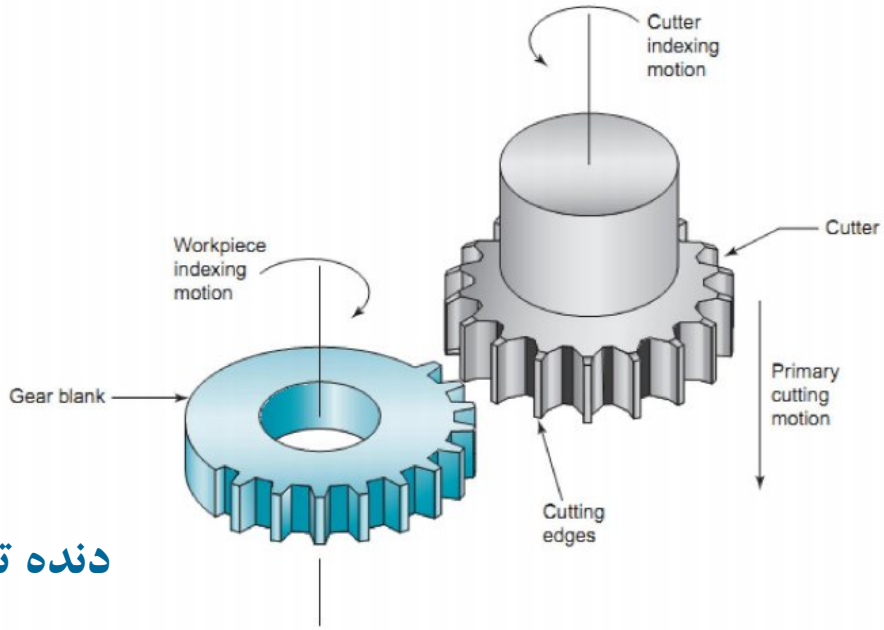




دنده تراشی فرز فرم



دنده تراشی صفحه تراشی (Shapr)



دنده های مخروطی و مخروطی مارپیچ