

---

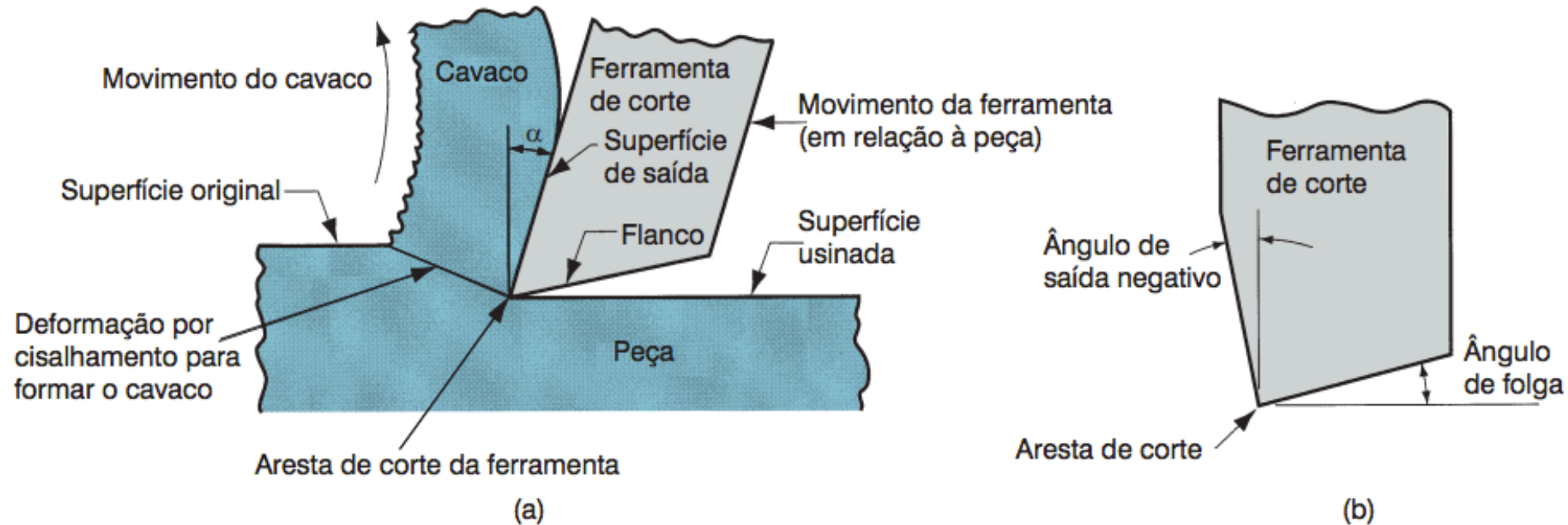
# Usinagem I

2014.1

Parte 2 – Aula 9 e 10

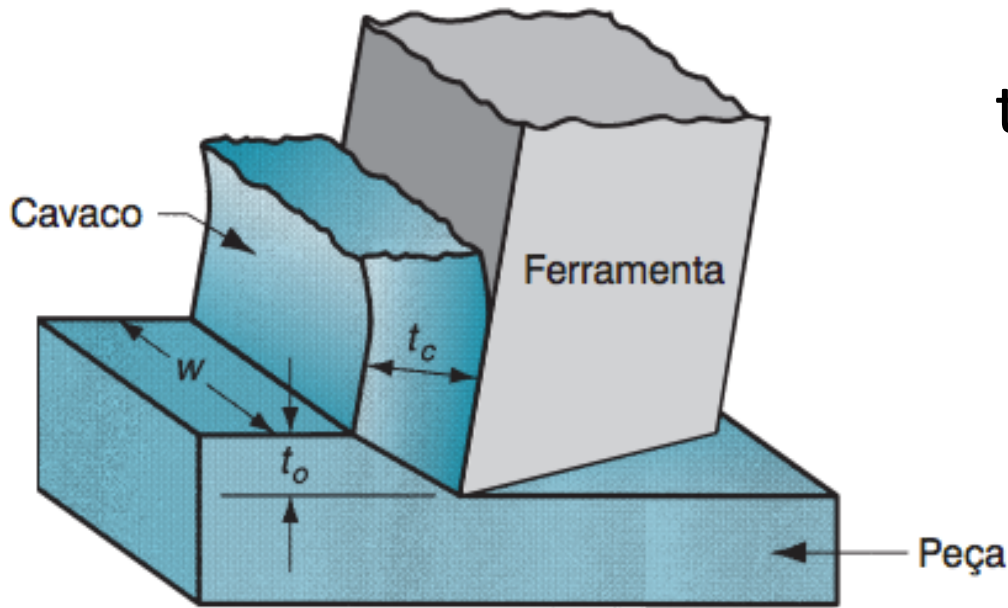
Mecânica do Corte / Formação do Cavaco

# Mecânica do Corte



# Corte Ortogonal – Simplificação do Corte

---

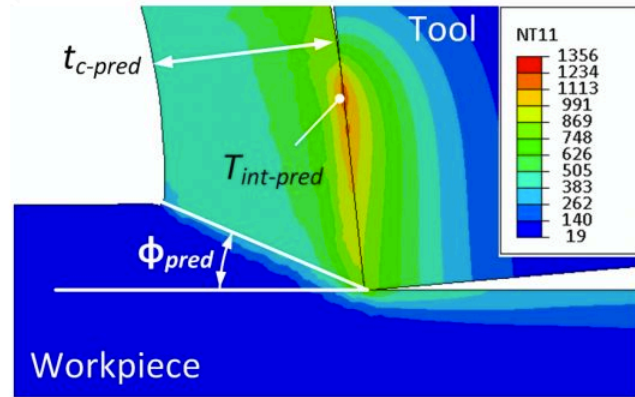


$t_c$  : espessura do cavaco

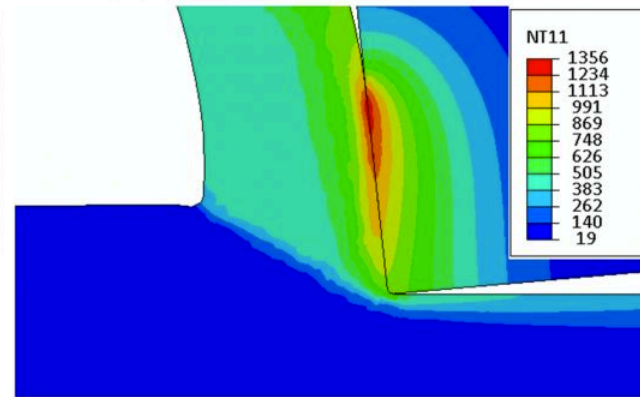
$t_o$  : espessura do cavaco  
“indeformado”, ou seja,  
parte da peça que se  
deseja que vire cavaco

$w$  : largura da peça em contato com a ferramenta,  
ou seja, o comprimento da aresta de corte “ativo”

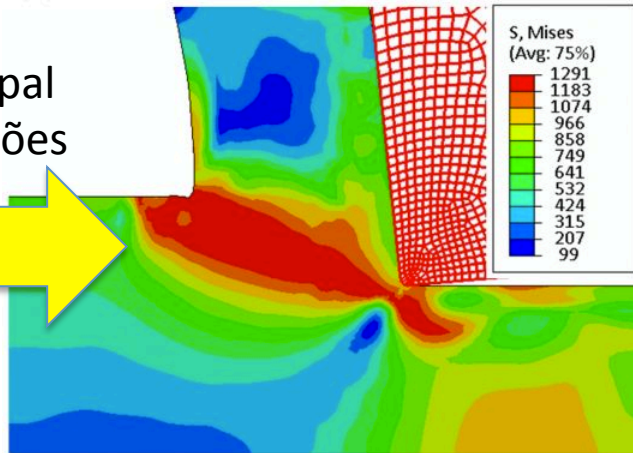
(a) Temperature,  $V=200$  m/min



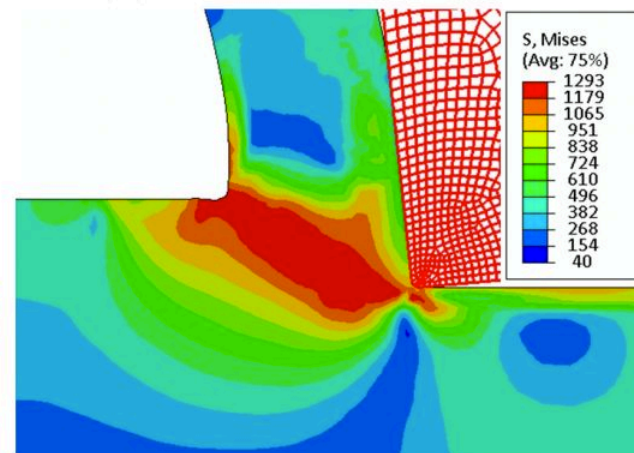
(b) Temperature,  $V=300$  m/min



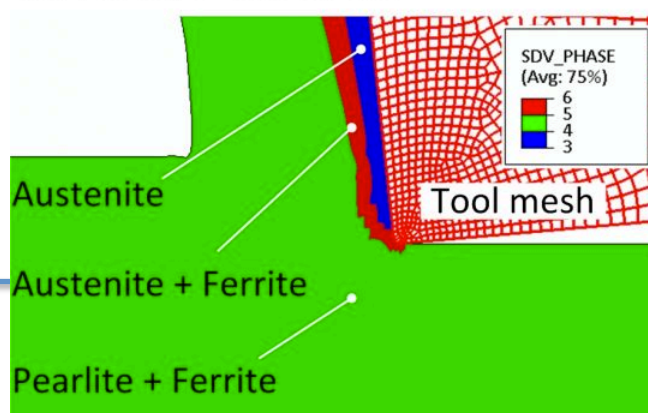
(c) Stress,  $V=200$  m/min



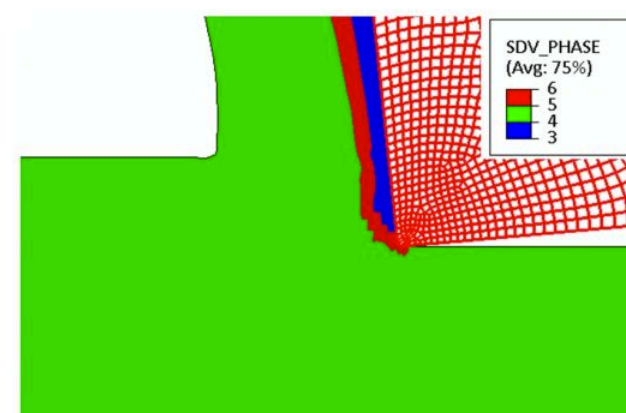
(d) Stress,  $V=300$  m/min



(e) Phase,  $V=200$  m/min

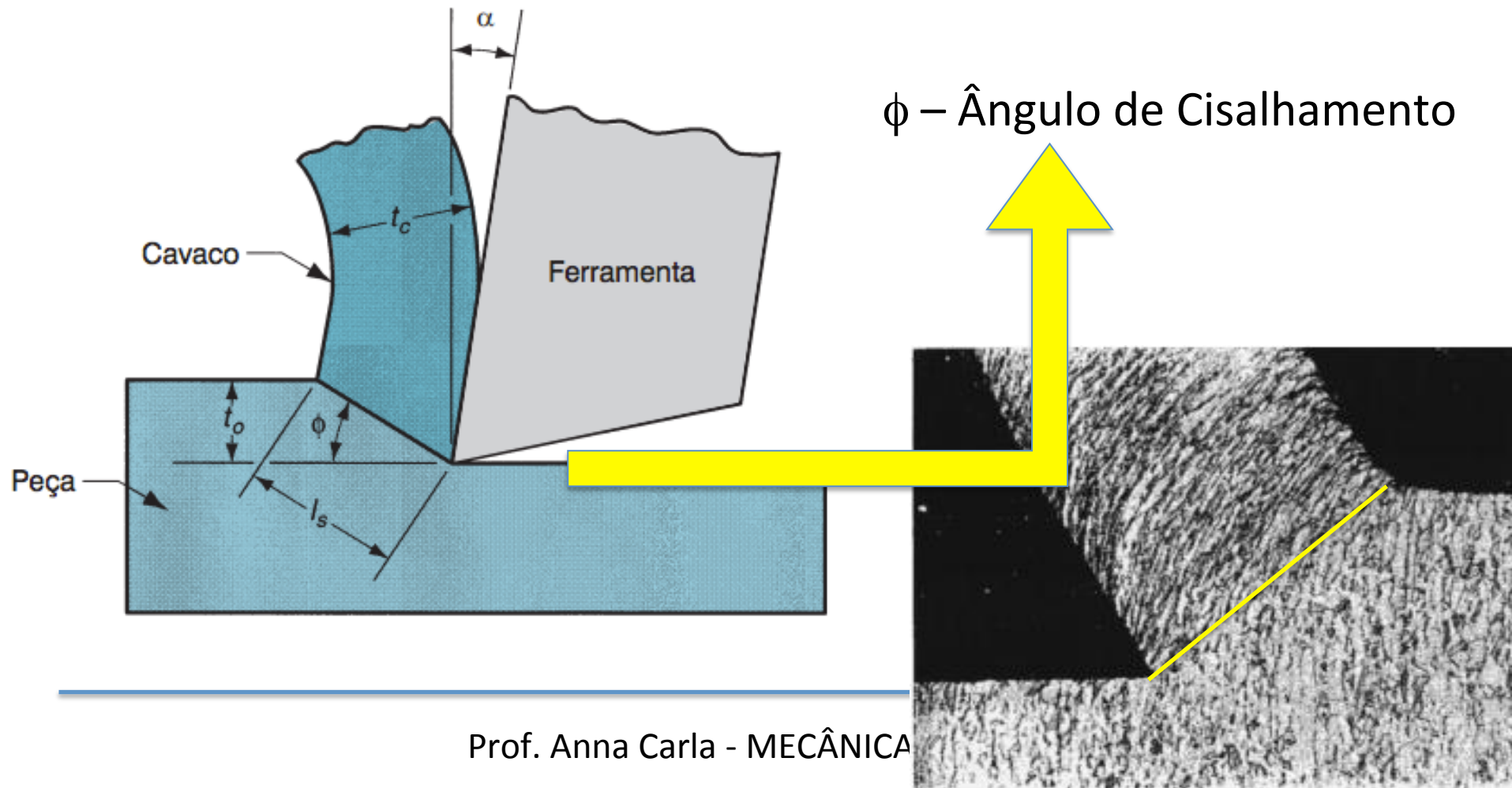


(f) Phase,  $V=300$  m/min



# Corte Ortogonal – Simplificação do Corte

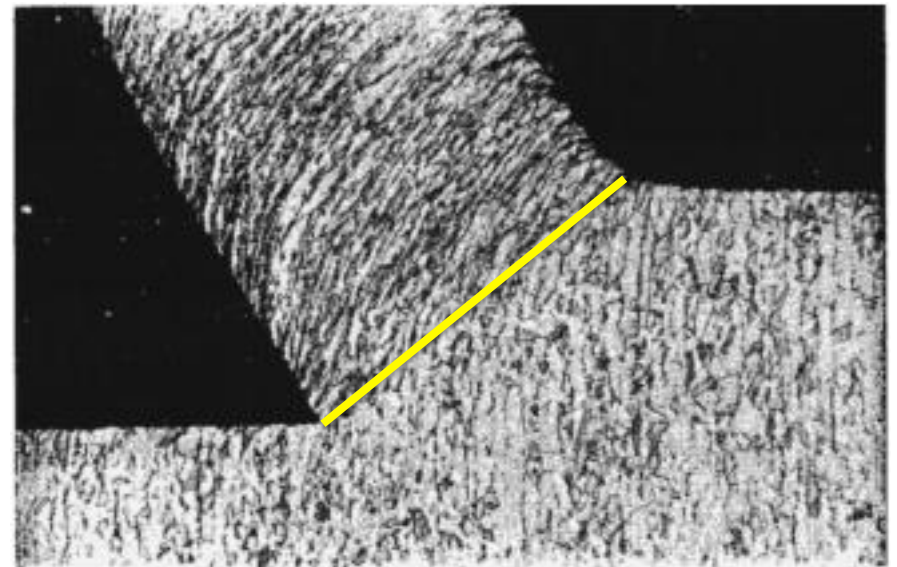
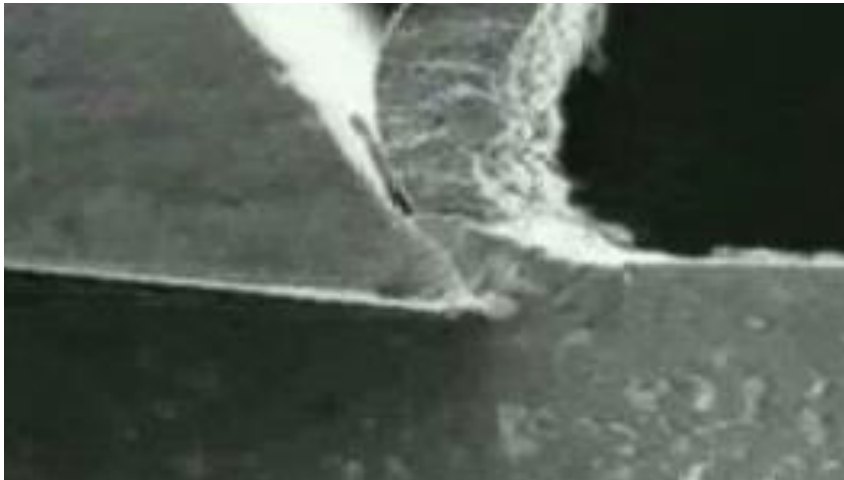
$t_c$  : espessura do cavaco - Qual o valor???



# Corte Ortogonal – Simplificação do Corte

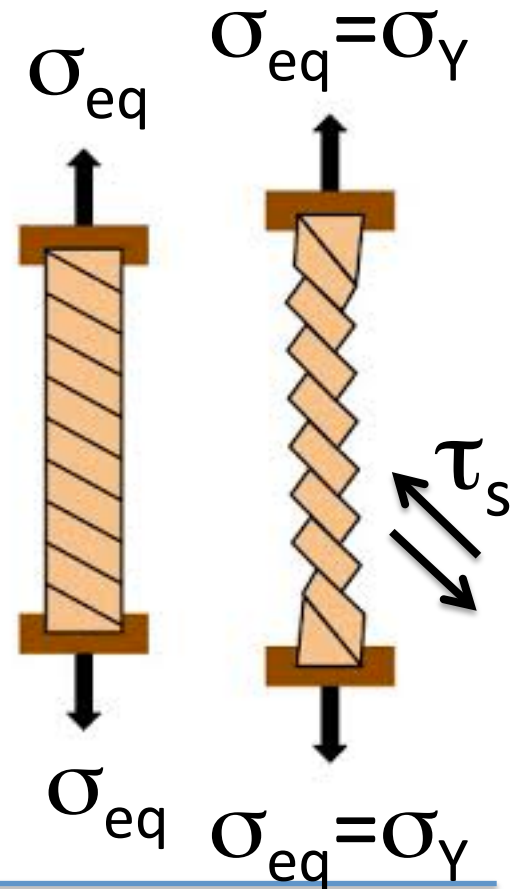
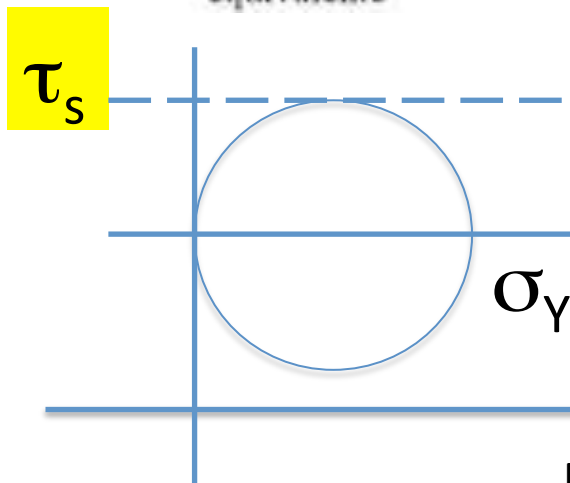
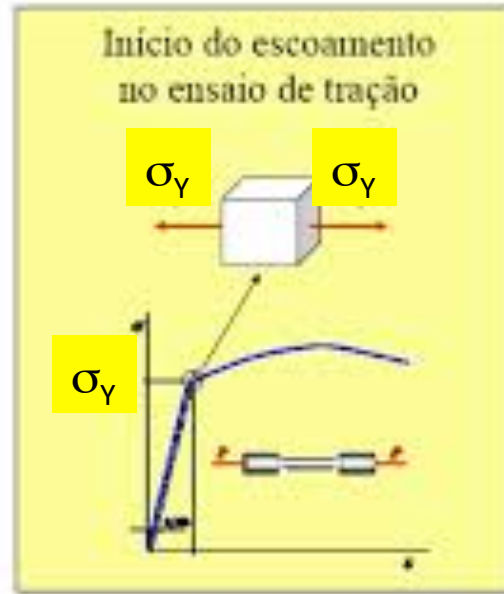
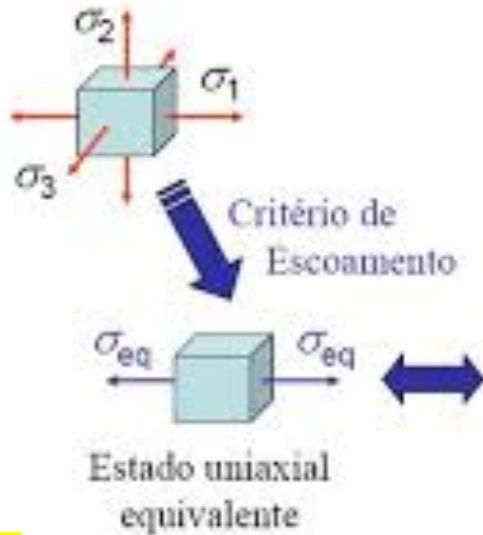
---

Na simplificação a região de deformações é um plano  
Localizado pelo Ângulo de Cisalhamento  $\phi$

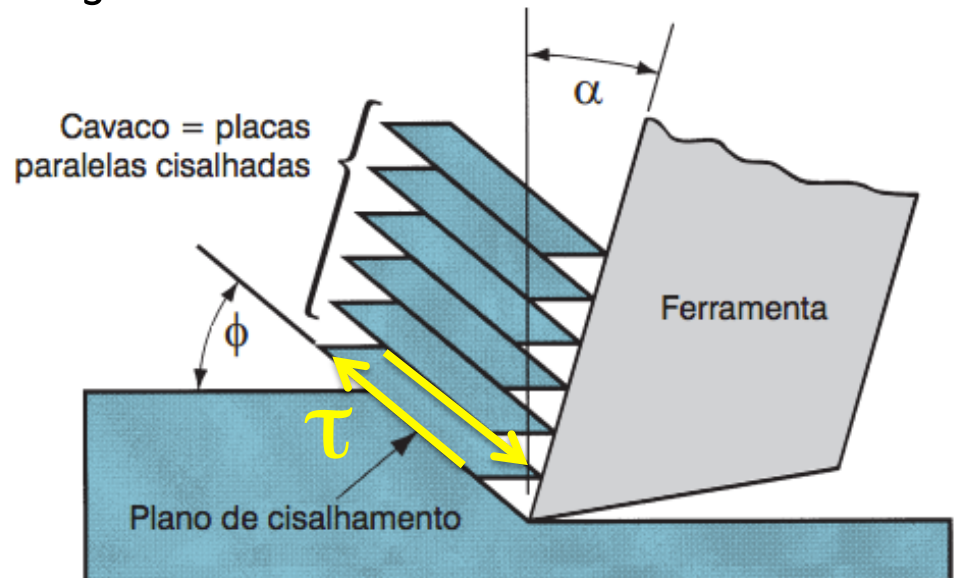
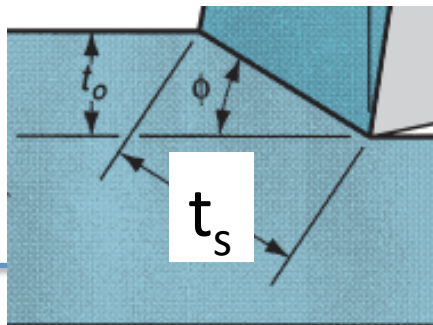
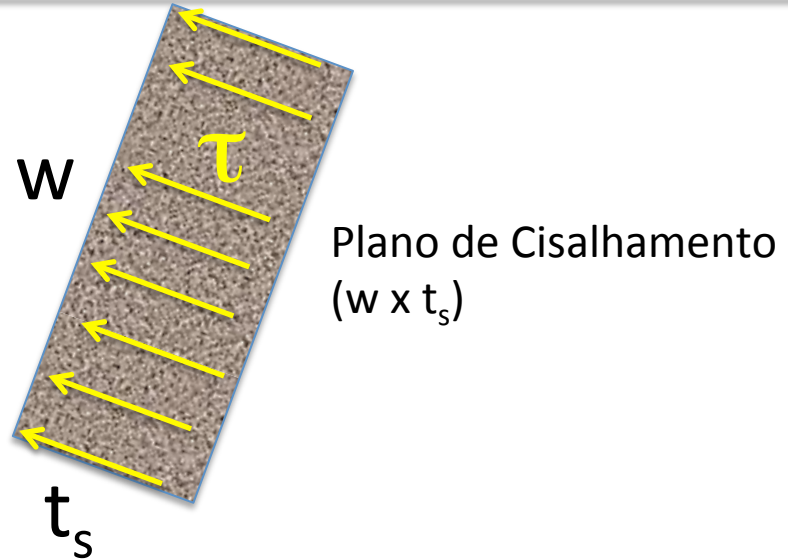
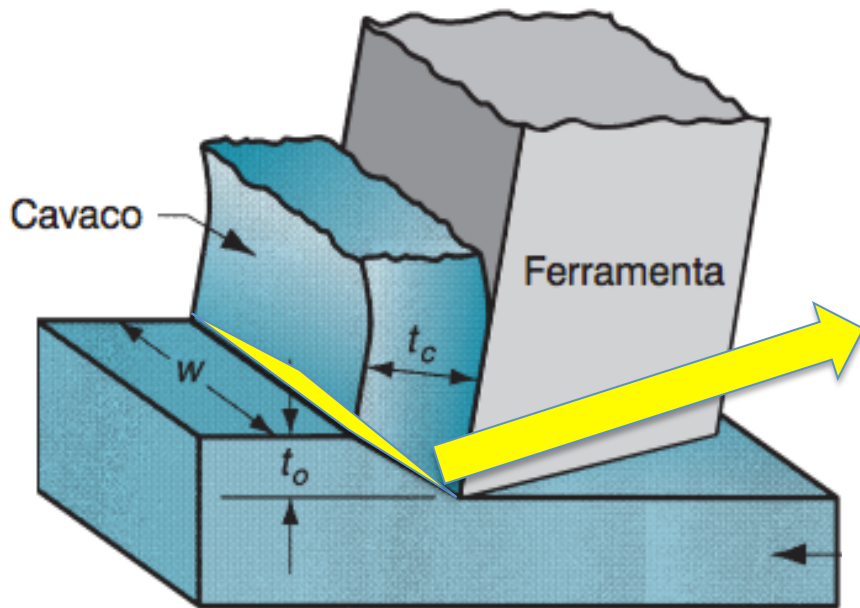


# Tensão de Escoamento por Cisalhamento

Estado 3D de tensão

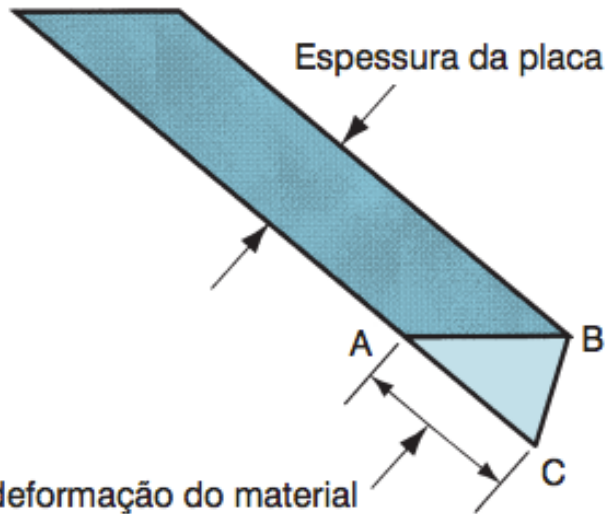


# Plano de Cisalhamento

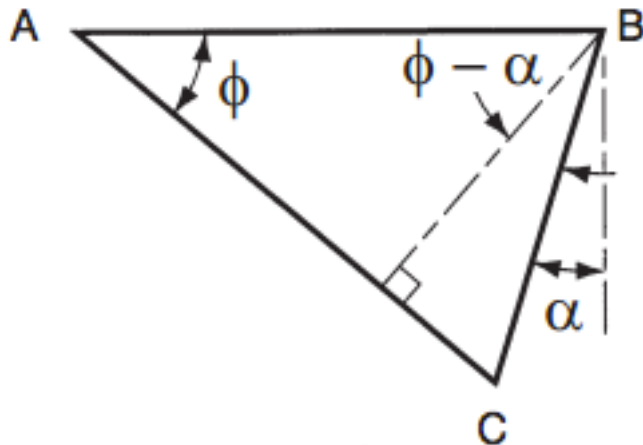
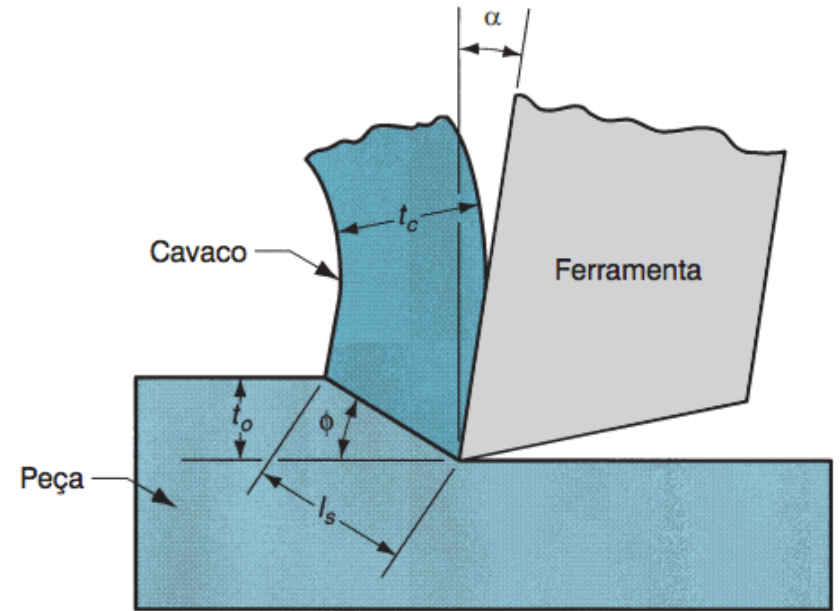




# Deformação por cisalhamento



Medida de deformação do material



$$\gamma = \frac{AC}{BD} = \frac{AD + DC}{BD}$$

# Relação Geométrica (caderno)

---

*razão de espessura do cavaco*

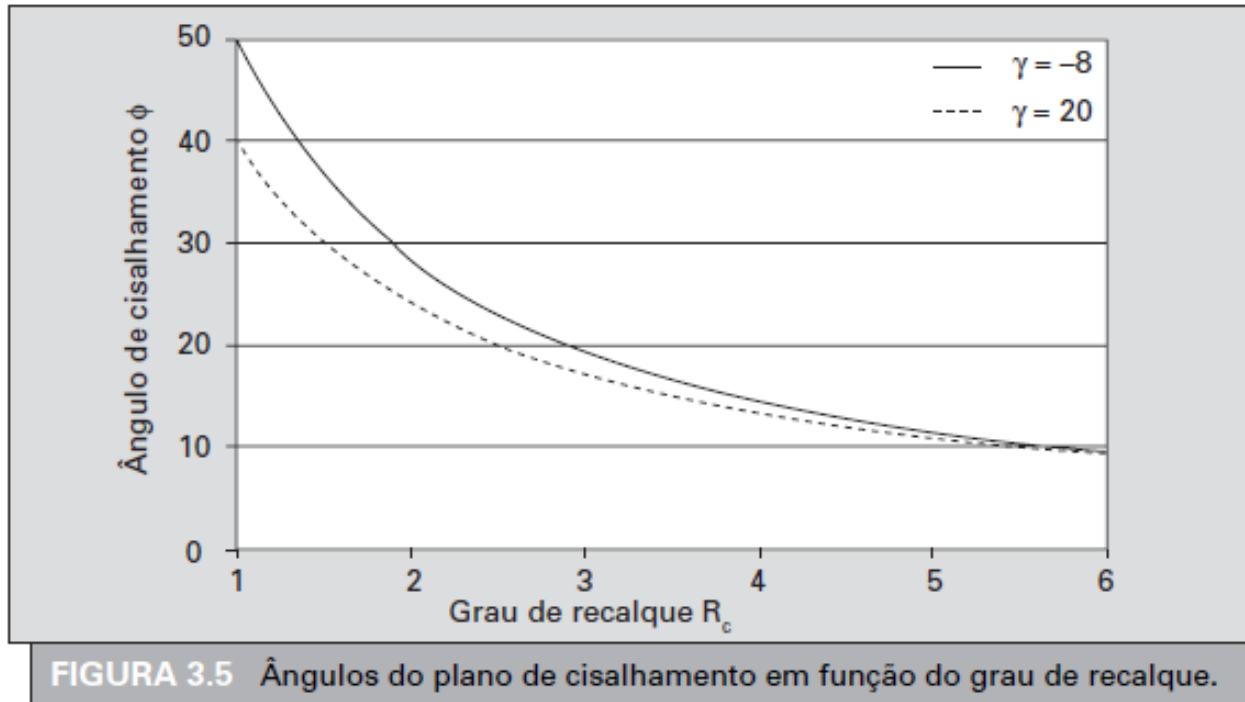
$$r = \frac{t_o}{t_c} \qquad \begin{aligned} t_o &= l_s \operatorname{sen} \phi \\ t_c &= l_s \cos (\phi - \alpha) \end{aligned}$$

$$r = \frac{l_s \operatorname{sen} \phi}{l_s \cos (\phi - \alpha)} = \frac{\operatorname{sen} \phi}{\cos (\phi - \alpha)}$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \operatorname{sen} \alpha}$$

# Razão de Espessura (Grau de Recalque)

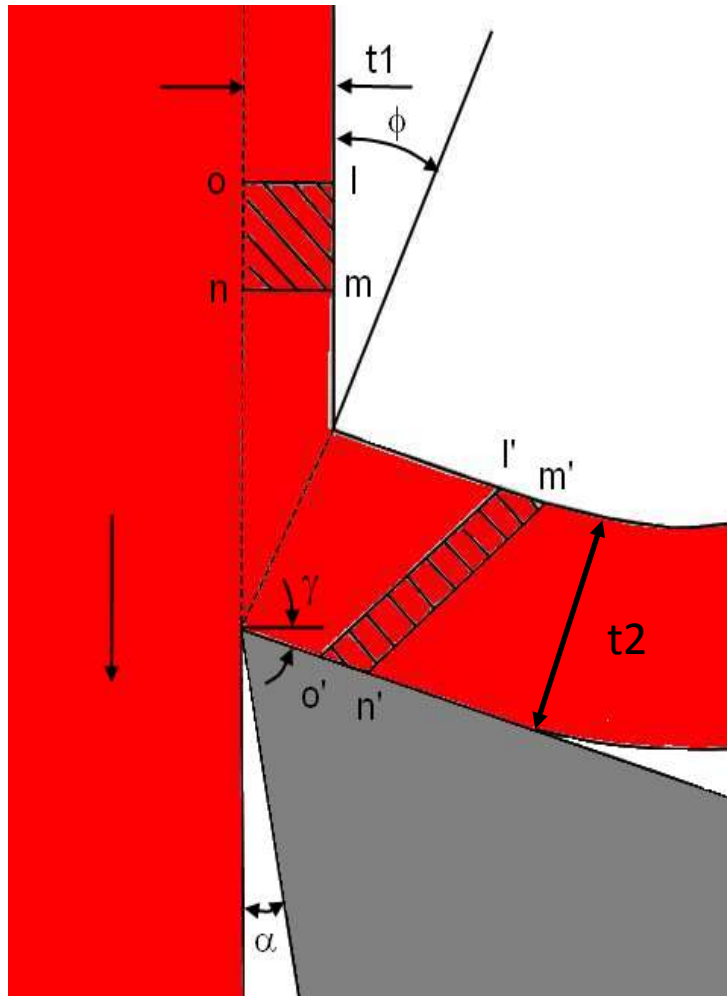
---



Teoria da Usinagem dos Materiais – Álisson R. Machado, Alexandre M. Abrão, Reginaldo T. Coelho e Márcio B. da Silva

# Recalque do material na formação do cavaco.

UFRJ



Elemento do material na peça:  
=>  $l m n o$  espessura  $t_0$  ( $h$ )

Mesmo elemento no cavaco:  
=>  $l' m' n' o'$  espessura do cavaco  $t_c$ .

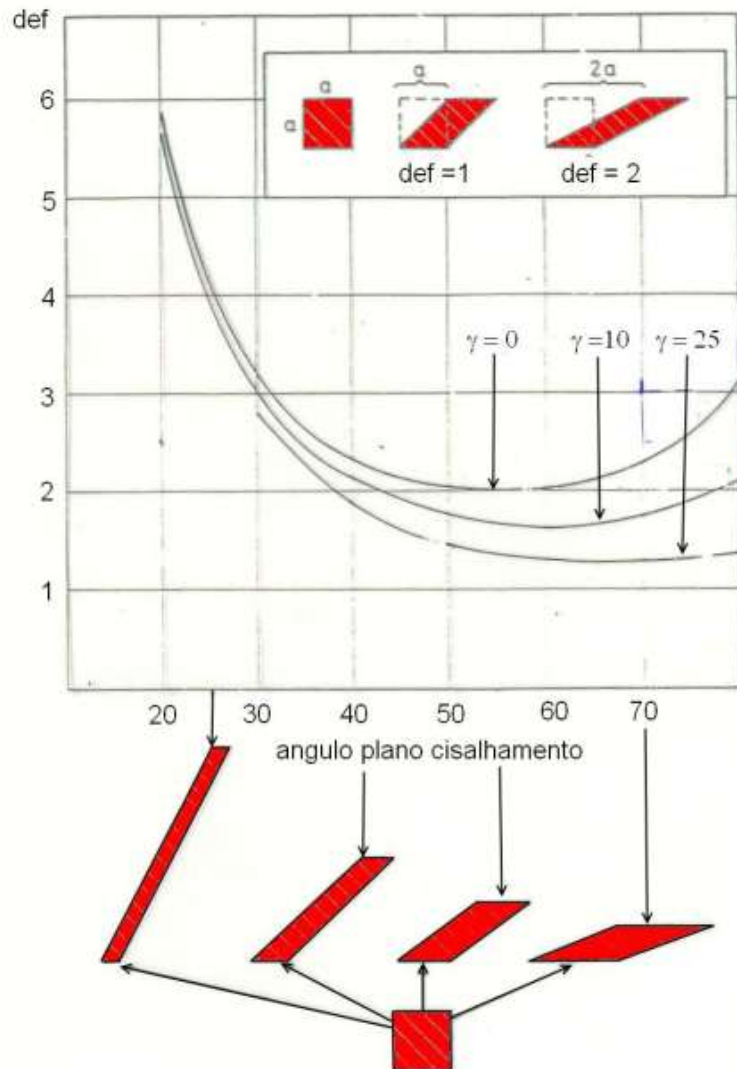
O recalque fez com que a espessura aumentasse de  $t_0$  para  $t_c$ .

Este comportamento é observado em materiais dúteis.

Em materiais frágeis ou aços de alta resistência  $t_0$  é aproximadamente igual à  $t_c$ .

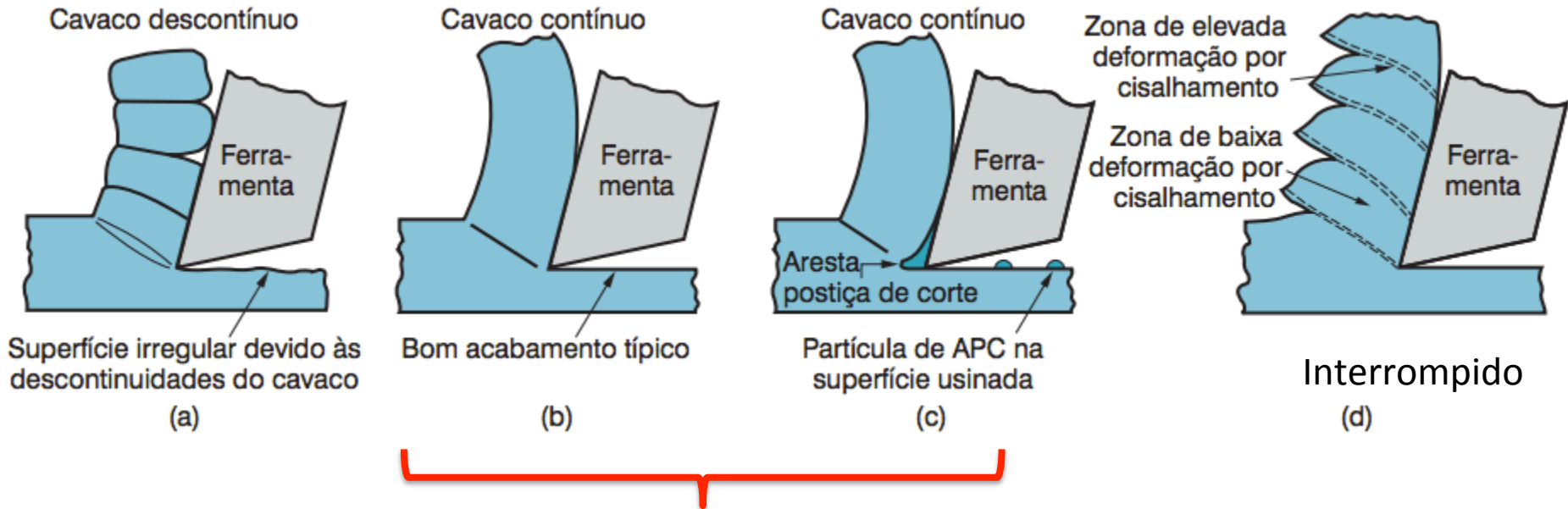
# Deformação do elemento do material no cavaco.

UFRJ

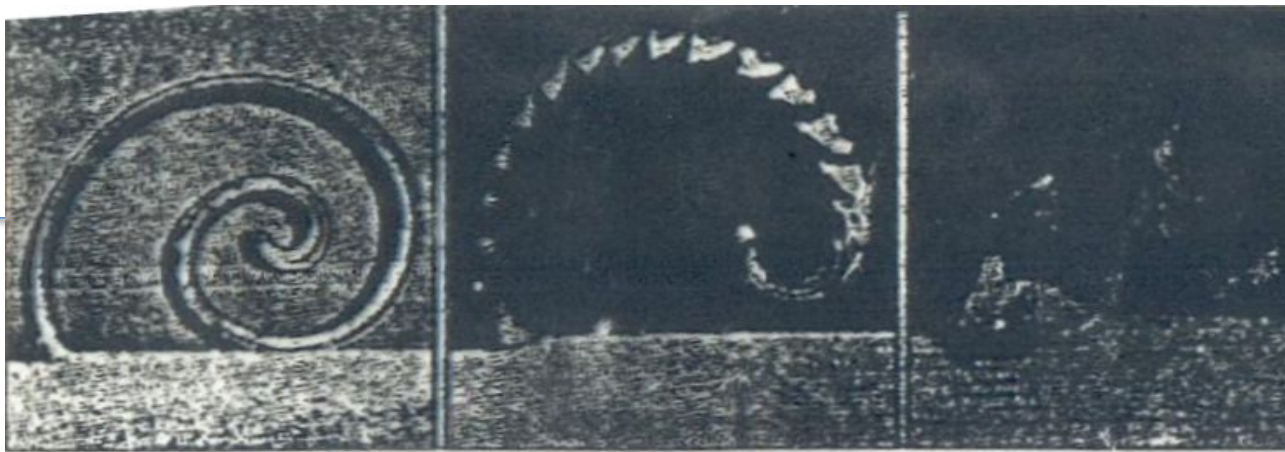


Os ângulos do plano cisalhamento e de saída da ferramenta exercem grande influência na deformação do material (recalque) durante a formação do cavaco.

# Formação de Cavacos (tipos)



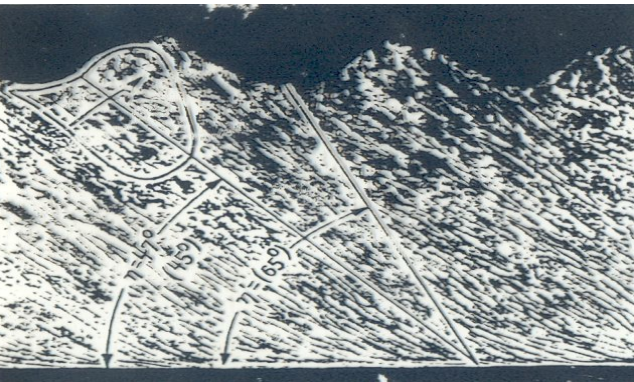
Se a região de deformações é semelhante em (b) e (c),  
quais as outras influências?



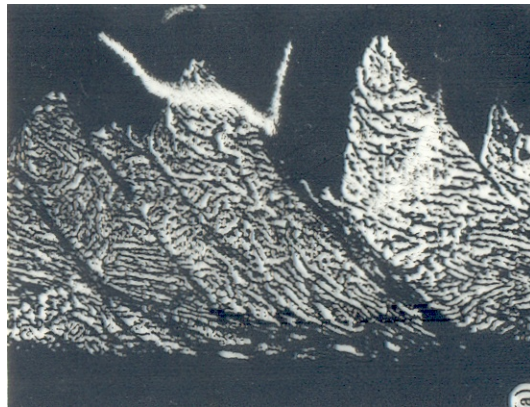
a)  $\gamma = +20^\circ$

b)  $\gamma = 0^\circ$

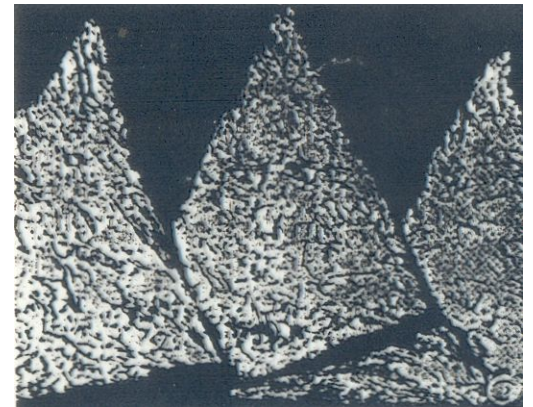
c)  $\gamma = -20^\circ$



(a) contínuo



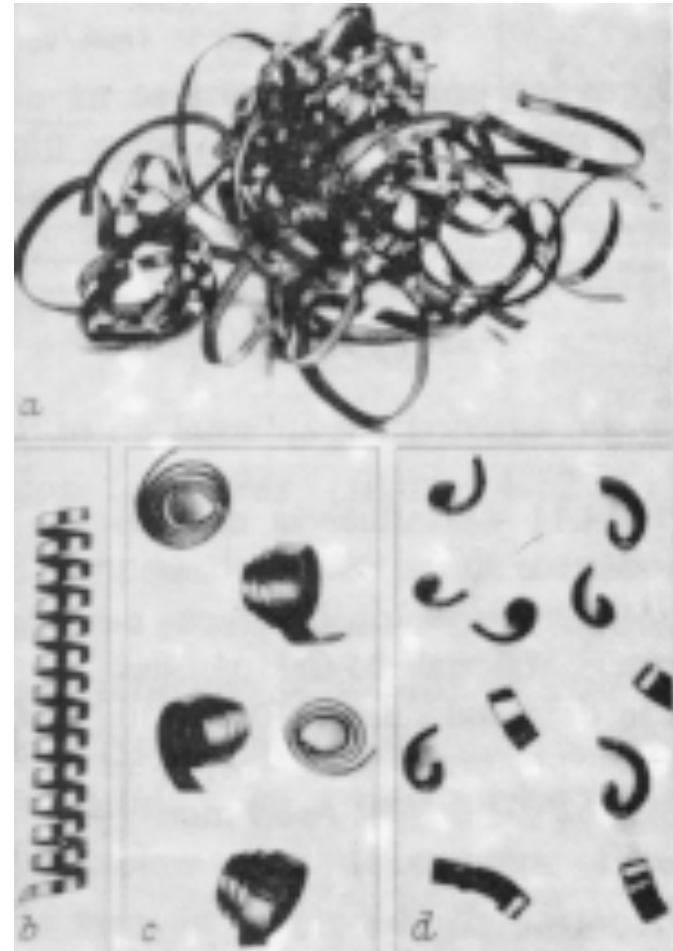
(b) cisalhado



(c) interrompido

# Formas de cavacos

- em fita
- helicoidal
- espiral
- em lascas

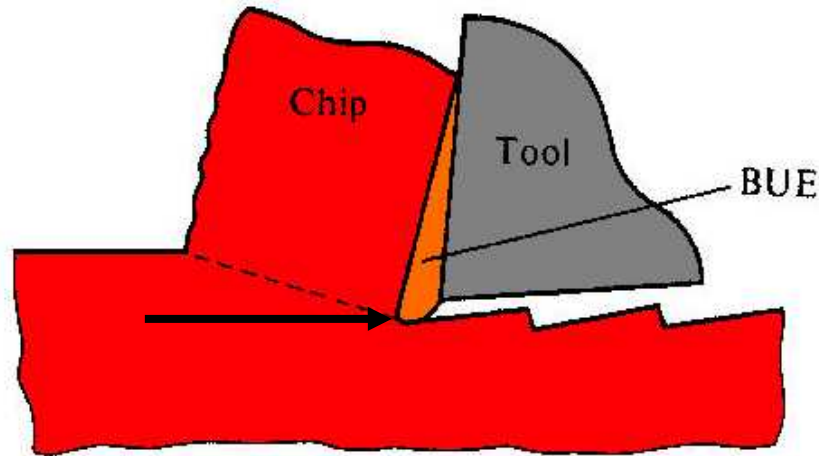




# Aresta postiça de corte (APC)

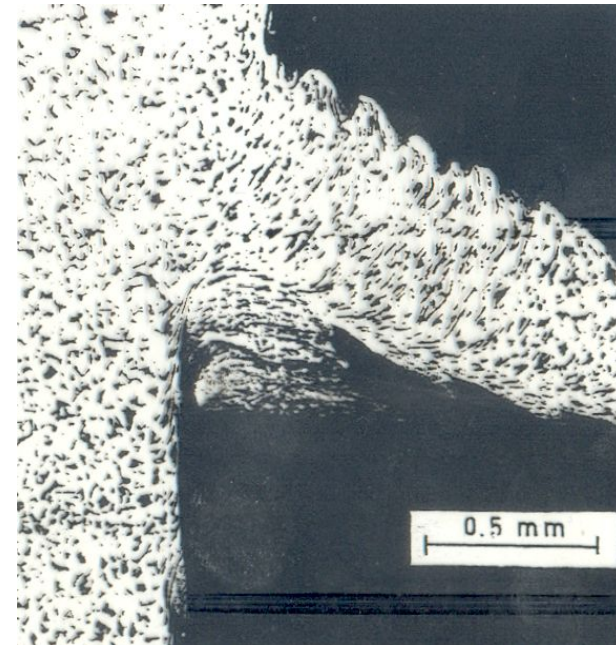
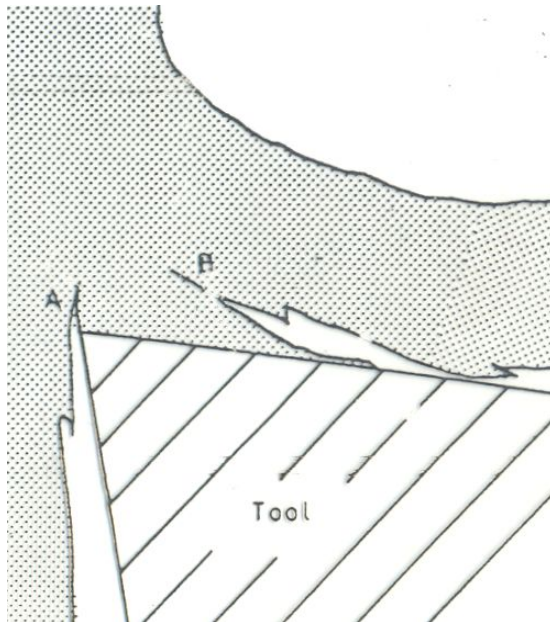
UFRJ

Aresta postiça de corte  
( Build-up edge BUE)



É uma porção de material que fica aderida na superfície de saída da ferramenta próxima a ponta da ferramenta. A APC ocorre durante a usinagem de materiais dúteis em uma faixa de velocidades relativamente baixas.

## Aresta postiça de corte (APC)



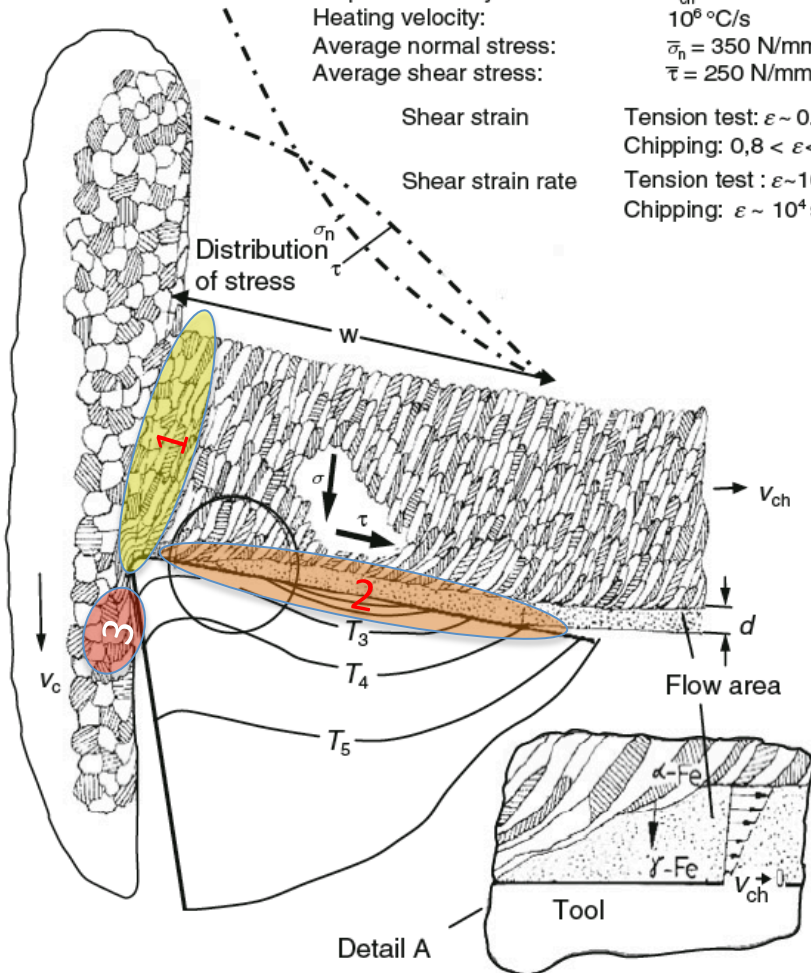
A aresta postiça causa desgaste prematuro da ferramenta e baixa qualidade da superfície usinada.

# Regiões de Energia no Corte

Workpiece Material: C45E; Tool Material: HW-P20;  $a_p = 2$  mm;  $f = 0.25$  mm;  $v_c = 160$  m/min

Cutting temperature:  $T_1 \sim 1030$  °C  
 Chip flow velocity:  $v_{ch} = 67$  m/min  
 Heating velocity:  $10^6$  °C/s  
 Average normal stress:  $\bar{\sigma}_n = 350$  N/mm<sup>2</sup>  
 Average shear stress:  $\bar{\tau} = 250$  N/mm<sup>2</sup>

Shear strain                    Tension test:  $\epsilon \sim 0.2$   
    Chipping:  $0.8 < \epsilon < 4.0$   
 Shear strain rate            Tension test:  $\dot{\epsilon} \sim 10^{-3}$  s<sup>-1</sup>  
    Chipping:  $\dot{\epsilon} \sim 10^4$  s<sup>-1</sup>



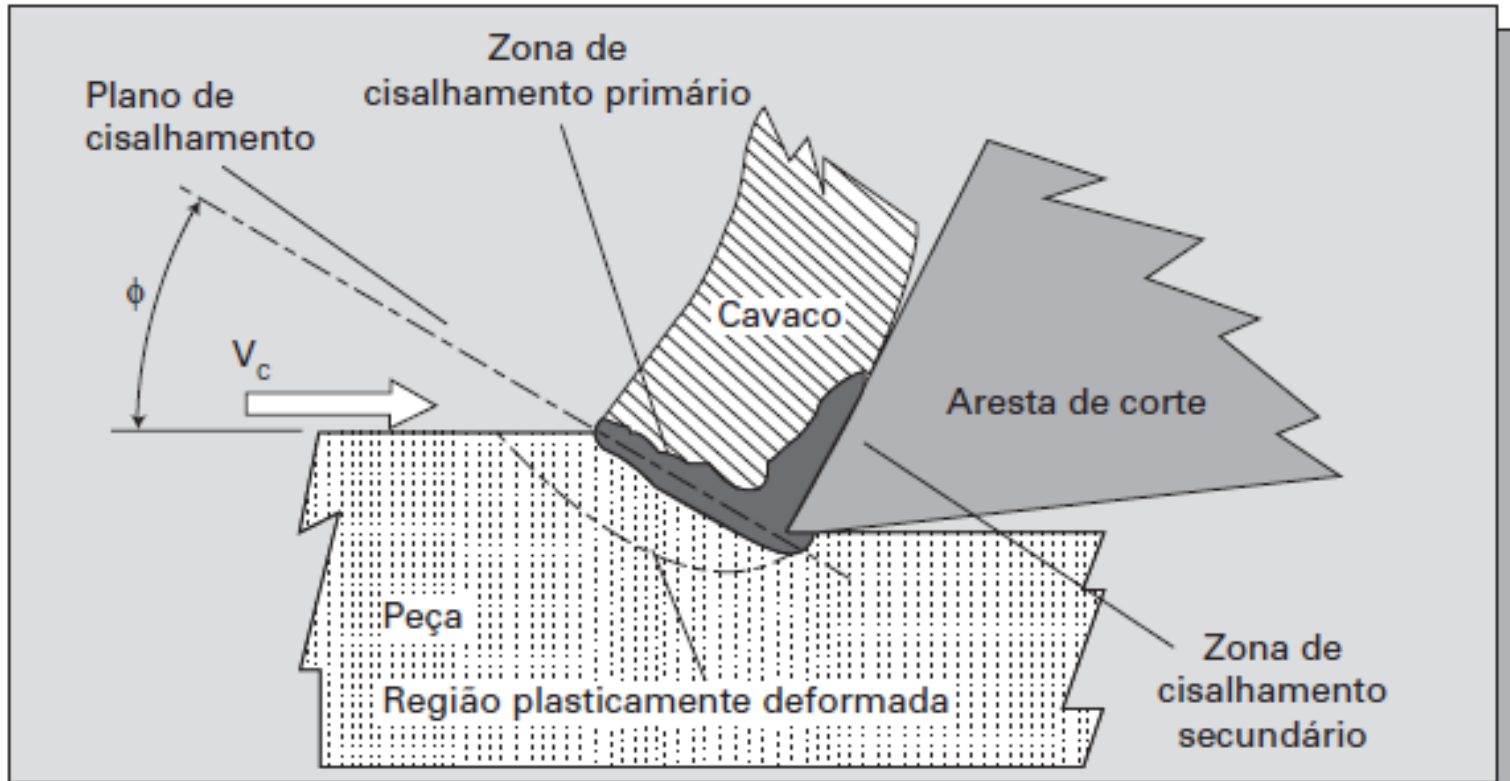
1- Região Principal de Deformações (simplificada pelo plano de cisalhamento)

2-Região Secundária de Deformações (Contato Cavaco-Ferramenta)

3-Região de Contato Superfície de Folga (Flanco) com a Superfície Usinada

Fig. 3.13 Conditions of the cutting process, acc. to KÖNIG [Köni67]

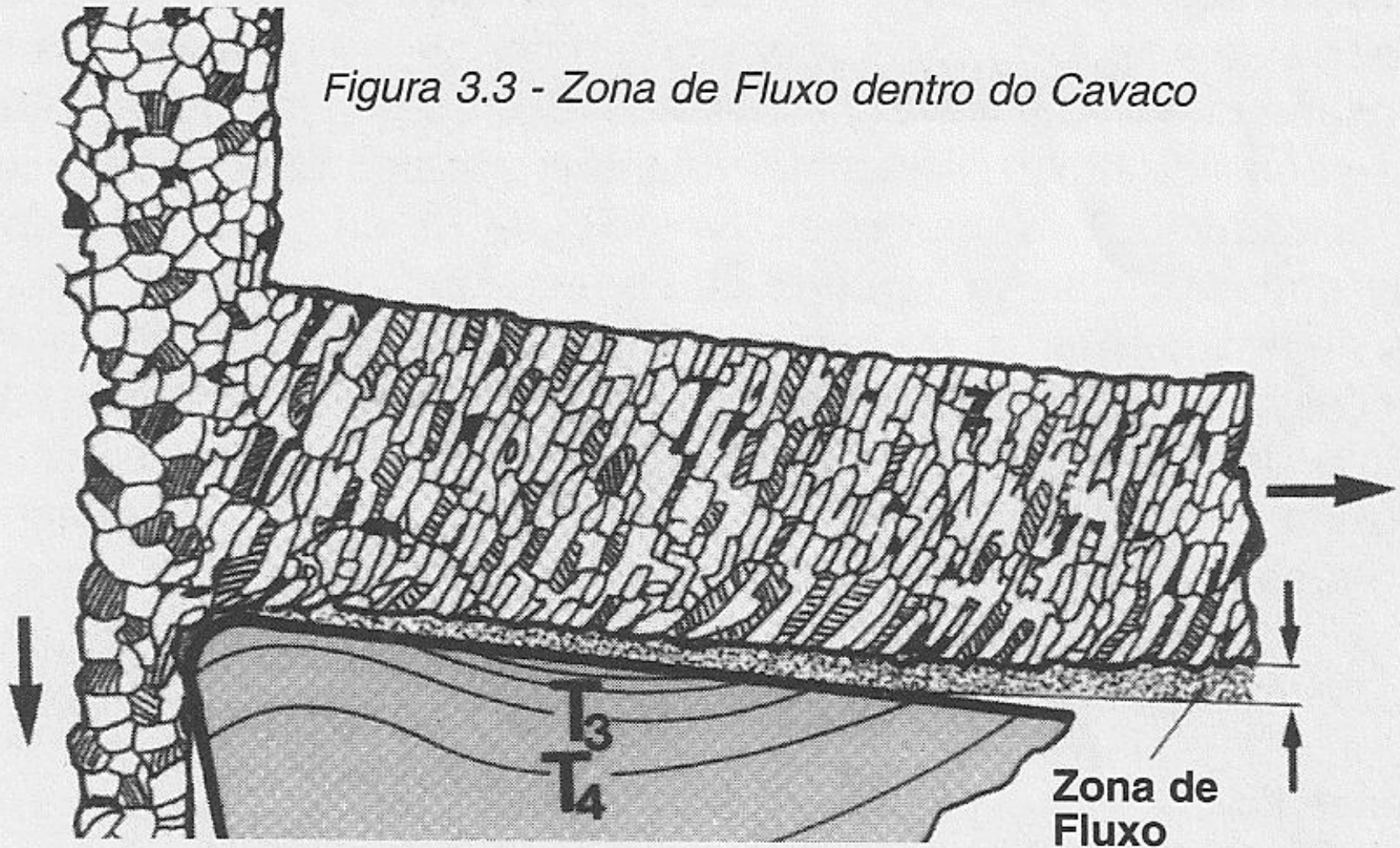
# Regiões do Corte



**FIGURA 3.1** Mecanismo de formação de cavacos.

# Contato Cavaco-Ferramenta

Figura 3.3 - Zona de Fluxo dentro do Cavaco



# Contato Cavaco-Ferramenta

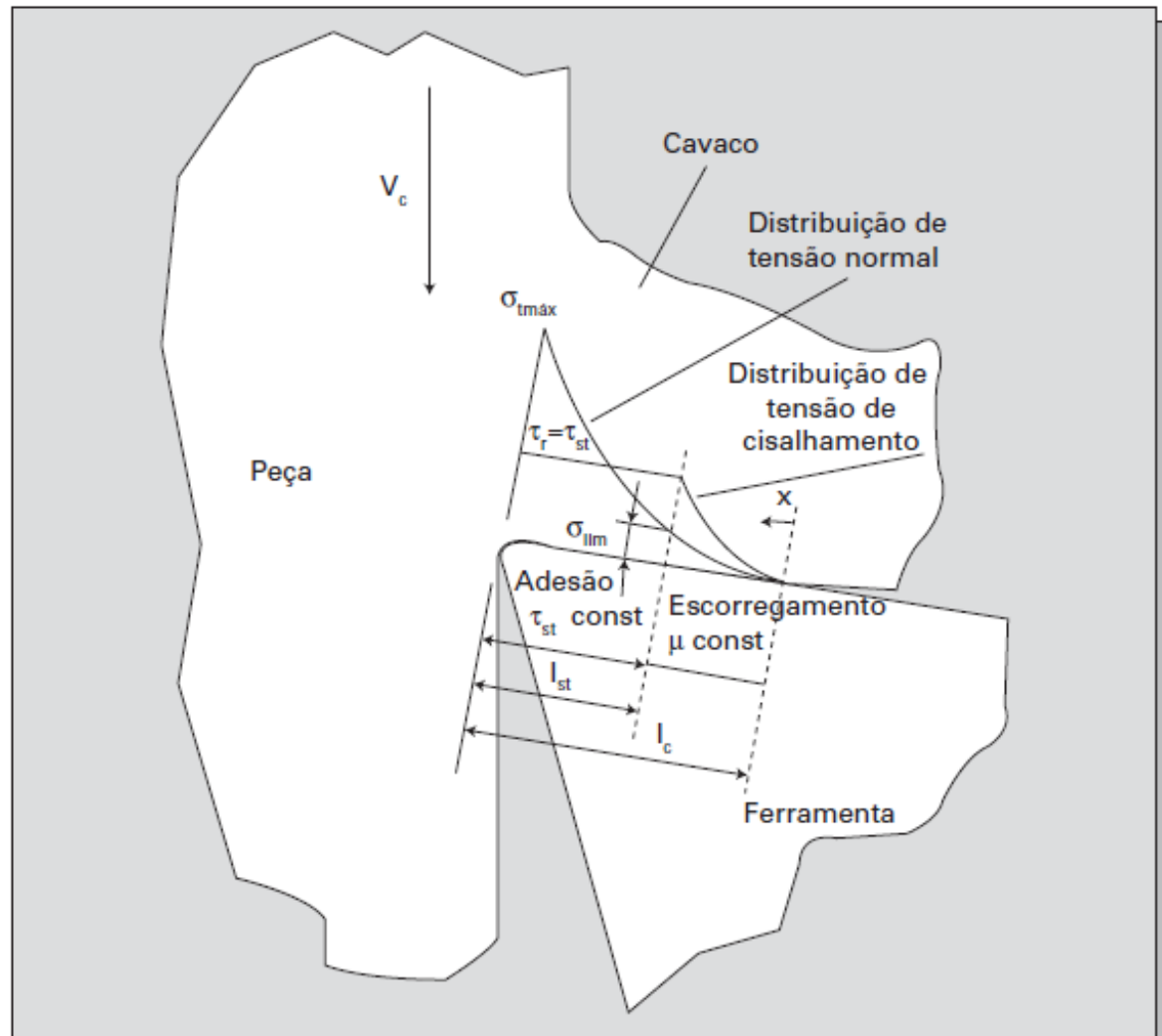
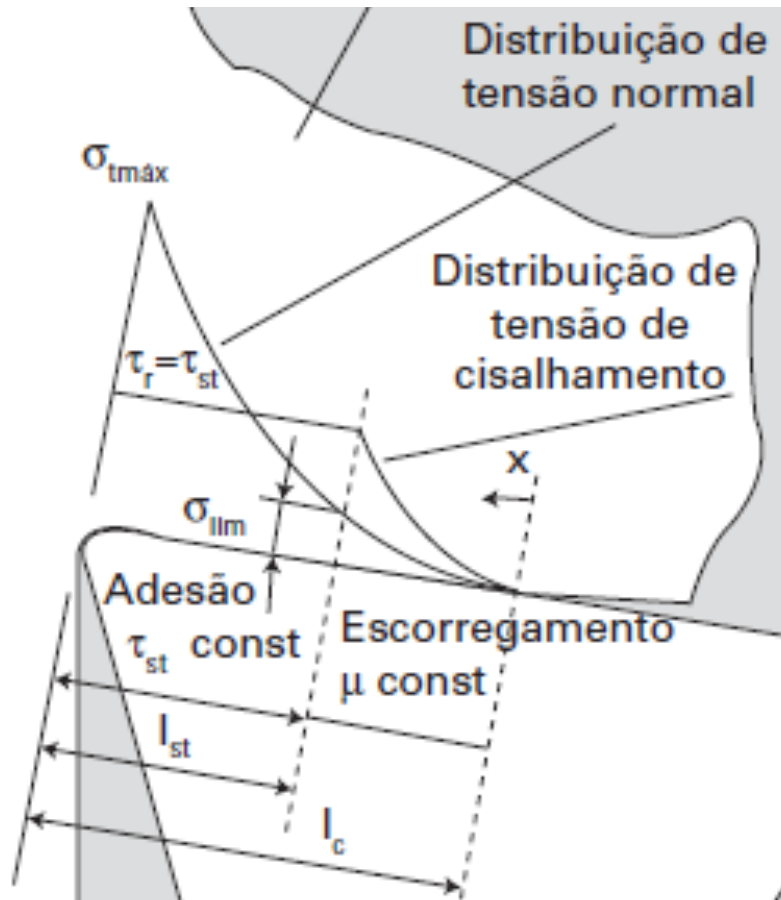


FIGURA 3.21 Modelo de distribuição de tensão na superfície de saída da ferramenta (ZOREV, 1963).

# Contato Cavaco-Ferramenta (Atrito)



Região de Adesão (Agarramento) – Quando a Tensão de Cisalhamento é a máxima, ou seja, a de escoamento

Região de Escorregamento (Atrito de Coulomb) – Quando a Tensão de Cisalhamento é proporcional à Tensão Normal

# Alteração da forma do cavaco

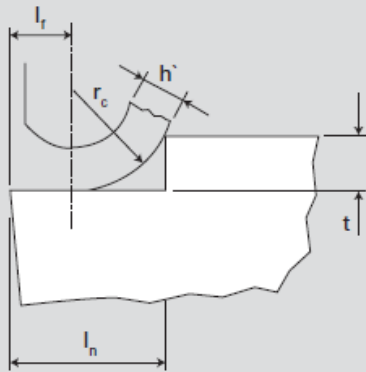


FIGURA 3.14 Quebra-cavacos integral tipo I: anteparo (BOOTHROYD, 1981).

## Quebra Cavacos

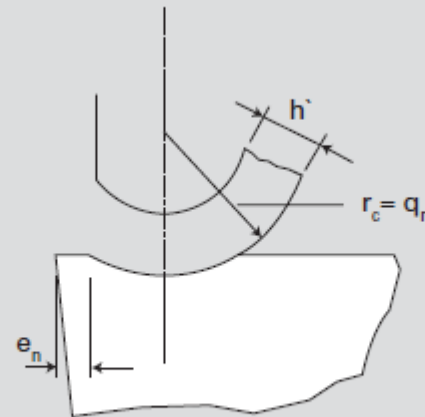
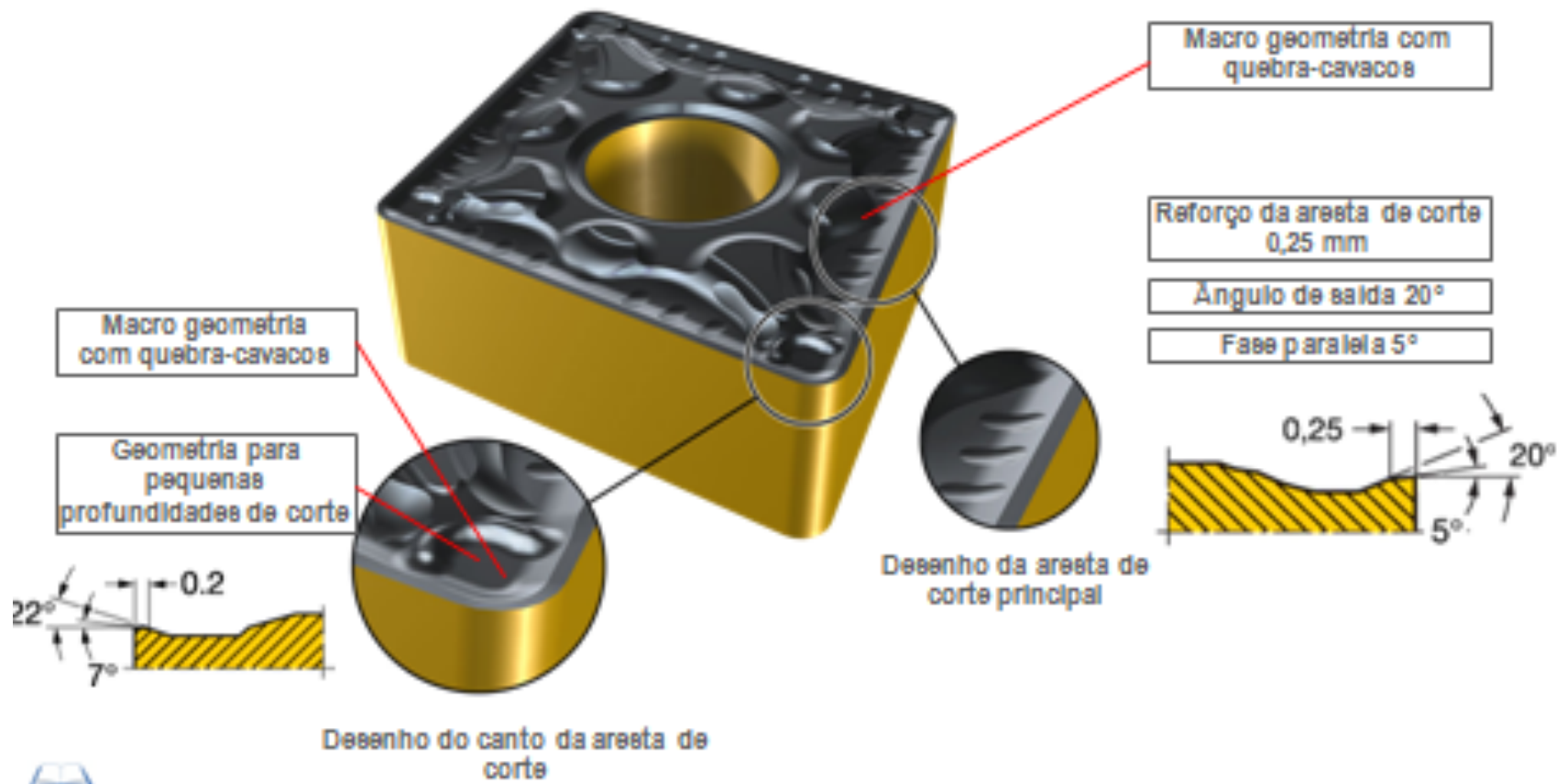


FIGURA 3.15 Quebra-cavacos integral tipo II: cratera (BOOTHROYD, 1981).




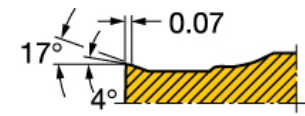
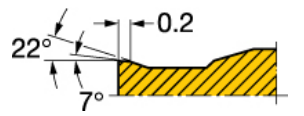
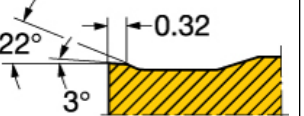
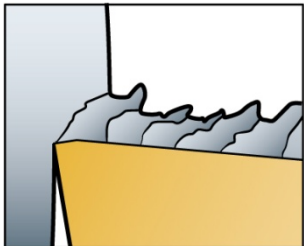
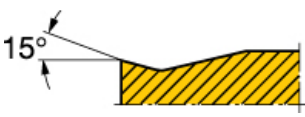
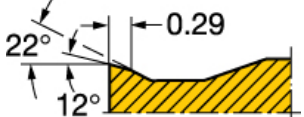
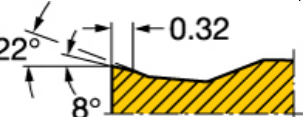
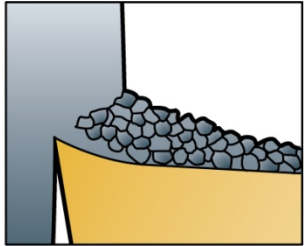
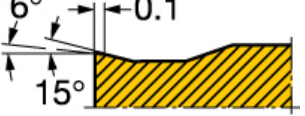
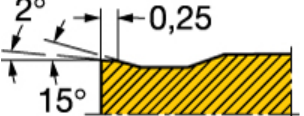

# Alteração da forma do cavaco



# Alteração da forma do cavaco

ap e f baixos      ap e f médios      ap e f altos

Aços

Material da peça	Acabamento	Usinagem Média	Desbaste
			
			
			

# Simplificação de Merchant

- 1) Força da Ferramenta no Cavaco é igual a Força de Resistência do Cavaco na Ferramenta
- 2) Região de Adesão é Despresada para o Cálculo da Força. O Atrito de Coulomb é considerado.
- 3) A Aresta de Corte é afiada e não há raio de arredondamento da aresta de corte.

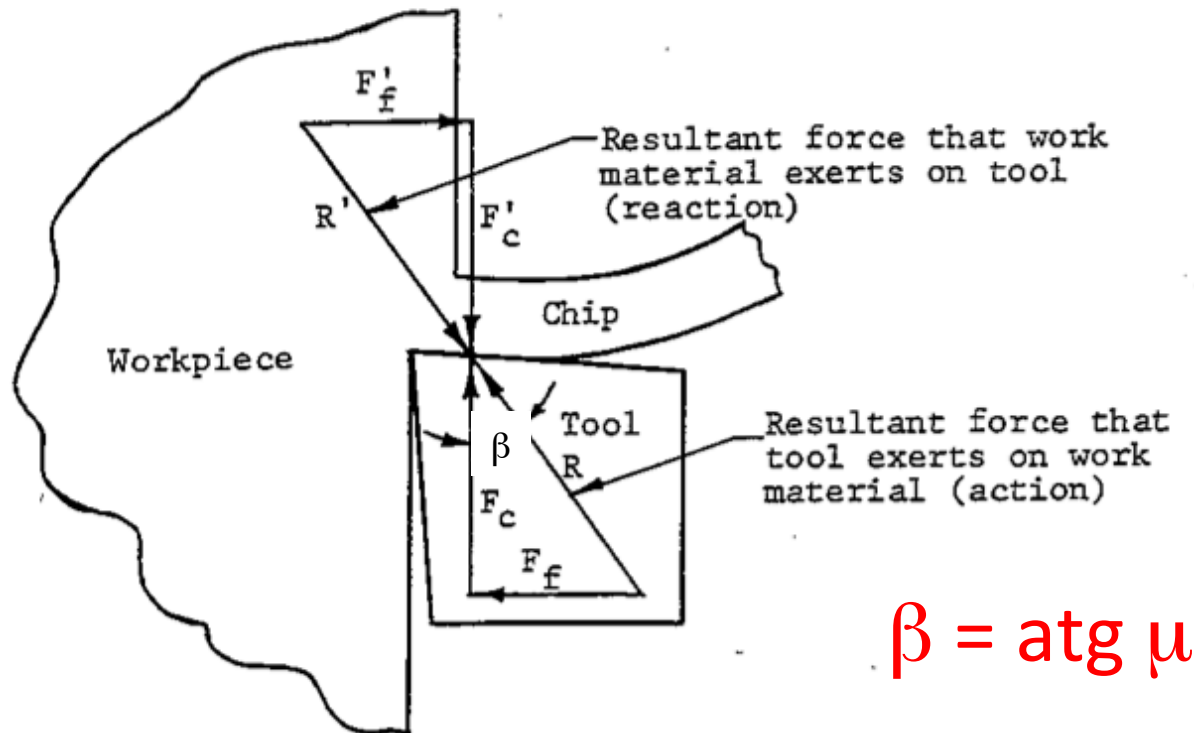


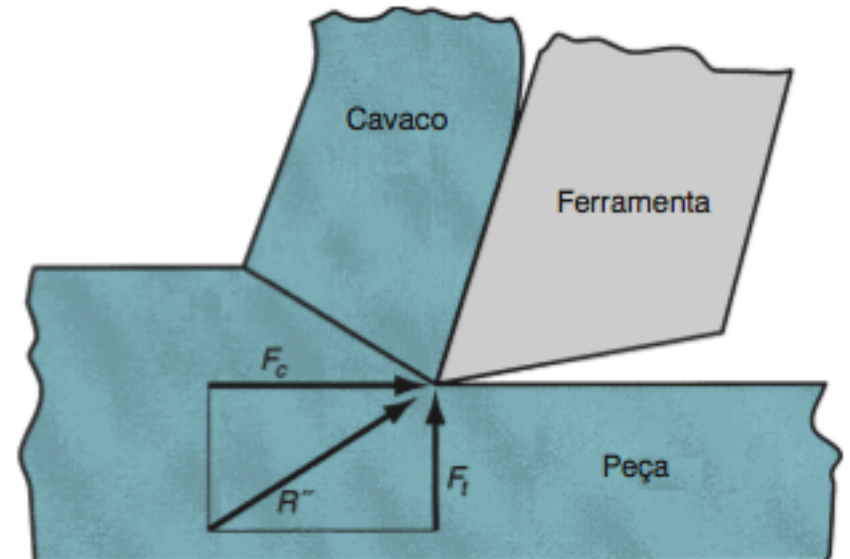
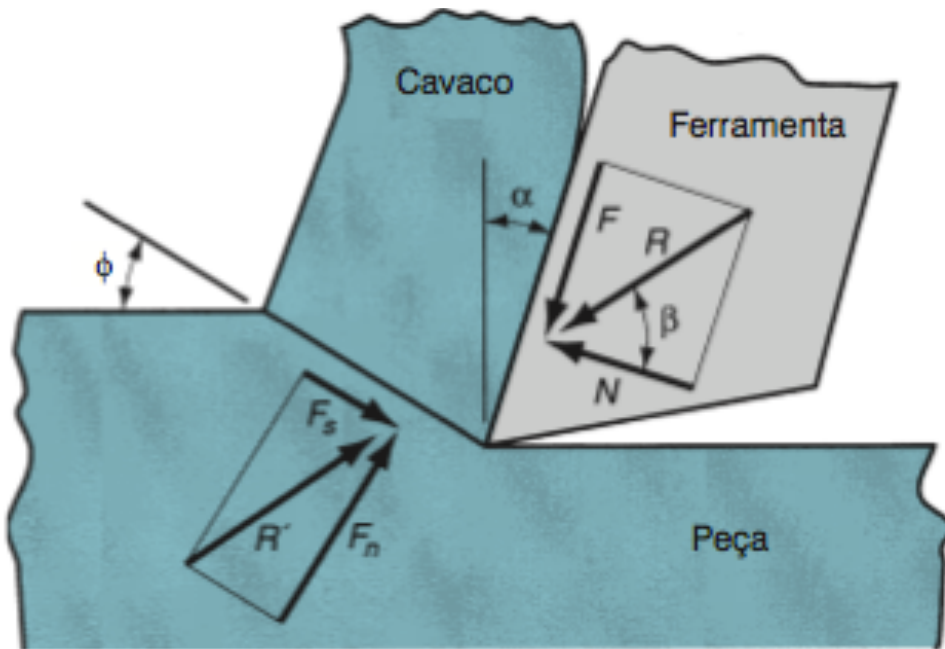
Fig. 4.3. Resultant forces acting in metal cutting process.

# Força de Usinagem (R)

uos.

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi$$

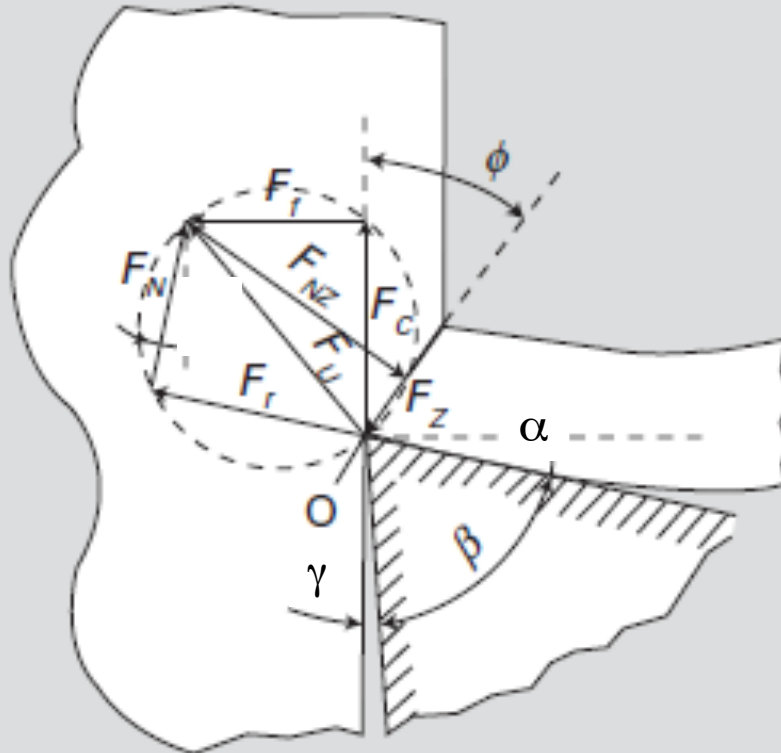
$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi$$



$$F = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha$$

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha$$

# Força de Usinagem (R)



**FIGURA 4.3** Força de usinagem e suas decomposições no plano de cisalhamento, na superfície de saída e nas direções de corte e de avanço.

# Força de Usinagem (R)

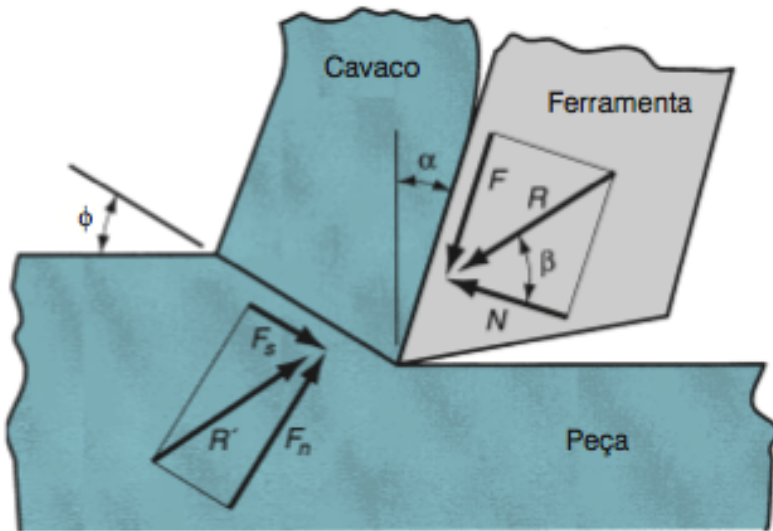
$$\mu = \frac{F}{N}$$

$$\mu = \operatorname{tg} \beta$$

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

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

↓  
 $\tau = \tau_s$



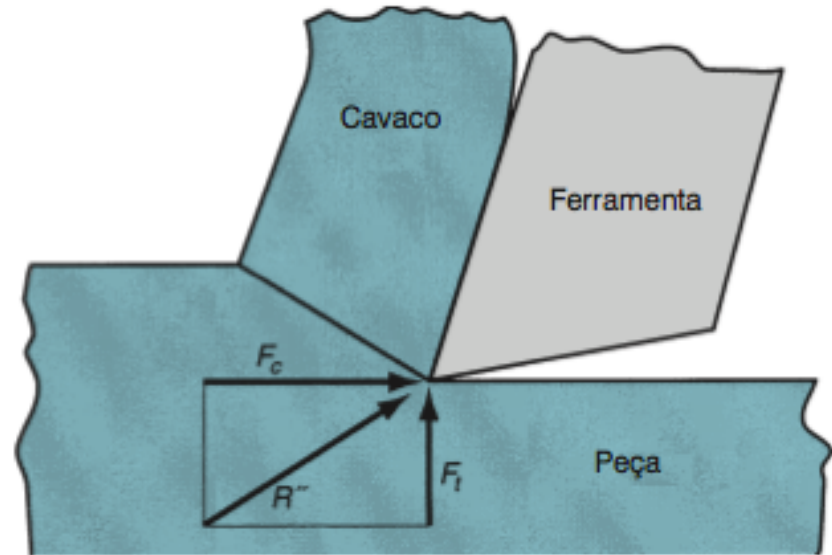
# Composição das Forças (caderno)

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

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

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

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



$$F_c = \tau_s \cdot w \cdot t_o \frac{\operatorname{cos}(\beta - \alpha)}{\operatorname{sen}(\phi) \operatorname{cos}(\phi + \beta - \alpha)}$$

$$F_t = \tau_s \cdot w \cdot t_o \frac{\operatorname{sen}(\beta - \alpha)}{\operatorname{cos}(\phi) \operatorname{cos}(\phi + \beta - \alpha)}$$

# Exercícios

---

## Exemplo 15.1 Corte Ortogonal

Em uma operação de usinagem que aproxima o corte ortogonal, a ferramenta de corte tem ângulo de saída =  $10^\circ$ . A espessura do material que será removido (espessura do cavaco antes de sofrer a deformação ou espessura do cavaco indeformado)  $t_o = 0,50$  mm e a espessura do cavaco (após o corte)  $t_c = 1,125$  mm. Calcule o ângulo do plano de cisalhamento e a deformação de cisalhamento na operação.

## Exemplo 15.2 Tensão de Cisalhamento na Usinagem

Suponha, no Exemplo 15.1, que a força de corte e a força de penetração sejam medidas durante uma operação de corte ortogonal:  $F_c = 1559$  N e  $F_t = 1271$  N. A largura da operação de corte ortogonal é  $w = 3,0$  mm. Com base nesses dados, determine a resistência ao cisalhamento do material trabalhado.

(tensão de escoamento ao cisalhamento)

Quais as componentes da força de usinagem deste exemplo no plano de cisalhamento e de contato cavaco-ferramenta?