

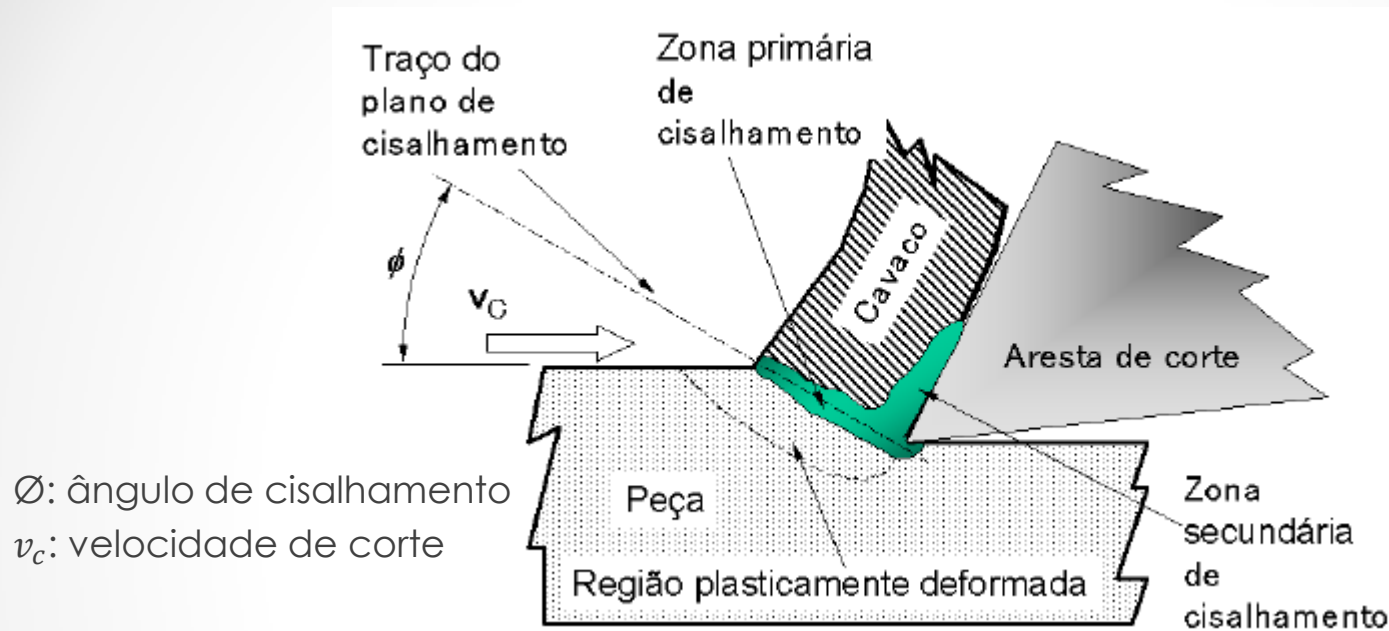
# SEP0272

# USINAGEM DOS METAIS

## AULA 5: Formação de Cavacos

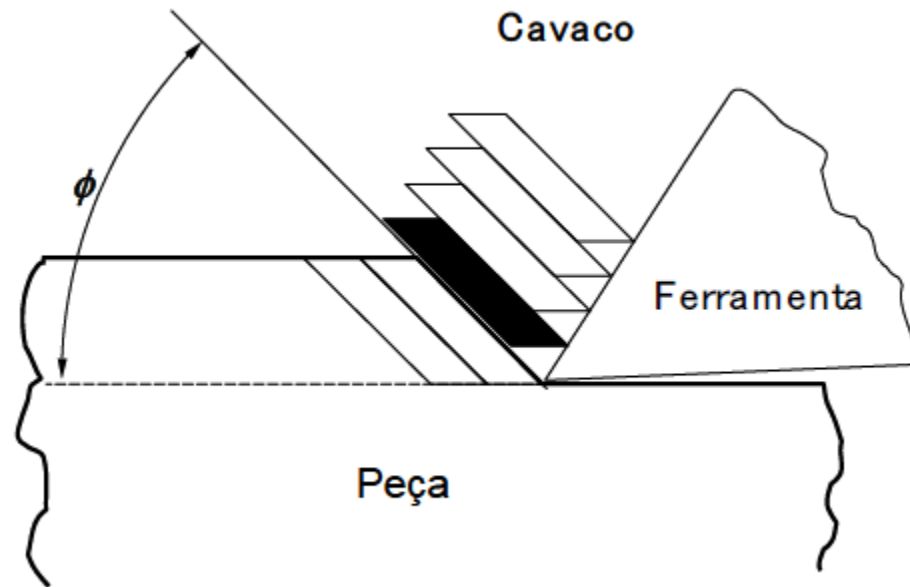
Júlia Fornaziero de Almeida  
[julia.f.almeida@usp.br](mailto:julia.f.almeida@usp.br)

# Formação de Cavacos



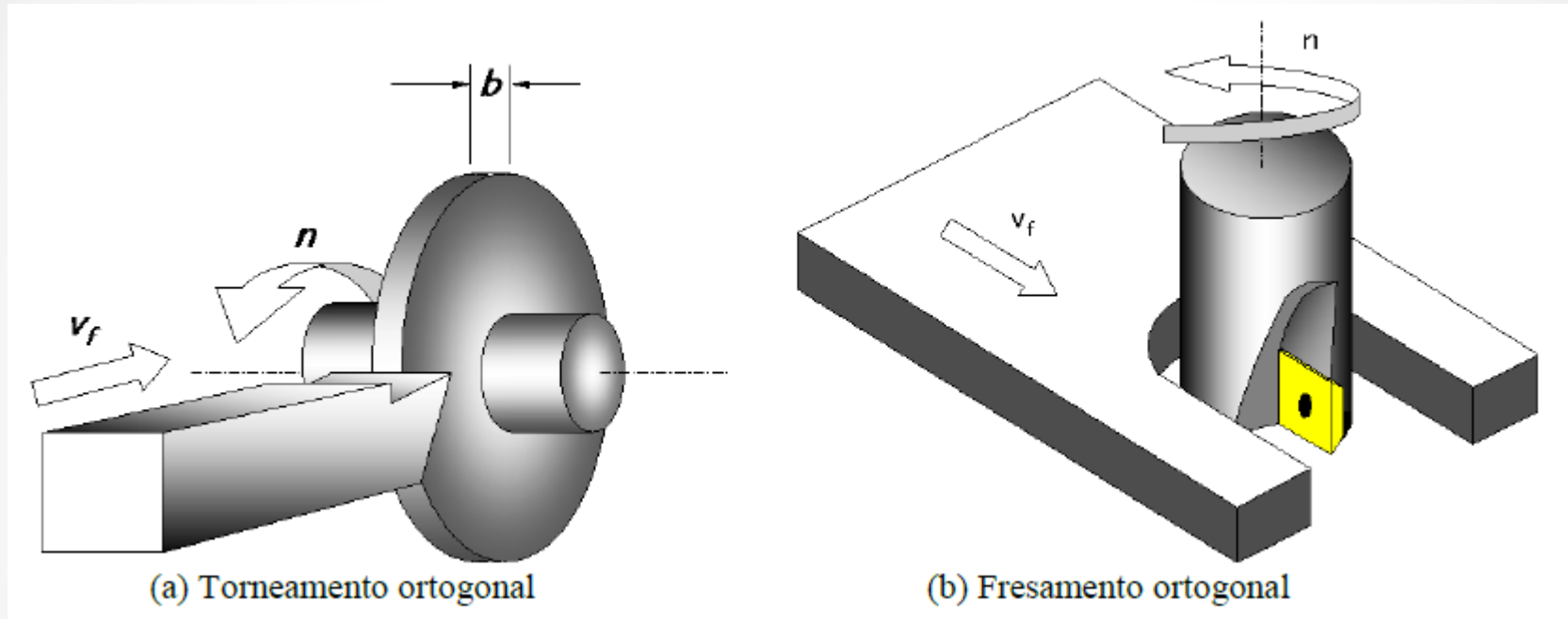
- Formado em altas velocidades de deformação, seguidas de ruptura do material da peça. Processo dividido em quatro eventos:
  - Recalque inicial;
  - Deformação e ruptura;
  - Deslizamento das lamelas;
  - Saída do cavaco.

# Formação de Cavacos



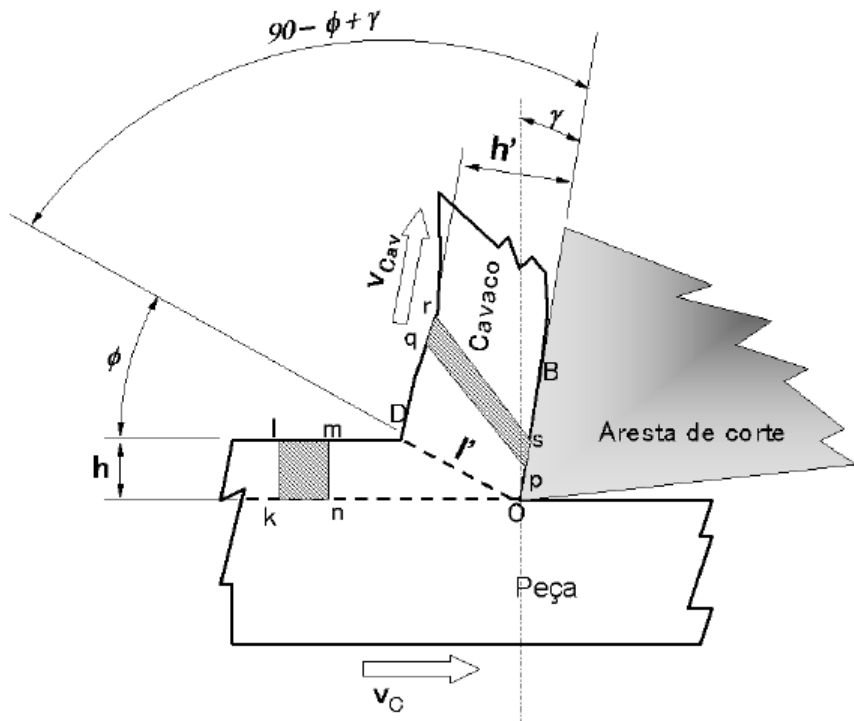
Modelo de Pispanen para formação de cavacos ("baralho de cartas"),  
1937.

# Formação de Cavacos



Corte Ortogonal: a aresta de corte é uma reta, normal à direção de corte e à direção de avanço, de maneira que a formação do cavaco pode ser considerada um fenômeno bidimensional. Acontece em um plano normal à aresta cortante, ou seja, no plano de trabalho.

# Formação de Cavacos



Algumas simplificações são admitidas para um tratamento matemático simplificado do corte ortogonal:

- Os cavacos formados são contínuos, sem a formação de aresta postiça de corte (APC);
- Não há contato entre a superfície de folga da ferramenta e a superfície usinada;
- A espessura de corte,  $h$ , equivalente ao avanço  $f$ , é suficientemente pequena em relação à largura de corte  $b$ .
- A largura da aresta de corte é maior que a largura de corte,  $b$ ;
- A largura de corte  $b$  e a largura do cavaco  $b'$  são idênticas;
- A aresta de corte é idealmente afiada e perpendicular ao plano de trabalho;

# Formação de Cavacos

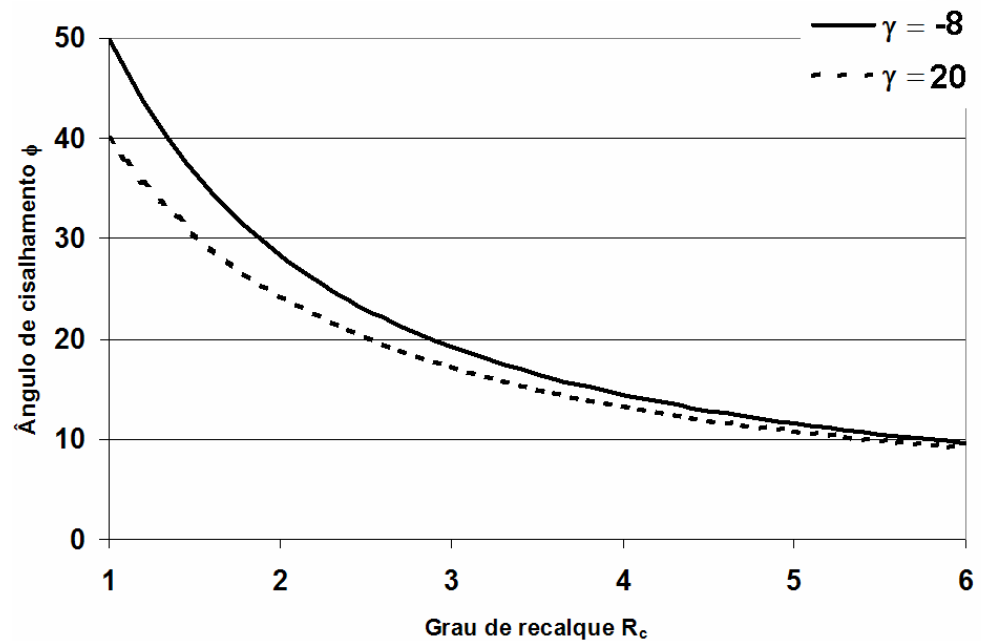
Relações cinemáticas e geométricas no corte ortogonal

$$R_c = \frac{h'}{h} \quad R_c = \text{Grau de recalque}$$

$$\text{sen } \phi = \frac{h}{l'}$$

$$\text{sen}(90 - \phi + \gamma) = \frac{h'}{l'}$$

$$\text{tg } \phi = \frac{\cos \gamma}{R_c - \text{sen } \gamma}$$



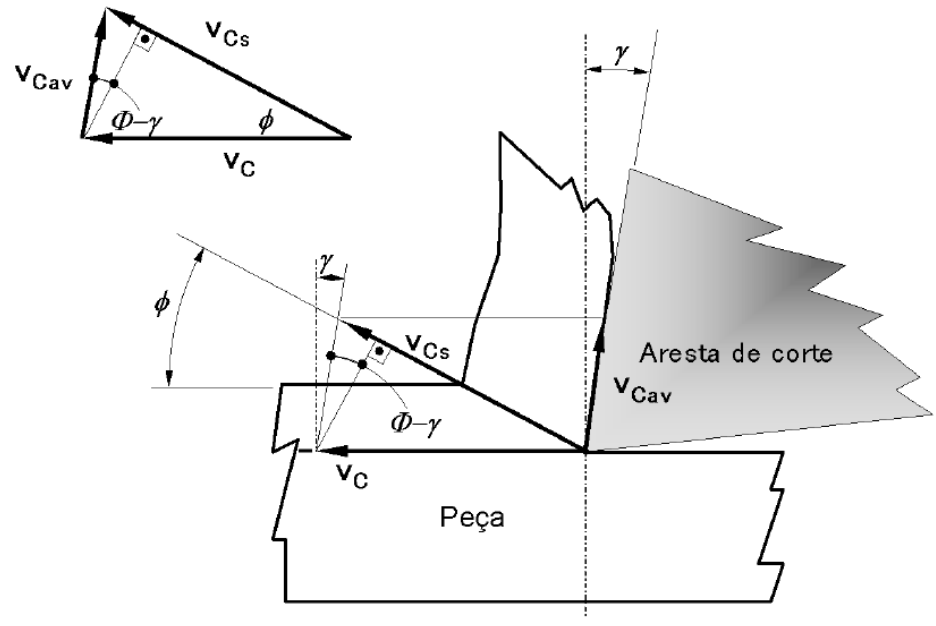
# Formação de Cavacos

Relações cinemáticas e geométricas no corte ortogonal

$$v_{cav} = v_c \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma)}$$

$$v_{cs} = v_c \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)}$$

$$v_{cav} = \frac{v_c}{R_c}$$



$v_{cav}$  = Velocidade de saída do cavaco

$v_{cs}$  = Velocidade de cisalhamento

# Formação de Cavacos

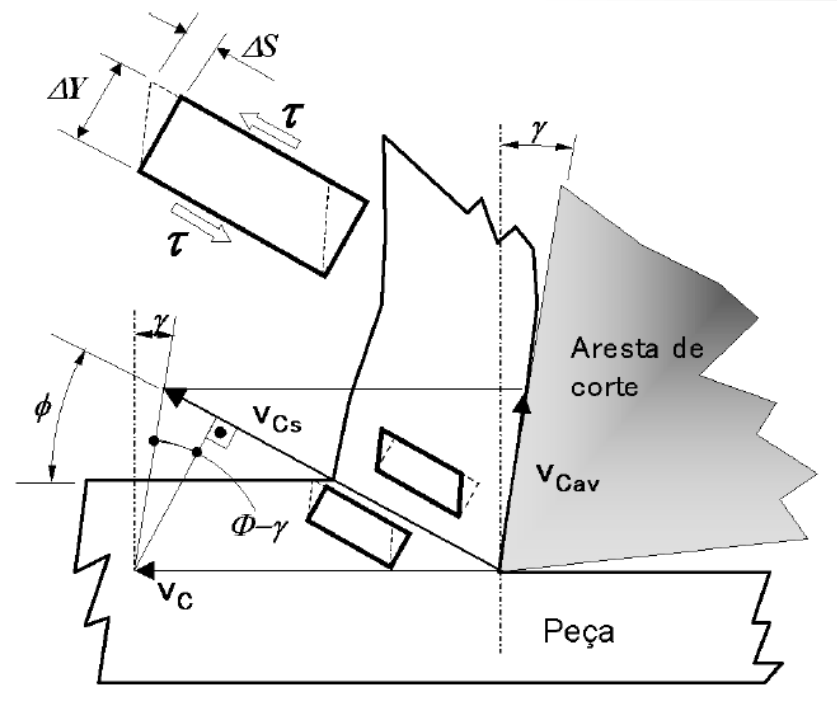
Relações cinemáticas e geométricas no corte ortogonal

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta S}{\Delta Y}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{v_{cs}}{v_Y}$$

$$\varepsilon_0 = \cot(\phi) + \tan(\phi - \gamma)$$

$$\dot{\varepsilon}_0 = \frac{1}{\Delta Y} \left( v_c \frac{\cos \gamma}{\cos(\phi - \gamma)} \right)$$



$\varepsilon_0$  = O grau de deformação, ou deformação angular

$v_Y$  = Velocidade de deslocamento dos cavacos

$\dot{\varepsilon}_0$  = velocidade com que o material é cisalhado

# Formação de Cavacos



## Tipos de Cavacos

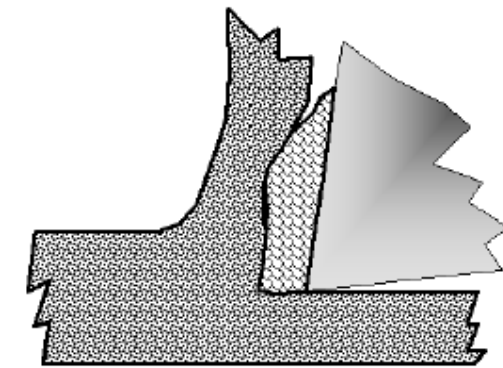
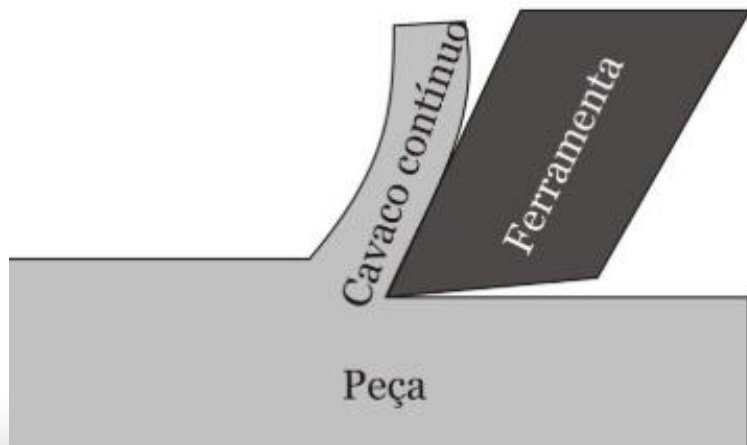
Os cavacos são classificados por tipos e formas:

- Cavacos Contínuos;
- Cavacos Parcialmente Contínuos
- Cavacos Descontínuos;
- Cavacos Segmentados.

# Formação de Cavacos

## Cavacos Contínuos

É constituído de lamelas justapostas numa disposição contínua. São formados na usinagem de materiais dúcteis, como aços de baixa liga, alumínio e cobre.



(b) Cavaco Contínuo com APC

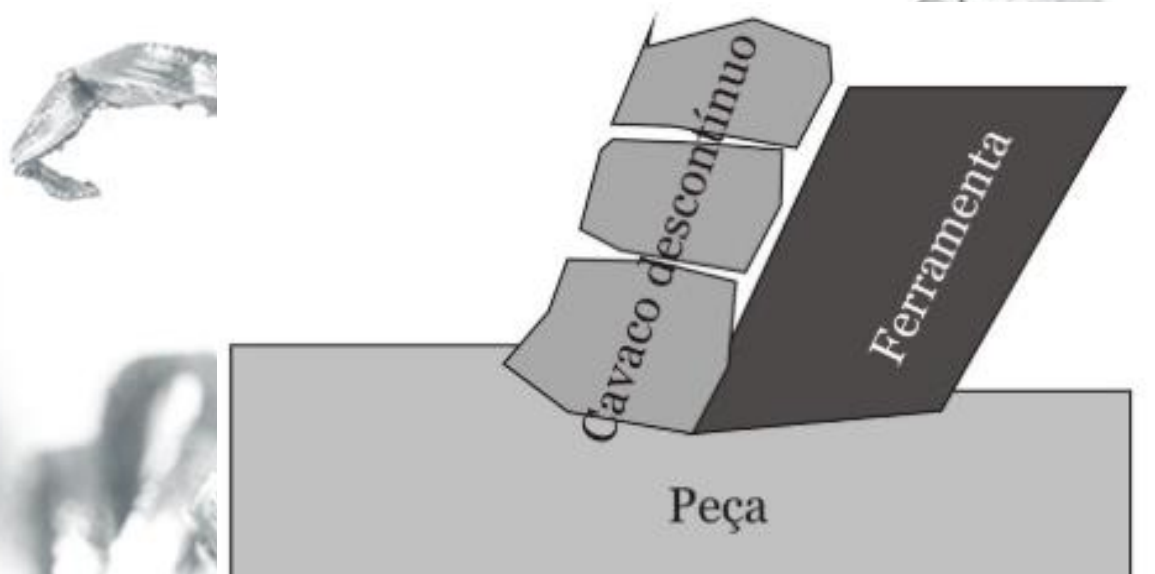
## Cavacos Parcialmente Contínuos

É um tipo intermediário entre os contínuos e os descontínuos, a trinca se propaga parcialmente pela extensão do plano de cisalhamento.

# Formação de Cavacos

## Cavacos Descontínuos

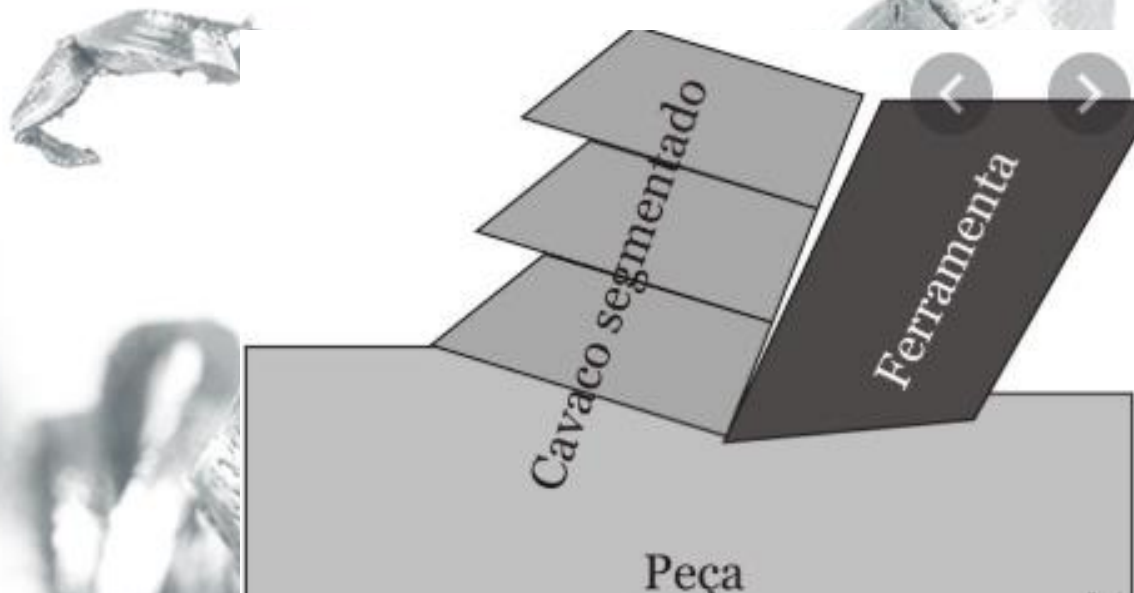
Mais comum na usinagem de materiais frágeis, como bronze e os ferros fundidos cinzentos, os quais não são capazes de suportar grandes deformações sem fratura.



# Formação de Cavacos

## Cavacos Segmentados

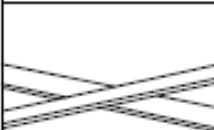
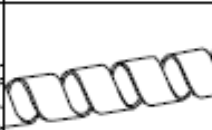
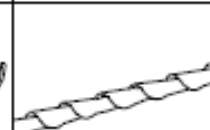
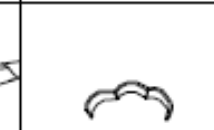
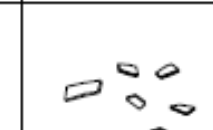
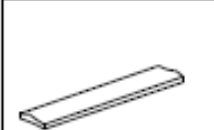
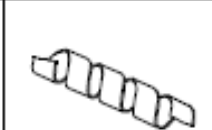
Caracterizados por grandes deformações continuadas em estreitas bandas entre segmentos com pouca, ou quase nenhuma deformação no seu interior. Fragmentos arrancados da peça usinada.



# Formação de Cavacos

## Formas de Cavaco

- Cavacos em fita;
- Cavacos helicoidais;
- Cavacos em espiral;
- Cavacos em lascas ou pedaços.

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                     |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| 1- Cavaco em fita                                                                   | 2- Cavaco tubular                                                                   | 3- Cavaco espiral                                                                  | 4- Cavaco hel. tipo arruela                                                         | 5- Cavaco hel. cônico                                                                | 6- Cavaco em arco                                                                    | 7- Cavaco fragmentado                                                               | 8- Cavaco tipo agulha                                                               |  |  |
|    |    |   |    |    |   |  |  |  |  |
| 1-1- Longo                                                                          | 2-1- Longo                                                                          | 3-1- Plano                                                                         | 4-1- Longo                                                                          | 5-1- Longo                                                                           | 6-1- Conect.                                                                         |                                                                                     |                                                                                     |  |  |
|   |   |  |   |   |  |                                                                                     |                                                                                     |  |  |
| 1-2- Curto                                                                          | 2-2- Curto                                                                          | 3-2- Cônico                                                                        | 4-2- Curto                                                                          | 5-2- Curto                                                                           | 6-2- Solto                                                                           |                                                                                     |                                                                                     |  |  |
|  |  |                                                                                    |  |  |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                     |  |  |
| 1-3- Emaranhado                                                                     | 2-3- Emaranhado                                                                     |                                                                                    | 4-3- Emaranhado                                                                     | 5-3- Emaranhado                                                                      |                                                                                      |                                                                                     |                                                                                     |  |  |

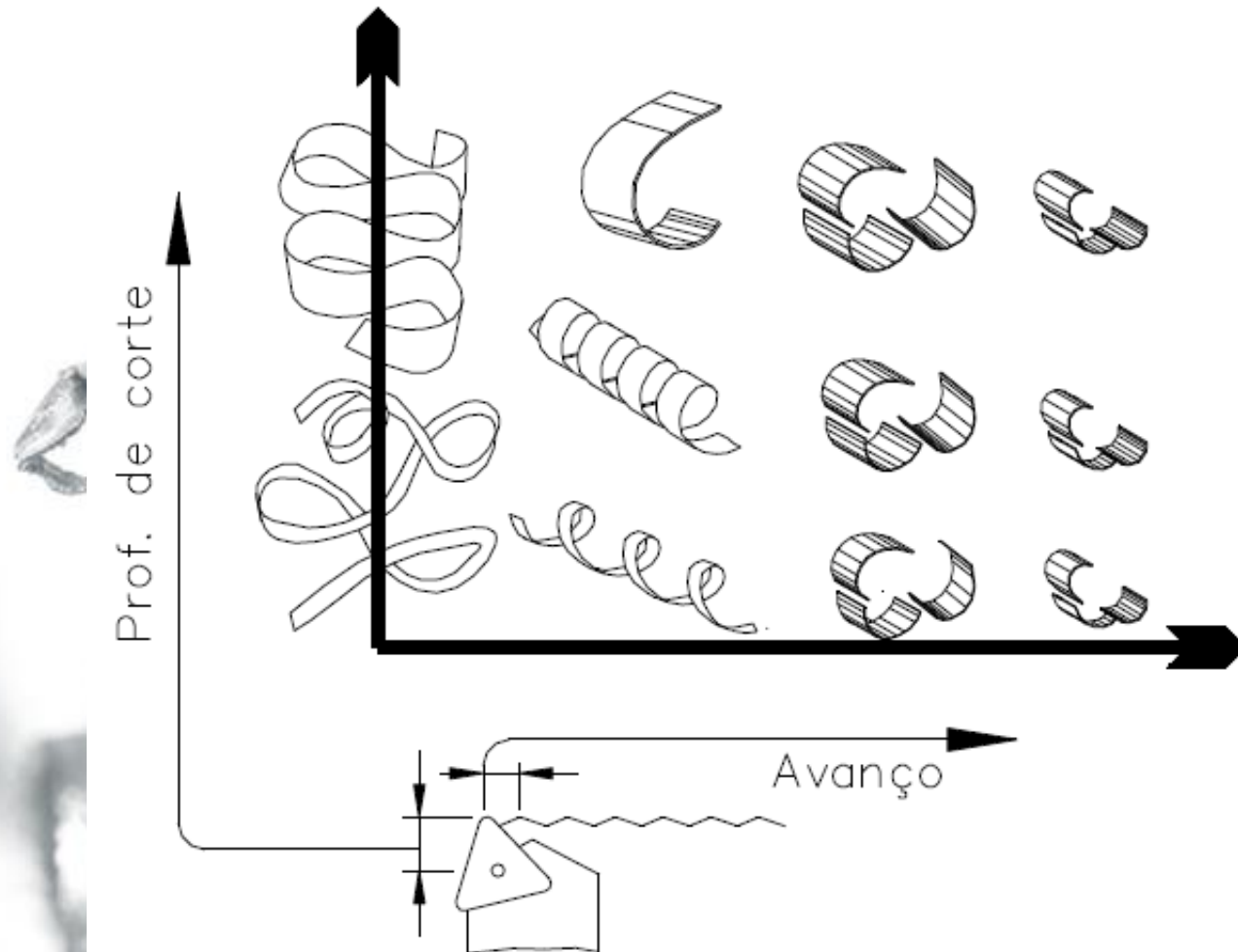
# Formação de Cavacos

## Formas de Cavaco

| TIPOS e FORMAS DE CAVACOS |          |     |      |          |     |      |          |     |      |       |     |      |       |     |      |                  |     |      |
|---------------------------|----------|-----|------|----------|-----|------|----------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|------------------|-----|------|
| Pate 20mm<br>No Diâmetro  | Aço 1020 |     |      | Aço 1045 |     |      | ALUMÍNIO |     |      | COBRE |     |      | LATÃO |     |      | FERRO<br>FUNDIDO |     |      |
|                           | RPM      |     |      | RPM      |     |      | RPM      |     |      | RPM   |     |      | RPM   |     |      | RPM              |     |      |
|                           | 400      | 630 | 1000 | 400      | 630 | 1000 | 400      | 630 | 1000 | 400   | 630 | 1000 | 400   | 630 | 1000 | 400              | 630 | 1000 |
| AVANÇO<br>0,03 mm/volta   |          |     |      |          |     |      |          |     |      |       |     |      |       |     |      |                  |     |      |
| AVANÇO<br>0,15 mm/volta   |          |     |      |          |     |      |          |     |      |       |     |      |       |     |      |                  |     |      |

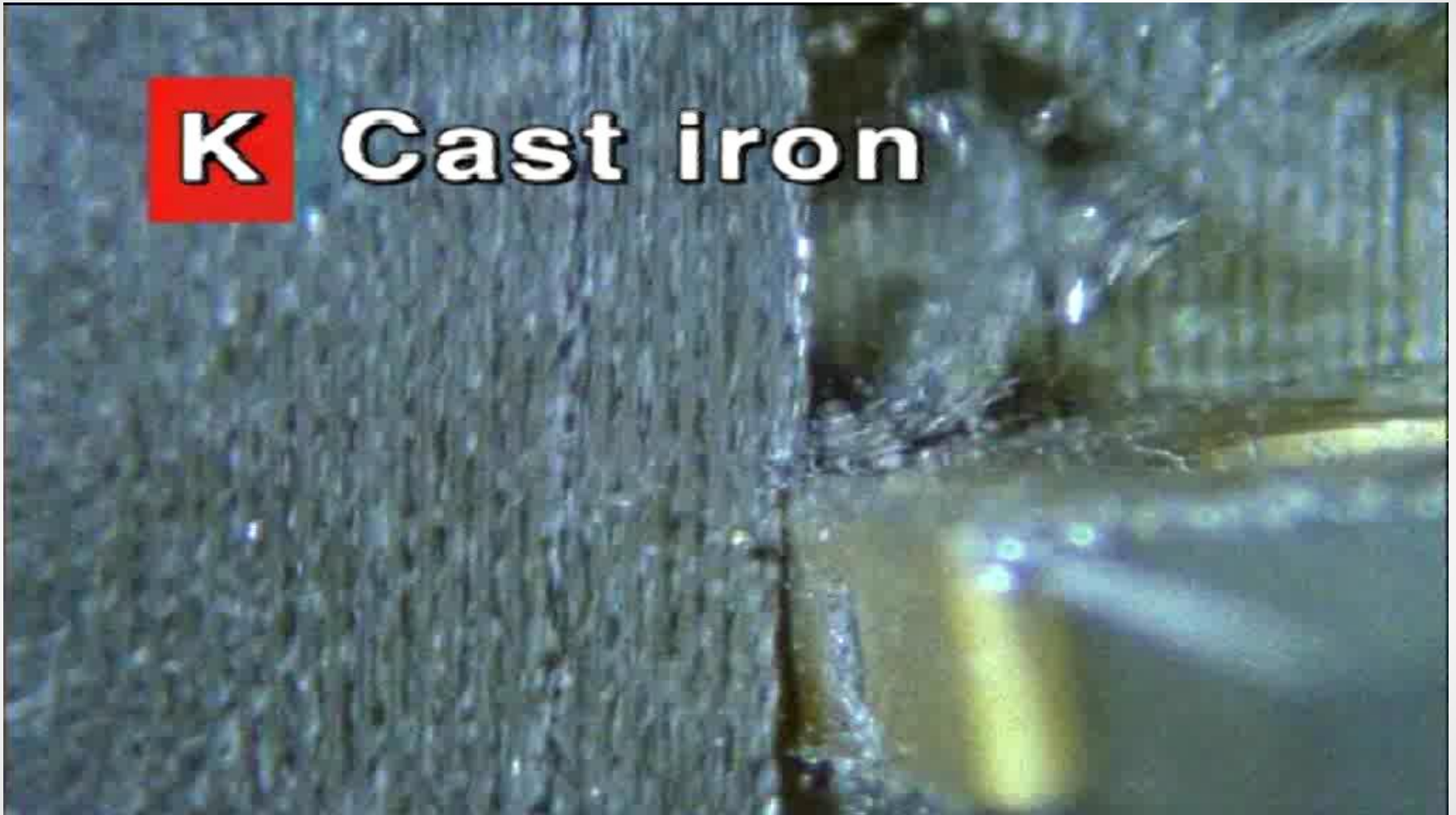
# Formação de Cavacos

## Formas de Cavaco





**Cast iron**



# **M** Stainless steel



**P**

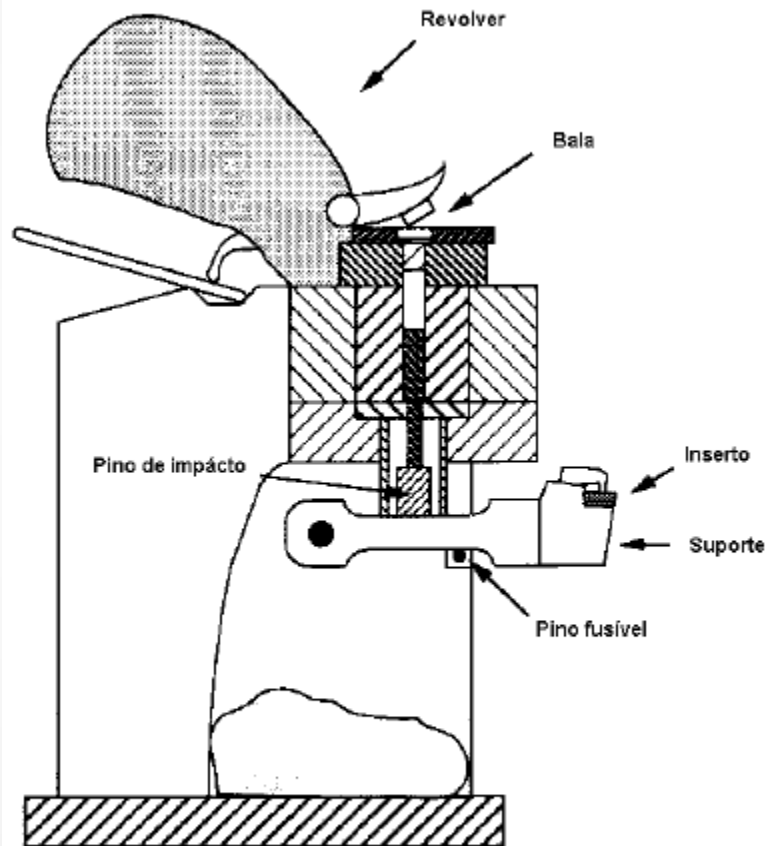
**Steel**



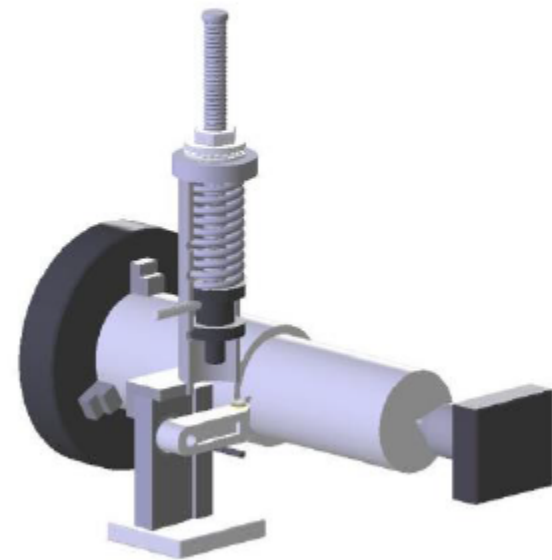


# Formação de Cavacos

Dispositivos de Quick-stops:



(a) Ruptura por explosão

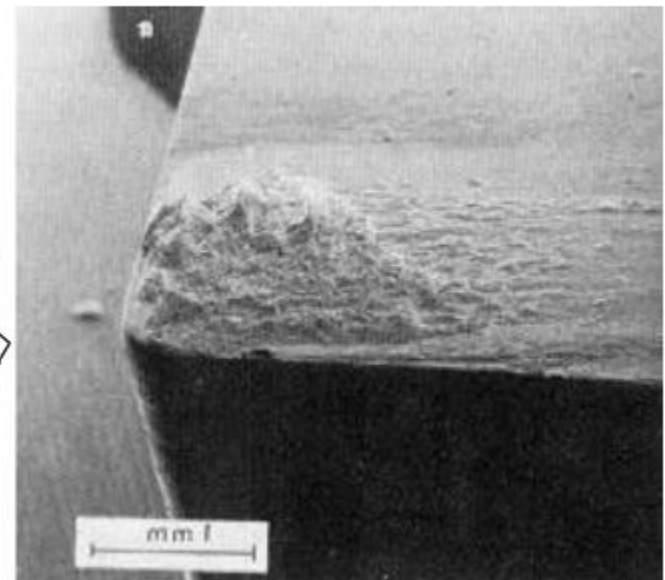
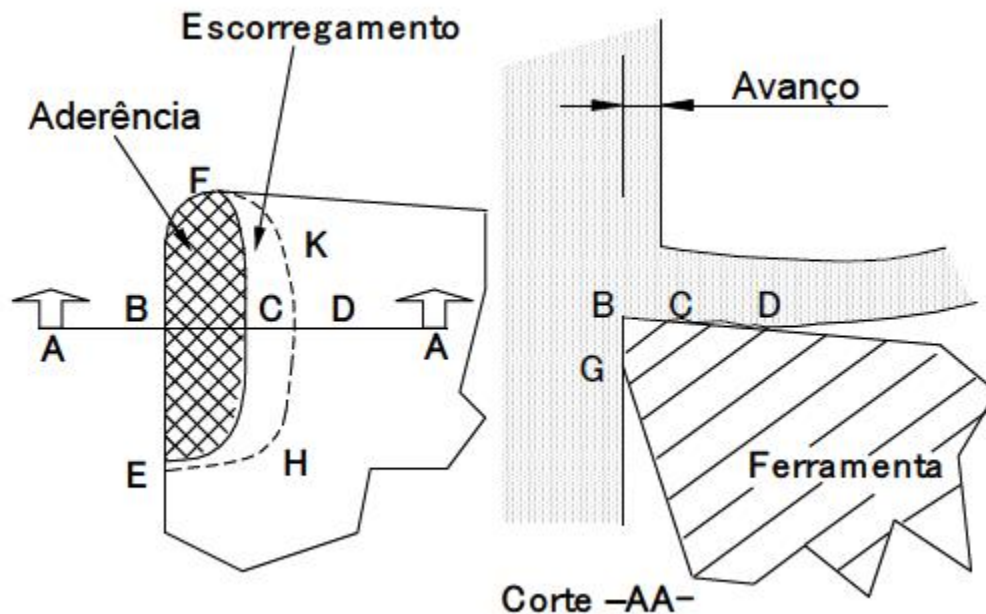


(b) Ruptura por força de mola

# Formação de Cavacos

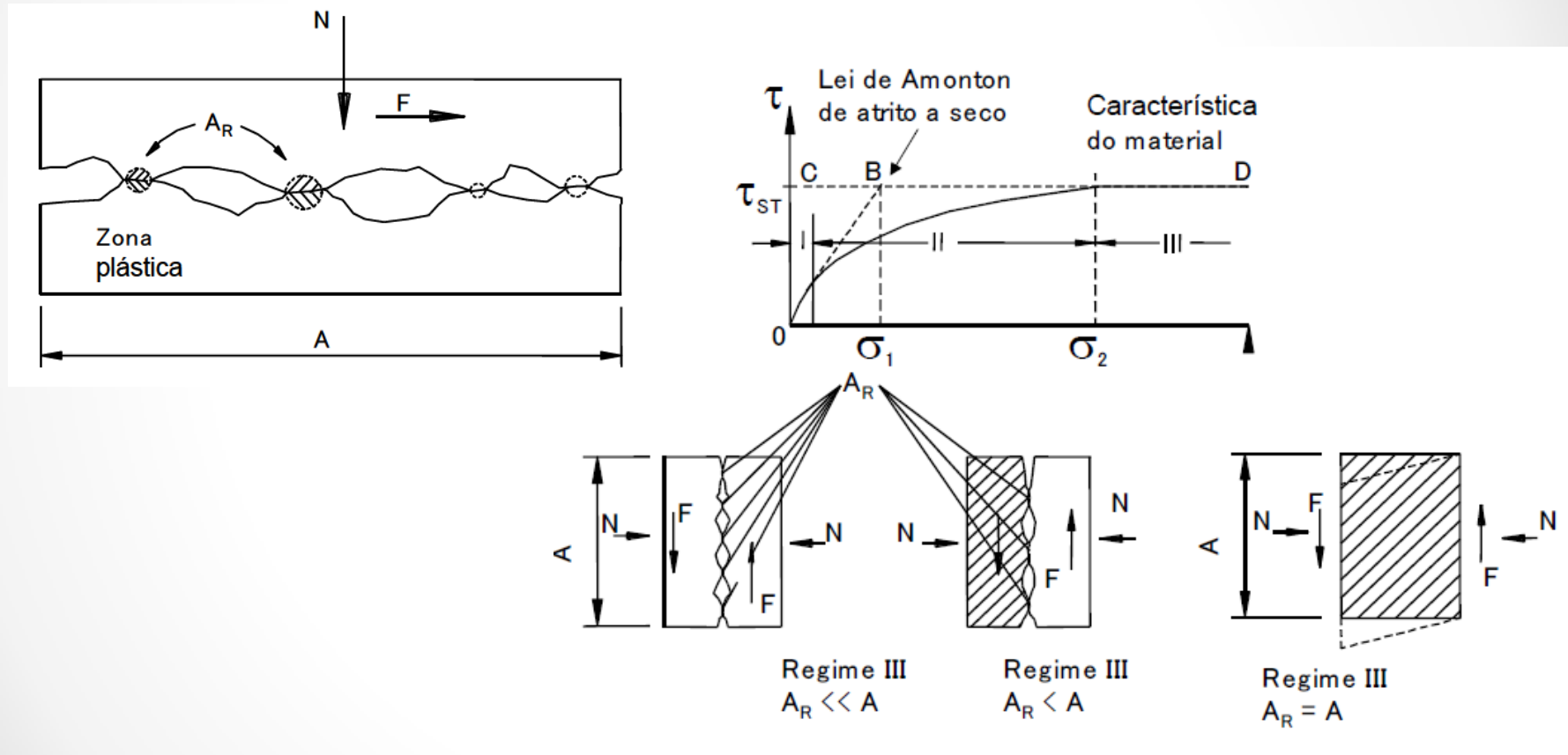
Três condições pode ser encontradas na interface cavaco-ferramenta:

- Aderência + Escorregamento;
- Escorregamento;
- Aresta Postiça de Corte - APC



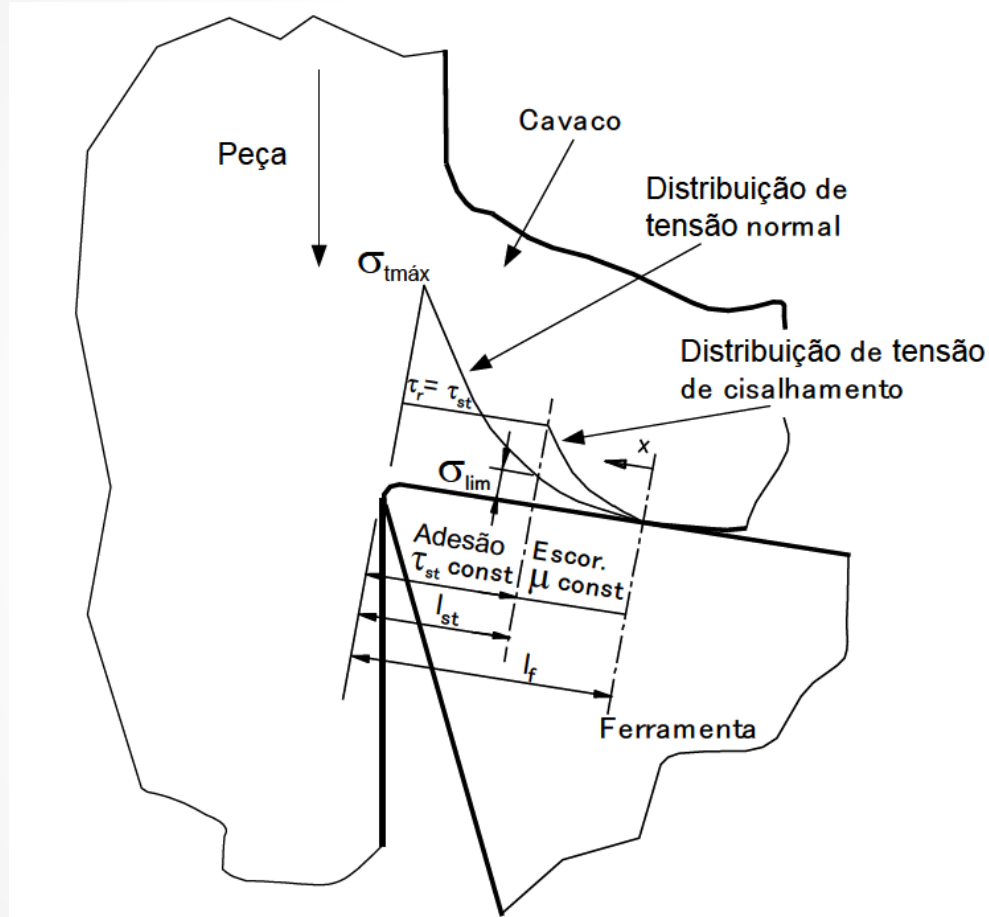
# Formação de Cavacos

Atrito no corte de metais:



Os três regimes de atrito sólido (Shaw et alli, 1960).

# Formação de Cavacos



$$\beta = \arctg \left( \frac{k}{\sigma_{fav}} \right)$$

$\beta$  = ângulo de atrito médio

$k$  = Constante

$\sigma_{fav}$  = tensão normal média

O modelo de distribuição de tensão na superfície de saída da ferramenta, proposto por Zorev (1963).

# Formação de Cavacos

Parâmetros que podem influenciar o desempenho dos processos de usinagem:

- Propriedades mecânicas do material usinado ;
- Material da ferramenta de corte ;
- Geometria da aresta de corte ;
- Condições de corte;

Parâmetros que afetam desempenho do processo:

- Tempo de vida da aresta de corte;
- Tipo de cavaco;
- Textura superficial;
- Taxa de remoção de material
- Força, ou a potência de usinagem
- Formação de aresta postiça de corte

# Formação de Cavacos

Classificação das ligas metálicas para usinagem:

Ligas de alumínio, de cobre e de magnésio;  
Aços não ligados;  
Ferros fundidos;  
Aços ligados;  
Aços inoxidáveis;  
Ligas de alta resistência térmica e mecânica.

↓  
Mais difícil de usinar