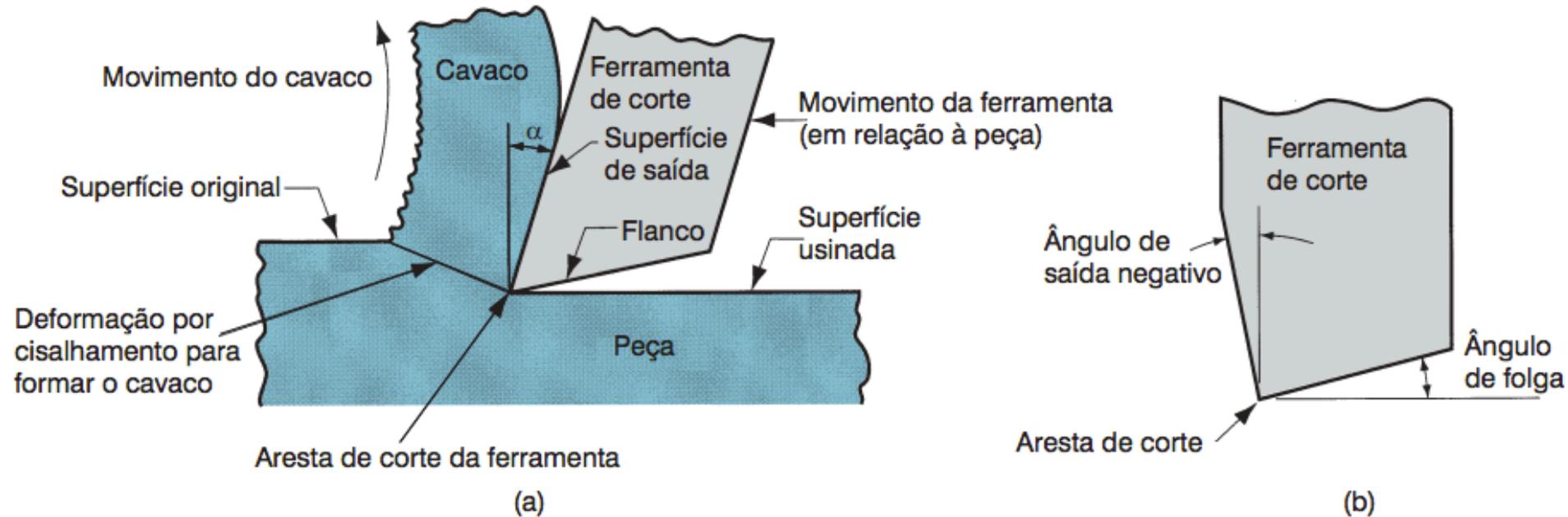

Usinagem I

2014.1

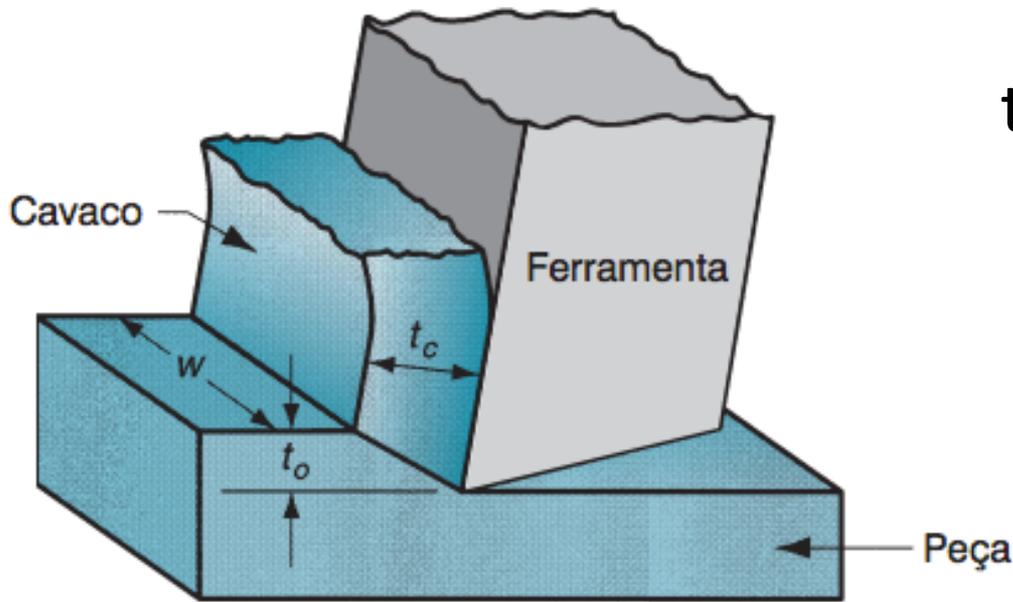
Parte 2 – Aula 9 e 10

Mecânica do Corte / Formação do Cavaco

Mecânica do Corte



Corte Ortogonal – Simplificação do Corte

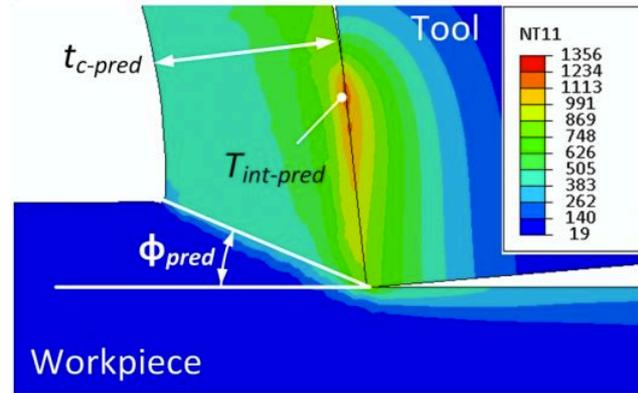


t_c : espessura do cavaco

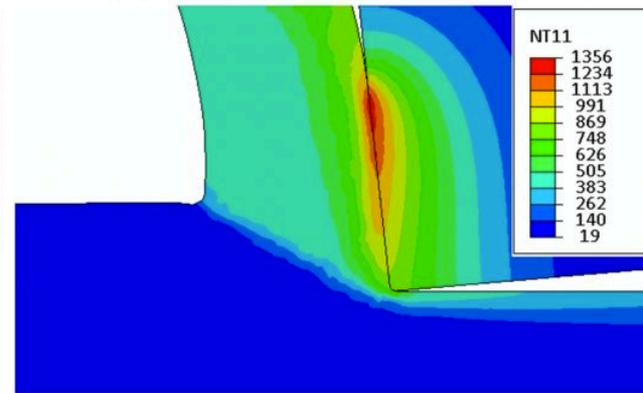
t_o : espessura do cavaco “indeformado”, ou seja, parte da peça que se deseja que vire cavaco

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

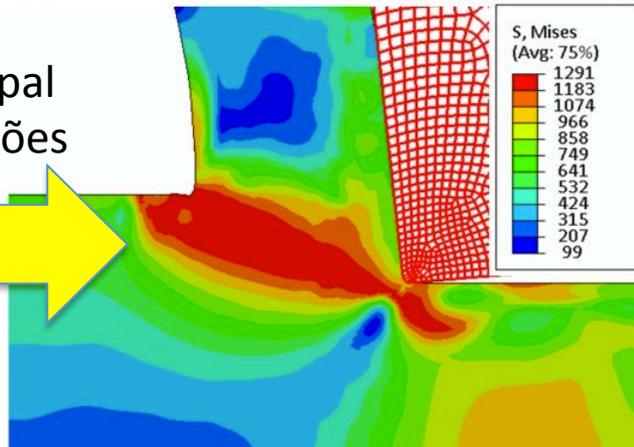
(a) Temperature, $V=200$ m/min



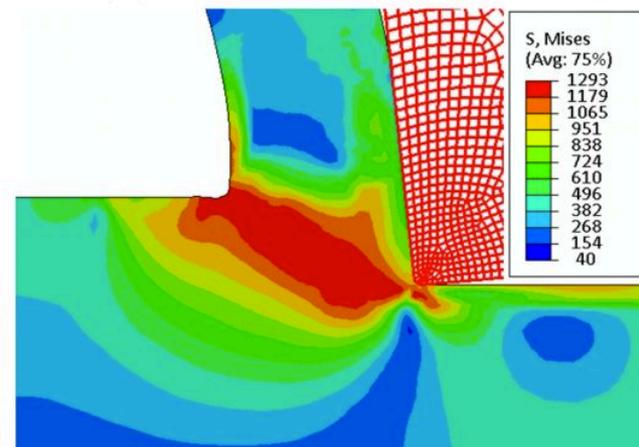
(b) Temperature, $V=300$ m/min



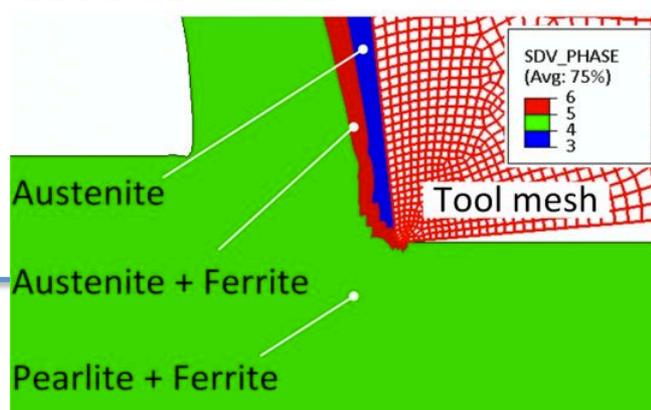
(c) Stress, $V=200$ m/min



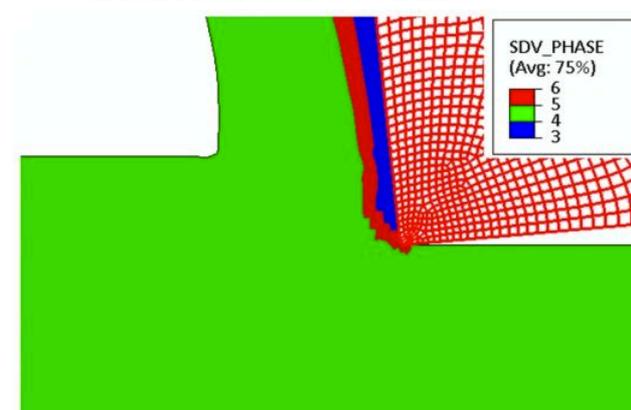
(d) Stress, $V=300$ m/min



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

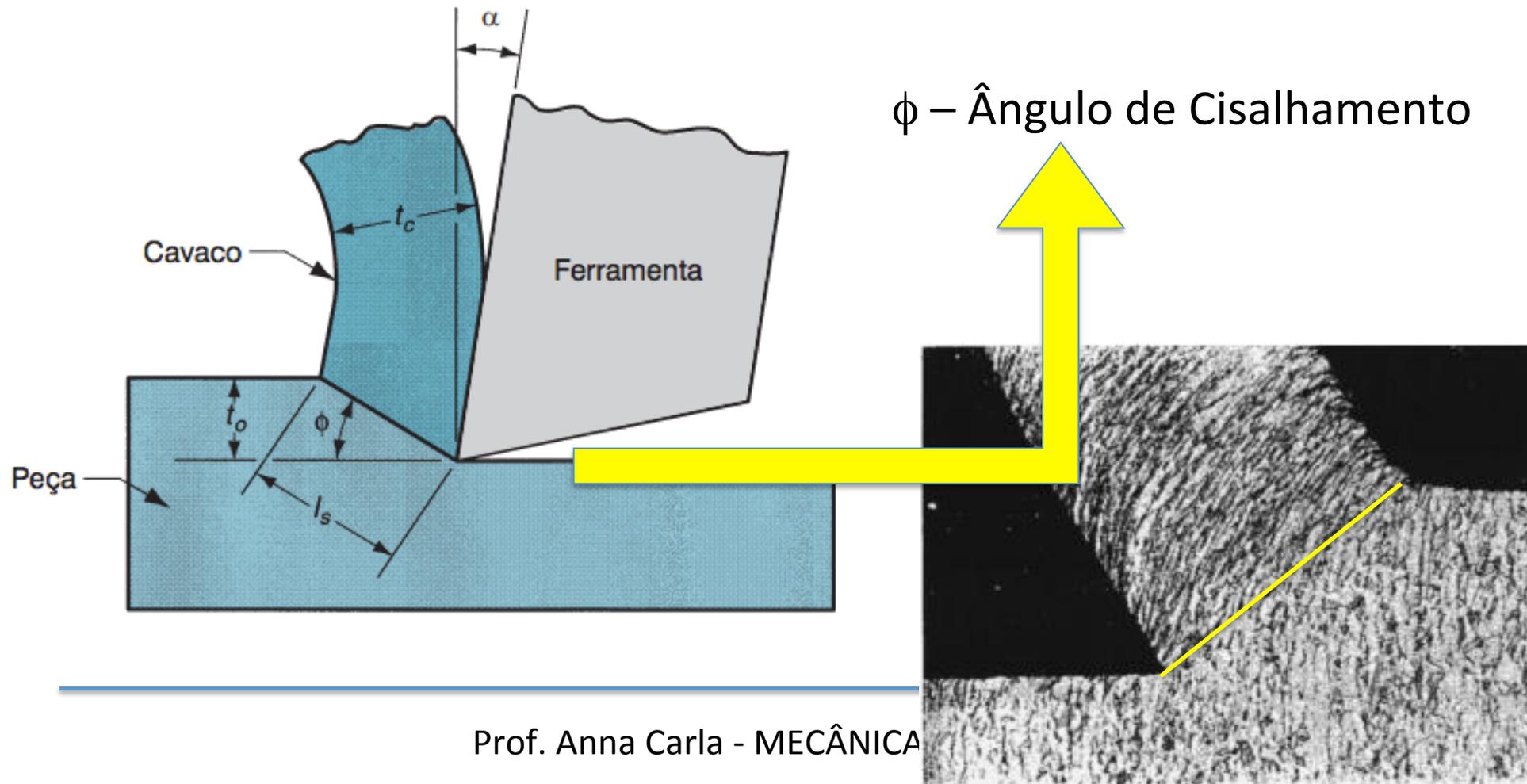


(f) Phase, $V=300$ m/min



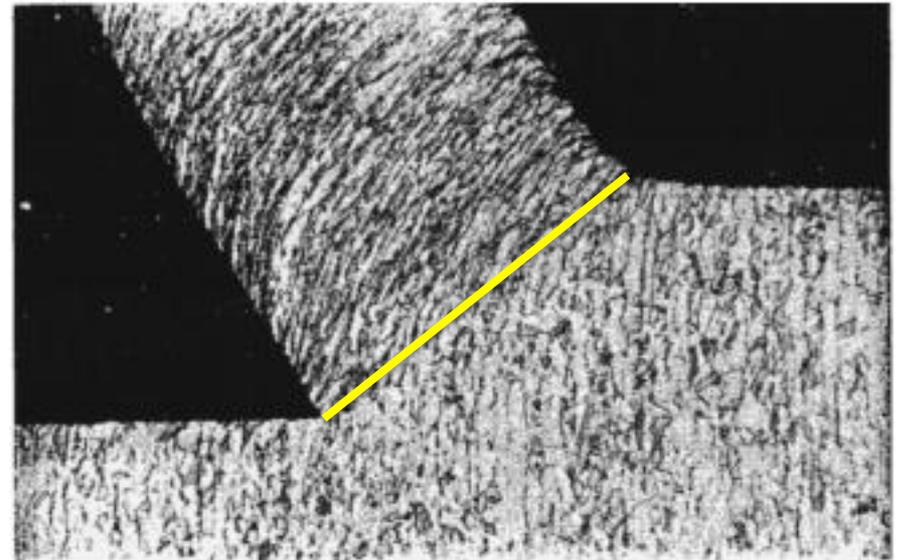
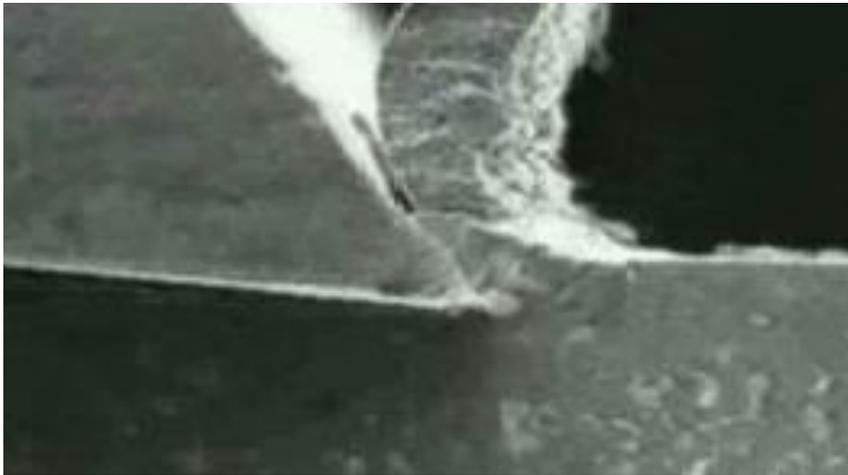
Corte Ortogonal – Simplificação do Corte

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



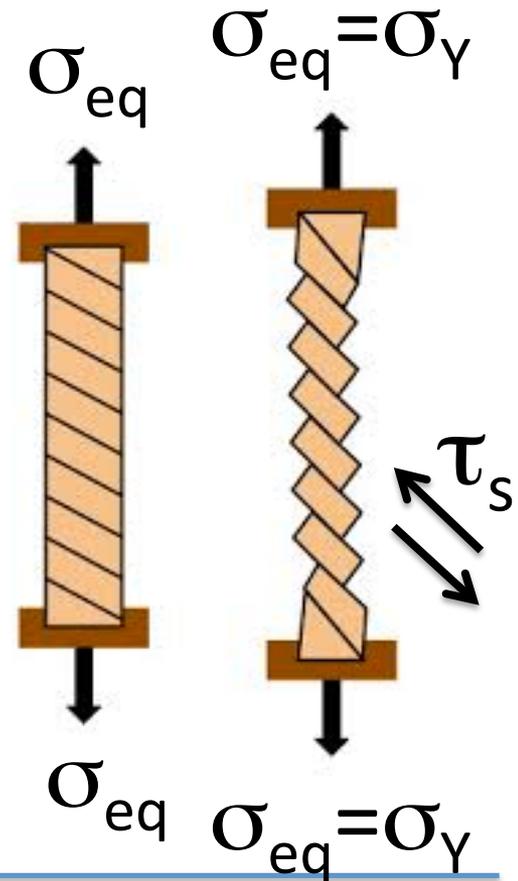
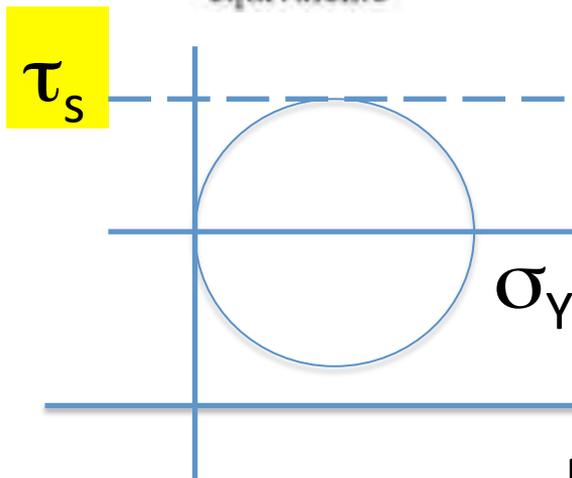
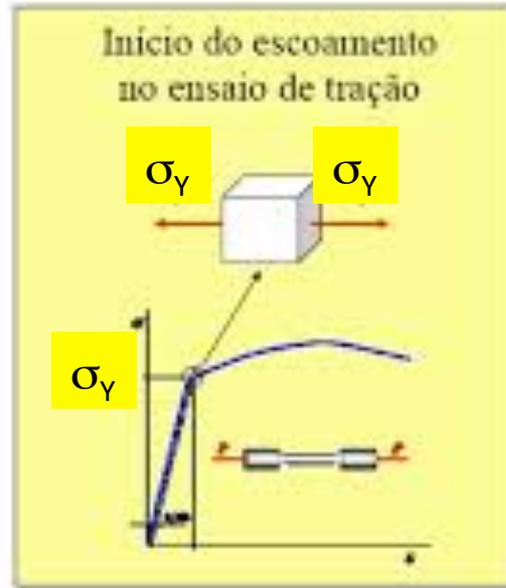
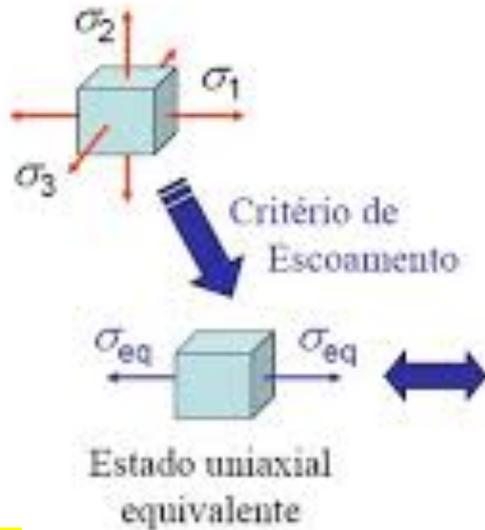
Corte Ortogonal – Simplificação do Corte

Na simplificação a região de deformações é um plano
Localizado pelo Ângulo de Cisalhamento ϕ

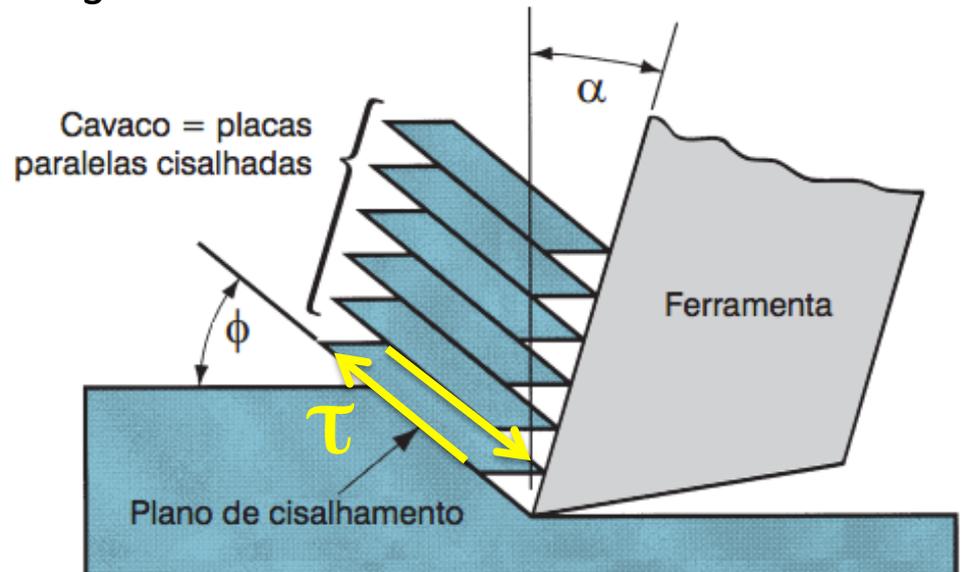
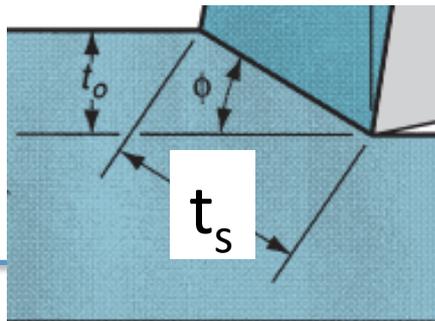
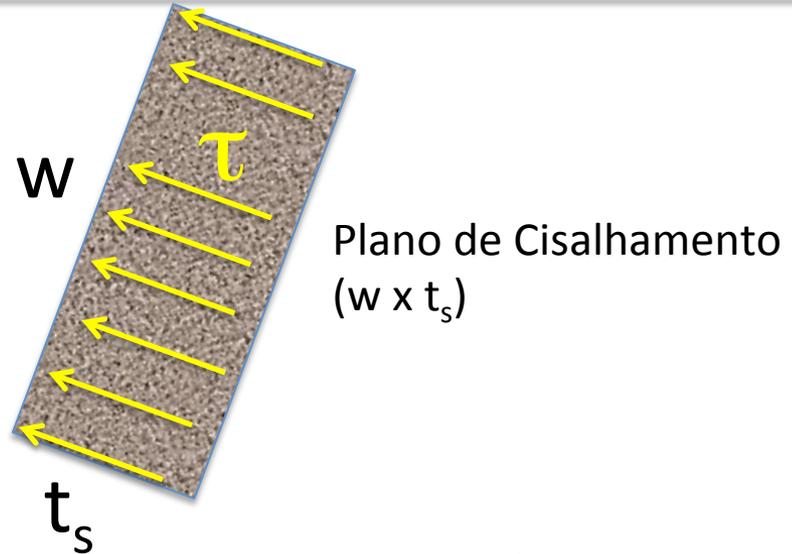
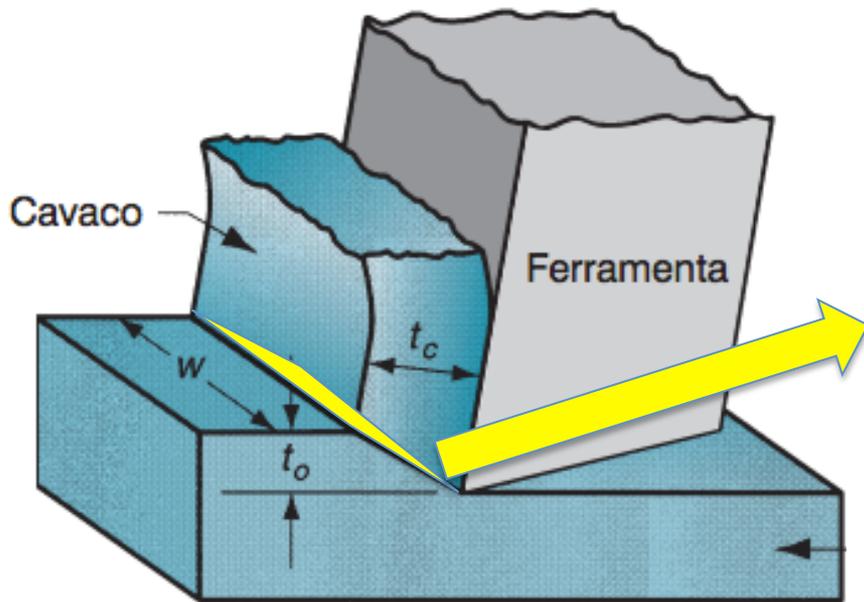


Tensão de Escoamento por Cisalhamento

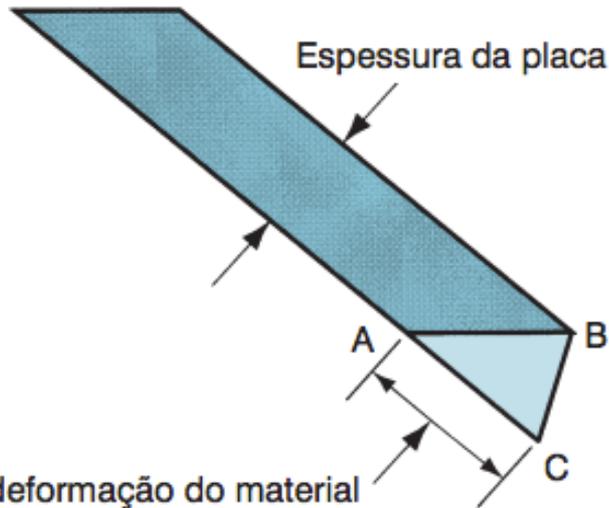
Estado 3D de tensão



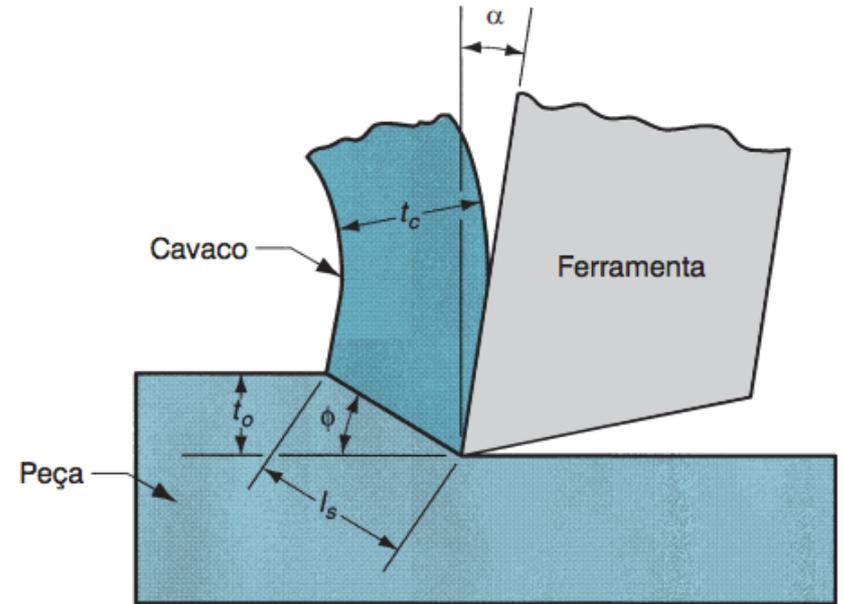
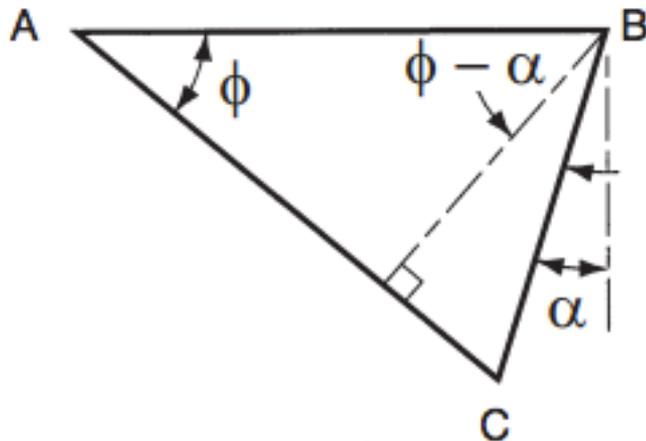
Plano de Cisalhamento



Deformação por cisalhamento



Medida de deformação do material



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

Relação Geométrica (caderno)

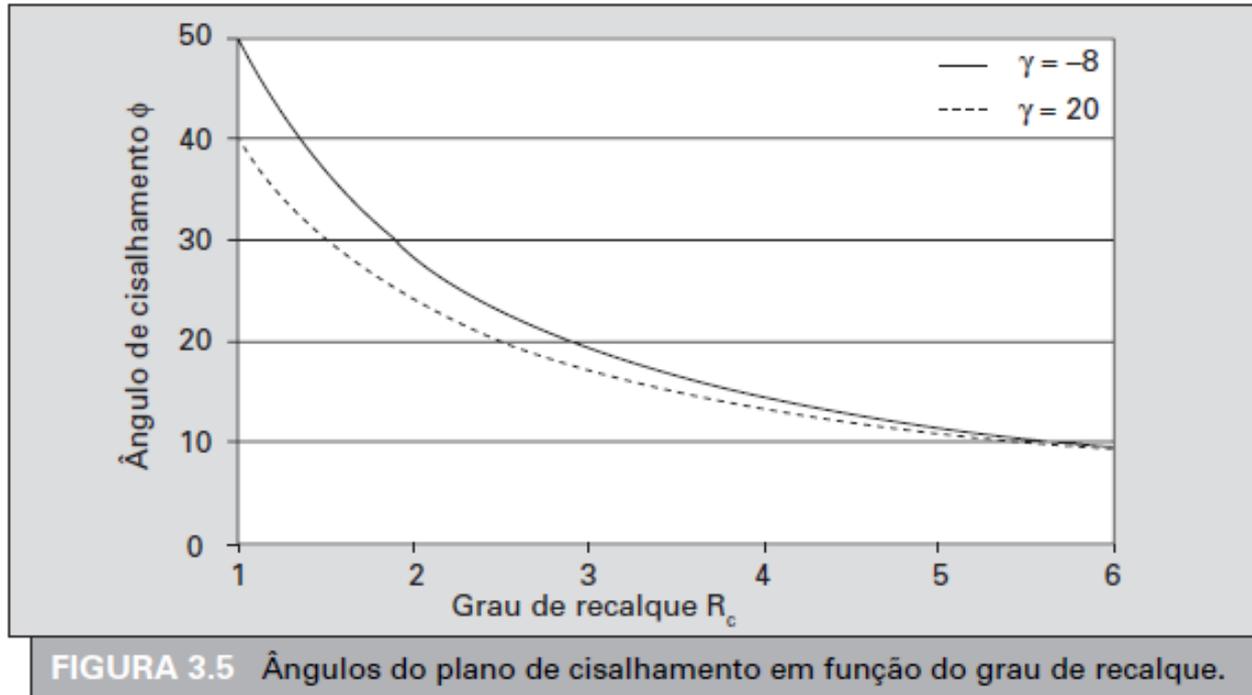
razão de espessura do cavaco

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

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

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

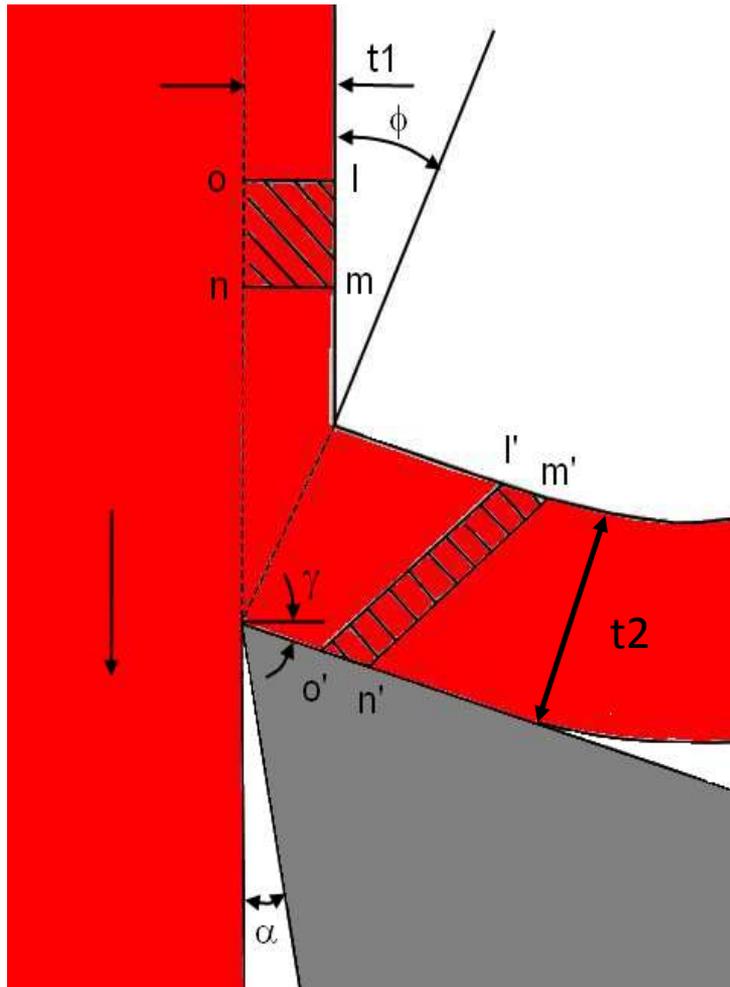
Razão de Espessura (Grau de Recalque)



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 .

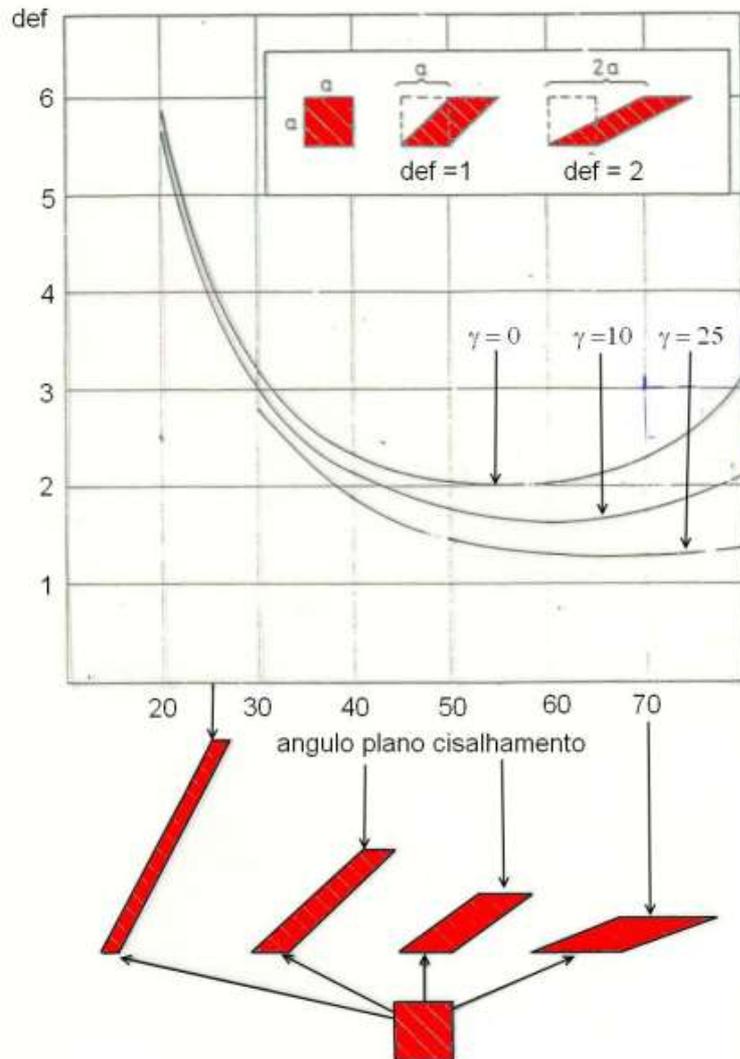
O recalque fez com que a espessura aumentasse de t_0 para t_c .

Este comportamento é observado em materiais dúteis.

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

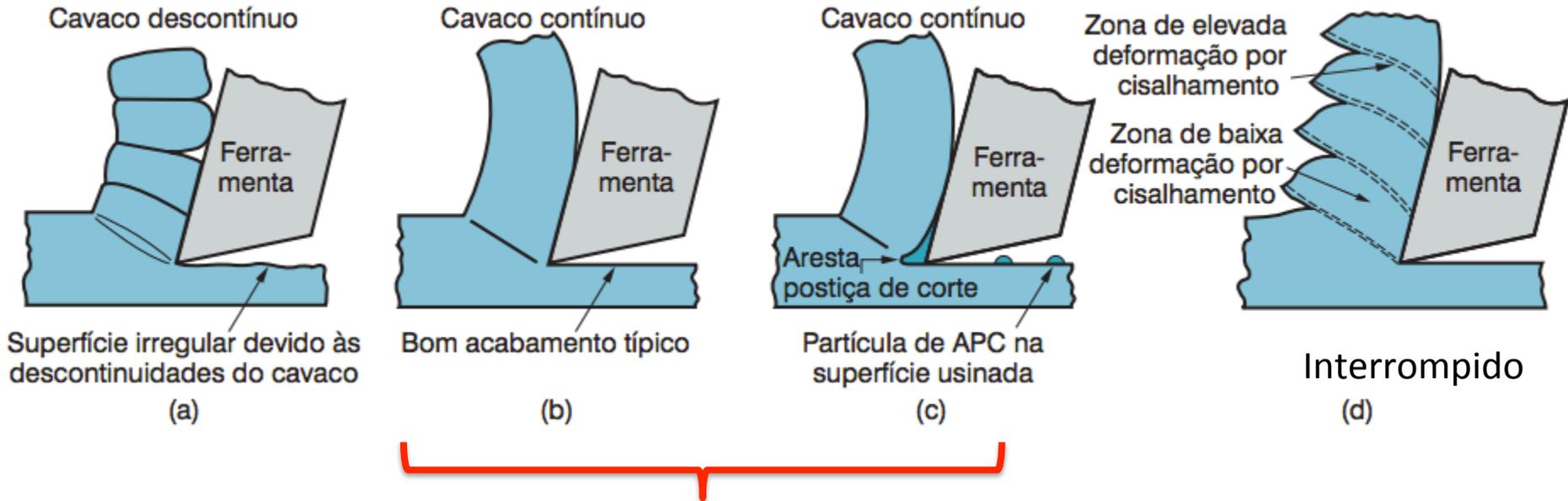
Deformação do elemento do material no cavaco.

UFRJ

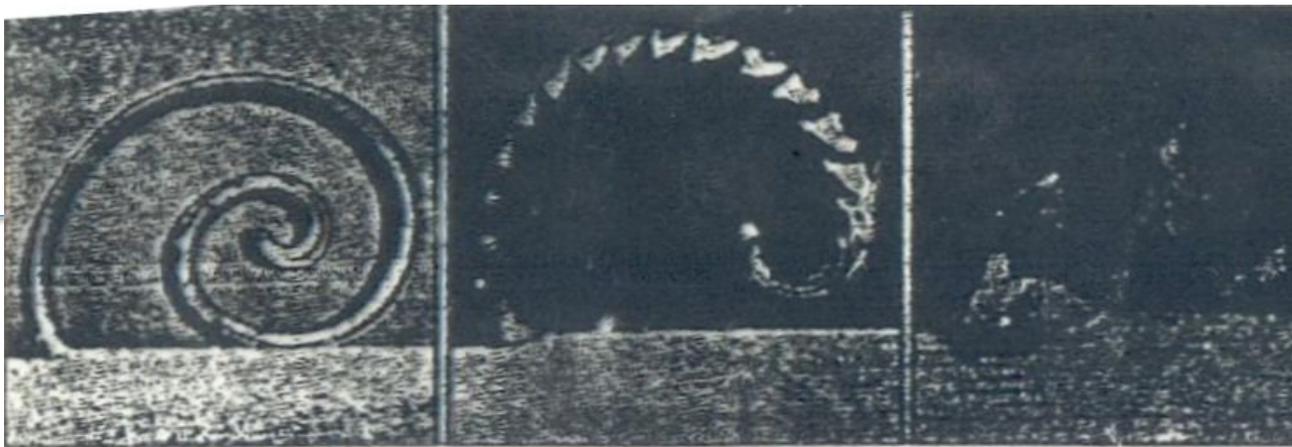


Os ângulos do plano cisalhamento e de saída da ferramenta exercem grande influência na deformação do material (recalque) durante a formação do cavaco.

Formação de Cavacos (tipos)



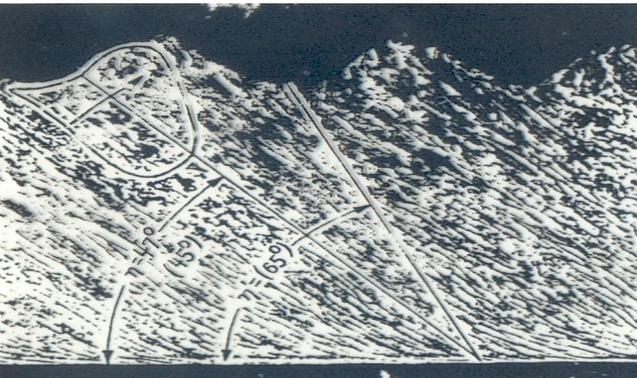
Se a região de deformações é semelhante em (b) e (c),
quais as outras influências?



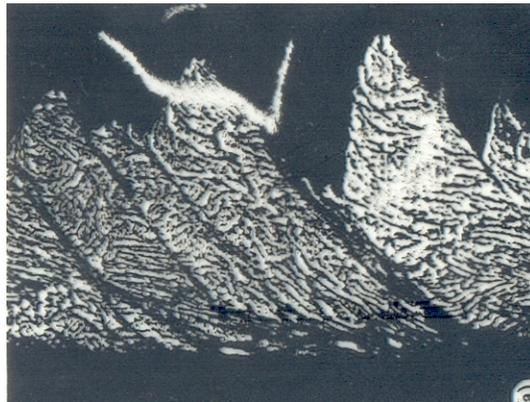
a) $\gamma = +20^\circ$

b) $\gamma = 0^\circ$

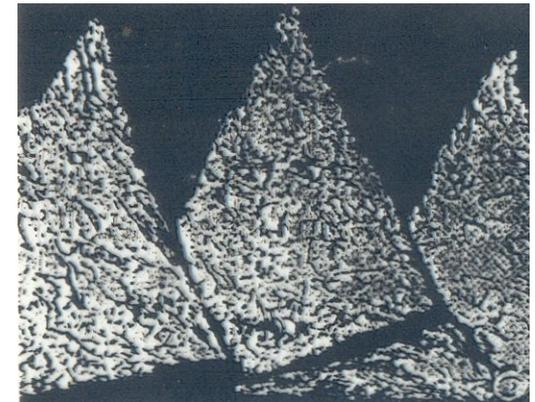
c) $\gamma = -20^\circ$



(a) contínuo



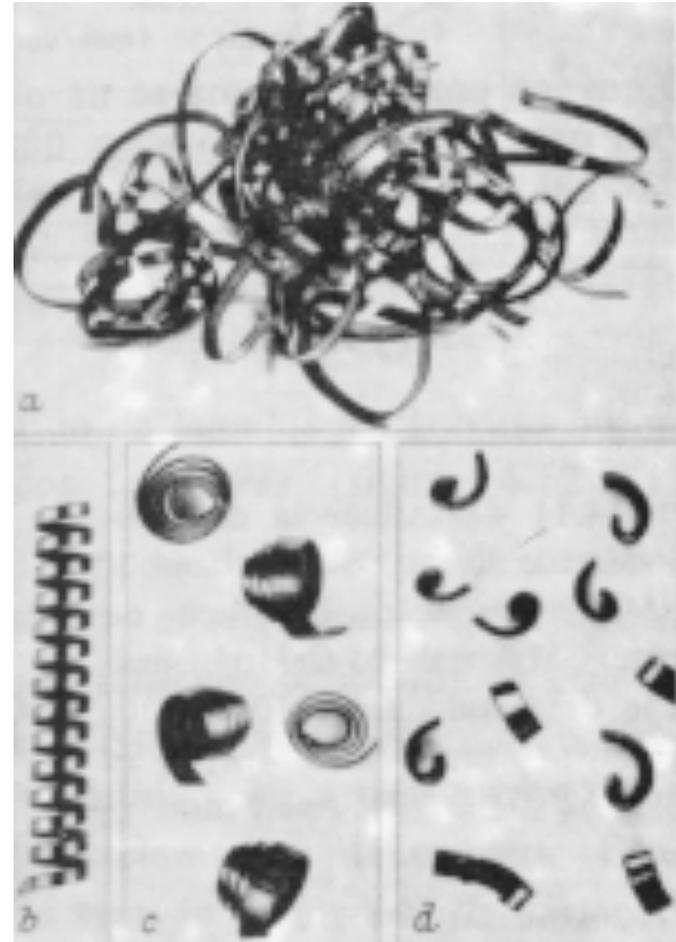
(b) cisalhado



(c) interrompido

Formas de cavacos

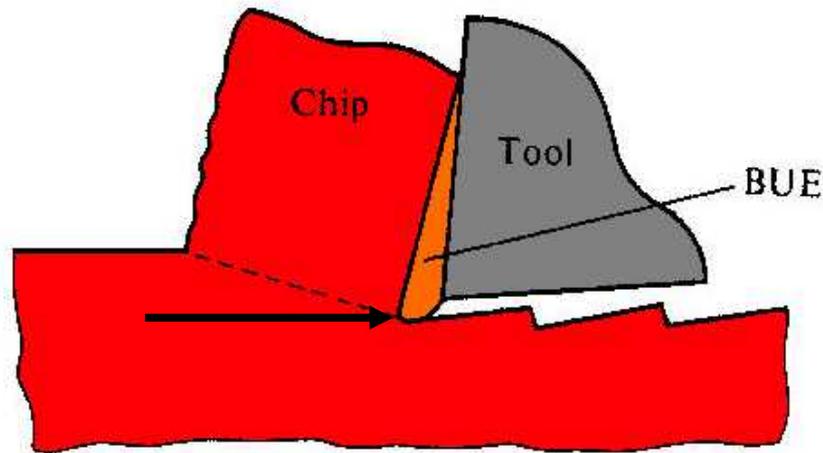
- em fita
- helicoidal
- espiral
- em lascas



Aresta postiça de corte (APC)

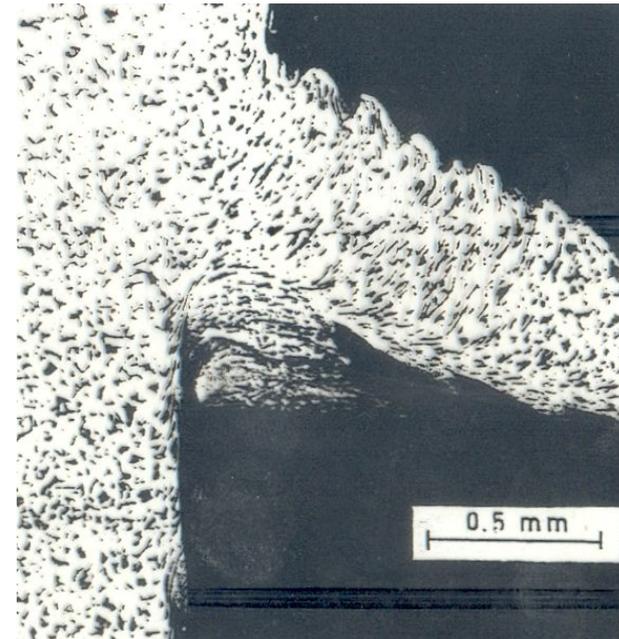
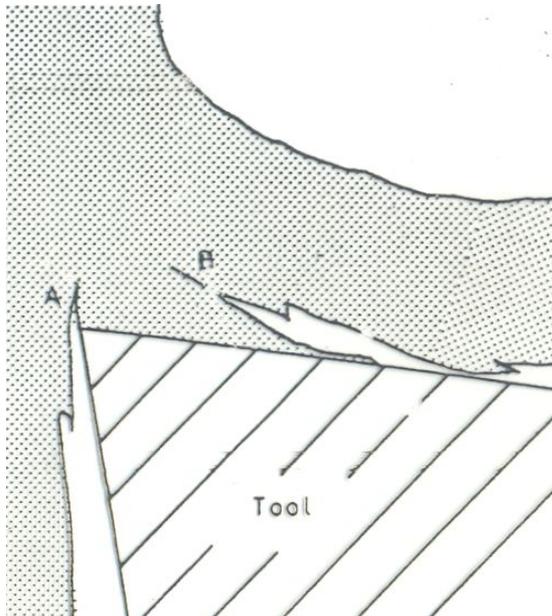
UFRJ

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)



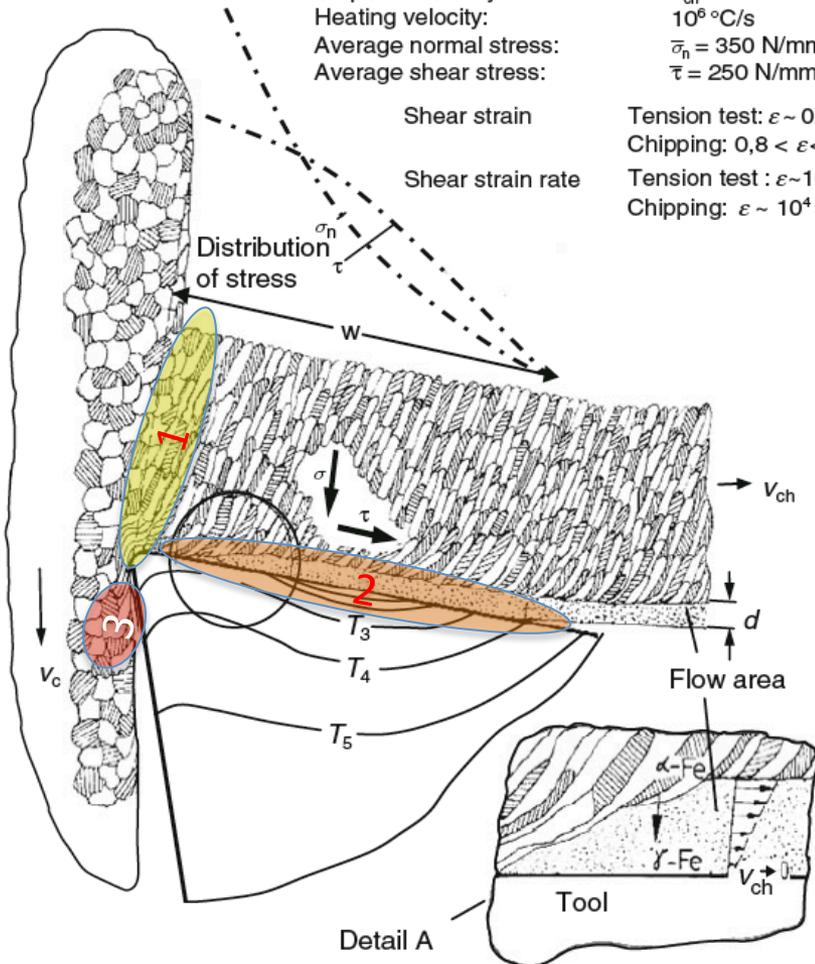
A aresta postiça causa desgaste prematuro da ferramenta e baixa qualidade da superfície usinada.

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/mm²
 Average shear stress: $\bar{\tau} = 250$ N/mm²

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⁻¹
 Chipping: $\dot{\epsilon} \sim 10^4$ s⁻¹



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

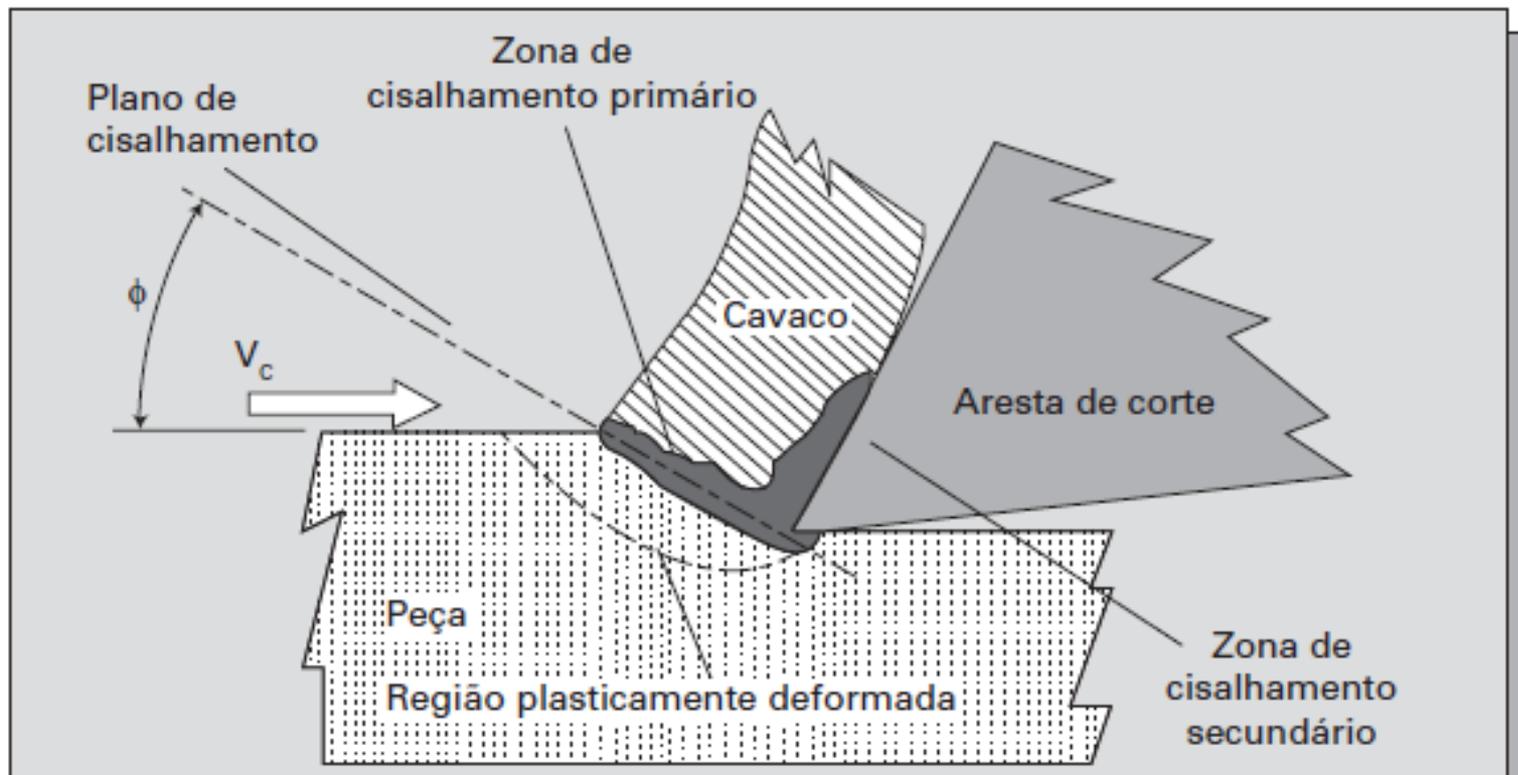
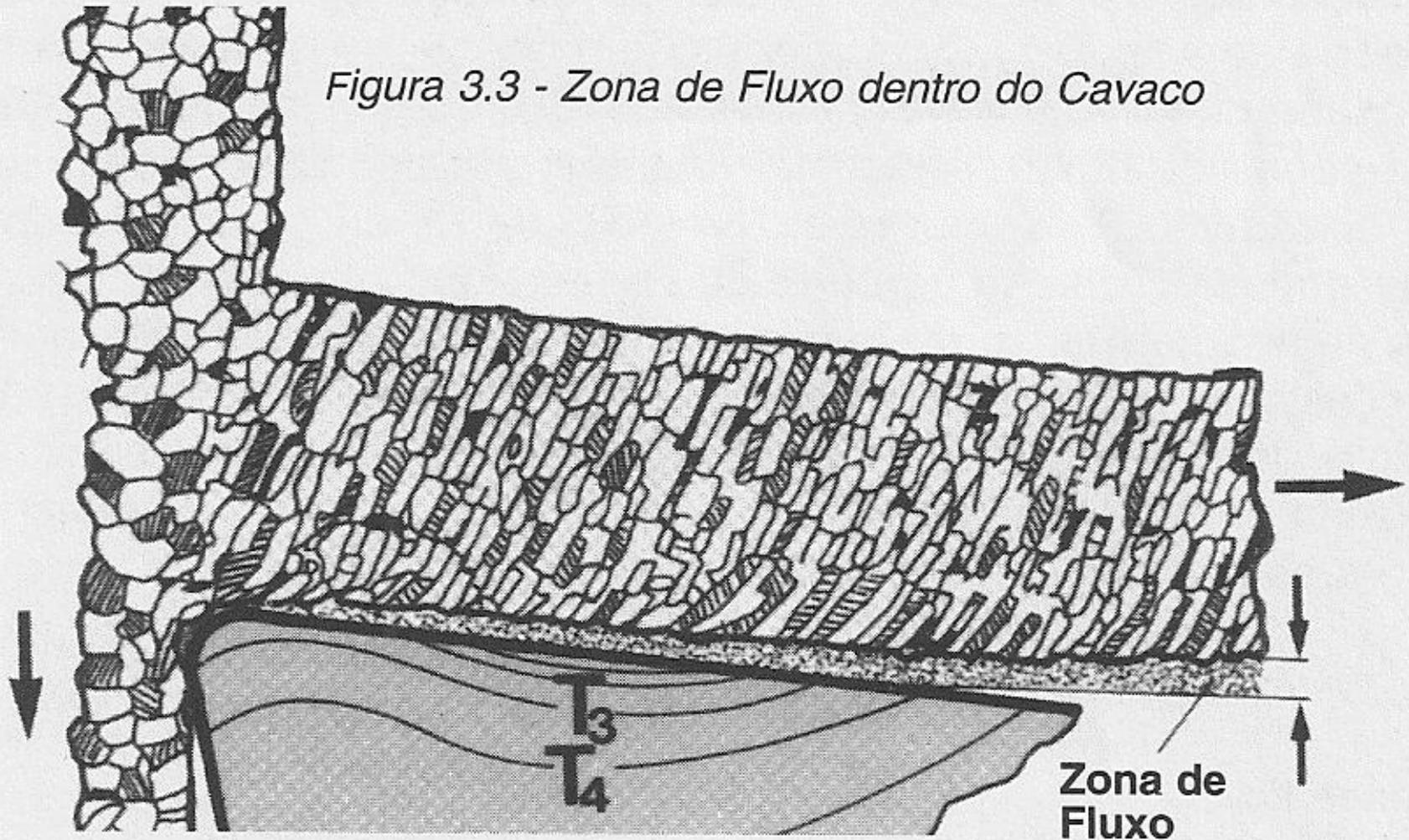


FIGURA 3.1 Mecanismo de formação de cavacos.

Contato Cavaco-Ferramenta

Figura 3.3 - Zona de Fluxo dentro do Cavaco



Contato Cavaco-Ferramenta

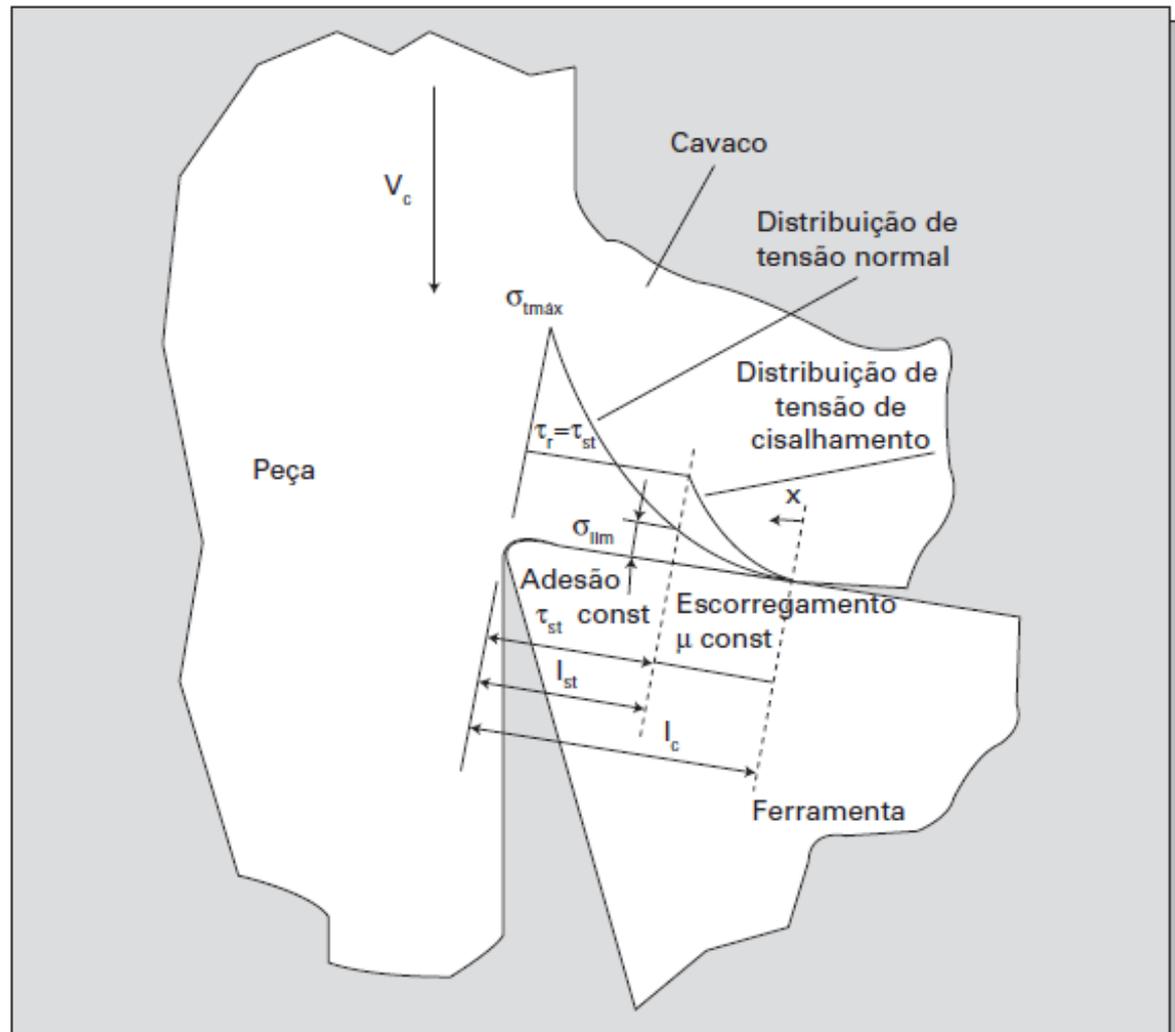
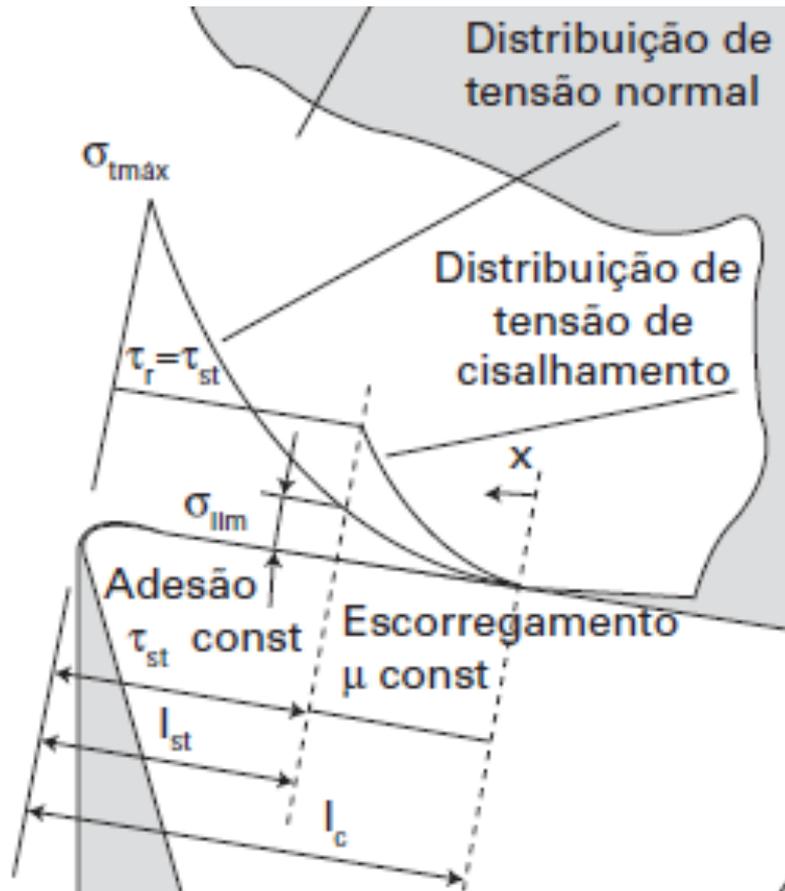


FIGURA 3.21 Modelo de distribuição de tensão na superfície de saída da ferramenta (ZOREV, 1963).

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

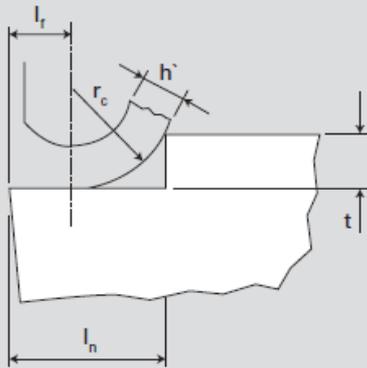


FIGURA 3.14 Quebra-cavacos integral tipo I: anteparo (BOOTHROYD, 1981).

Quebra Cavacos

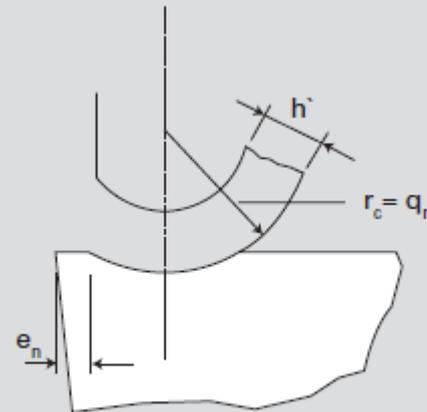
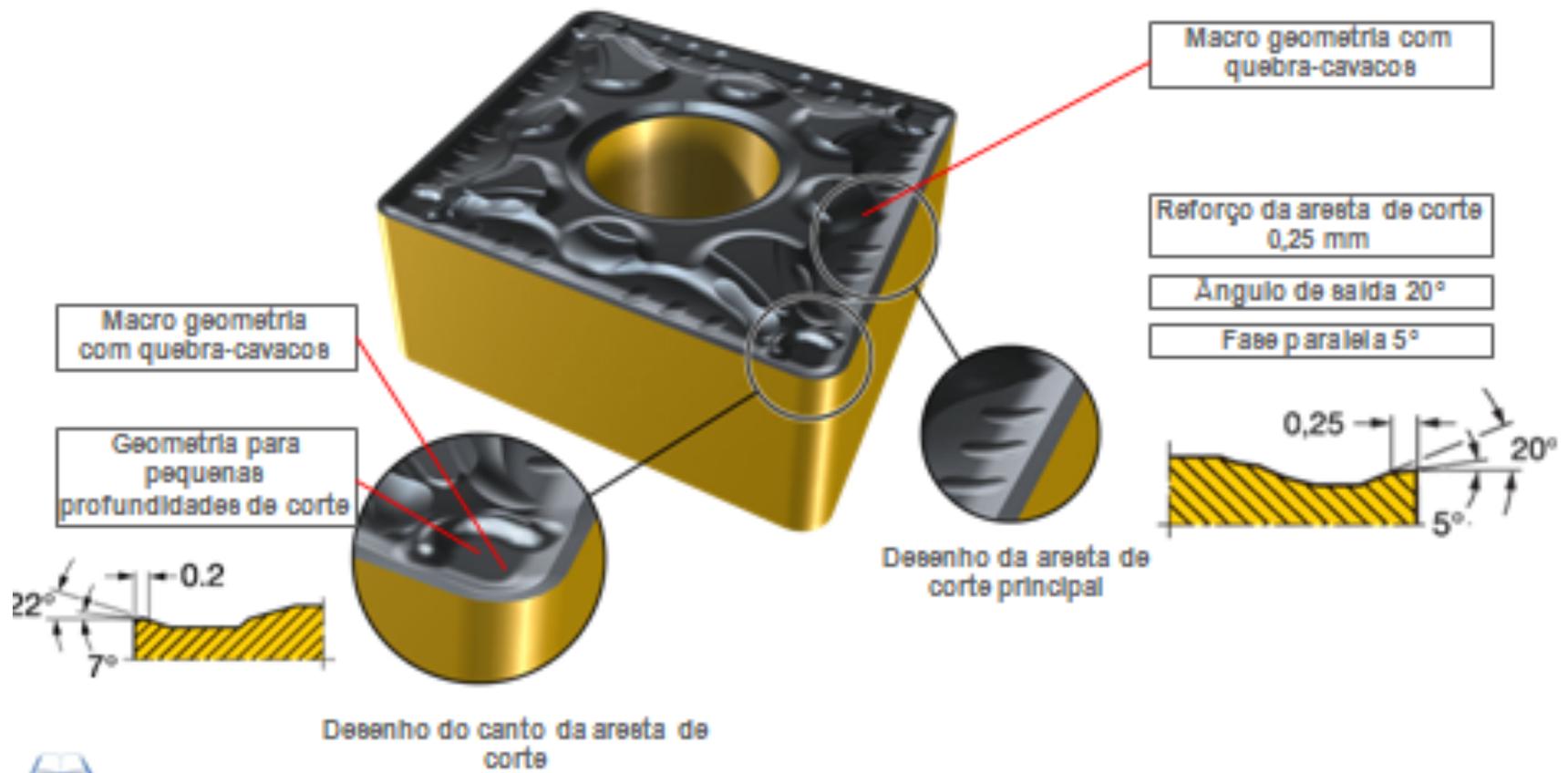


FIGURA 3.15 Quebra-cavacos integral tipo II: cratera (BOOTHROYD, 1981).

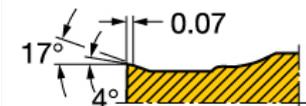
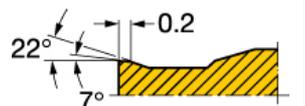
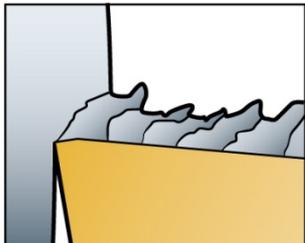
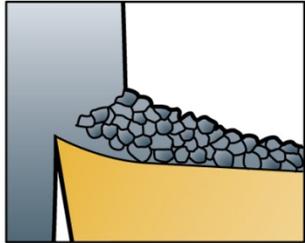
Alteração da forma do cavaco



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.

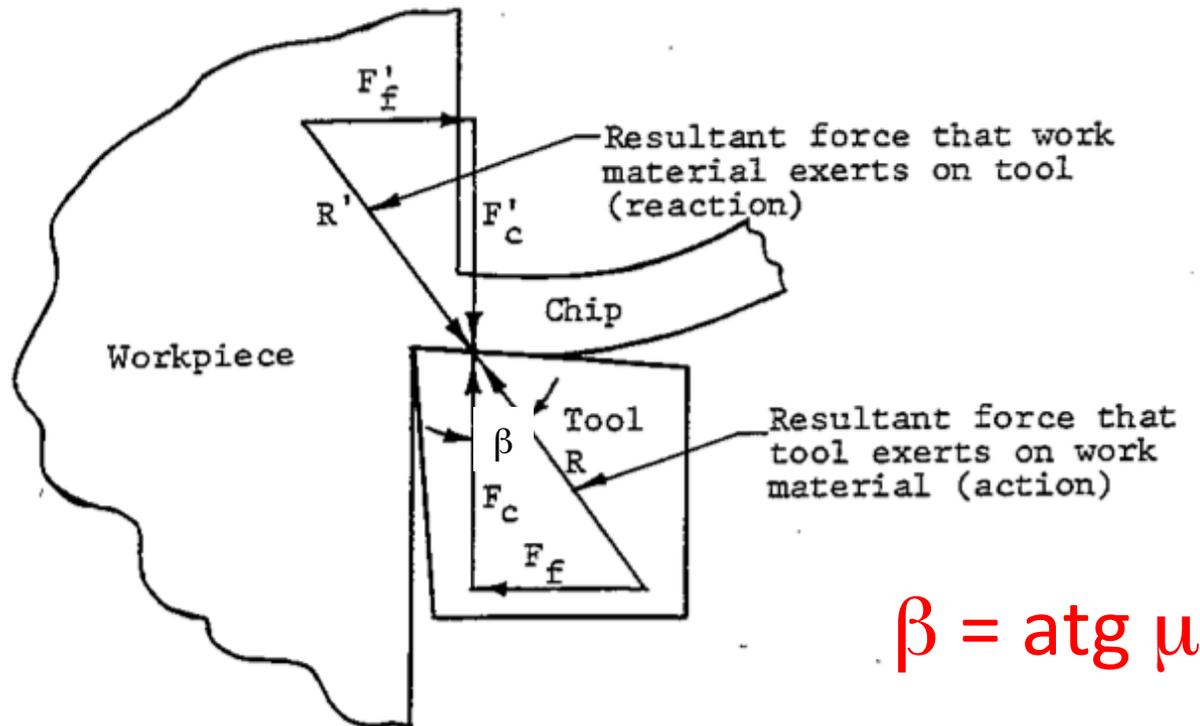


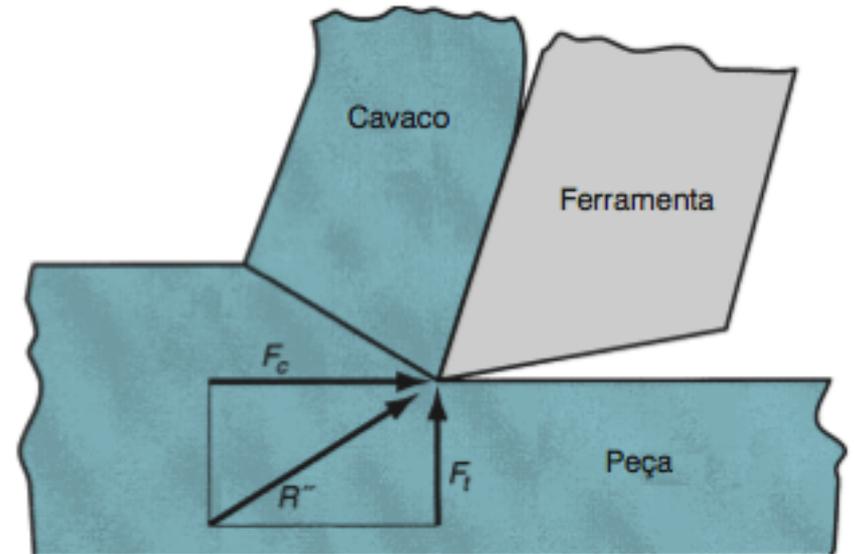
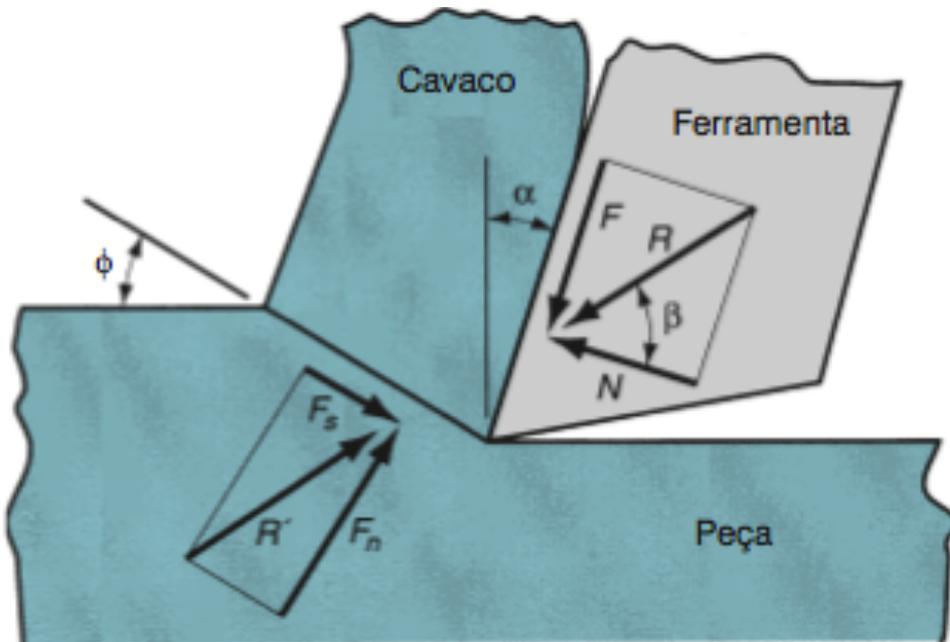
Fig. 4.3. Resultant forces acting in metal cutting process.

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)

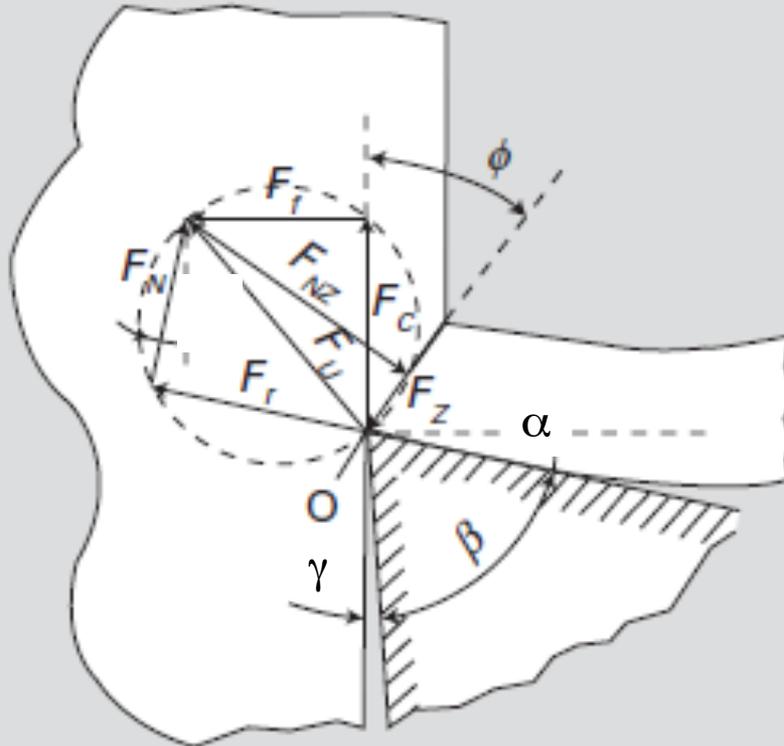


FIGURA 4.3 Força de usinagem e suas decomposições no plano de cisalhamento, na superfície de saída e nas direções de corte e de avanço.

Força de Usinagem (R)

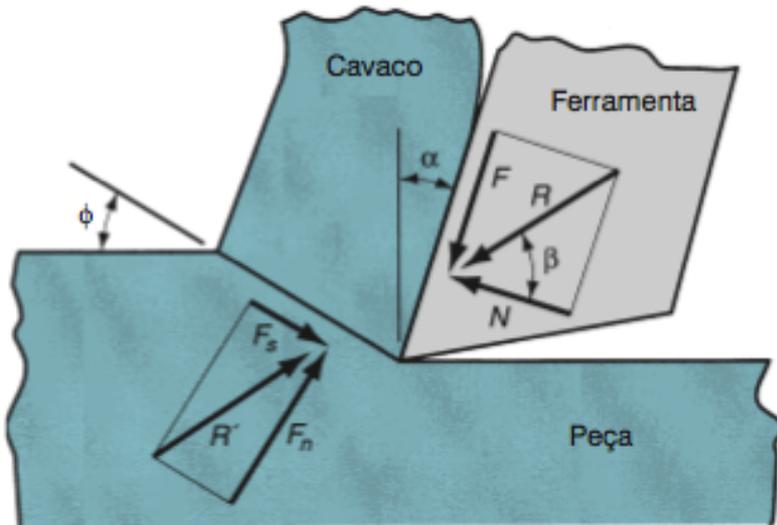
$$\mu = \frac{F}{N}$$

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

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

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

↓
 $\tau = \tau_s$



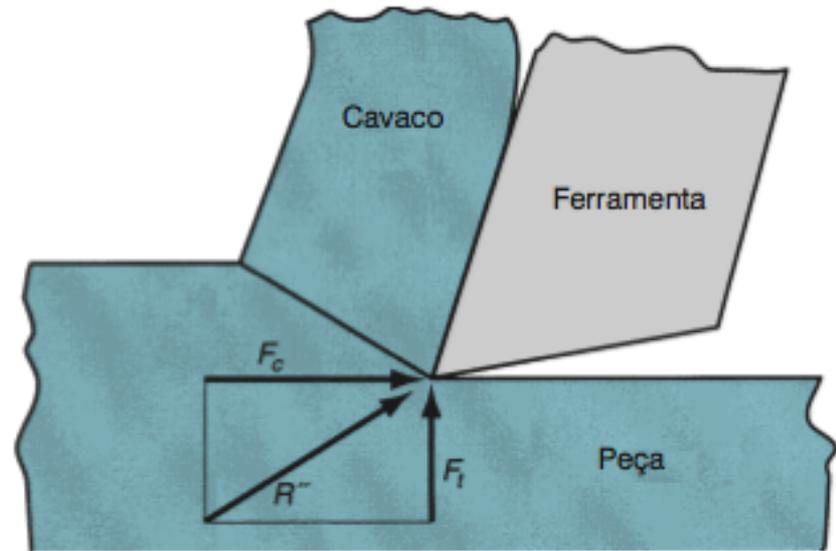
Composição das Forças (caderno)

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

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

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

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



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

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

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° . 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?