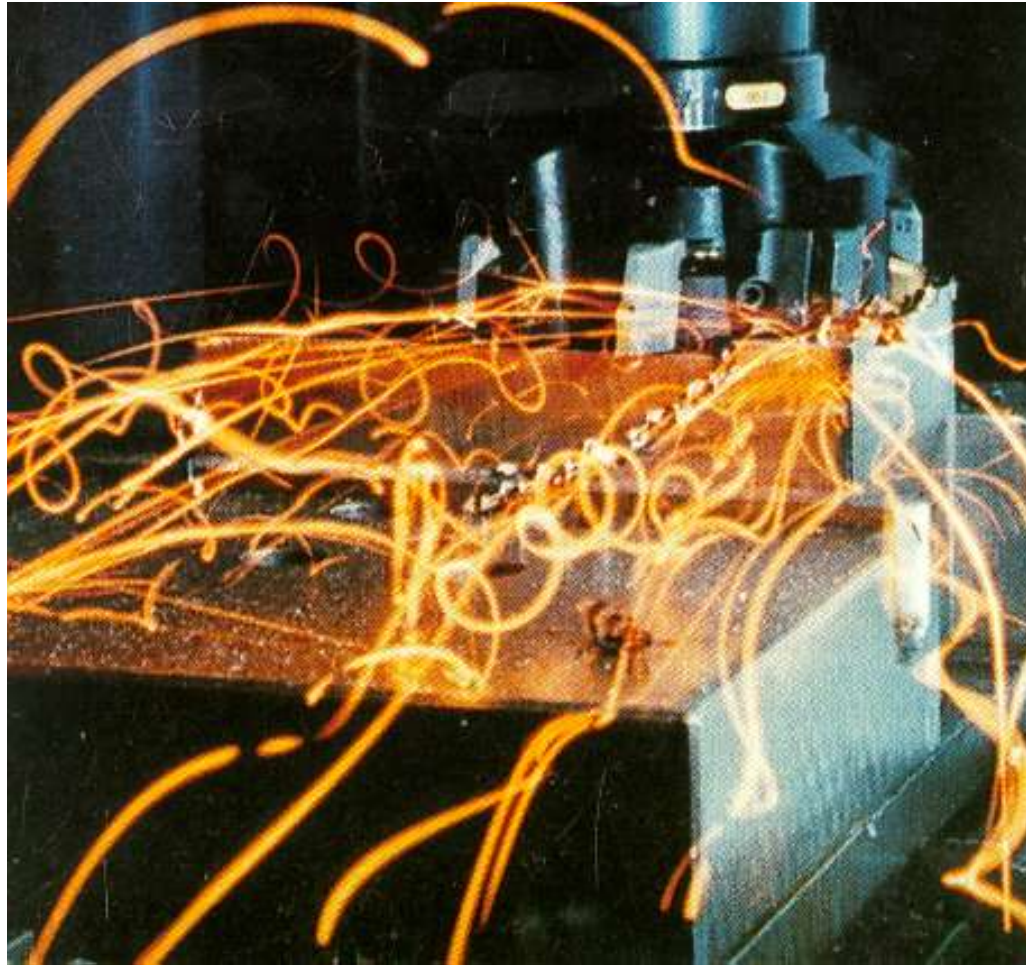


Aula 06

- Usinabilidade dos Materiais e Vida de Ferramentas -

Conceito de usinabilidade



Usinabilidade

“Na usinagem com remoção de cavacos verifica-se que os diversos materiais se comportam de modo distinto, sendo que alguns podem ser trabalhados com grande facilidade, enquanto que outros oferecem uma série de problemas ao operador”

Usinabilidade

- Descreve todas as dificuldades que um material apresenta na sua usinagem.
- Compreende todas as propriedades de um material que têm influência sobre o processo de usinagem.

Definição: Usinabilidade pode ser definida como sendo a capacidade dos materiais de peça em se deixarem usinar

Conceito de usinabilidade

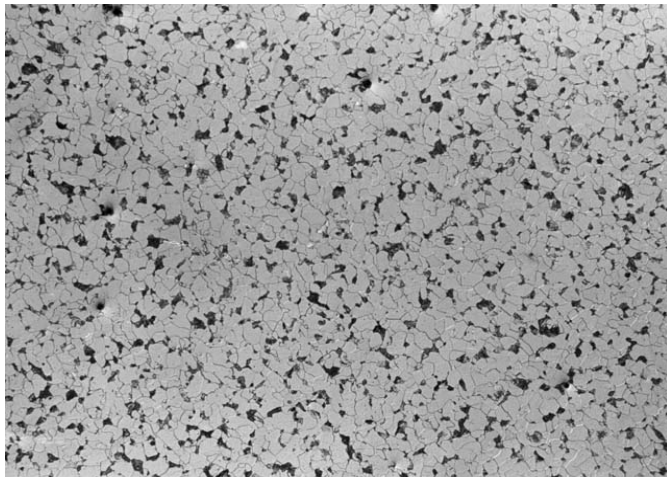
Os critérios de usinabilidade dependem:

- do material da peça
 - grau de deformação
 - presença e tipos de elementos de liga
 - presença de impurezas
 - outros
-

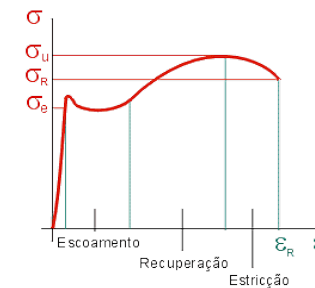
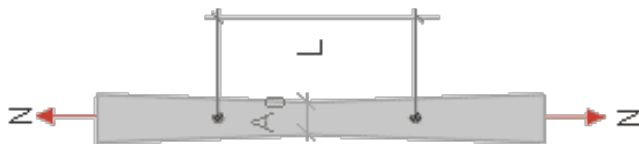
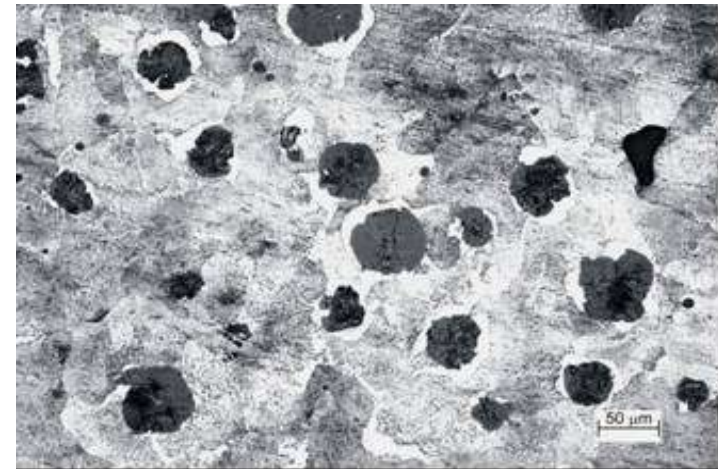
Fatores de influência na usinabilidade

Material da peça: composição química, microestrutura, dureza, propriedades mecânicas, rigidez, etc..

Aço 1020 Recozido - Estrutura Ferrítica-Perlítica



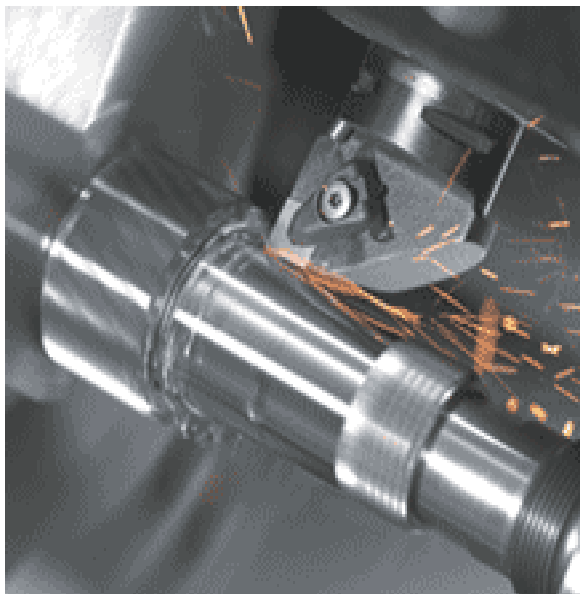
Ferro Fundido Nodular – GGG70



Fatores de influência na usinabilidade

Processo e condições de usinagem: material e geometria da ferramenta, condições de trabalho, fluido de corte, rigidez do sistema, tipo de operação, etc.

torneamento



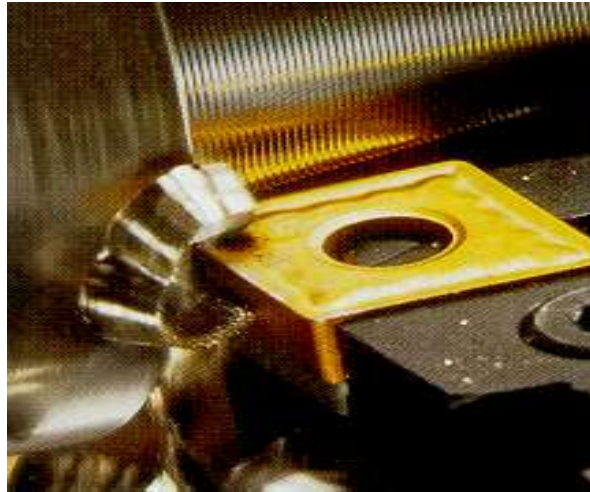
Processo

retificação

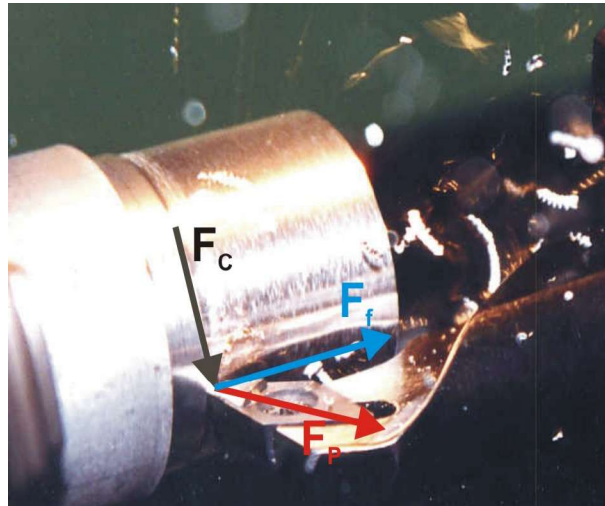


Critérios de Usinabilidade

- Formação de cavaco

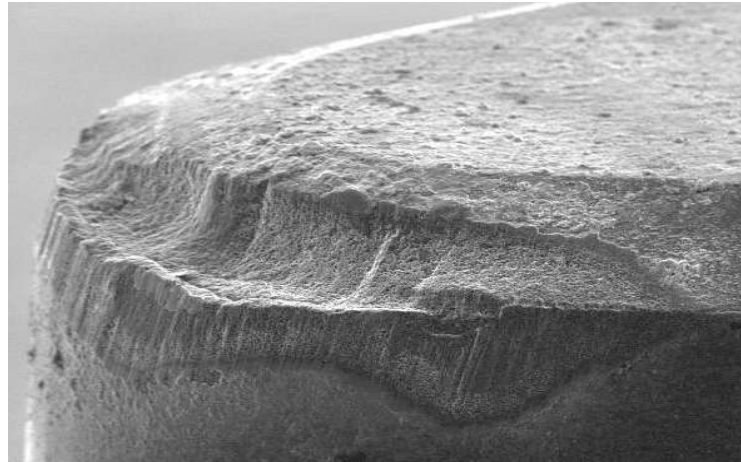


- Forças de usinagem



Crêterios de Usinabilidade

- Abrasividade – grau de desgaste da ferramenta



- Tipo de cavaco



Critérios de Usinabilidade

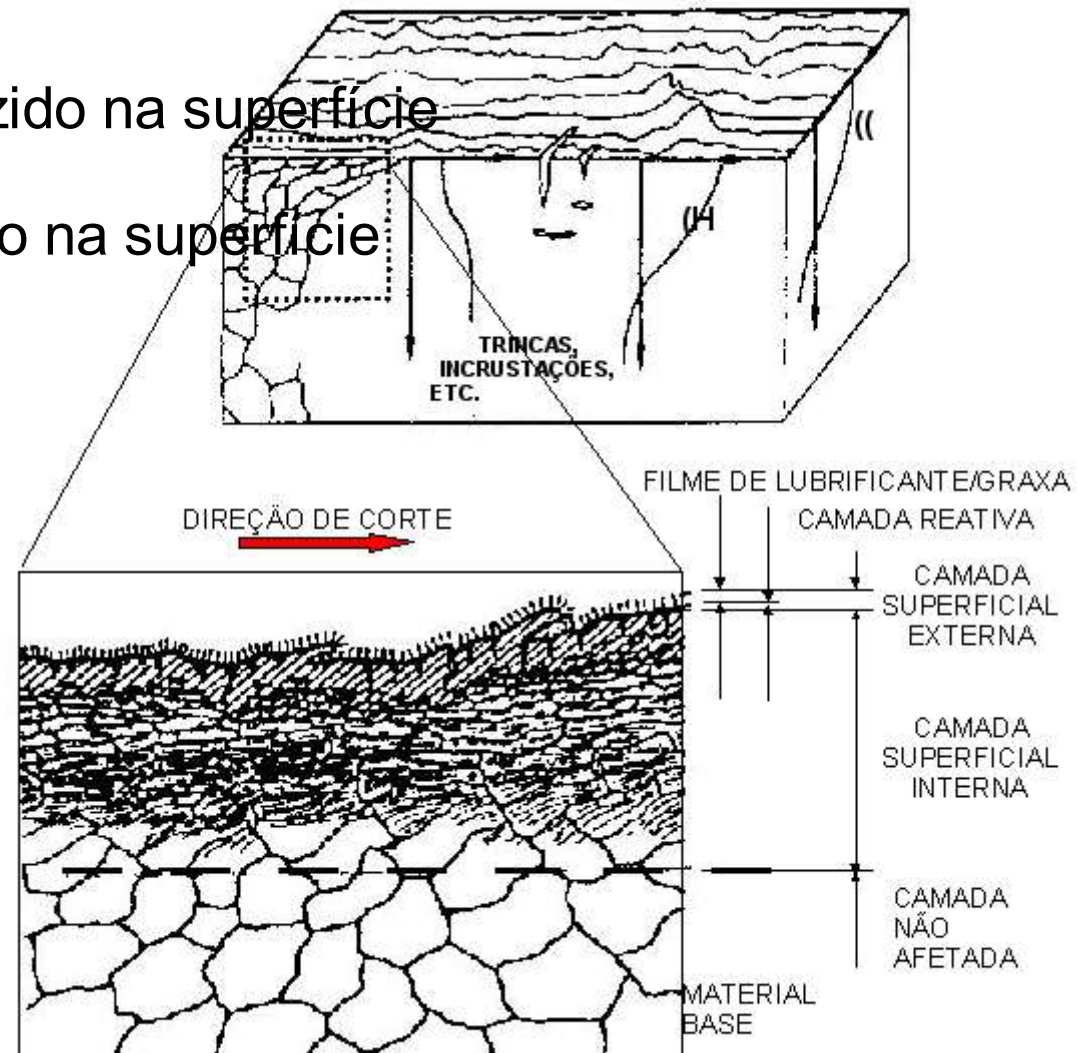
- Qualidade superficial

- Grau de tensão residual induzido na superfície

- Grau de dano térmico induzido na superfície

- Critérios de

- Outros

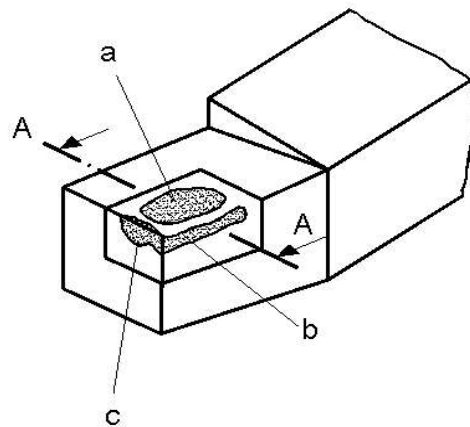


Ações para minimizar os efeitos da má usinabilidade

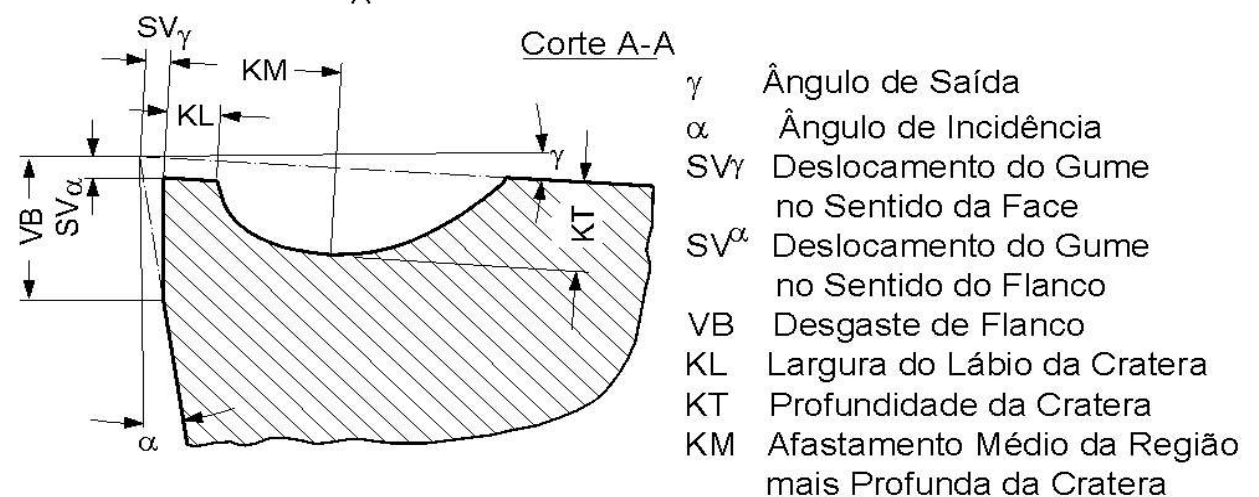
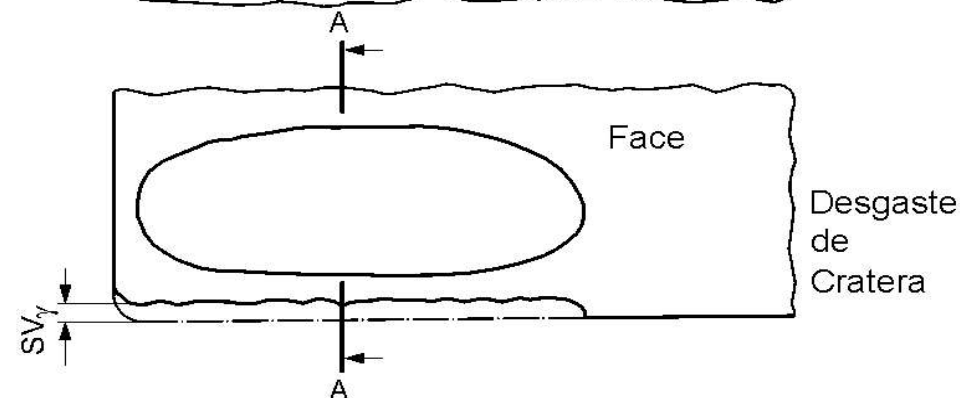
- na ferramenta
 - material
 - geometria da ferramenta
 - uso de revestimento
 - no processo
 - velocidade
 - avanço
 - profundidade de corte
 - uso de meios lubri-refrigerantes
 - no material da peça
 - elementos de liga
 - controle no processo de obtenção/fabricação anterior usinagem
 - alívio de tensões e tratamentos térmicos
-

Desgaste em ferramentas de usinagem

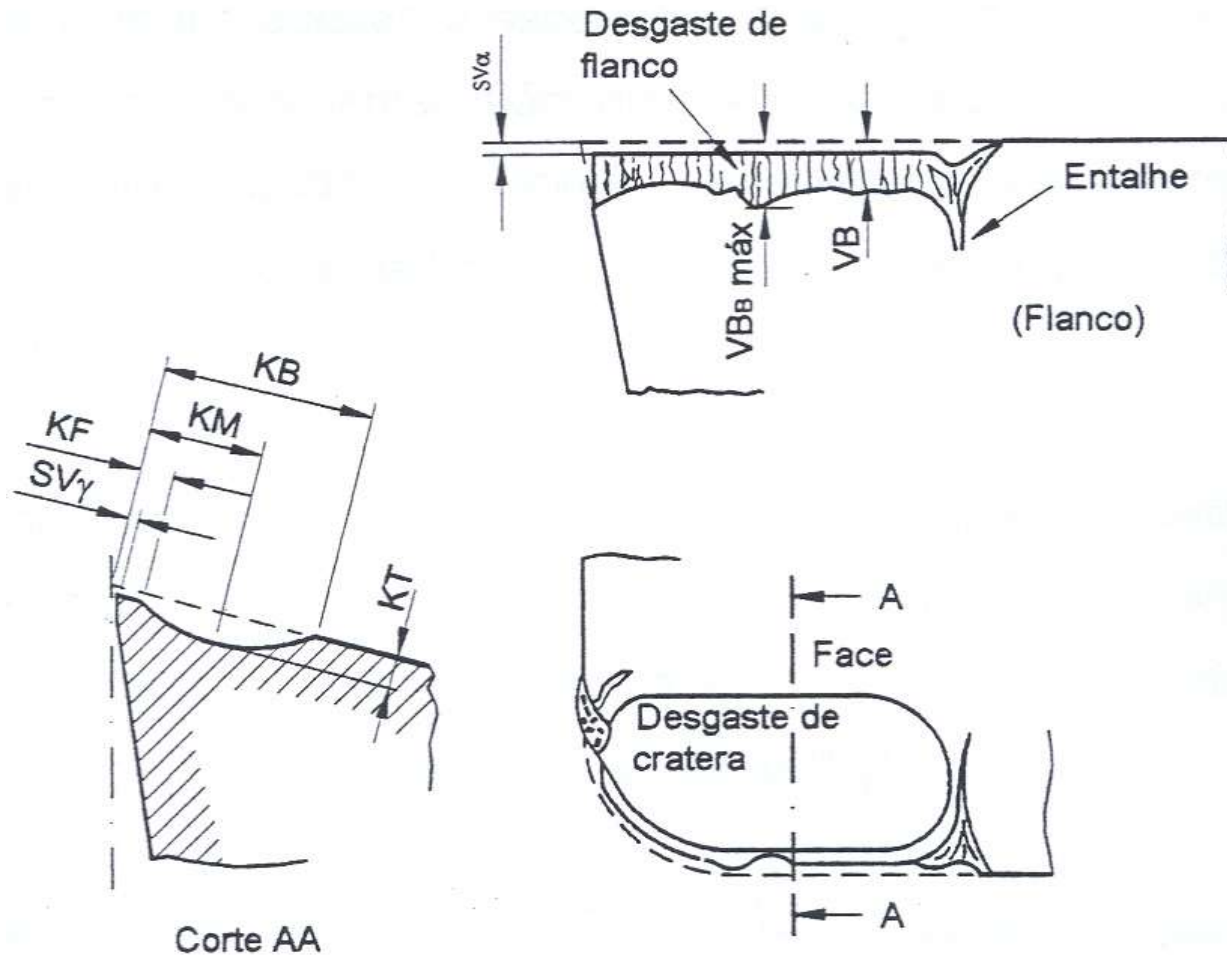
Desgaste em ferramentas de usinagem



- a Desgaste de Cratera
- b Desgaste de Flanco no Gume Principal
- c Desgaste de Flanco no Gume Secundário



Desgaste em ferramentas de usinagem



VB - Largura média de desgaste de flanco.

VB_{máx} - Largura máxima de desgaste de flanco.

SV α - Deslocamento lateral do gume na direção do flanco.

KB - Largura de cratera.

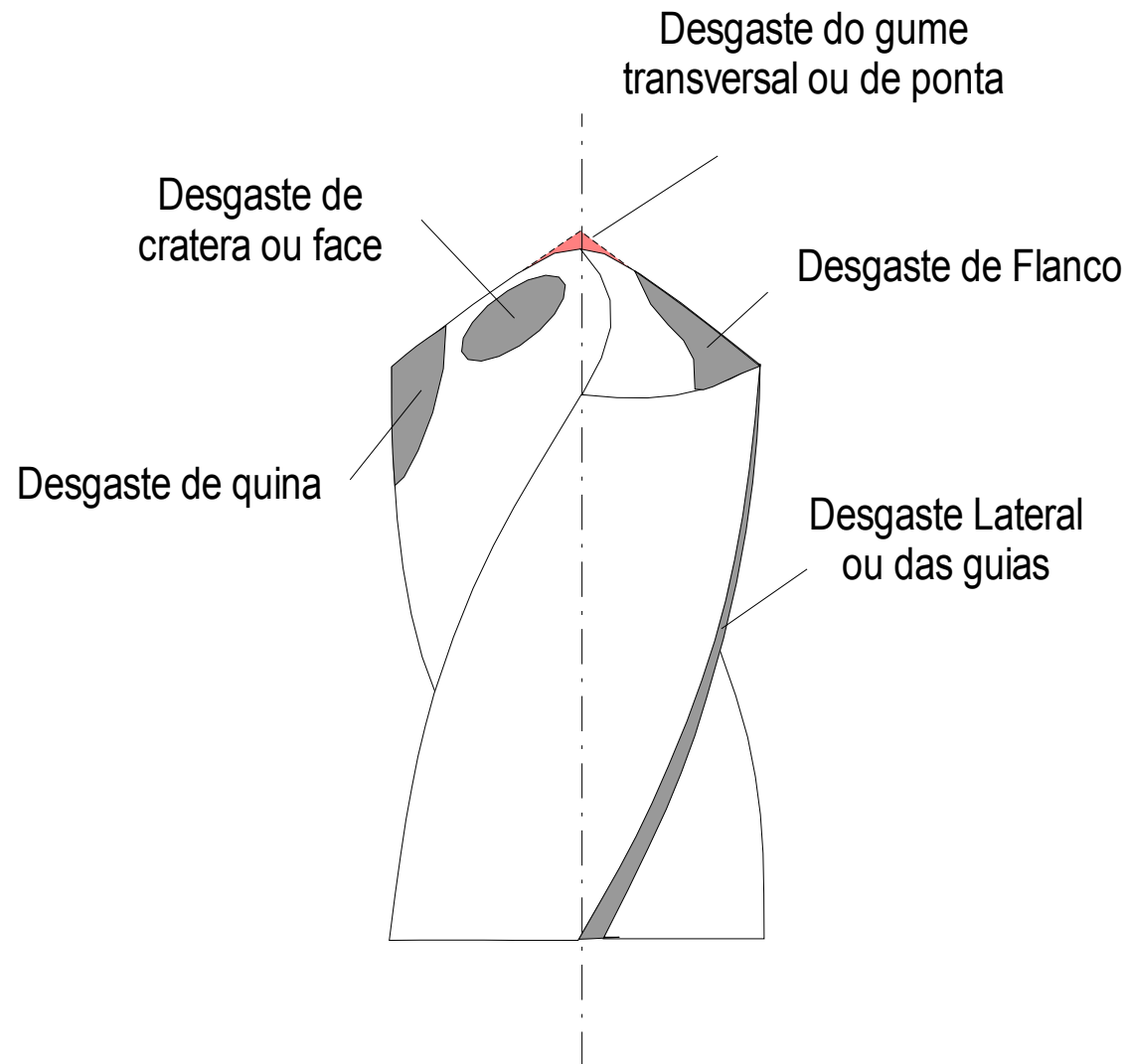
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

KM - Distância da borda da ferramenta ao centro da cratera.

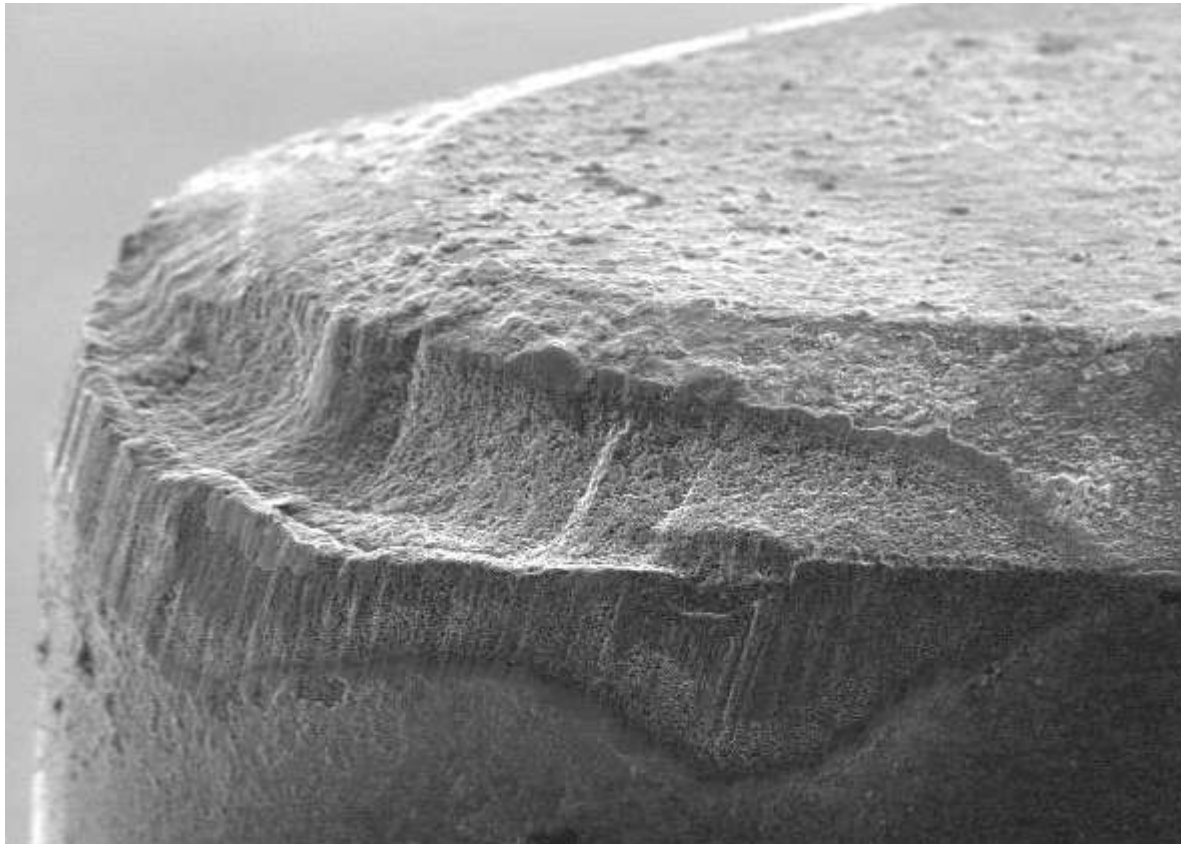
KT - Profundidade de cratera.

SV γ - Deslocamento lateral do gume na direção da face.

Desgaste em ferramentas de usinagem



Desgaste de cratera e de flanco (VB)



VB - Largura média de desgaste de flanco.

VB_{máx} - Largura máxima de desgaste de flanco.

SV_α - Deslocamento lateral do gume na direção do flanco.

KB - Largura de cratera.

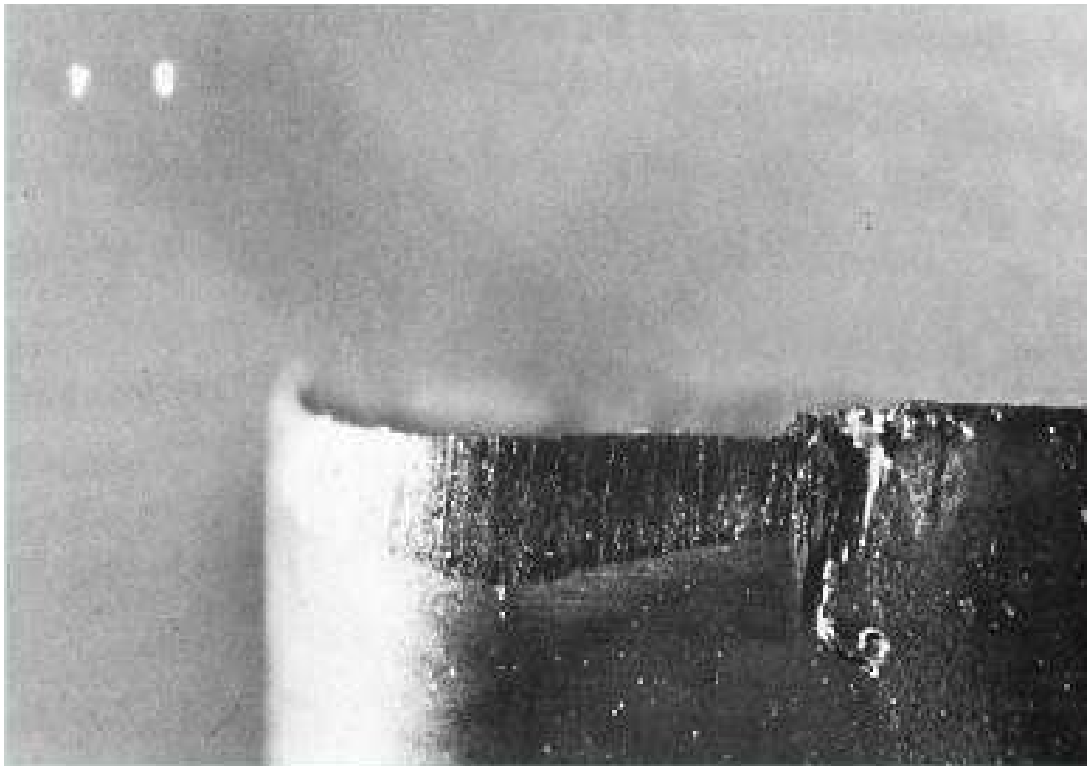
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

KM - Distância da borda da ferramenta ao centro da cratera.

KT - Profundidade de cratera.

SV_γ - Deslocamento lateral do gume na direção da face.

Desgaste de flanco (VB)



VB - Largura média de desgaste de flanco.

VB_{máx} - Largura máxima de desgaste de flanco.

SV_α - Deslocamento lateral do gume na direção do flanco.

KB - Largura de cratera.

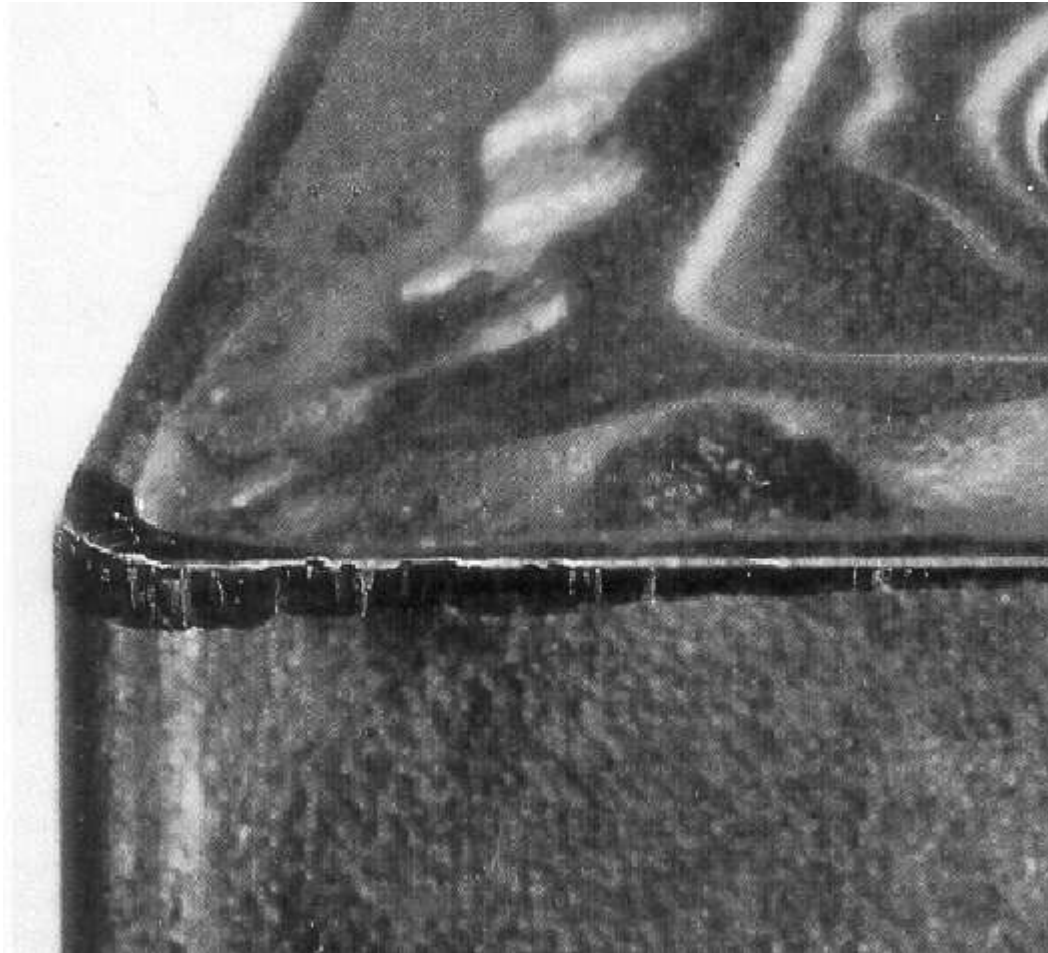
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

KM - Distância da borda da ferramenta ao centro da cratera.

KT - Profundidade de cratera.

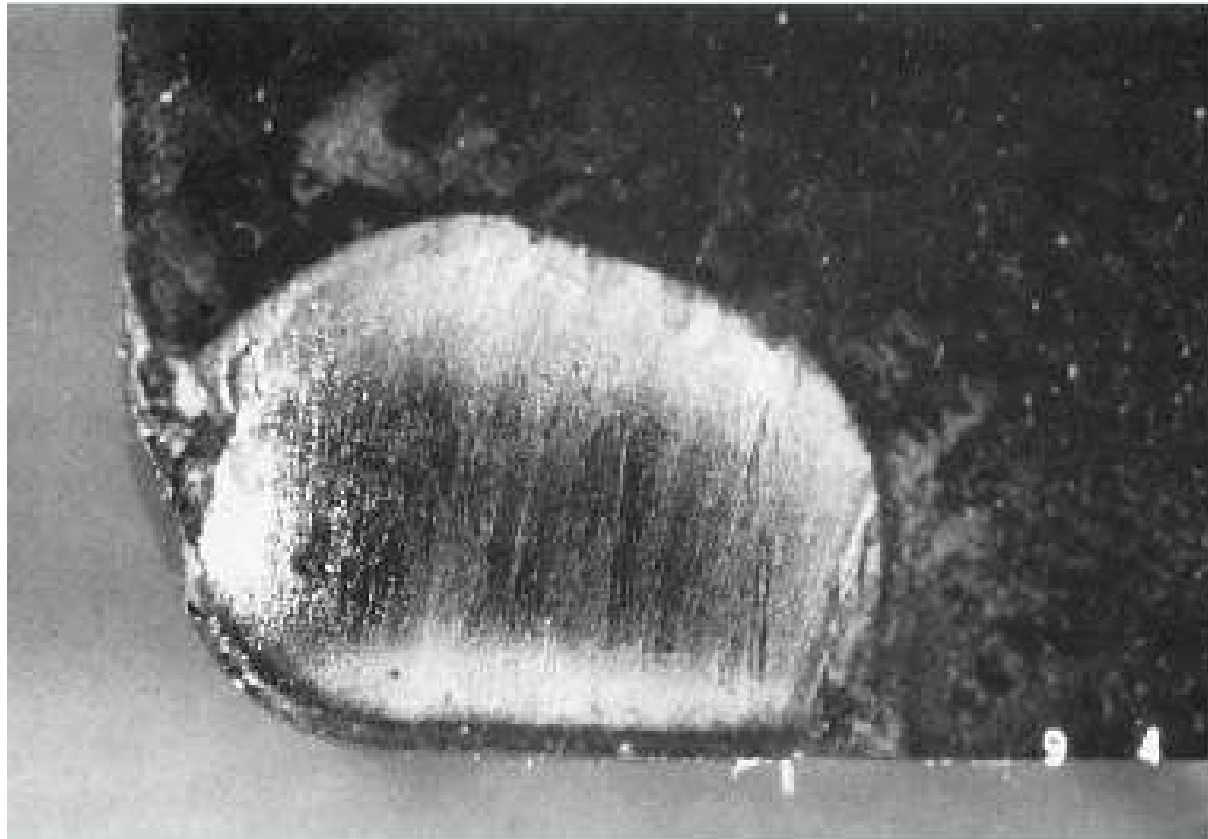
SV_γ - Deslocamento lateral do gume na direção da face.

Desgaste em ferramentas de usinagem



Exemplo de desgaste de flanco

Desgaste na face – desgaste de cratera



VB - Largura média de desgaste de flanco.

VB_{máx} - Largura máxima de desgaste de flanco.

SV_α - Deslocamento lateral do gume na direção do flanco.

KB - Largura de cratera.

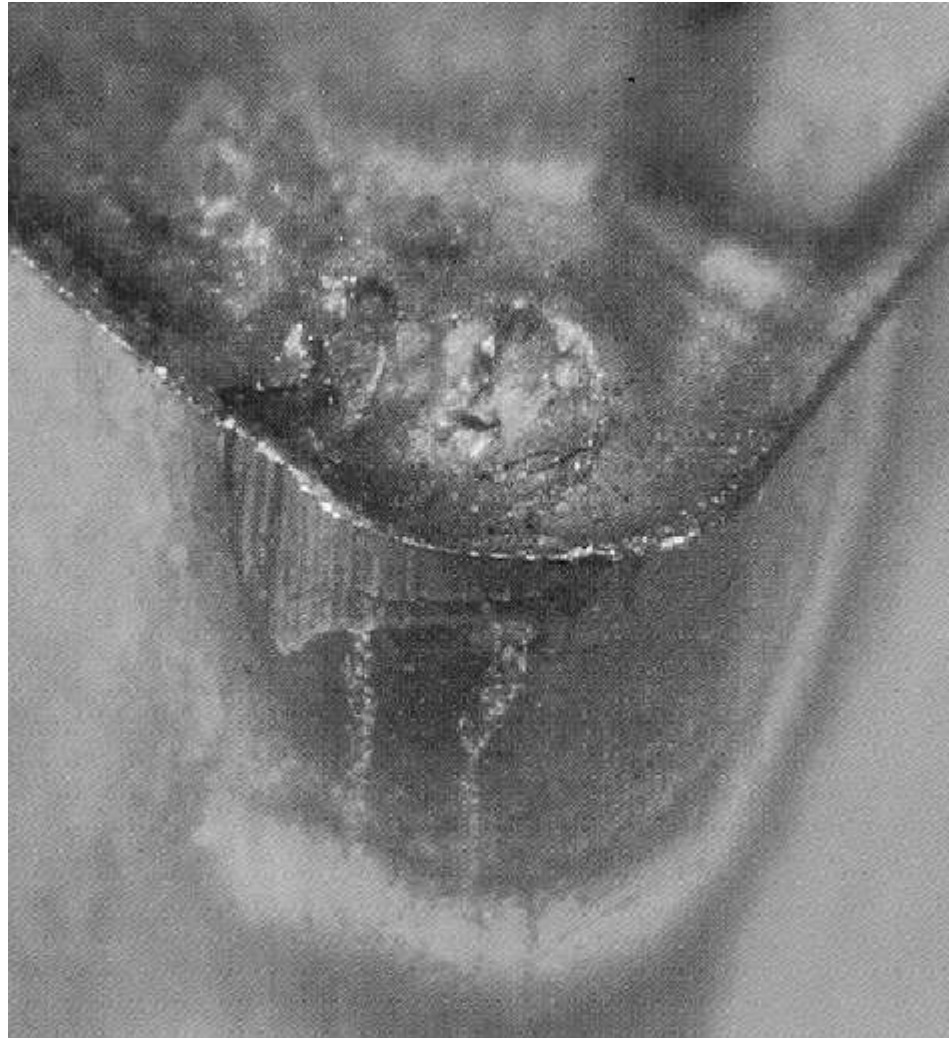
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

KM - Distância da borda da ferramenta ao centro da cratera.

KT - Profundidade de cratera.

SV_γ - Deslocamento lateral do gume na direção da face.

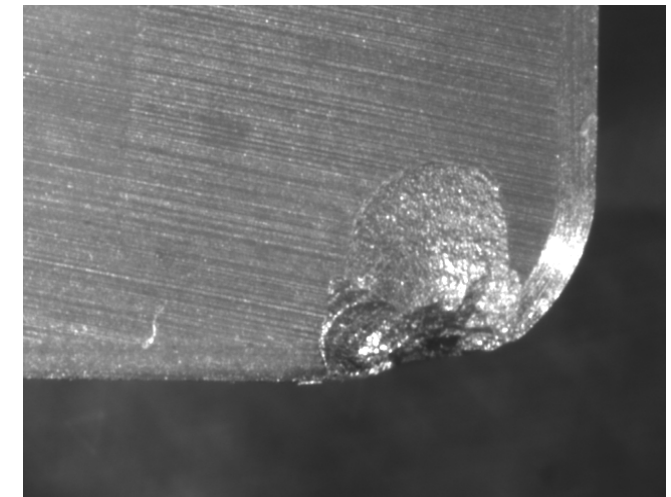
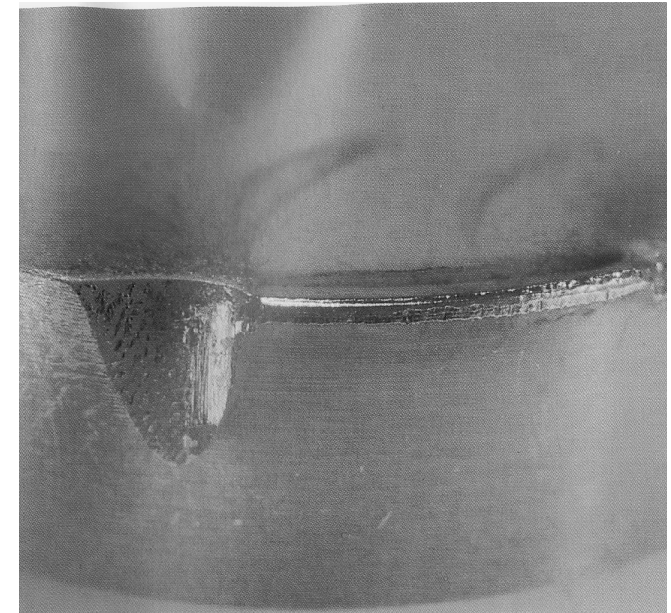
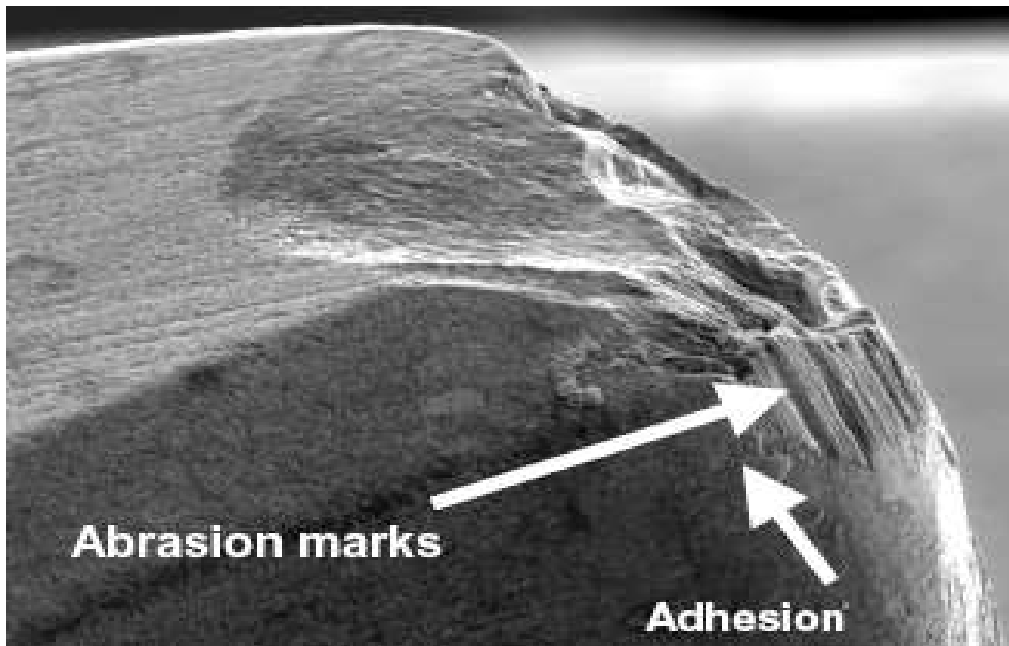
Desgaste em ferramentas de usinagem



Exemplo de desgaste de cratera

Lascamento de gume

- Forças de corte excessivas;
- Corte interrompido;
- Material da peça com inclusões duras.



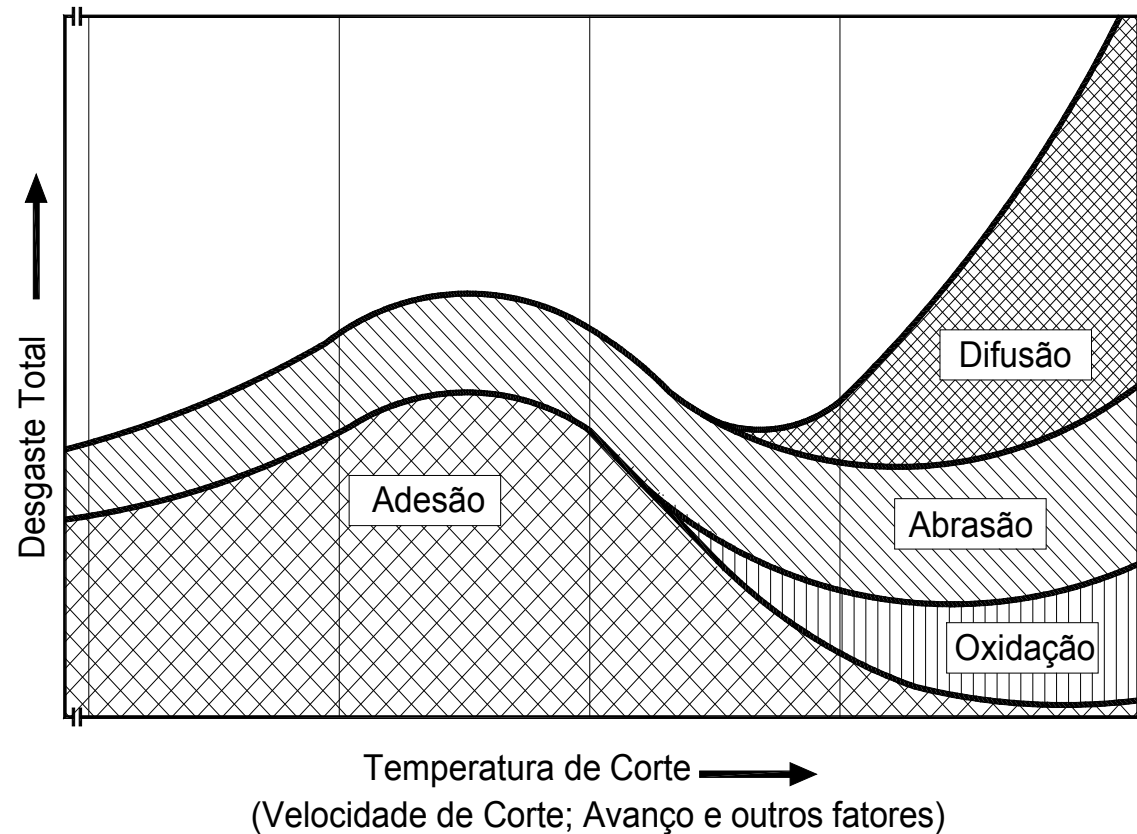
Desgaste em ferramentas de usinagem



Exemplo de desgaste por adesão

Causas e mecanismos de desgaste

- Danos no gume devido a solicitações
- Adesão
- Abrasão mecânica
- Oxidação
- Difusão
- outros



Mecanismos de desgaste

Formas de avaliação do desgaste

Medição direta

- inspeção visual com comparação de padrões (lupas)
- mecânica (paquímetros, micrômetros, outros)
- óptica (microscópios de ferramentaria)
- óptica/eletrônica (cameras CCD)

Medição indireta

- aumento das vibrações
 - aumento do ruído
 - piora da qualidade
 - rejeição dimensional
 - aumentos das forças
 - outros
-

Vida da ferramenta

Tipos de solicitações na ferramentas de corte



Conceito de vida da ferramenta

Período no qual uma ferramenta pode ser mantida usinando de forma econômica

O critério econômico pode ser relacionado principalmente com a elevação dos custos de produção associados a necessidade de retrabalhos, perda de produção (sucateamento de peças), tempo de máquinas parada, aumento do consumo de energia, aumento no consumo de ferramentas, etc.

Crêterios de fim de vida

São cr terios que são utilizados para determinar quando uma ferramenta deve ser substituída no processo.

Definição: Vida de ferramenta   o tempo que esta resiste do início do corte até a sua utilização total

- A vida   relacionada a um certo cr terio de fim de vida sob certas condições de usinagem
-

Desgaste em ferramentas de corte

Forma	Efeito	Causas	Soluções
Flanco	Acabamento ruim Tolerância fora	Veloc. Corte altas Ferram. sem resist.	Diminuir α Ferram. mais resist.
Cratera	Acabamento ruim Tolerância fora	Abrasão Difusão	Aumentar γ Diminuir f e V_c
Lascamentos	Acabamento ruim Tolerância fora	Corte interrompido Ferram. frágil, vibr.	Ferram. mais tenaz Fluido (muito ou nada)
Deformações	Acabamento ruim Tolerância fora	Altas temperaturas Altos avanços,...	Ferram. mais dura Diminuir f e V_c

– Critérios de fim de vida

- Falha completa da ferramenta
- Falha preliminar da ferramenta
- Desgaste de flanco (VB) ou de cratera (KT)
- Vibrações (monitoramento)
- Acabamento superficial ruim
- Rebarbas
- Alterações nos cavacos
- Alterações nas dimensões de corte
- Alterações nas forças de usinagem (monitoramento)
- Aumentos nas temperaturas

Critérios de fim de vida

Os critérios são relacionado ao nível de desgaste na ferramenta, e suas **conseqüências** diretas :

- desvios nas tolerâncias dimensionais
 - desvios nas tolerâncias geométricas
 - perda de qualidade superficial da peça
 - aumento no nível de vibrações no processo
 - aumento no nível de esforços no processo
 - aumento do custo de reafiação da ferramenta
-

Principais critérios de fim de vida

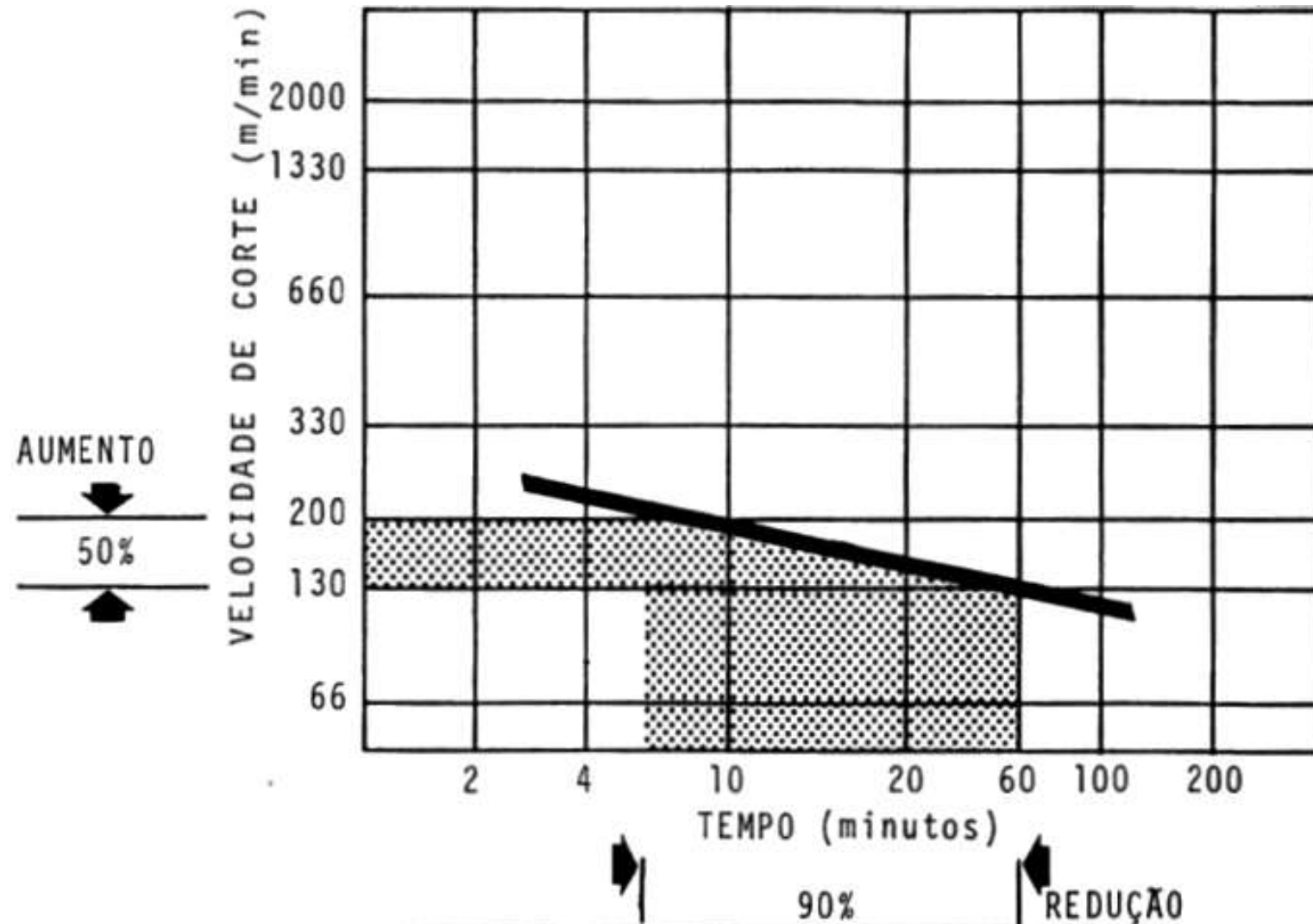
- Falha completa da ferramenta
 - Falha preliminar da ferramenta
 - Desgaste de flanco (VB) ou de cratera (KT)
 - Vibrações (monitoramento)
 - Acabamento superficial ruim
 - Rebarbas
 - Alterações nos cavacos
 - Alterações nas dimensões de corte
 - Alterações nas forças de usinagem (monitoramento)
 - Aumento nas temperaturas
-

Critério Vida da Ferramenta

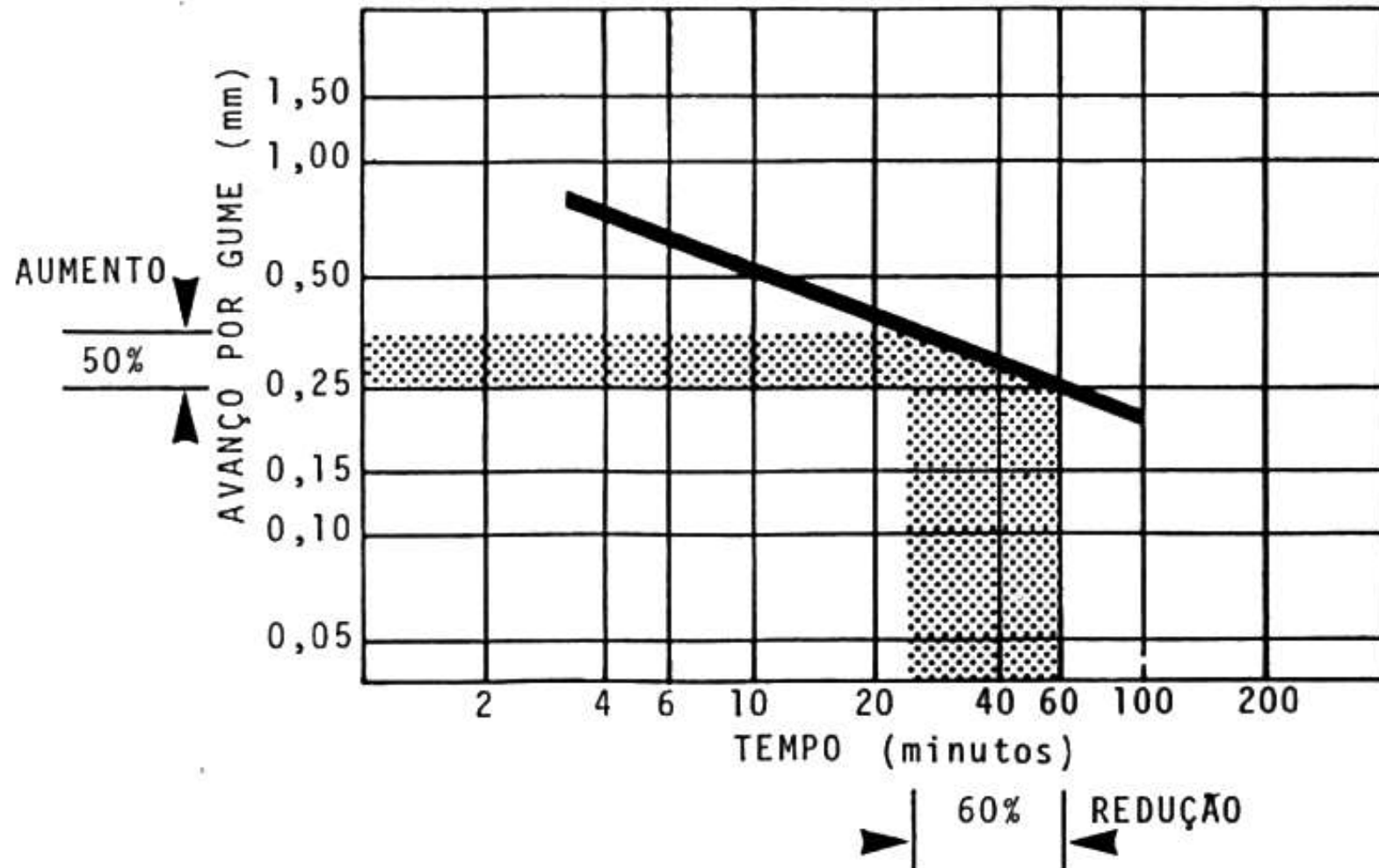
Formas de determinação da vida

- Testes de longa duração
 - Resultados precisos
 - Tempo, quantidade de material e custo elevados
 - Testes rápidos
 - Só trazem valores de comparação
 - Econômicos
-

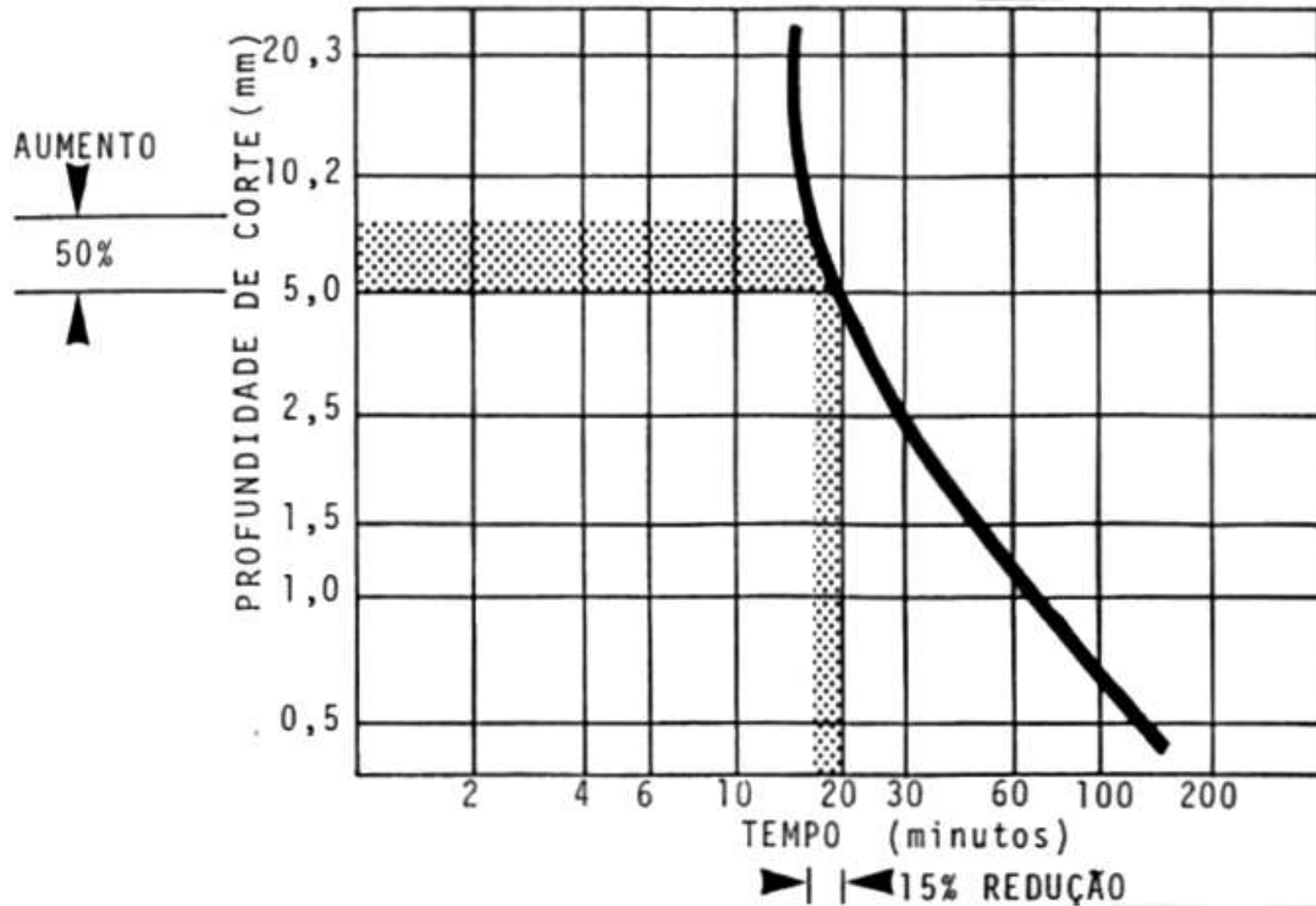
Influência da Velocidade de Corte na Vida da Ferramenta



Influência do Avanço na Vida da Ferramenta



Influência da Profundidade de Corte na Vida da Ferramenta



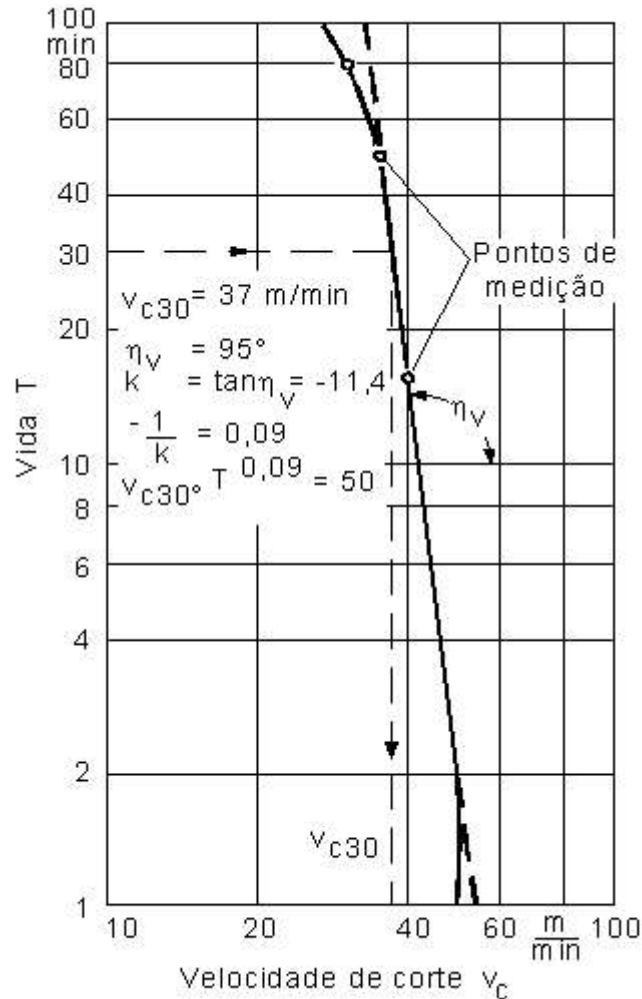
Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – temperatura

- Teste de longa duração utilizado quando o fator dominante na vida da ferramenta é a temperatura
 - v_c e f constantes até a destruição total da ferramenta (desgaste hiperproporcional)
 - Constar no relatório os instantes em que aparecem ruídos, modificações nos cavacos, marcas na peça e tempo total para destruição da ferramenta
 - No torneamento longitudinal, escolher quatro velocidades de corte que proporcionam vidas entre 5 e 60 minutos
 - Usualmente empregado aço rápido HS 10-4-3-10;
-

Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – curva de vida



- Em papel log-log são traçadas as curvas de $T = f(v_c)$
- A equação da melhor reta que representa o comportamento da curva da vida é a equação de Taylor:

$$T = v_c^k \cdot C_v$$

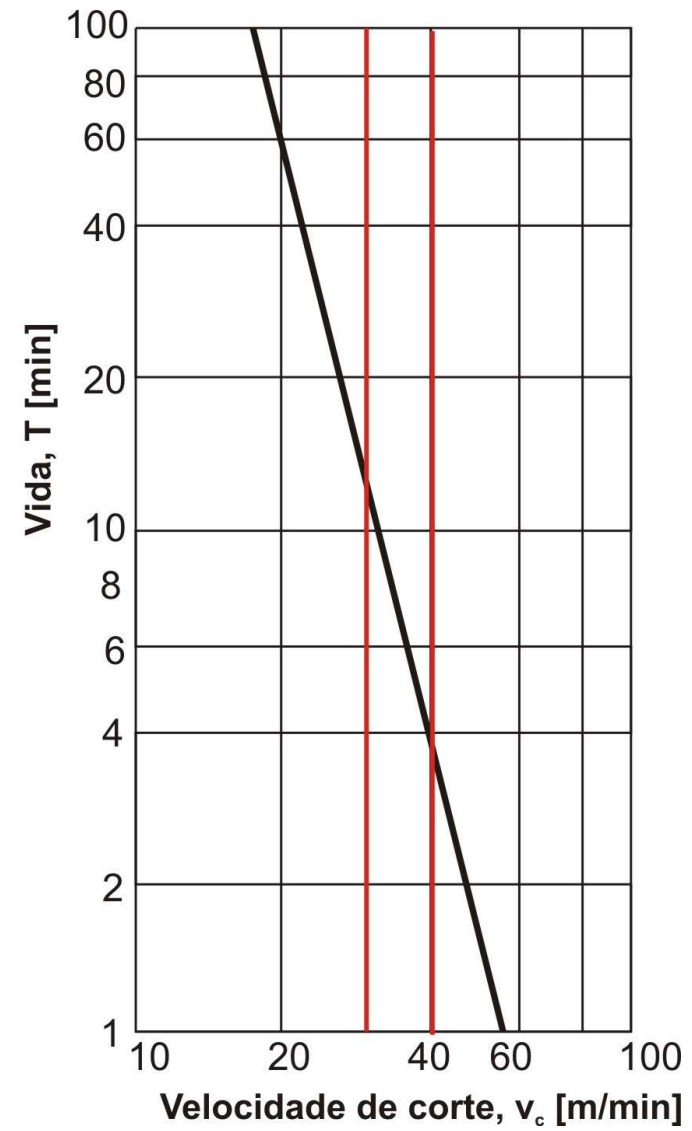
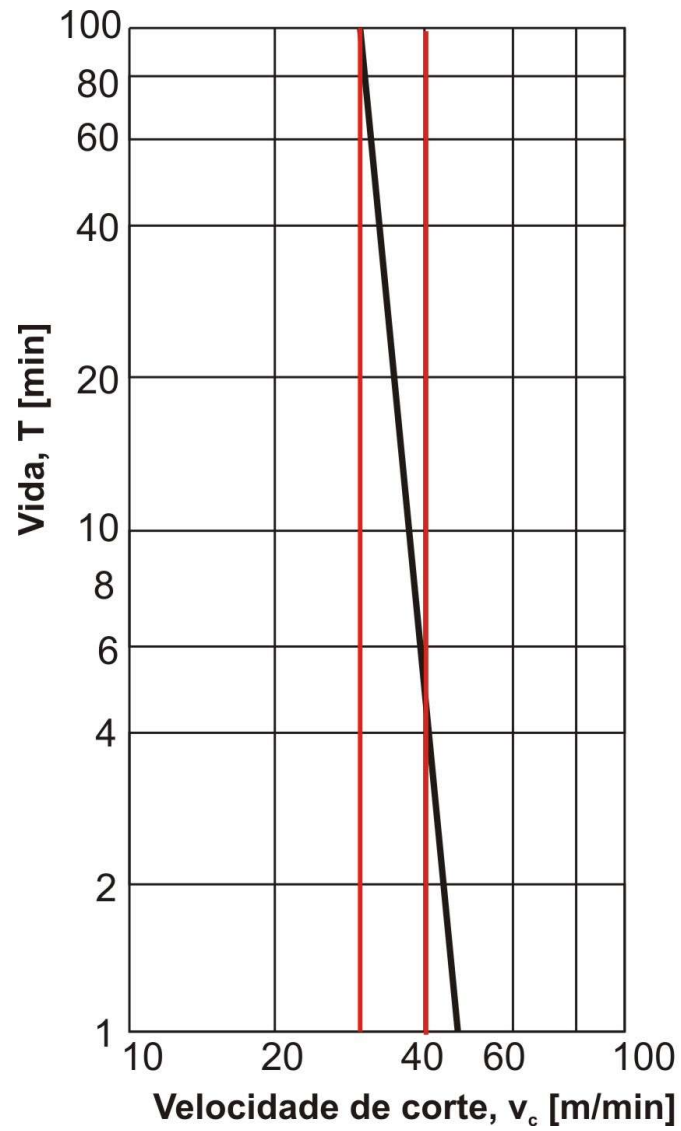
T Vida
 v_c Velocidade de corte
 η Inclinação da curva v_c
 Material da peça Ck 45
 Material da ferramenta S 10-4-3-10

Teste de vida de ferramentas

Modificações da equação de Taylor

- $v_c = T^{1/k} \cdot C_T$ ou $v_c \cdot T^{-1/k} = C_T$ onde $C_T = C_v^{-1/k}$
 - Eixos de coordenadas
 - C_v (vida T para $v_c = 1$ m/min)
 - C_T (v_c para vida $T = 1$ min)
 - O fator k é a inclinação da reta ($k = \tan \eta_v$)
-

Curvas de vida de ferramentas



Exercício

Dispõe-se de um torno para a pré-usinagem de 5 eixos do aço ABNT 4340, com um diâmetro bruto de 102 mm e um comprimento de 300 mm. A diferença de diâmetros não deverá ser maior que 0,09 mm ao final do 5º eixo (neste torno não é possível corrigir a posição da ferramenta).

Geometria da ferramenta:

- $\alpha = +5^\circ$
 - $\alpha' = +5^\circ$
 - $\gamma = +6^\circ$
 - $\lambda = 0^\circ$
 - $\kappa = 90^\circ$
 - $\varepsilon = 60^\circ$
 - $R_\varepsilon = 1,2 \text{ mm}$
-

Exercício

Desta forma pergunta-se:

- a) Qual a marca de desgaste de flanco VB admissível, para que a diferença de diâmetro permaneça na faixa tolerável de 0,09 mm (observar geometria da ferramenta)

 - b) Determine o avanço, para que com a ferramenta nova tenhamos uma rugosidade cinemática de $R_t=0,001$ mm
-

Exercício

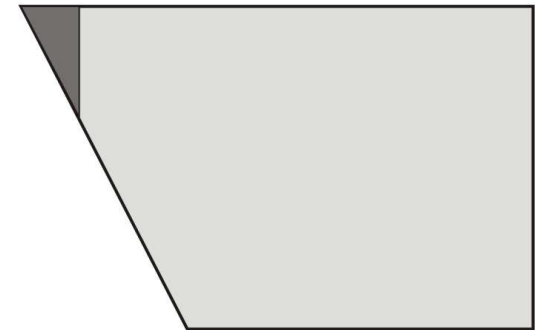
Desta forma pergunta-se:

c) O comportamento de desgaste da pastilha empregada na usinagem do aço ABNT 4340 foi determinada experimentalmente. Na faixa de velocidades de 100 e 160 m/min o comportamento de desgaste é exponencial, e num gráfico bilogarítmico representado por retas (figura). Quais são as constantes da equação de Taylor? Qual a vida da ferramenta para uma velocidade de corte de 100m/min?

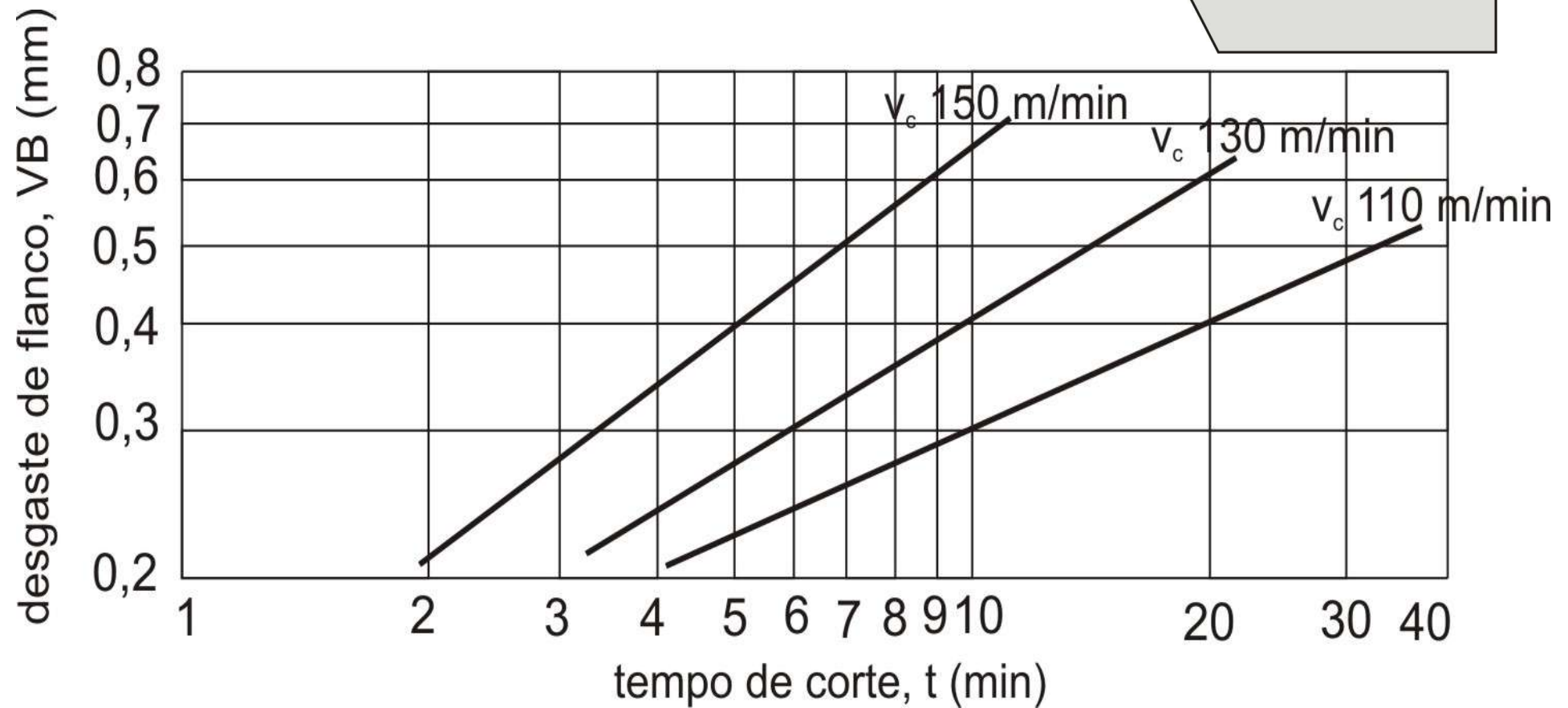
d) Qual a vida da ferramenta (T) para uma velocidade de 100m/min, tendo como critério de fim de vida $VB=0,3\text{mm}$?

Exercício

Vista do Plano
do Gume (Ps)



Dados



Exercício

Fórmulas

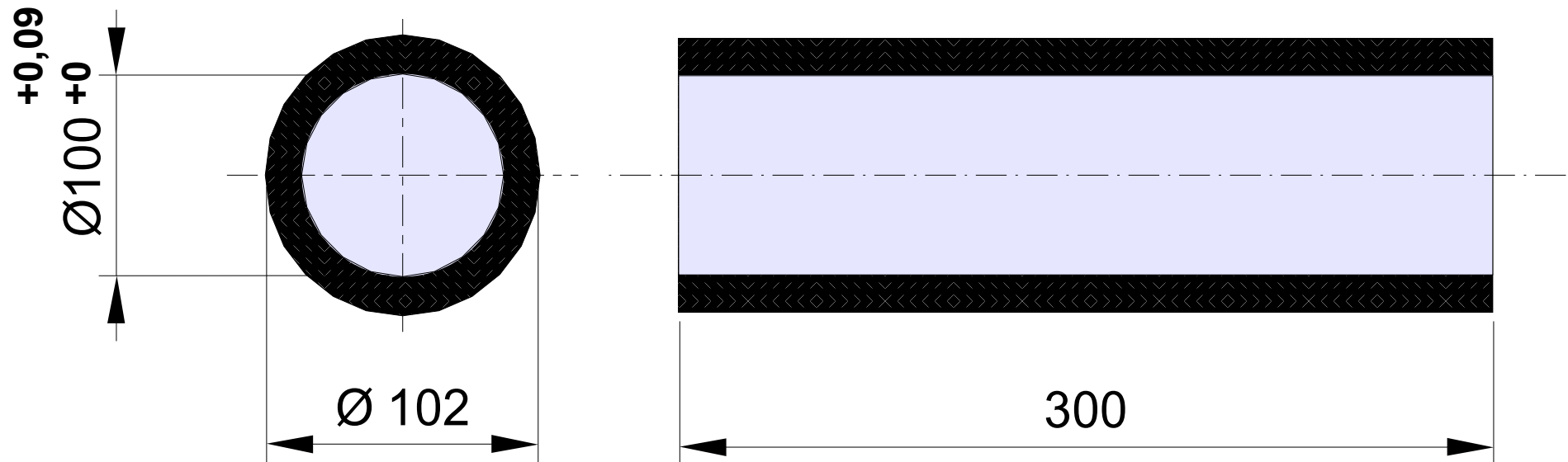
$$T = V_c^k \cdot C_V$$

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon}$$

Solução Exercício

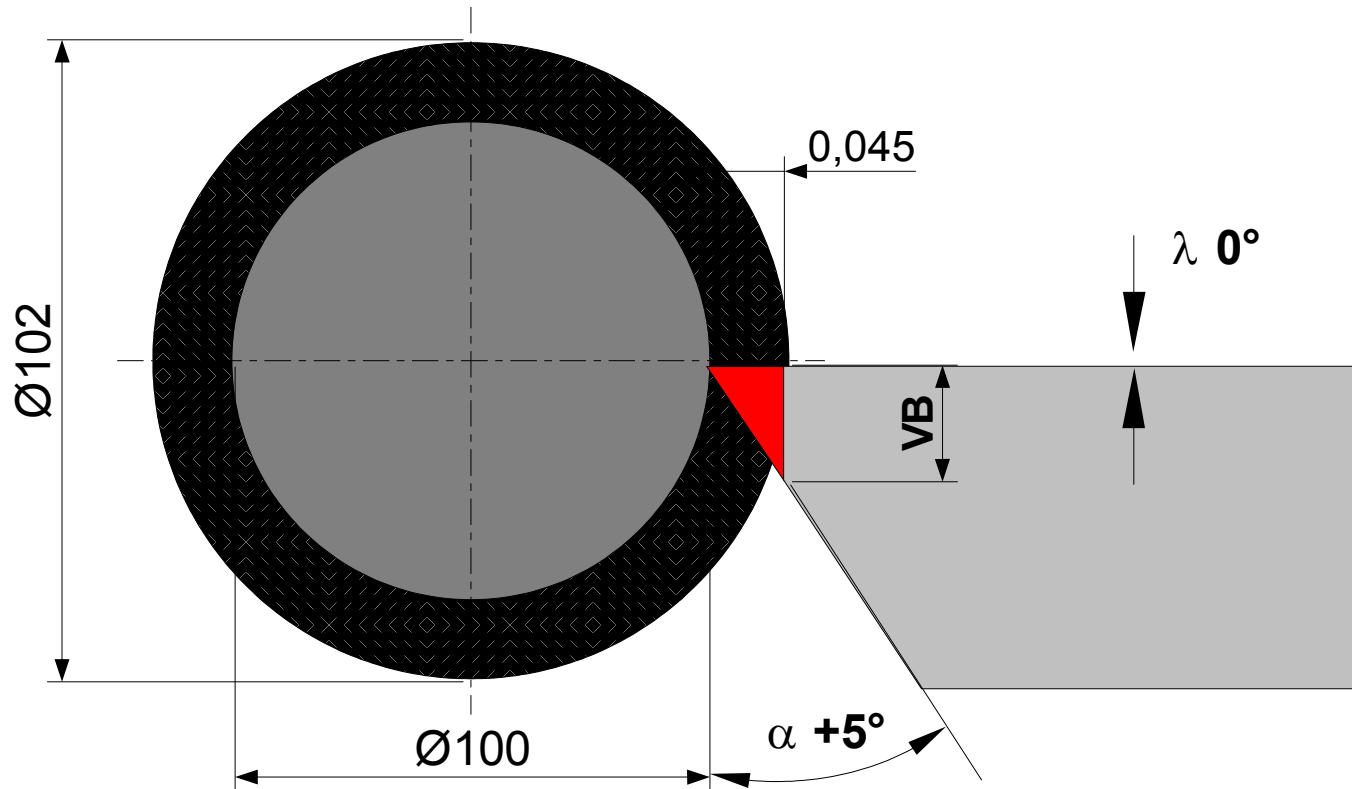
Material: ABNT 4340

Quantidade: 05 peças



Solução Exercício

a) Qual a marca de desgaste de flanco VB admissível, para que a diferença de diâmetro permaneça na faixa tolerável de 0,09 mm (observar geometria da ferramenta)



- $\alpha = +5^\circ$
- $\alpha' = +5^\circ$
- $\gamma = +6^\circ$
- $\lambda = 0^\circ$
- $\kappa = 90^\circ$
- $\varepsilon = 60^\circ$
- $R_\varepsilon = 1,2 \text{ mm}$

Solução Exercício

b) Determine o avanço, para que com a ferramenta nova tenhamos uma rugosidade cinemática de $R_t=0,001$ mm

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} \quad f = \sqrt{(8 R_t r_\epsilon)}$$

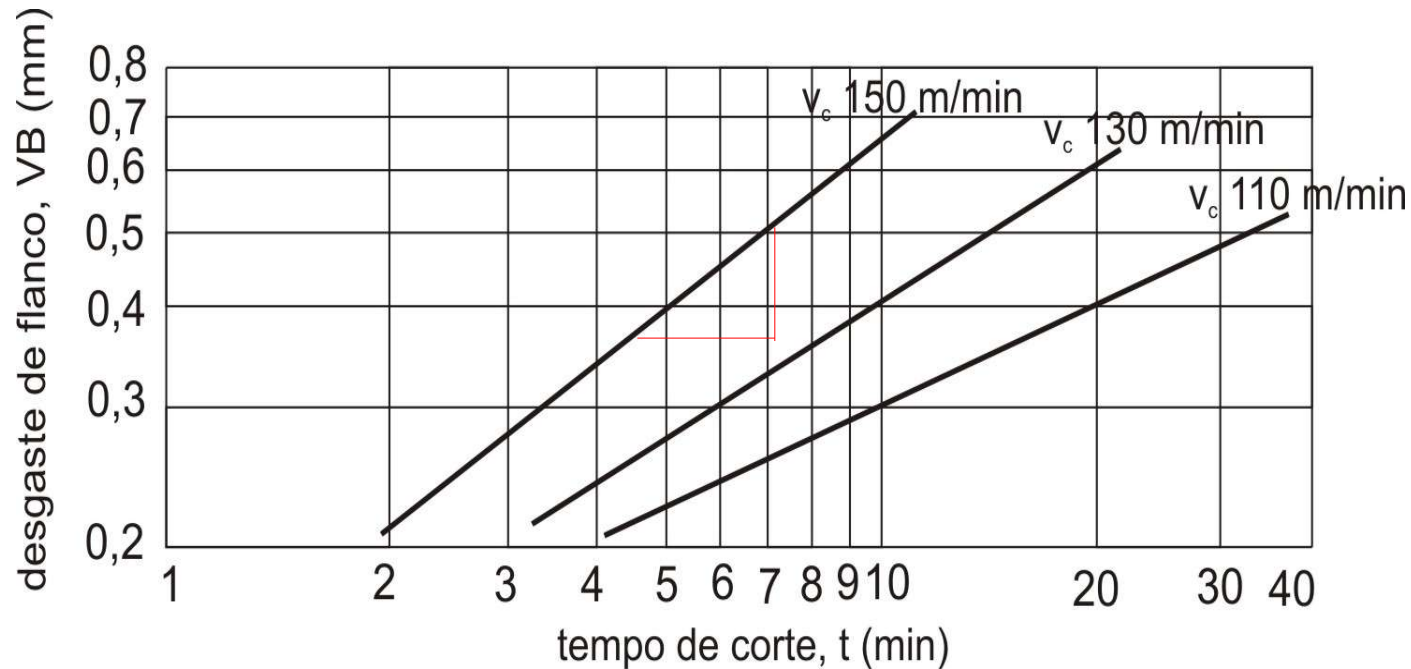
Dados

- $R_t = 0,001$ mm
- $R_\epsilon = 1,2$ mm

Solução Exercício

c) Quais são as constantes da equação de Taylor?

Qual a vida da ferramenta para uma velocidade de corte de 100m/min?



$$T = V_c^k C_v$$

Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – desgaste

- Executados quando o desgaste, e não a temperatura, é determinante no fim da vida da ferramenta
 - Ferramentas de metal duro e aço rápido em altas velocidades de corte apresentam desgastes de flanco e cratera
 - Mantendo-se v_c constante acompanha-se a evolução do desgaste no flanco e na face
 - Medidas de desgaste
 - Marca de desgaste de flanco VB
 - Profundidade de cratera KT
 - Afastamento médio da cratera KM
-

Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – desgaste

- Os valores são plotados em gráficos log-log onde são traçadas as curvas de VB ou a relação de desgaste $K = f(t_c)$

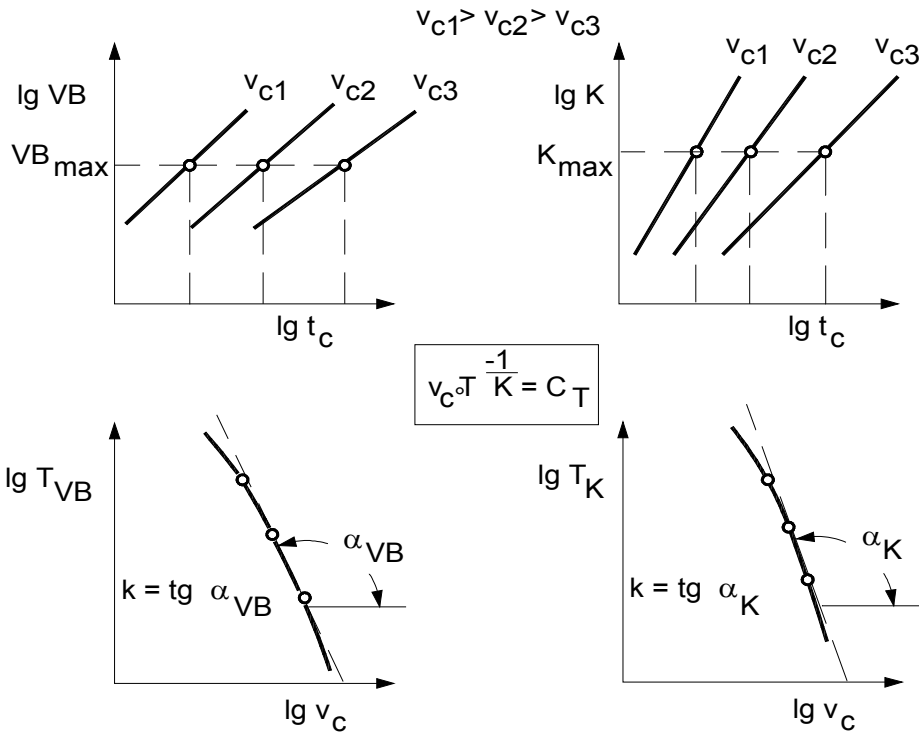
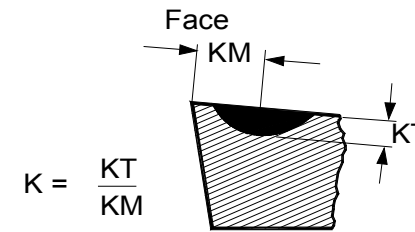
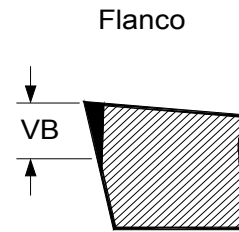
$$T_{VB} = f(v_c) \text{ ou } T_K = f(v_c)$$

- Destas curvas pode-se obter:
 - A velocidade de corte para determinada vida
 - As duas equações para as formas de desgaste, marca de desgaste ou profundidade de cratera
 - Normalmente as curvas são mais inclinadas para desgastes de cratera do que para desgastes de flanco
-

Teste de vida de ferramentas

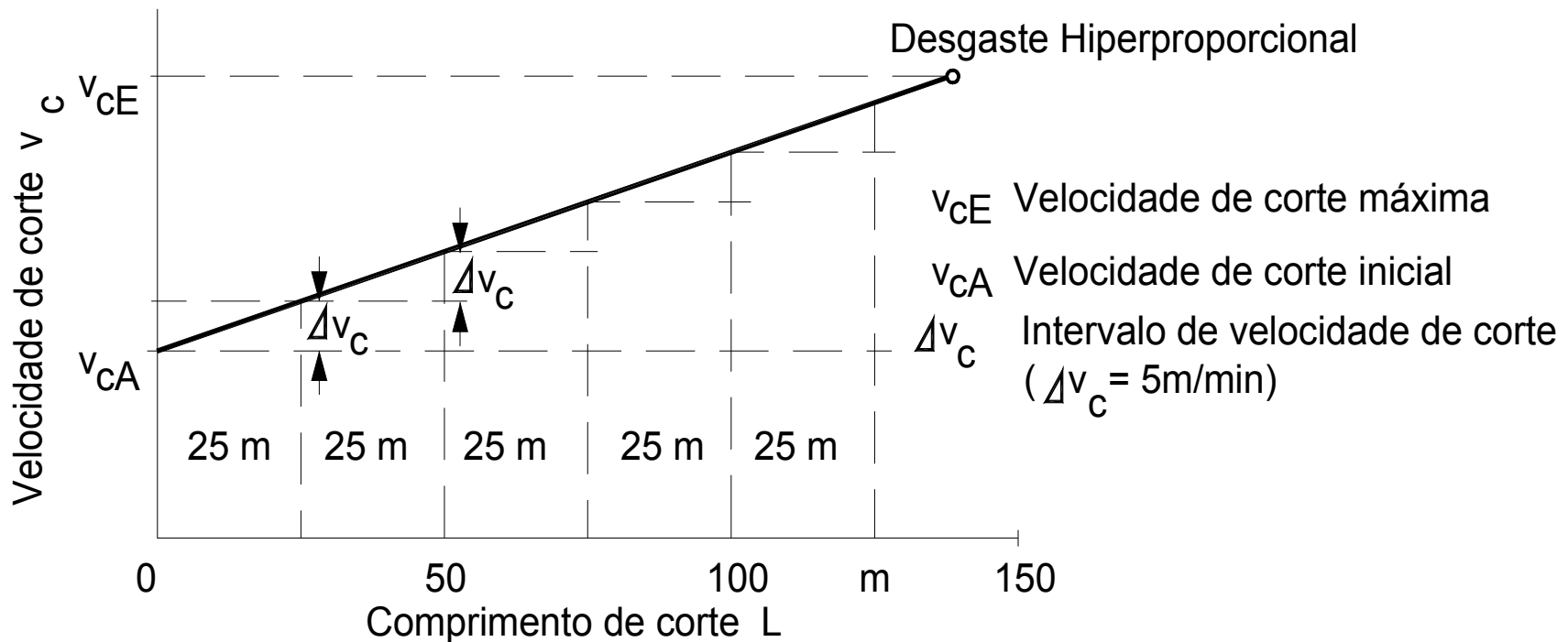
Testes de torneamento – desgaste

$$T_{VB} = f(v_c) \text{ ou } T_K = f(v_c)$$



Teste de vida de ferramentas

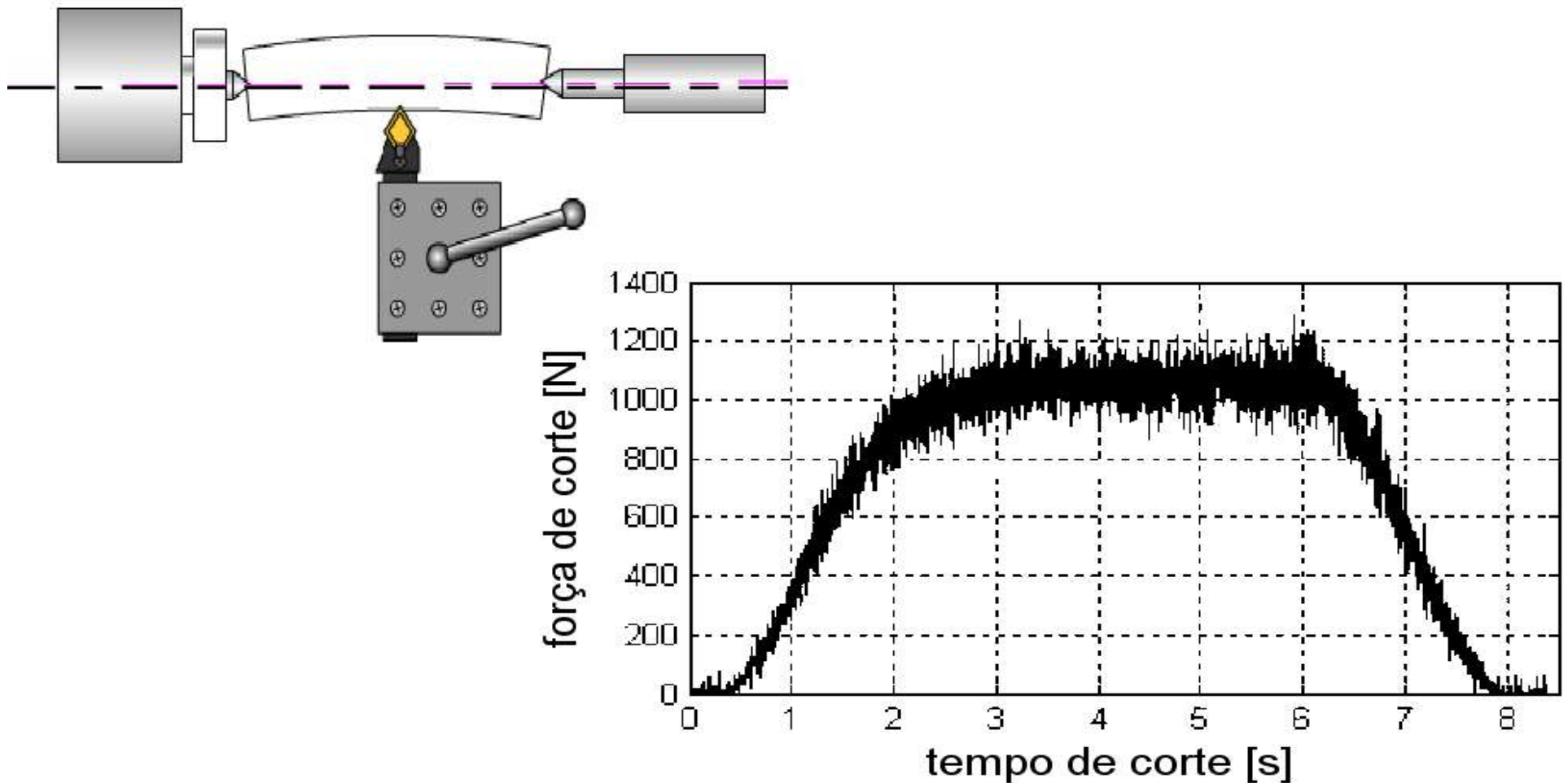
Ensaio v_{cE} com variação contínua da velocidade de corte



- **Adequado para:**
 - Supervisão de fornecimento de materiais
 - Determinação da usinabilidade de materiais tratados termicamente de maneira diferente

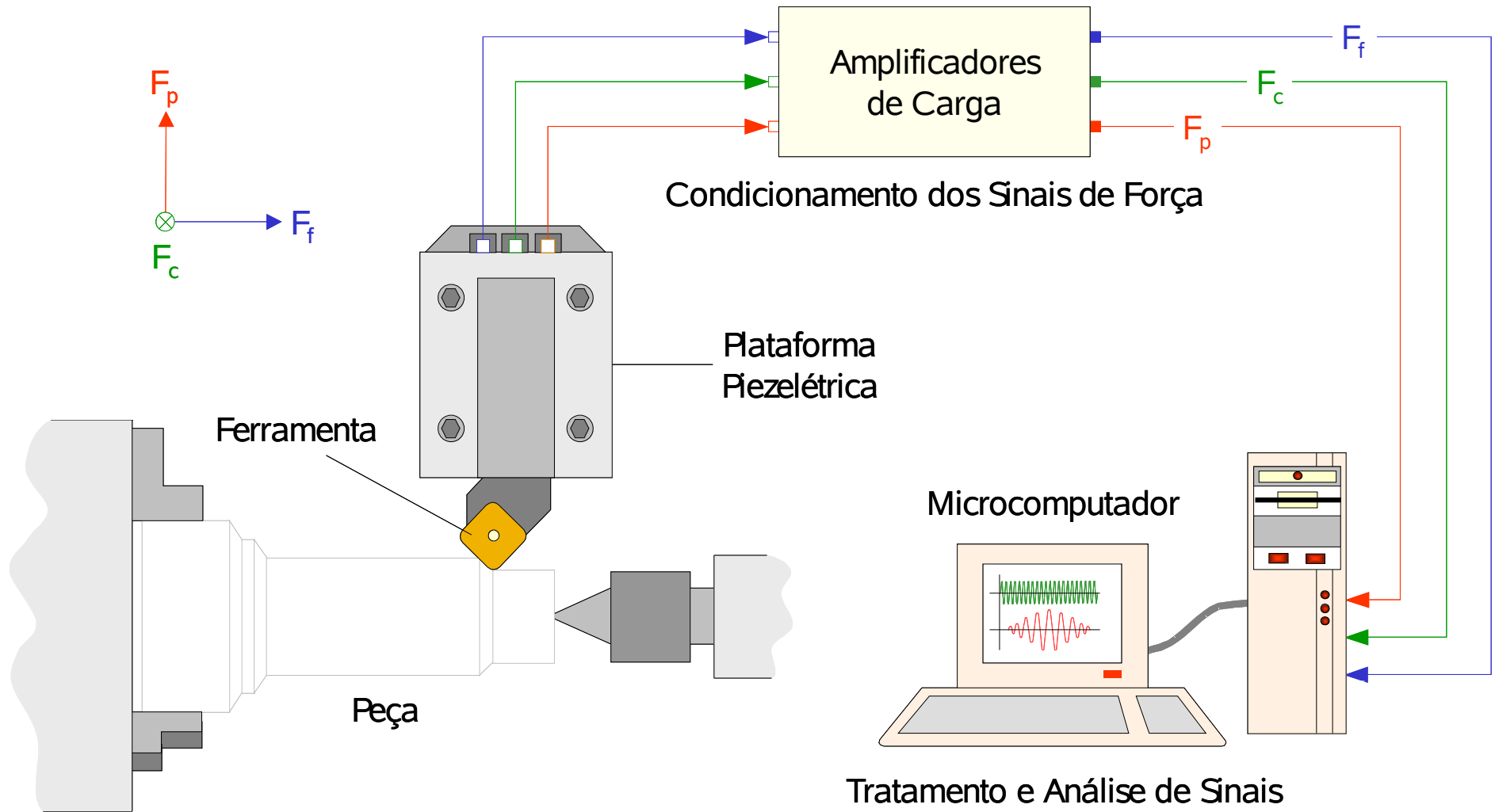
Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – critério de força



Teste de vida de ferramentas

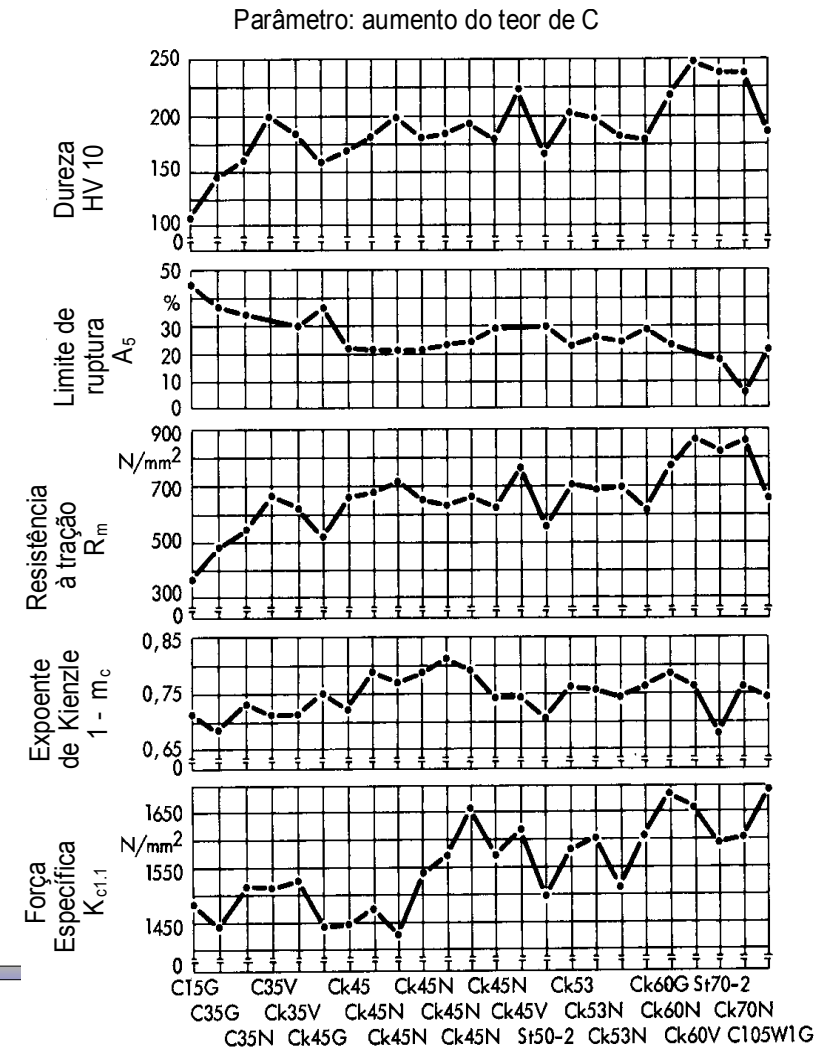
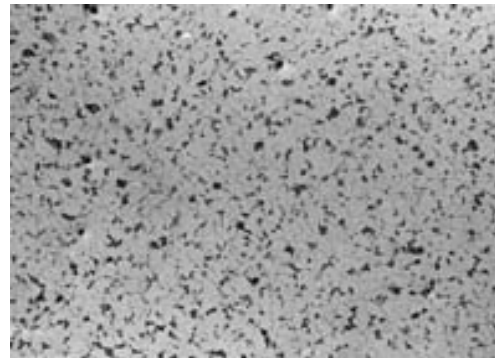
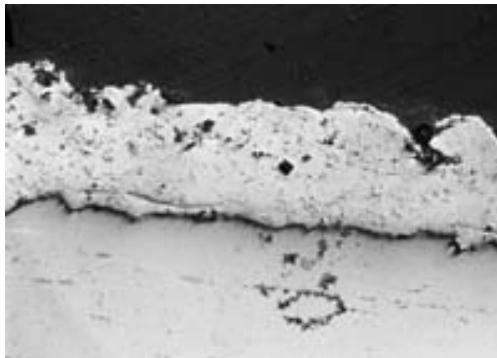
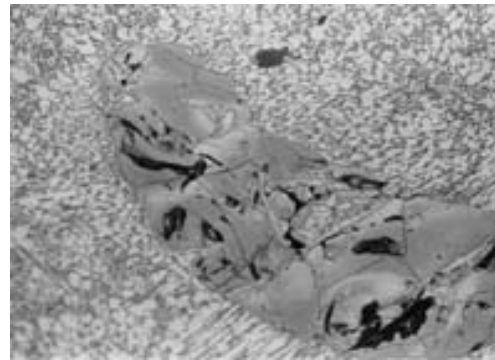
Medição de força de usinagem



Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – critério de força

- Força específica de corte e propriedades mecânicas de aços carbono.



Teste de vida de ferramentas

Critério de força – Equação de Kienzle

- Função das características do material;
- Função da seção de corte

$$F_c = b \cdot h^{(1-m_c)} \cdot k_{c1.1}$$

Onde:

F_c = força de corte [N];

b = largura de usinagem [mm];

h = espessura de corte [mm];

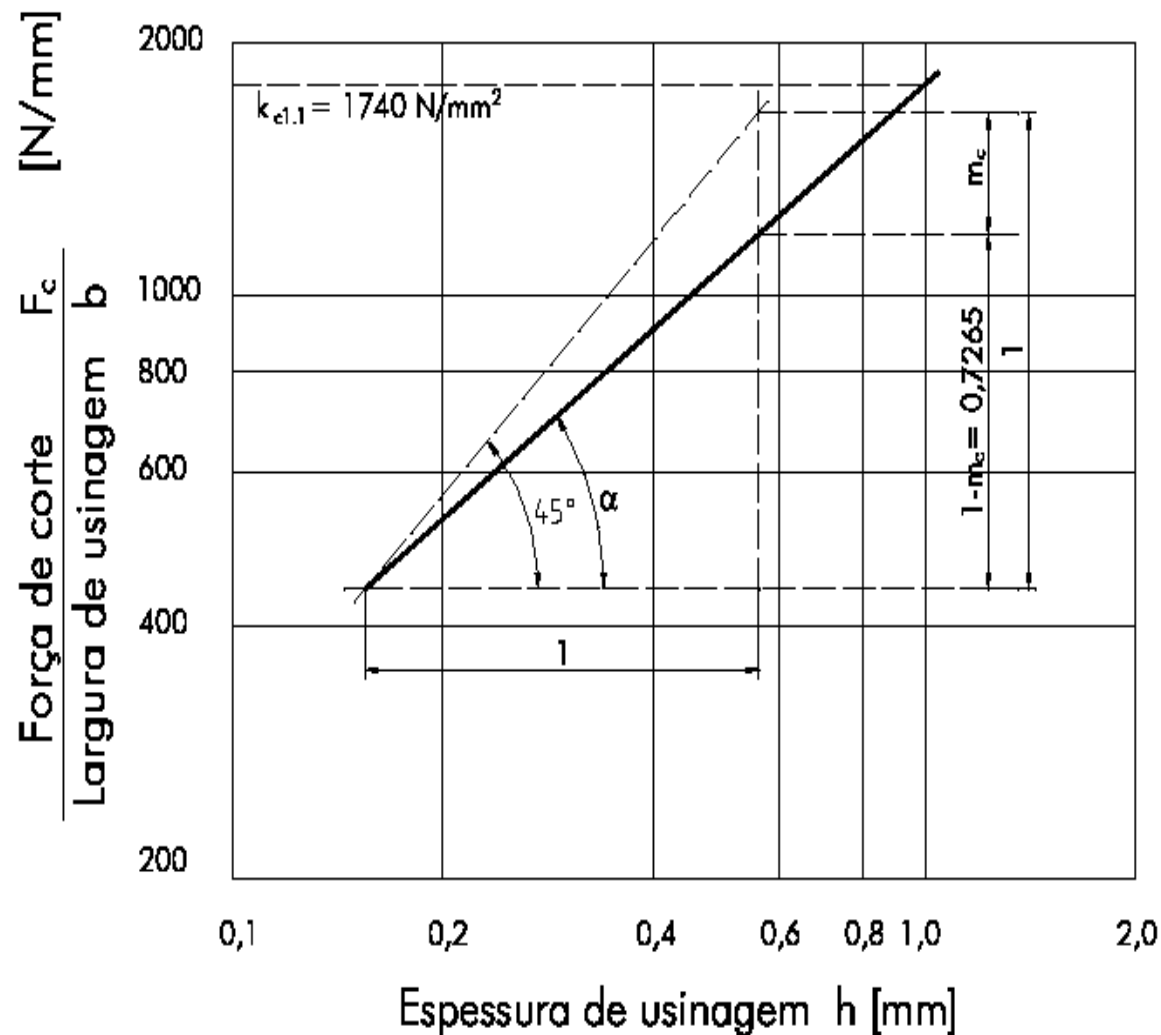
$k_{c1.1}$ = pressão específica de corte para um cavaco de 1x1 mm² [N/mm²];

$(1-m_c)$ = coeficiente angular da reta

Teste de vida de ferramentas

Critério de força – Equação de Kienzle

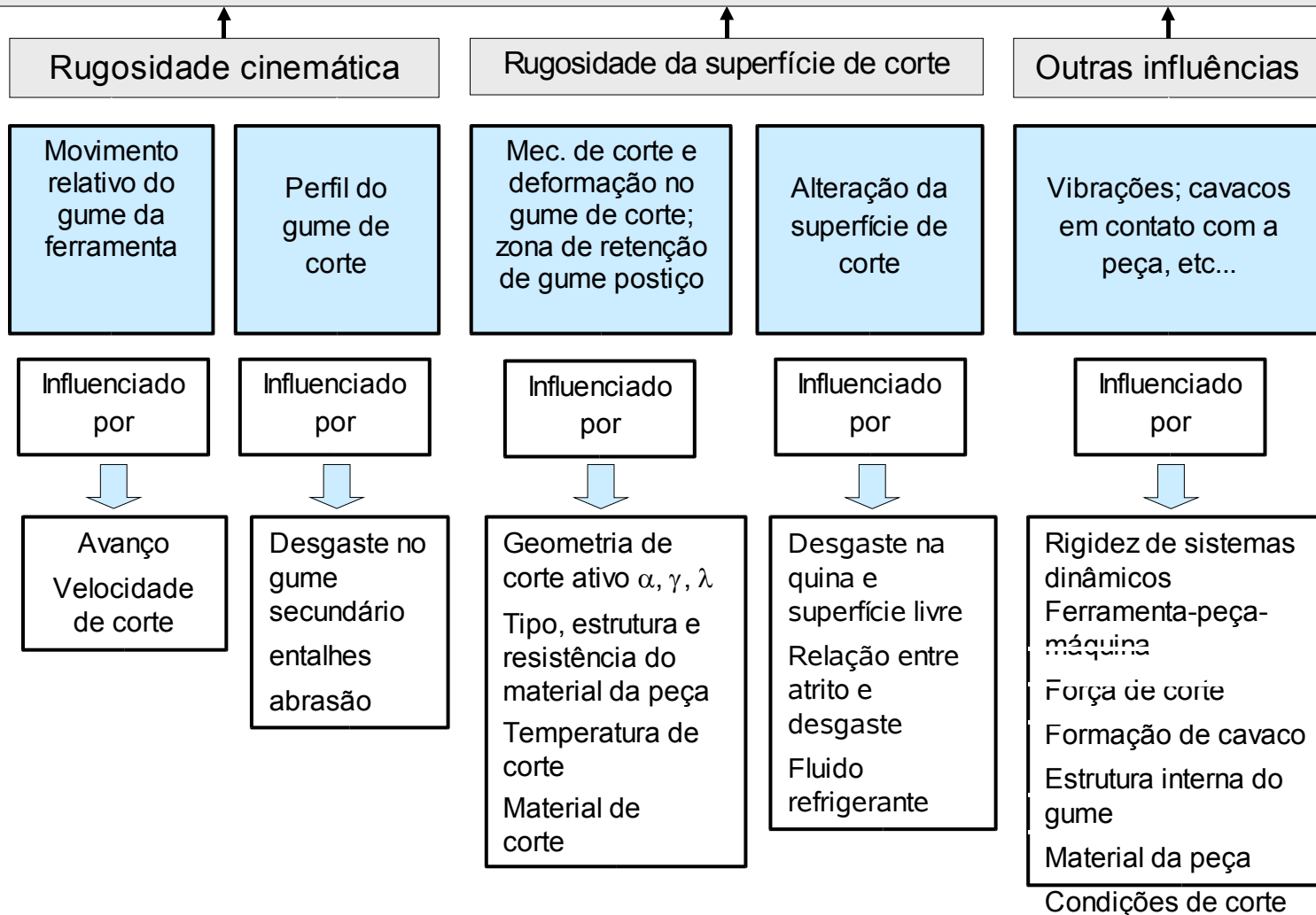
$$F_c = b \cdot h^{(1-m_c)} \cdot k_{c1.1}$$



Teste de vida de ferramentas

Critério de força – Qualidade superficial

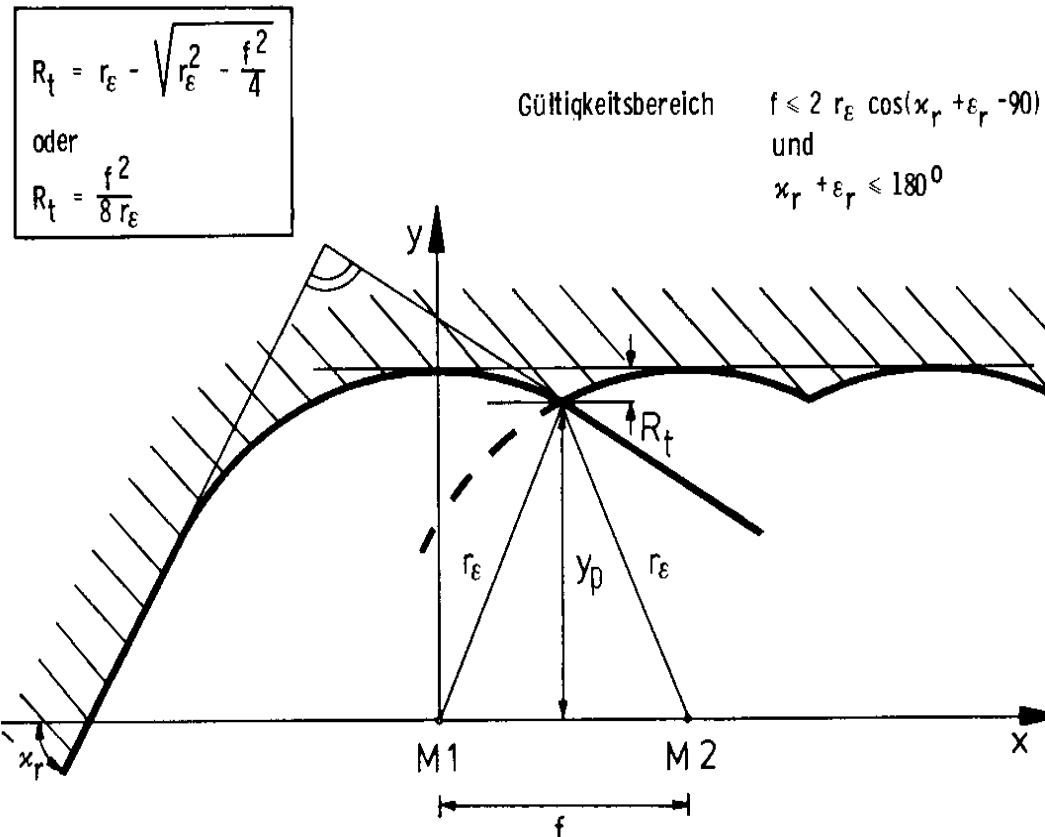
Grandezas influentes sobre a qualidade superficial na usinagem de metais



Teste de vida de ferramentas

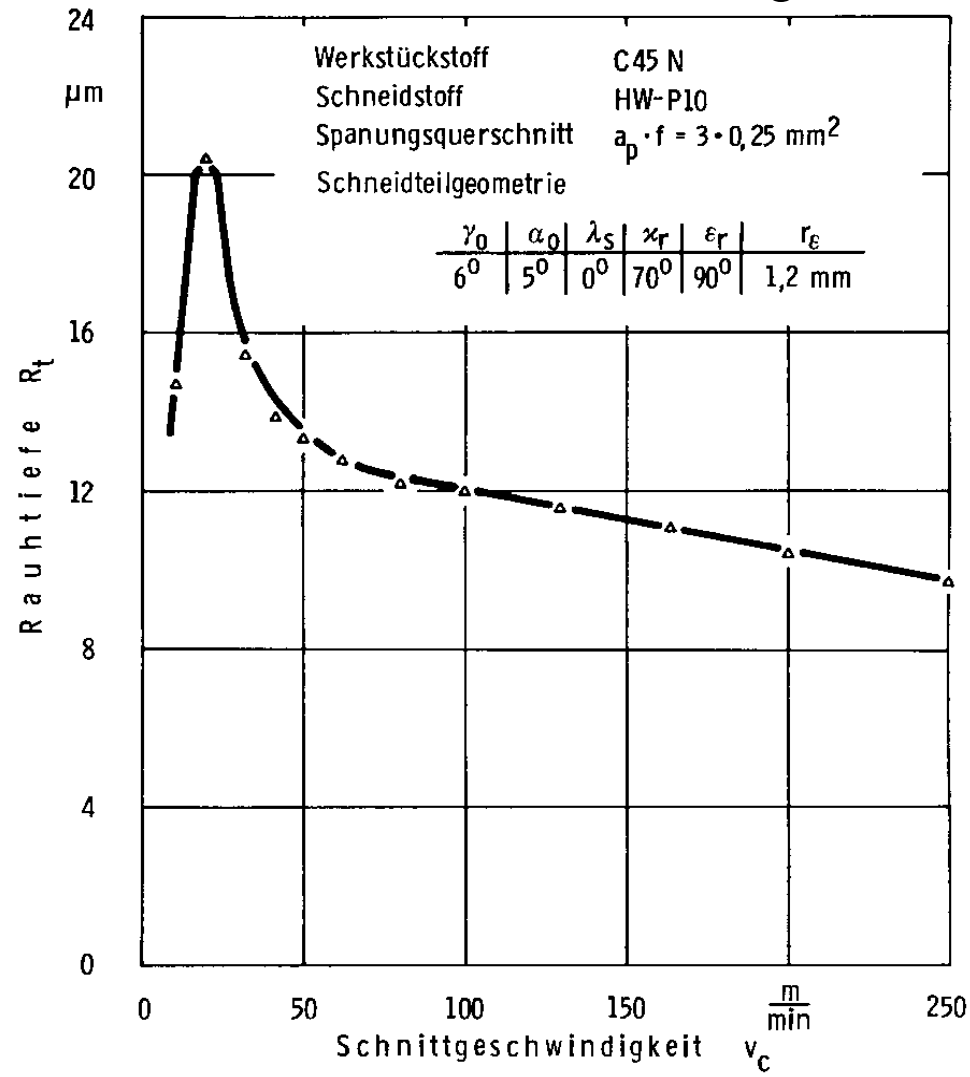
Rugosidade cinemática teórica

- A rugosidade cinemática, é decorrente do raio de quina da ferramenta e do movimento relativo entre peça e ferramenta
- No torneamento, é influenciada principalmente pela forma do gume e pelo avanço



Teste de vida de ferramentas

- Influência da velocidade de corte sobre a rugosidade da peça:



Teste de vida de ferramentas

Dependência entre a rugosidade média R_a e o tempo de corte

