



BLOQUE I. TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN

Tema 4. Tecnologías de Mecanizado



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Conceptos básicos

Mecanizado:

Proceso de fabricación en el que se emplea una herramienta de corte para separar el exceso de material de una pieza de trabajo de manera que el material remanente sea la forma de la pieza deseada.



Cambio de volumen

Acción predominante → **Deformación cortante**

Generalmente se aplica después de otros procesos de fabricación

Produce la geometría final: dimensiones y acabado

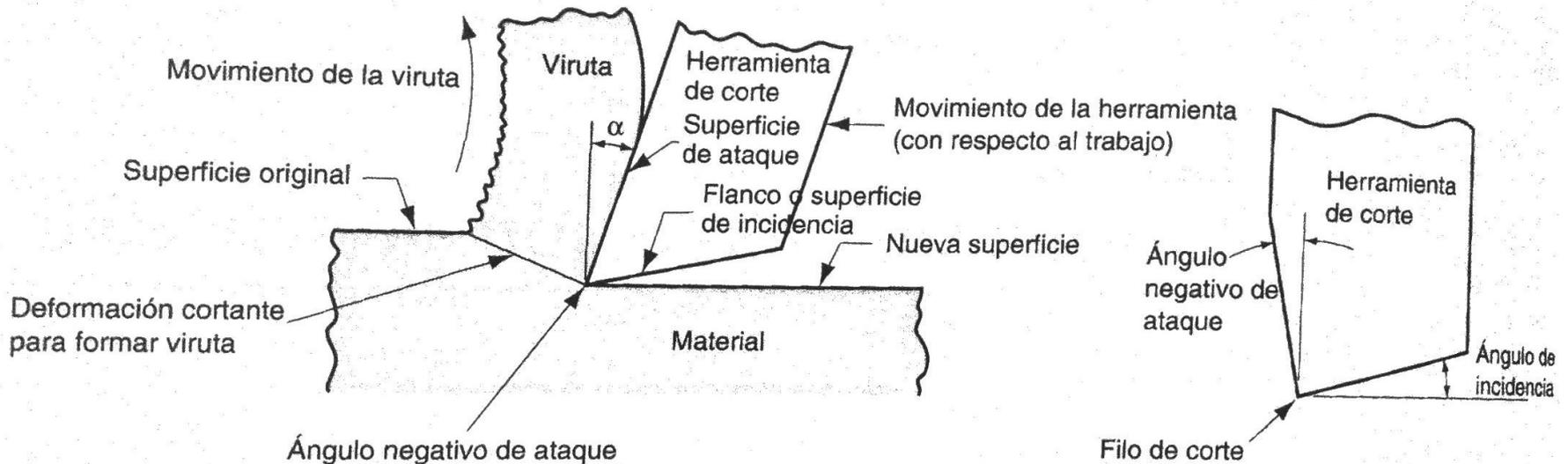
MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Herramienta de corte

Característica **común** de los procesos de mecanizados: la herramienta de corte forma una **viruta**.

Movimiento primario: VELOCIDAD DE CORTE

Movimiento secundario: AVANCE





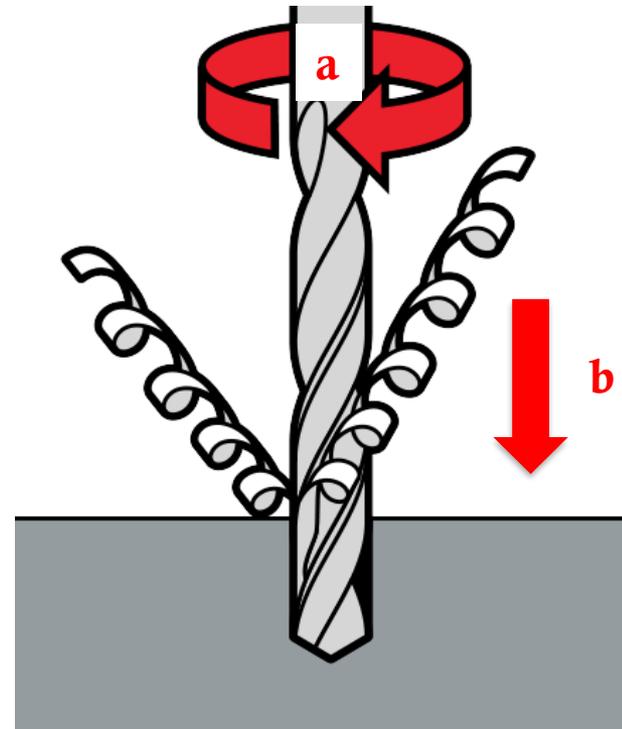
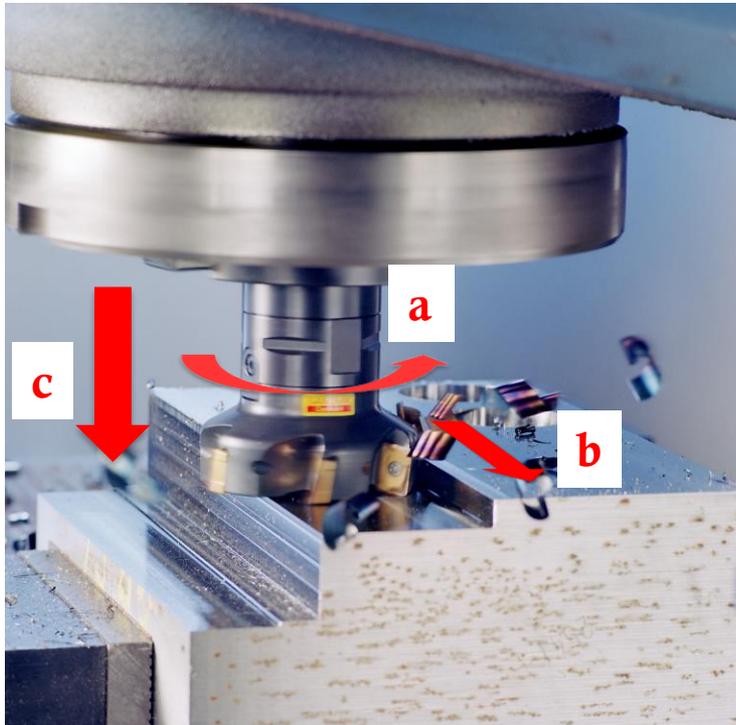
MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Herramienta de corte

- a) Movimiento de **corte**: movimiento que sin avance sólo arranca viruta durante una revolución o durante una carrera.
- b) Movimiento de **avance**: combinado con el de corte produce el arranque de viruta continuo.
- c) Movimiento de **penetración**: determina la profundidad de corte.
- d) Movimiento de **aproximación**: movimiento necesario antes de entrar en contacto con la herramienta y empezar a mecanizar.

MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

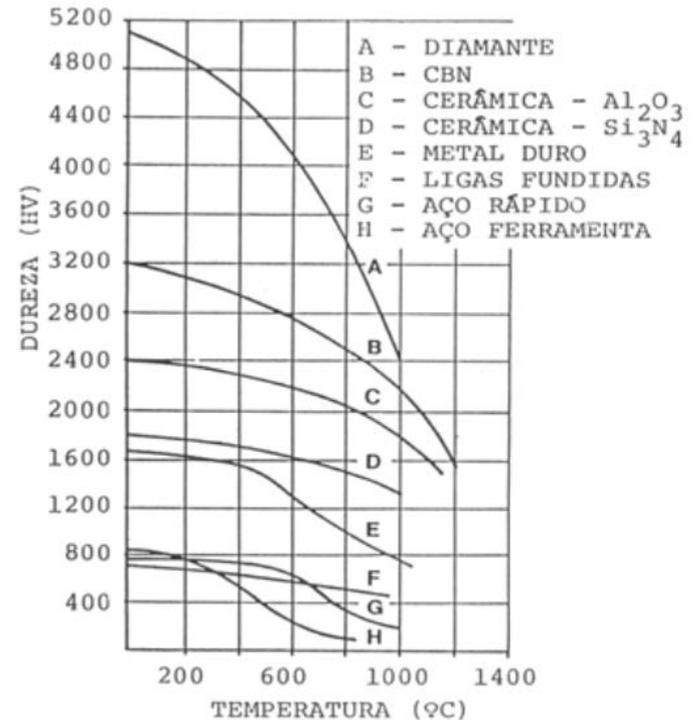
Herramienta de corte



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Material de la herramienta de corte

1. Dureza en frío.
2. Dureza en caliente.
3. Tenacidad.
4. Disipación rápida del calor generado.
5. Superficie con bajo rozamiento.
6. Alta resistencia a la fatiga.
7. Alta resistencia al choque térmico
8. Características mecánicas que eviten deformaciones.
9. Precio acorde con su vida y tipo de operación en la que se emplea.





MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Material de la herramienta de corte

1. Aceros al carbono: brocas, fresas y machos de roscas para mecanizado de materiales blandos.
2. Aceros rápidos (hasta 600 °C): son los más utilizados. Mayores velocidades que aceros al carbono.
 - Aceros al molibdeno (más tenaces).
 - Aceros al wolframio.
 - Aceros al cobalto (más frágiles y duros en caliente).
 - Aceros al vanadio.
 - Con recubrimiento (TiN, TiCN,): tenacidad + dureza.

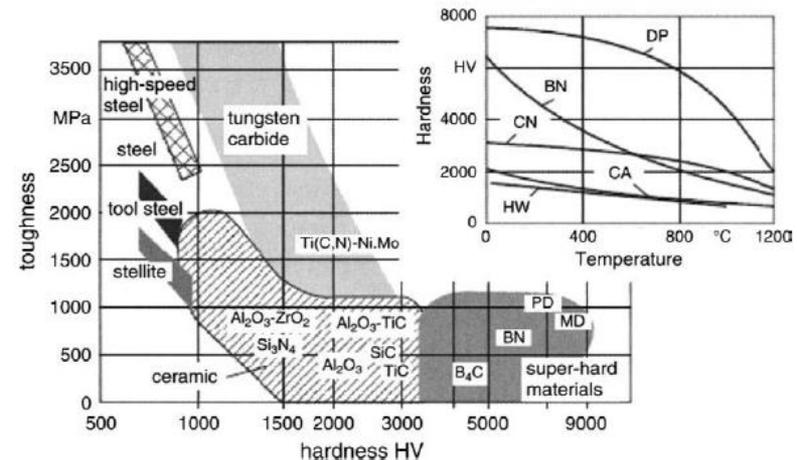
MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Material de la herramienta de corte

3. Metales duros y carburos: aleaciones por la sinterización de carburos de Cr, Mo, Ta, Ti, V y W. Resistencia al desgaste y elevadas temperaturas. Grandes velocidades de corte.

4. Cerámicas: CERMET, cerámicas basadas en alúmina y cerámicas basadas en nitruro de Si. Trabajan a grandes velocidades de corte pero son muy frágiles.

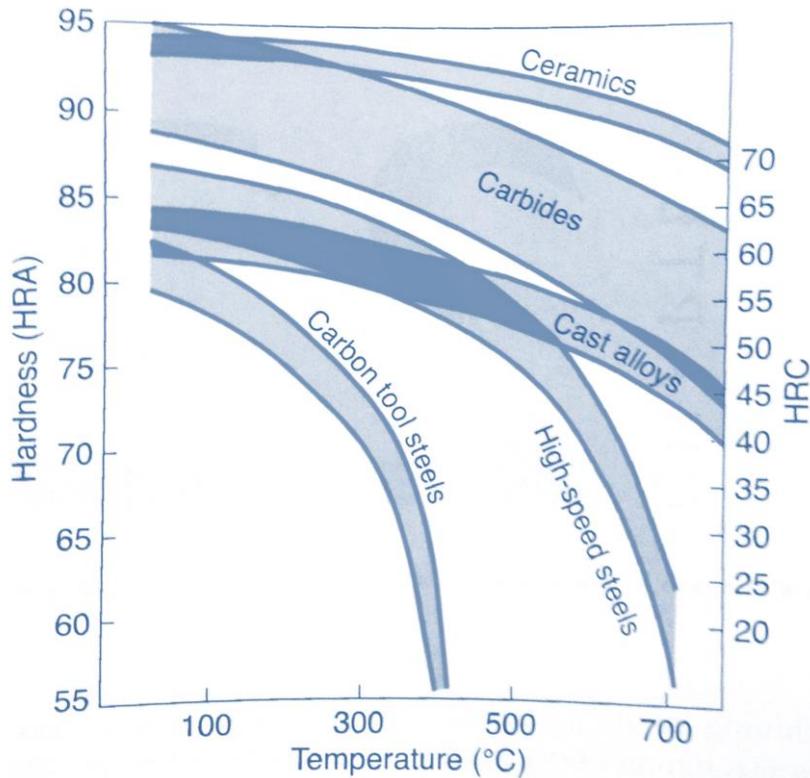
5. Diamante: procesos de rectificado aunque también en torneado, taladrado y fresado. Mecanizado de aleaciones ligeras (2000 m/min) y materiales compuestos de fibra de carbono.



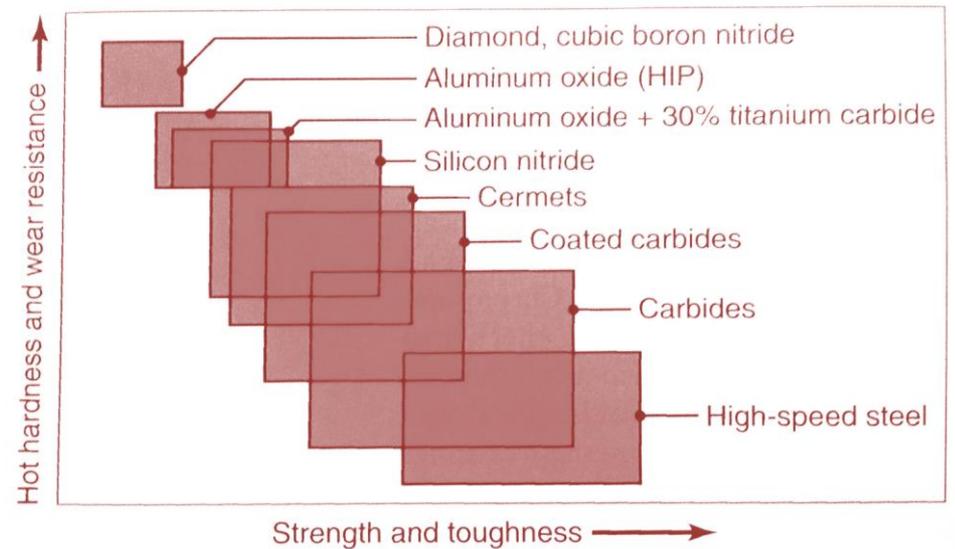


MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Material de la herramienta de corte



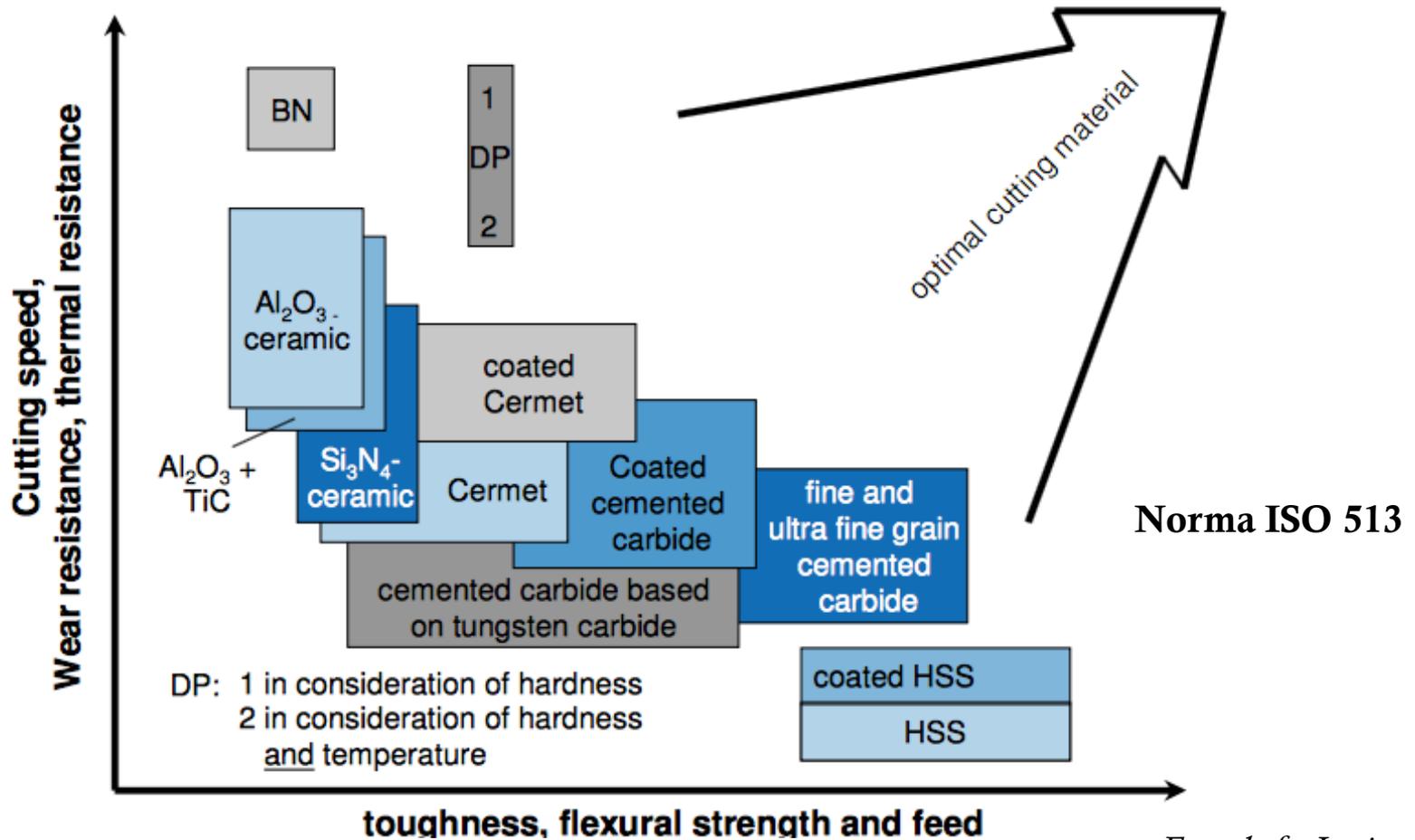
Rango de dureza, resistencia a desgaste, resistencia mecánica y tenacidad





MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Material de la herramienta de corte



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Material de la herramienta de corte

	High-speed steels	Cast-cobalt alloys	Uncoated carbides	Coated carbides	Ceramics	Polycrystalline cubic boron nitride	Diamond
Hot hardness	→						
Toughness	←						
Impact strength	←						
Wear resistance	→						
Chipping resistance	←						
Cutting speed	→						
Thermal-shock resistance	←						
Tool material cost	→						
Depth of cut	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Light to heavy	Very light for single-crystal diamond
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.

MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Maquinabilidad

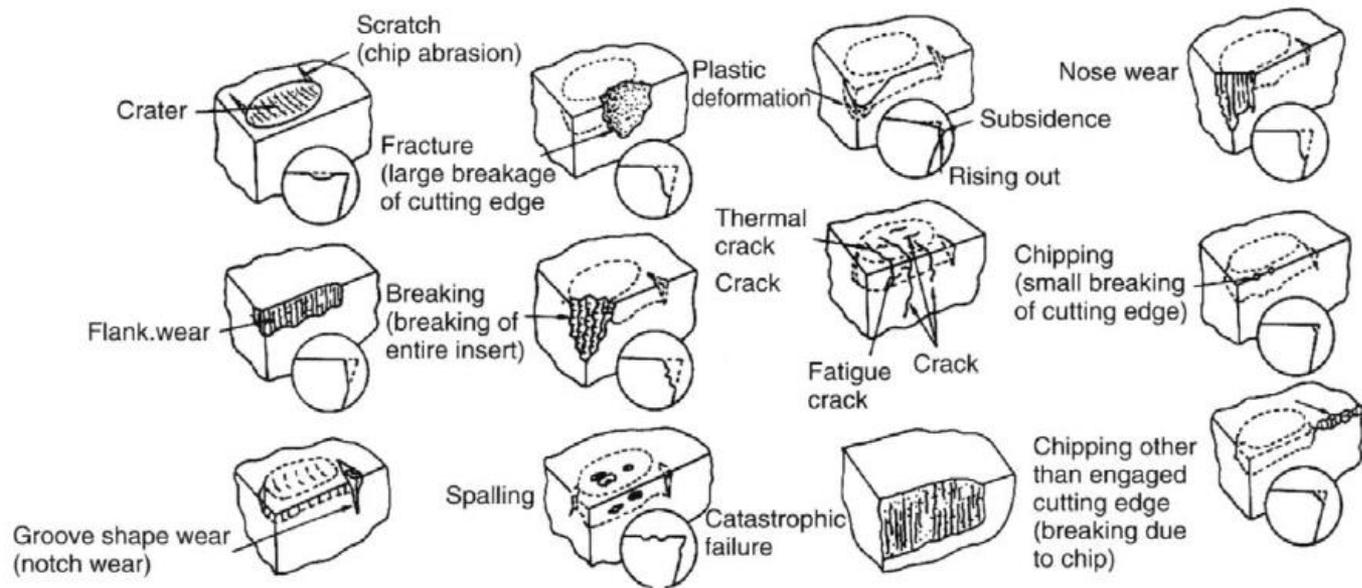
TABLA 25.1 Valores aproximados del número de dureza Brinell e índices de maquinabilidad para materiales seleccionados.

Material	Dureza Brinell	Índice de maquinabilidad ^a	Material	Dureza Brinell	Índice de maquinabilidad ^a
Acero base: B1112	180-220	1.00	Acero de herramienta (no endurecido)	200-250	0.30
Acero al bajo carbono C1008, C1010, C1015	130-170	0.50	Fundición de hierro Suave	60	0.70
Acero al medio carbono C1020, C1025, C1030	140-210	0.65	Dureza media	200	0.55
Acero al alto carbono C1040, C1045, C1050	180-230	0.55	Duro	230	0.40
Acero aleado ^b 1320, 1330, 3130, 3140	170-230	0.55	Superalaciones Inconel	240-260	0.30
4130	180-200	0.65	Inconel X	350-370	0.15
4140	190-210	0.55	Waspalloy	250-280	0.12
4340	200-230	0.45	Titanio Puro	160	0.30
4340 (fundición)	250-300	0.25	Aleaciones	220-280	0.20
6120, 6130, 6140	180-230	0.50	Aluminio 2-S, 11-S, 17-S	Suave	5.00 ^c
8620, 8630	190-200	0.60	Aleaciones de aluminio (suaves)	Suave	2.00 ^d
B1113	170-220	1.35	Aleaciones de aluminio (duras)	Duro	1.25 ^d
Acero de libre maquinado	160-220	1.50	Cobre	Suave	0.60
Acero inoxidable 301, 302	170-190	0.50	Latón	Suave	2.00 ^d
34	160-170	0.40	Bronce	Suave	0.65 ^d
316, 317	190-200	0.35			
403	190-210	0.55			
416	190-210	0.90			

MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Daño en herramienta debido a dos factores: desgaste y fractura





MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Mecanismos de desgaste:

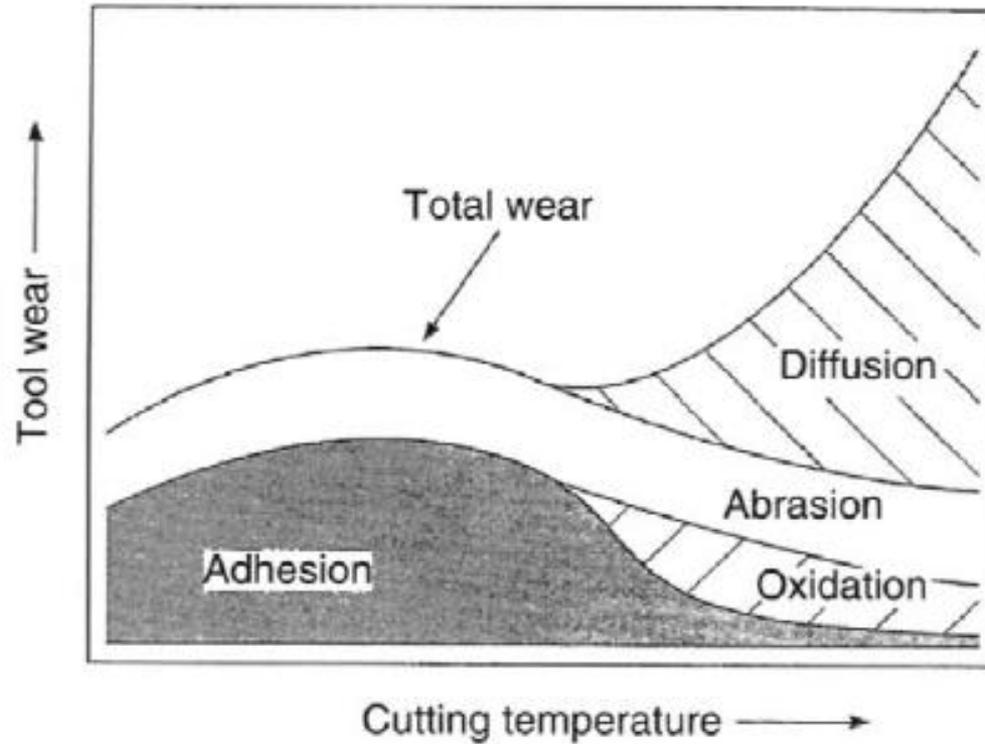
- Desgaste por **abrasión** ← Partículas libres
- Desgaste por **adhesión** ← Elevadas presiones y temperaturas
- Desgaste por **fatiga** ← Combinación termomecánica
- Desgaste por **difusión** ← Intercambio de átomos herramienta-pieza
- Desgaste por **oxidación** ← Óxidos de la herramienta
- **Choques** ← Corte discontinuo o errores



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Mecanismos de desgaste:

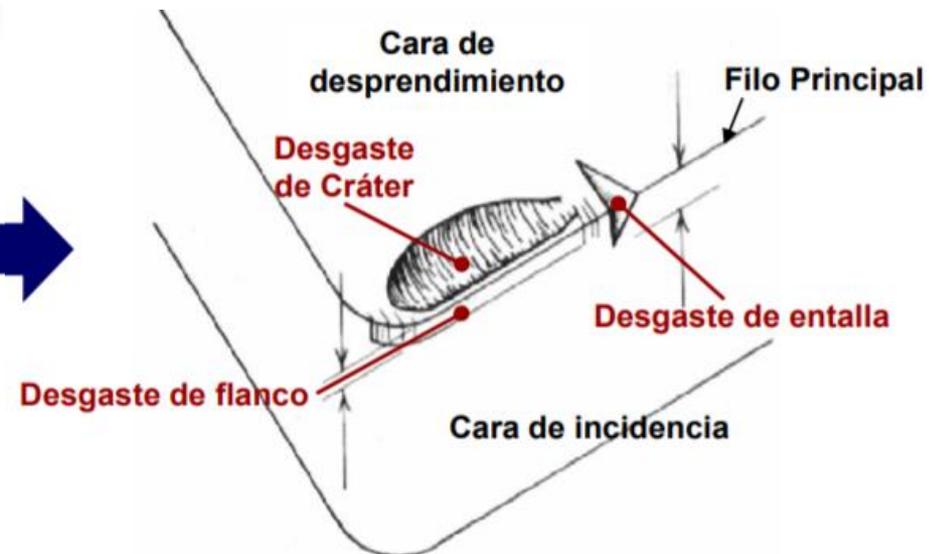
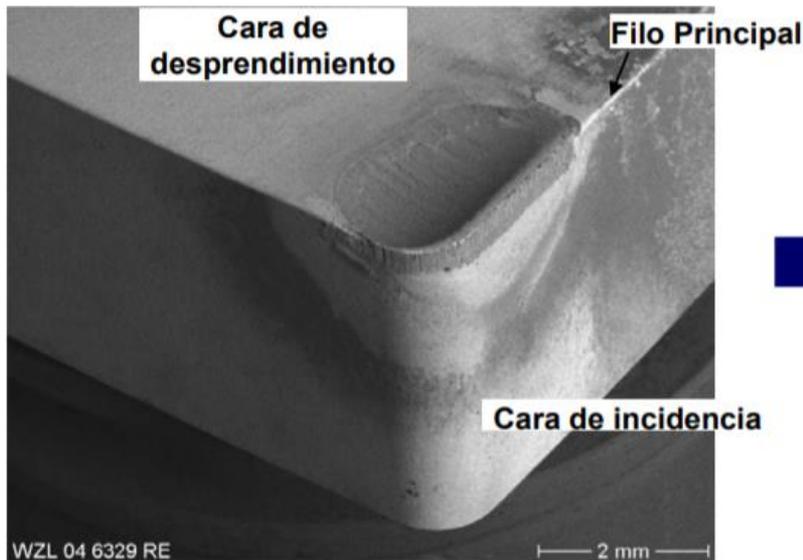


MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Localización del desgaste de la herramienta:

- Superficie de incidencia: desgaste de flanco
- Superficie de desprendimiento: desgaste de cráter
- Filo principal: entalla



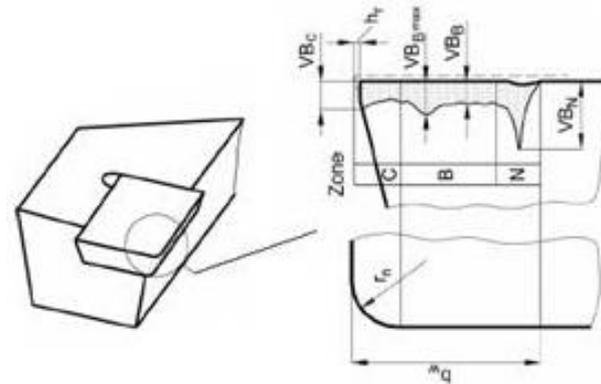
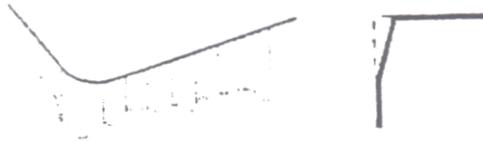
MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Consecuencias del desgaste de la herramienta:

- Desgaste de flanco: microscopía óptica – desgaste de la superficie de incidencia

Desgaste por
abrasión



- Desgaste de cráter

Desgaste por
abrasión y difusión



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Grado de desgaste de la herramienta:

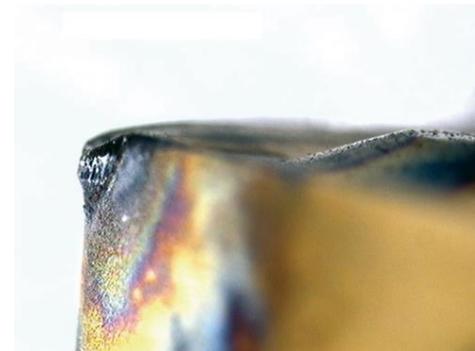
- Formación de filo recrecido (BUE – Built Up Edge)

Desgaste por adhesión



- Deformación plástica del filo

Excesiva temperatura de corte y esfuerzos de mecanizado



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Grado de desgaste de la herramienta:

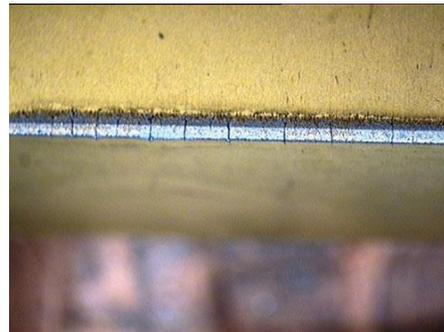
- Formación de fracturas y fisuras



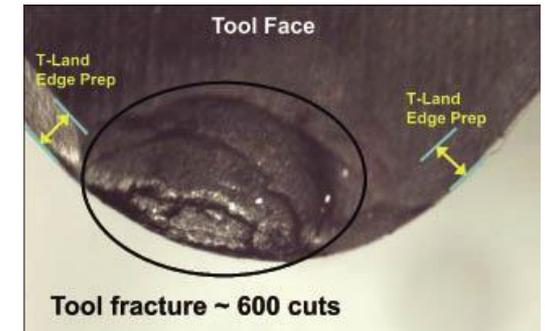
Mellado



Fisuras térmicas



Fisuras por fatiga mecánica



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Grado de desgaste de la herramienta:

- Formación de fracturas y fisuras



Astillado



Fractura mecánica



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Tiempo de vida de la herramienta de corte

Fórmula de Taylor:

$$vt^n = C$$

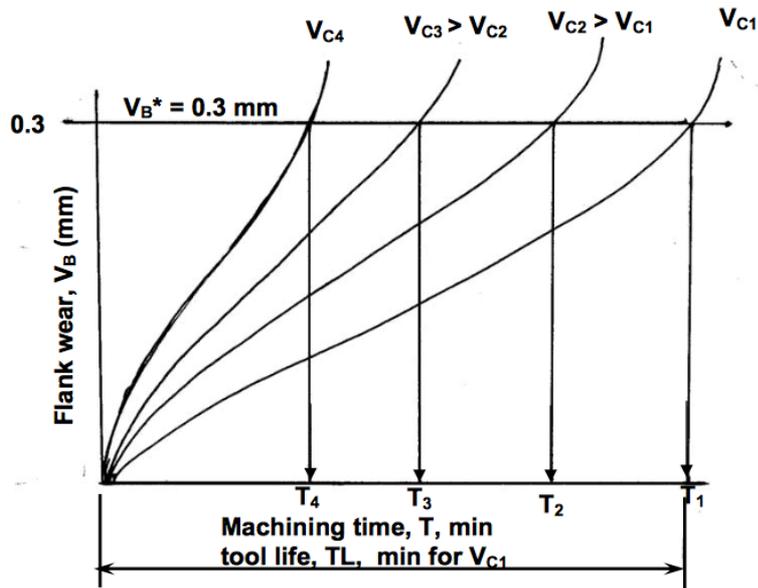


Fig. 3.2.3 Growth of flank wear and assessment of tool life

Metales duros: $1/n = 5-7$

Cerámicas: $1/n = 2$

HSS: $1/n > 7$

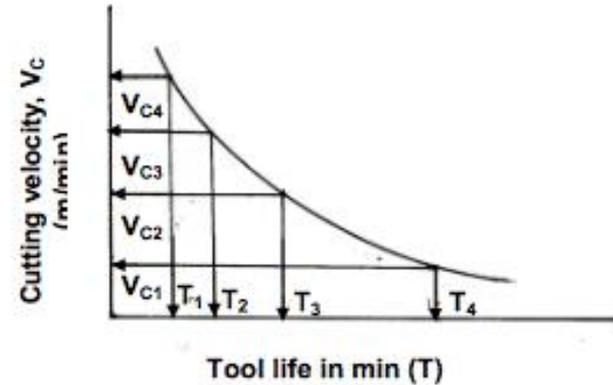


Fig. 3.2.4 Cutting velocity – tool life relationship

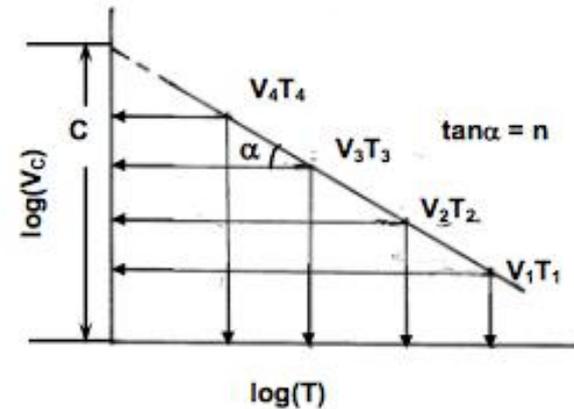


Fig. 3.2.5 Cutting velocity vs tool life on a log-log scale



MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Problema 1

Determinar los parámetros n y C de la fórmula de Taylor para la vida útil de una herramienta sabiendo que cuando trabaja a una velocidad de corte de 0.6 m/s su vida es de 2100 s y que cuando trabaja a una velocidad de corte de 0.8 m/s su vida es de 600 s :

Funciones, selección y tipos

- Aumentar la velocidad de corte: **productividad**.
- Alargar la **vida de la herramienta**: reducción del desgaste.
- Mejor **acabado y control dimensional**.

1. Funciones:

Lubricación

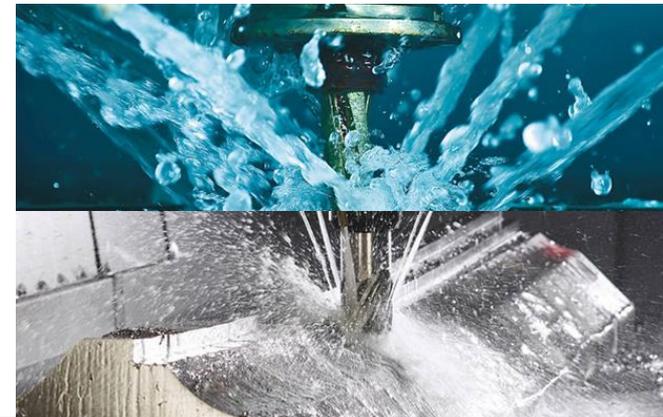
Refrigeración

Eliminación de la viruta

Protección del óxido

2. Selección:

- Tipo de operación.
- Condiciones de la operación.
- Material a mecanizar.
- Calidad del agua (dura o blanda): miscibilidad.
- Salubridad y restricciones ambientales.

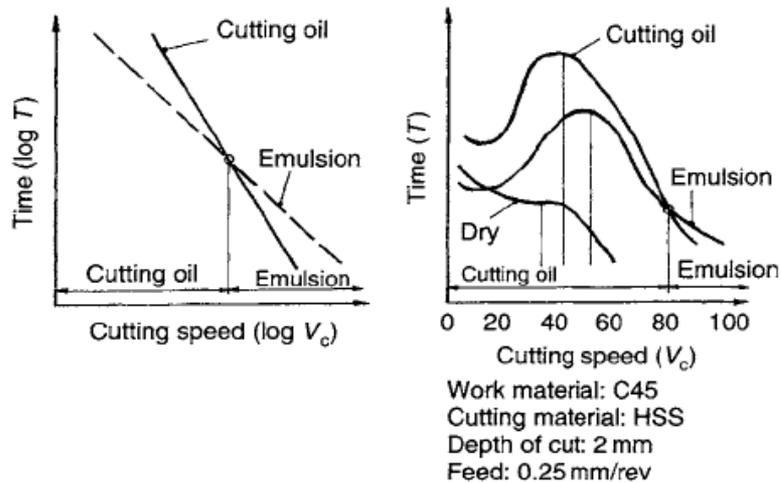


Funciones, selección y tipos

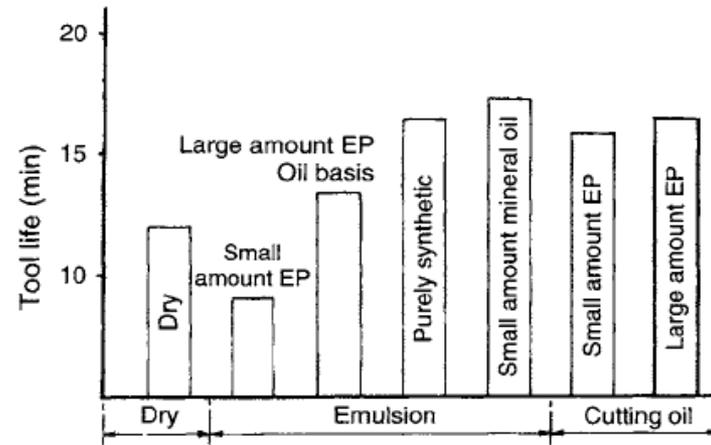
Normas que regulan los fluidos de corte: DIN 51385, ASTM D 2881...

- **Aceites de corte:** lubricantes no acuosos, poco poder de refrigeración, efectivos en relación con la reducción de la fricción y el desgaste abrasivo. Se emplean en operaciones de mecanizado severas con grandes caudales de viruta.
- **Taladrinas de aceites solubles (3-10 %):** emulsión de agua, aceites minerales o vegetales y otros aditivos. El agua aumenta el poder de refrigeración. Es el más empleado. Adecuado para operaciones de mecanizado medio y ligero. Generalmente los más baratos
- **Taladrinas semisintéticas (2-6 %):** emulsión en agua de aceite mineral o sintético y aditivos. Buena resistencia a corrosión y lubricación.
- **Taladrinas sintéticas (1-5 %):** No incluye aceites, emulsión de agua y aditivos (fundamentalmente anticorrosivos). Ofrecen las mejores características de refrigeración

Influencia en la vida de la herramienta



(a) *The influence of coolants on tool life*



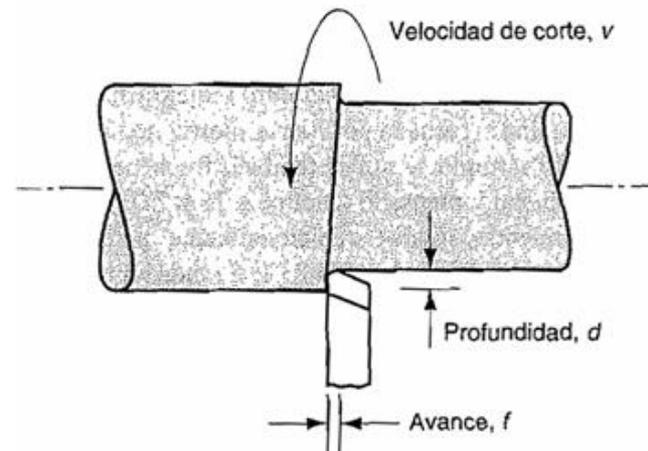
(b) *The influence of various cooling lubricants on tool life*

MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Condiciones de corte

1. Velocidad de corte (v)
2. Avance (f)
3. Profundidad de corte (d)

Movimiento relativo





MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Condiciones de corte

1. **Velocidad de corte** (v), generalmente en m/min:

- Material de la pieza.
- Material de la herramienta.
- Sección de viruta.
- Refrigeración.
- Tipo de construcción de la máquina y otros.

1. **Avance** (f): conocidos la velocidad de giro (N) y el avance se puede calcular la velocidad de avance, generalmente en mm/min.

2. **Profundidad de corte** (d): a partir de la profundidad de corte y el avance se puede calcular la sección de viruta ($s = ad$).



OPERACIONES DE MECANIZADO

Condiciones de corte

1. Corte para **desbaste**: grandes cantidades de material de la pieza de trabajo
2. Corte de **acabado**: alcanzar las dimensiones finales, las tolerancias y el acabado de la superficie.

Categoría	f (mm)	d (mm)
Desbaste primario	0.40 – 1.25	2.5 – 2.0
Acabado	0.125 – 0.4	0.75 – 2.00

Necesidad de enfriar o lubricar la herramienta de corte: fluido de corte

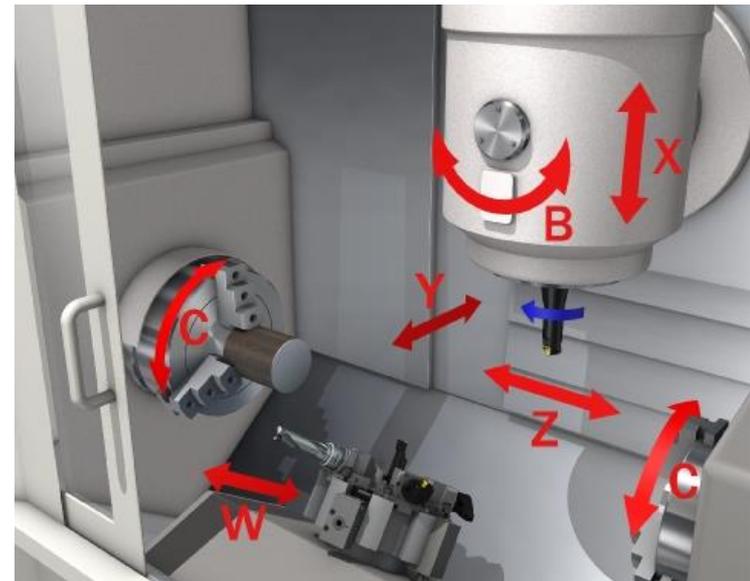
MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

Máquina herramienta

Máquina herramienta: cualquier máquina accionada por fuerza motriz que realiza operaciones de mecanizado, incluido el rectificado .

1. **Sostener** la parte de trabajo
2. Poner en **posición** la herramienta con respecto al trabajo
3. Proporcionar la **potencia** para el proceso de mecanizado

- Operario
- Control numérico (CNC)

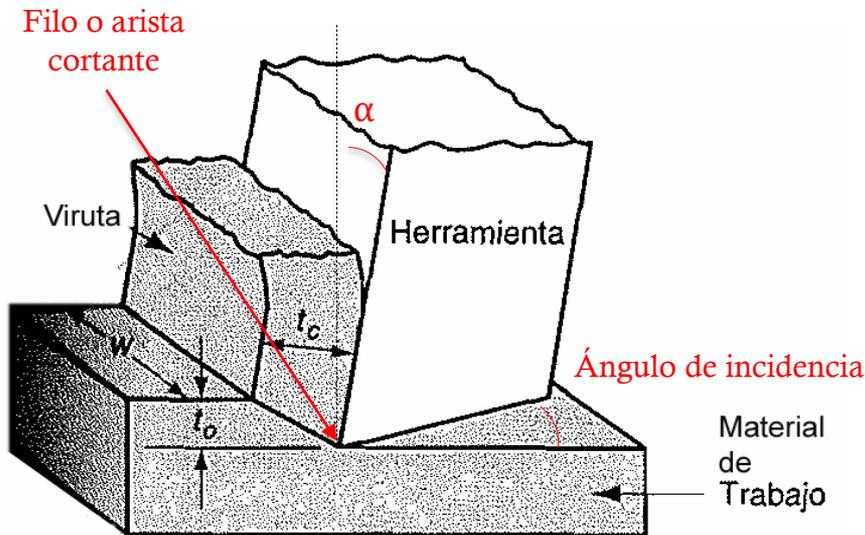


TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Modelo de corte ortogonal

Hipótesis:

Herramienta en forma de cuña cuyo filo es perpendicular a la dirección de la velocidad de corte.



- Ángulo de ataque (α)
- Ángulo de incidencia
- Espesor de la viruta antes de su formación (t_o)
- Espesor de la viruta después de su formación (t_c)

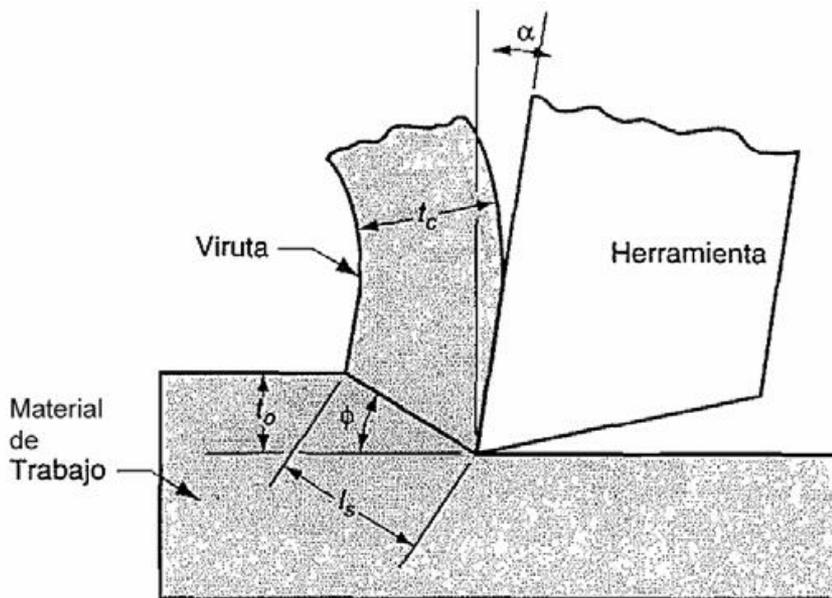
Relación de viruta (r):

$$r = t_o/t_c < 1$$

TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Modelo de corte ortogonal

Permite establecer una relación entre el espesor de la viruta (t), el ángulo de ataque (α) y el ángulo del plano de corte (Φ).



$$t_o = l_s \operatorname{sen}\Phi$$

$$t_c = l_s \cos(\Phi - \alpha)$$

$$r = (l_s \operatorname{sen}\Phi) / (l_s \cos(\Phi - \alpha))$$

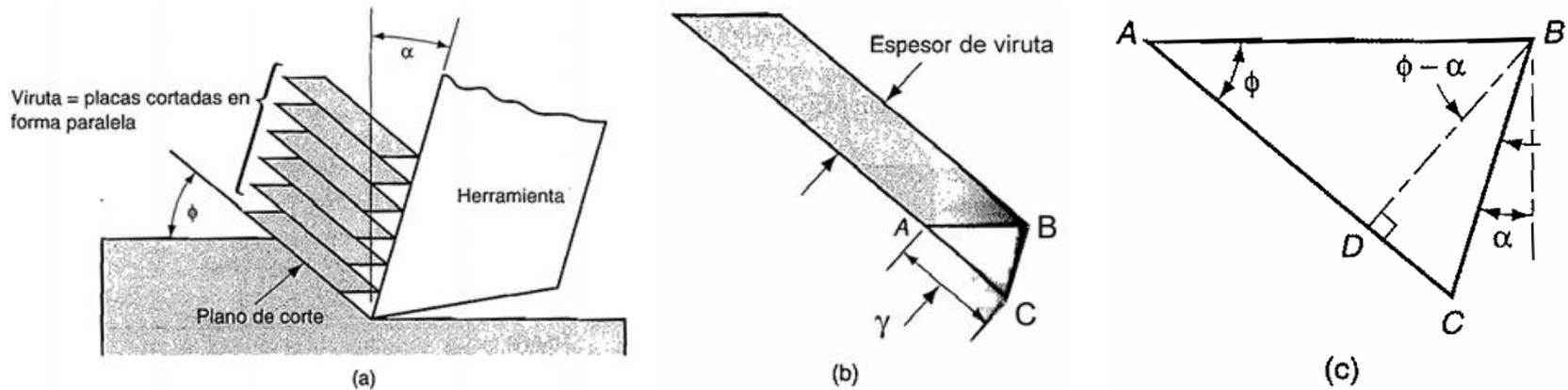
$$\tan\Phi = (r \cos\alpha) / (1 - r \operatorname{sen}\alpha)$$

l_s : longitud del plano de corte

TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Modelo de corte ortogonal

Deformación cortante a lo largo del plano de corte



$$\gamma \approx AC/BD = (AD + DC)/BD = \cot\phi + \tan(\phi - \alpha)$$



TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Problema 2

En una operación de mecanizado que se aproxima por el modelo de corte ortogonal, la herramienta de corte tiene un ángulo de ataque de 10° . El espesor de la viruta antes del corte es de 0.05 mm y después del corte es de 0.15 mm. Calcular el plano de corte y la deformación cortante en la operación.



TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Problema 2

En una operación de mecanizado que se aproxima por el modelo de corte ortogonal, la herramienta de corte tiene un ángulo de ataque de 10° . El espesor de la viruta antes del corte es de 0.05 mm y después del corte es de 0.15 mm. Calcular el plano de corte y la deformación cortante en la operación.

$$r = \frac{0,05}{0,15} = 0,333$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{0,333 \cos 10}{1 - 0,333 \operatorname{sen} 10} = 0,348 \quad \longrightarrow \quad \phi = \operatorname{arctg} \phi = 19,18^\circ$$

$$\gamma = \operatorname{cotg} 19,18 + \operatorname{tg} (19,18 - 10) = 3,036 \text{ mm/mm}$$



TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Modelo de corte ortogonal

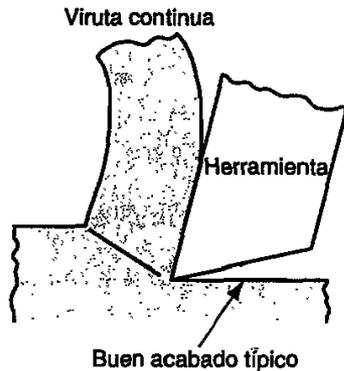
Desviaciones:

1. El proceso de deformación cortante **no ocurre sobre un plano** sino en una zona delgada de corte. Experimentalmente se ha demostrado que el espesor es de unas centésimas de mm lo que hace que en la mayor parte de los casos el error sea mínimo.
2. Se produce una **deformación cortante adicional** resultante del rozamiento entre la viruta y la superficie de incidencia de la herramienta.
3. La formación de la viruta depende del **tipo de material y de las condiciones de corte**.

TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Modelo de corte ortogonal

Viruta continua o plástica

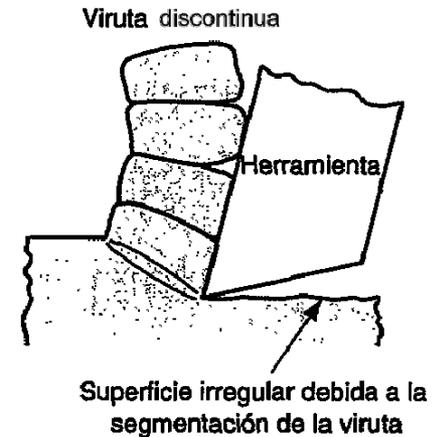


Dúctil:
Velocidad alta con
avance y
profundidad bajos.



Dúctil:
Velocidad baja o media. La
fricción ocasiona soldadura
de material en el filo de
corte

Viruta discontinua o arrancada

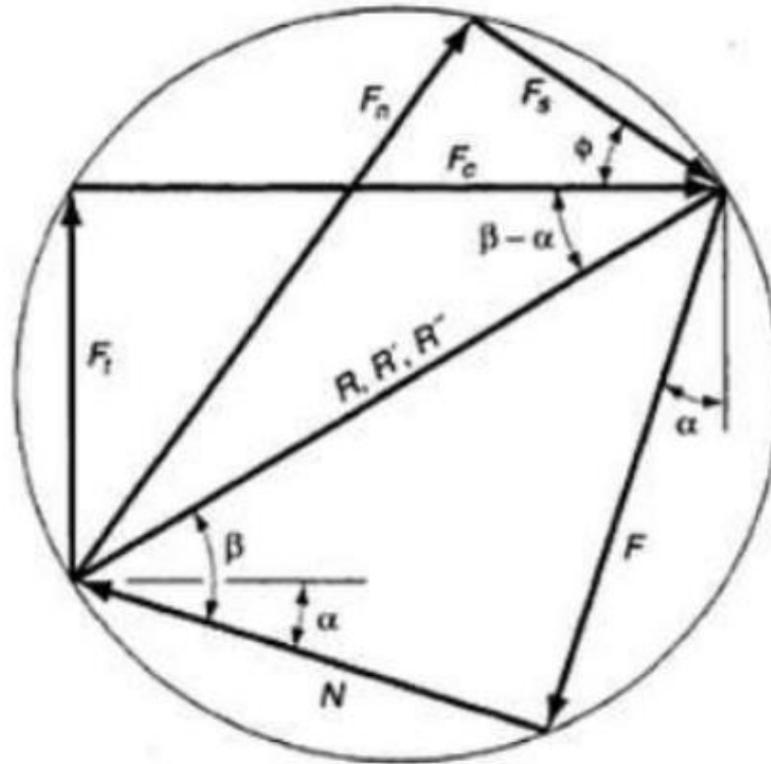


Frágil:
Avance y
profundidad
elevados



TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Diagrama de fuerzas



Muestra la relación entre fuerzas presentes en el modelo de corte ortogonal.

TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

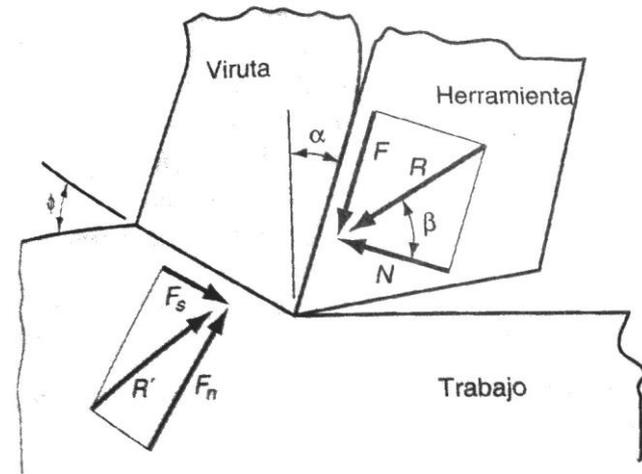
Relaciones de fuerza

1. Fuerza de fricción (F)
2. Fuerza normal a la fricción (N)

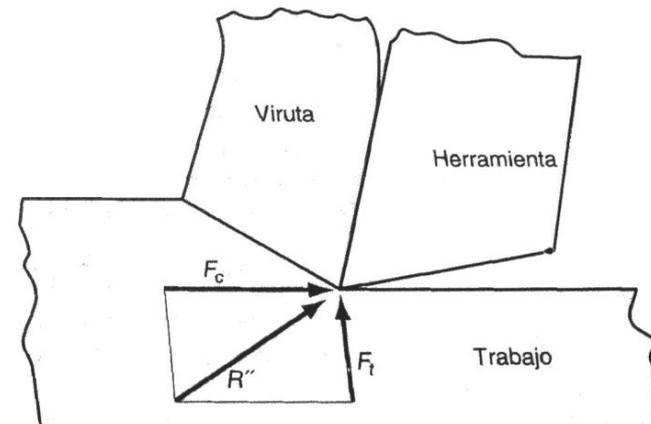
Coeficiente de fricción entre la herramienta y la viruta:

$$\mu = \frac{F}{N}$$

$$\mu = \tan \beta$$



(a)



(b)

TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

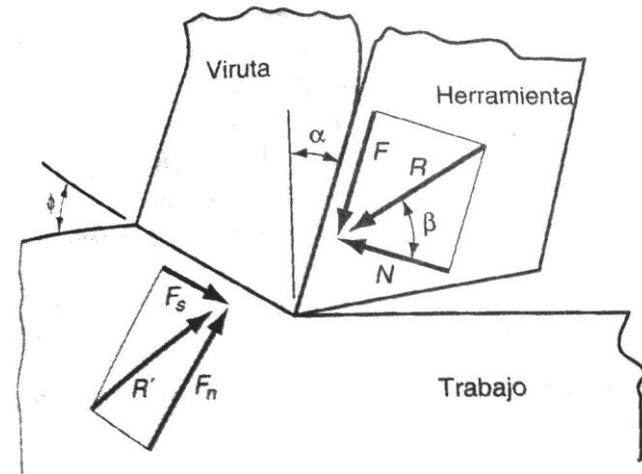
Relaciones de fuerza

3. Fuerza cortante (F_s)
4. Fuerza normal a la cortante (F_n)

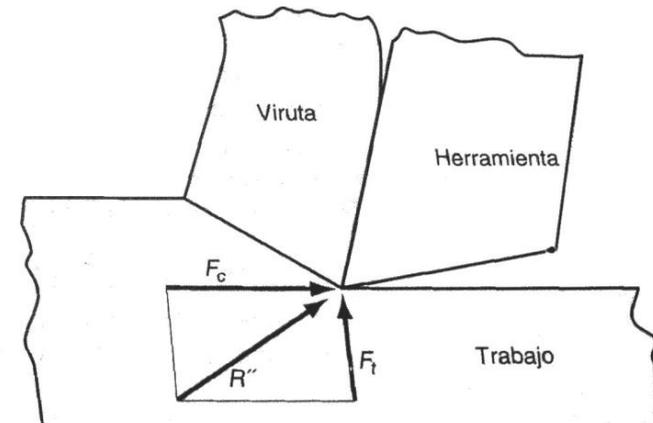
Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{F_s}{A_s}$$

$$A_s = \frac{t_o w}{\text{sen}\phi}$$



(a)



(b)

TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Relaciones de fuerza

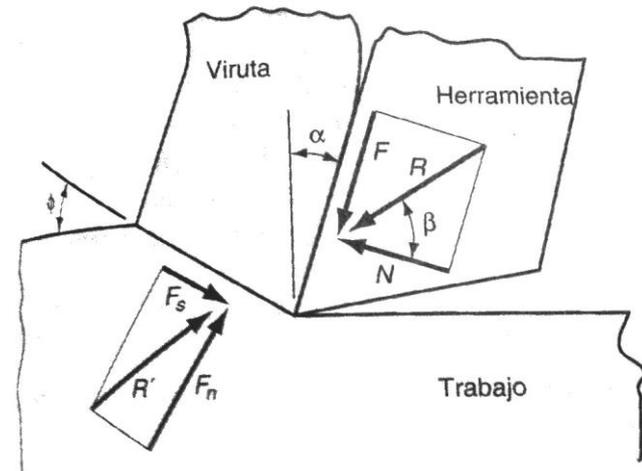
5. Fuerza de corte (F_c)
6. Fuerza de empuje (F_t)

$$F = F_c \operatorname{sen} \alpha + F_t \operatorname{cos} \alpha$$

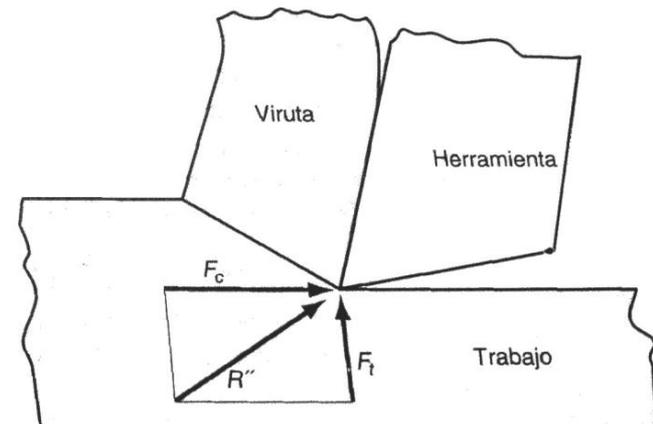
$$N = F_c \operatorname{cos} \alpha - F_t \operatorname{sen} \alpha$$

$$F_s = F_c \operatorname{cos} \phi - F_t \operatorname{sen} \phi$$

$$F_n = F_c \operatorname{sen} \phi + F_t \operatorname{cos} \phi$$



(a)



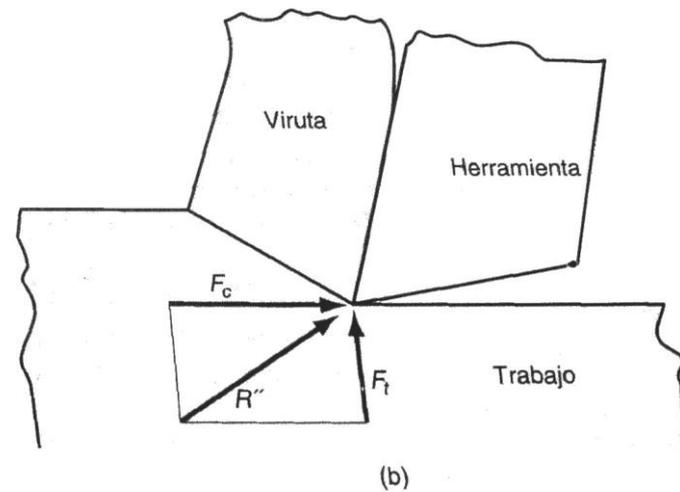
(b)

TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Ecuación de Merchant

$$\tau = \frac{F_c \cos \phi - F_t \sin \phi}{t_0 w / \sin \phi}$$

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





TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Relaciones de potencia y energía

$$P = F_c \cdot v$$

$$P_u = \frac{P}{v t_0 w} = \frac{F_c v}{v t_0} = \frac{F_c}{t_0 w}$$

Temperatura de corte (Método de Cook)

$$T = 0.4 \cdot \frac{P_u}{\rho C} \left(\frac{v t_0}{k} \right)^{0.33}$$

P_u : Potencia unitaria (Nm/mm³)

ρ : Densidad

C : Calor específico volumétrico (J/mm³°C)

K : Difusividad térmica del material de trabajo (m²/s)



TEORÍA DE LA FORMACIÓN DE VIRUTA

Problema 3

Determinar la fuerza ejercida sobre la herramienta y la potencia necesaria para realizar un corte ortogonal en una pieza de hierro sabiendo que los parámetros de corte son:

Ángulo de ataque = 30°

Espesor de viruta no deformada = 0.15 mm

Espesor de viruta deformada = 0.4 mm

Ancho de corte = 7.5 mm

Esfuerzo cortante = 270 N/mm^2

Coefficiente de rozamiento = 0.6

Velocidad de corte = 35 m/min