

Aula 05

Desgaste de Ferramentas

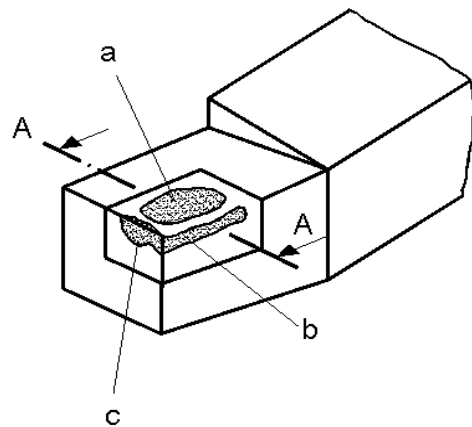
Aula 05

Tópicos

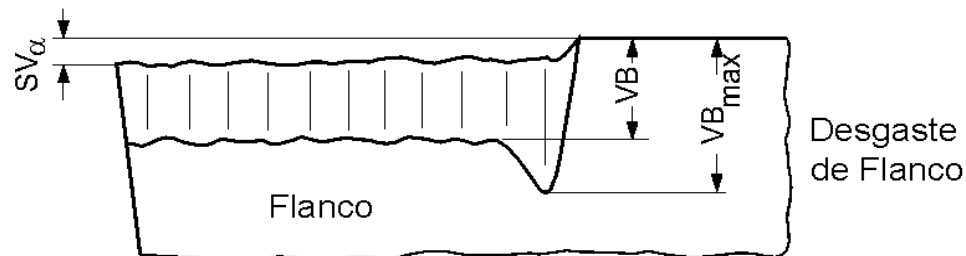
- Desgaste em ferramentas de usinagem
- Conceito de usinabilidade
- Conceito de vida da ferramenta
- Aspectos econômicas da usinagem

Desgaste em ferramentas de usinagem

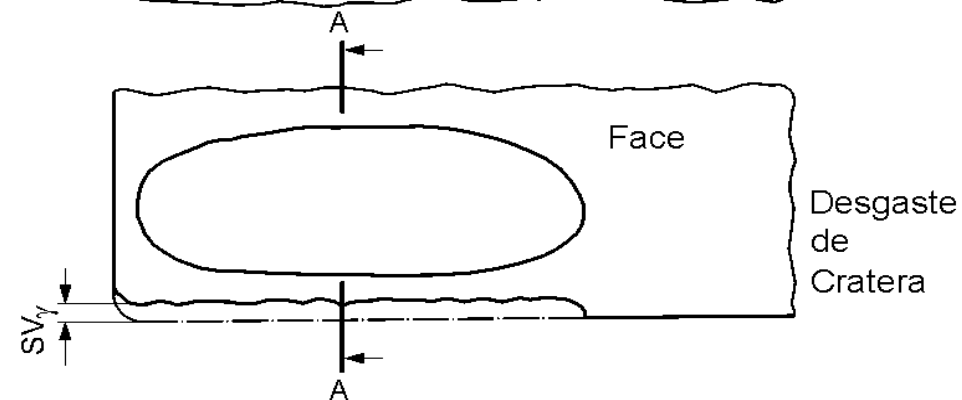
Desgaste em ferramentas de usinagem



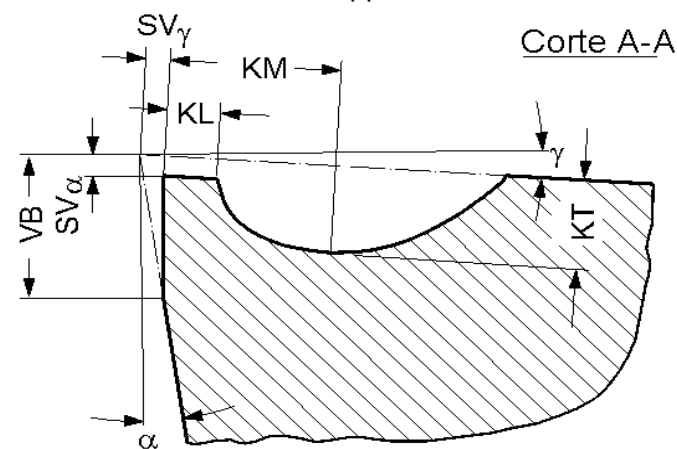
- a Desgaste de Cratera
- b Desgaste de Flanco no Gume Principal
- c Desgaste de Flanco no Gume Secundário



Desgaste de Flanco

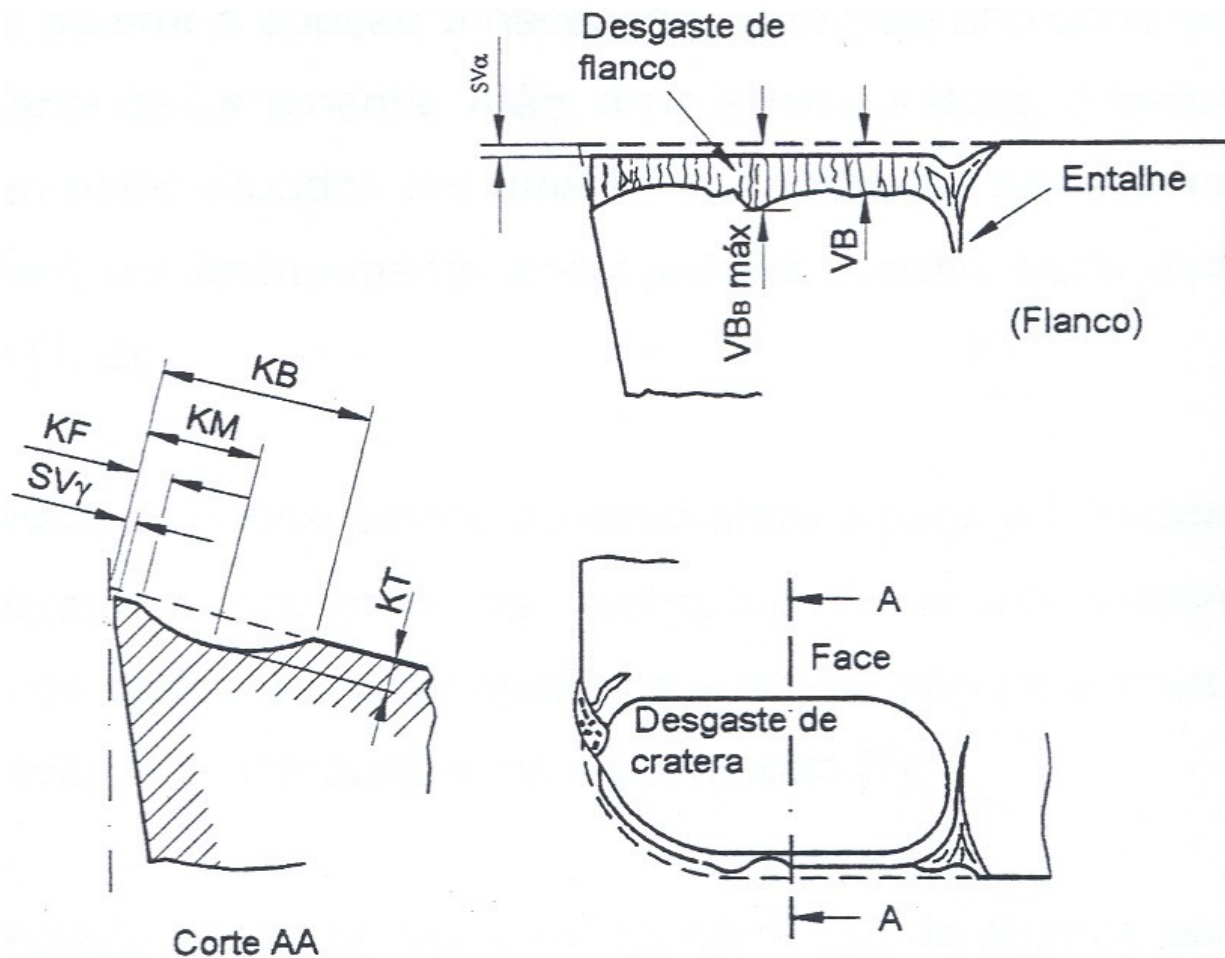


Desgaste de Cratera



- γ Ângulo de Saída
- α Ângulo de Incidência
- SV_γ Deslocamento do Gume no Sentido da Face
- SV_α Deslocamento do Gume no Sentido do Flanco
- VB Desgaste de Flanco
- KL Largura do Lábio da Cratera
- KT Profundidade da Cratera
- KM Afastamento Médio da Região mais Profunda da Cratera

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.

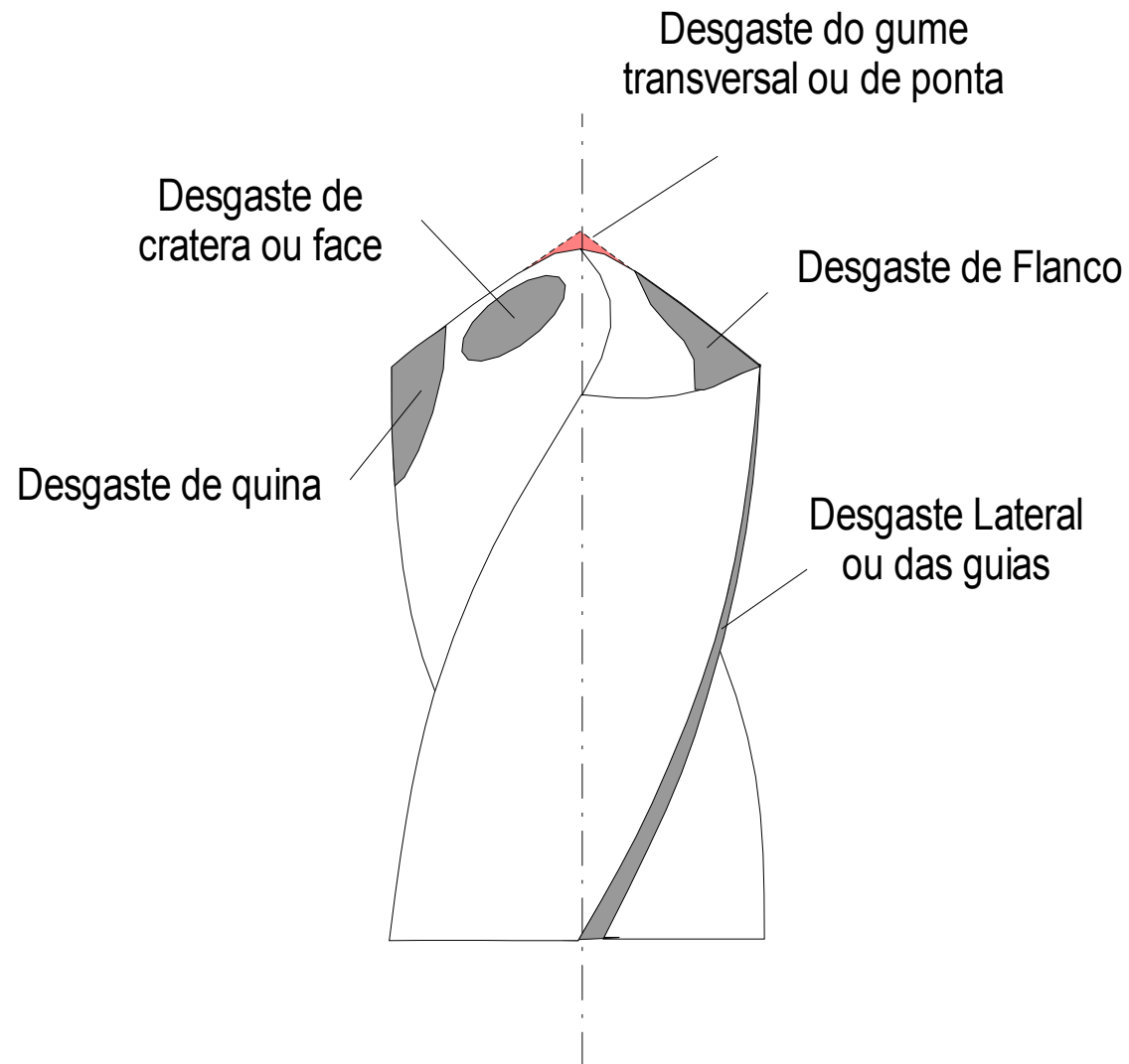
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

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

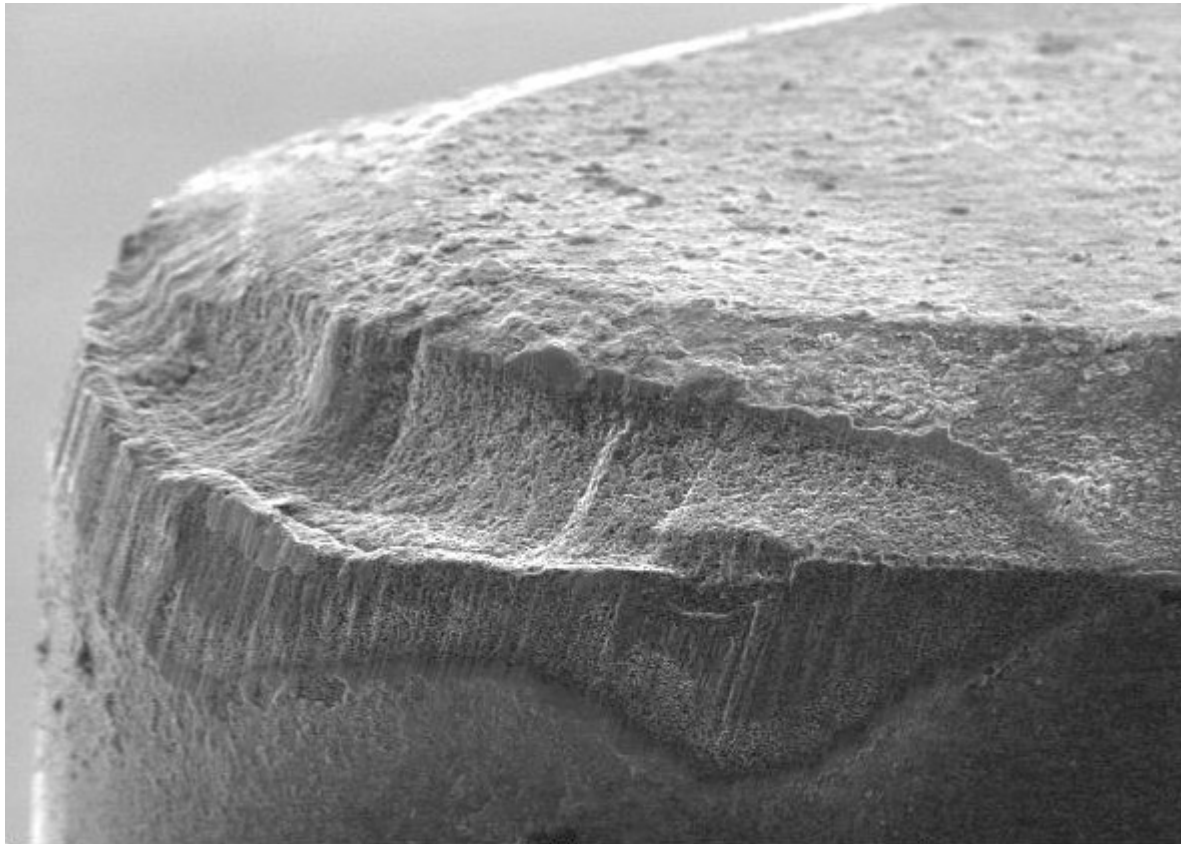
KT - Profundidade de cratera.

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.

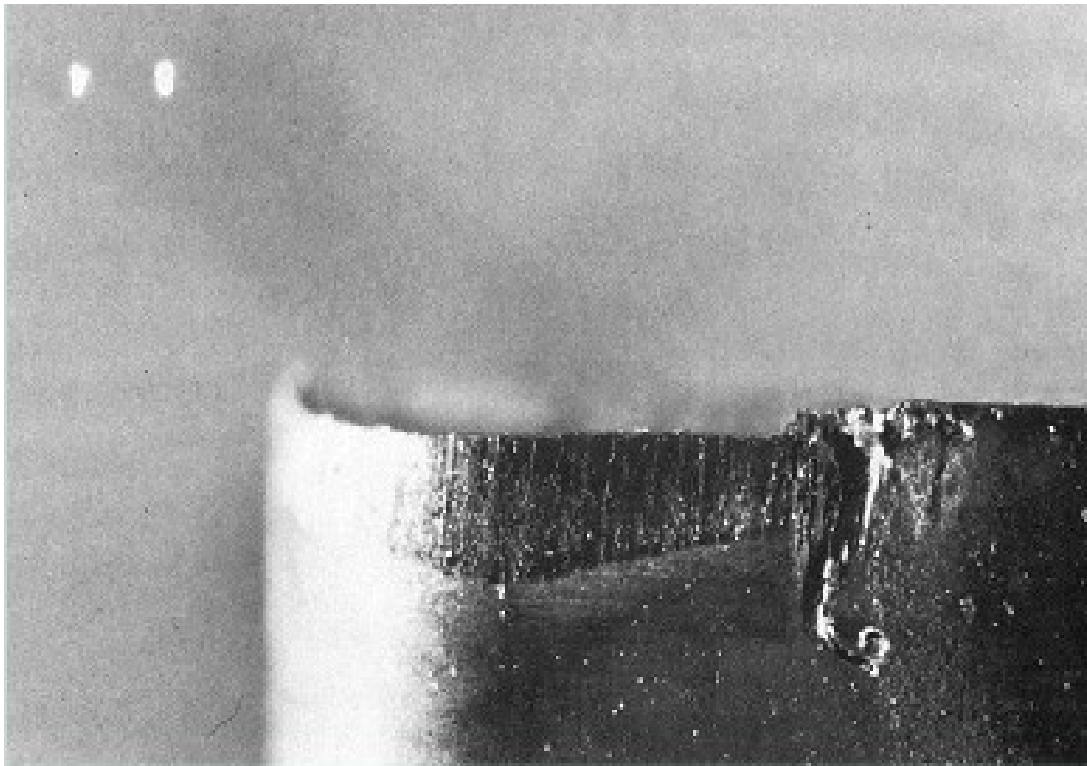
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

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.

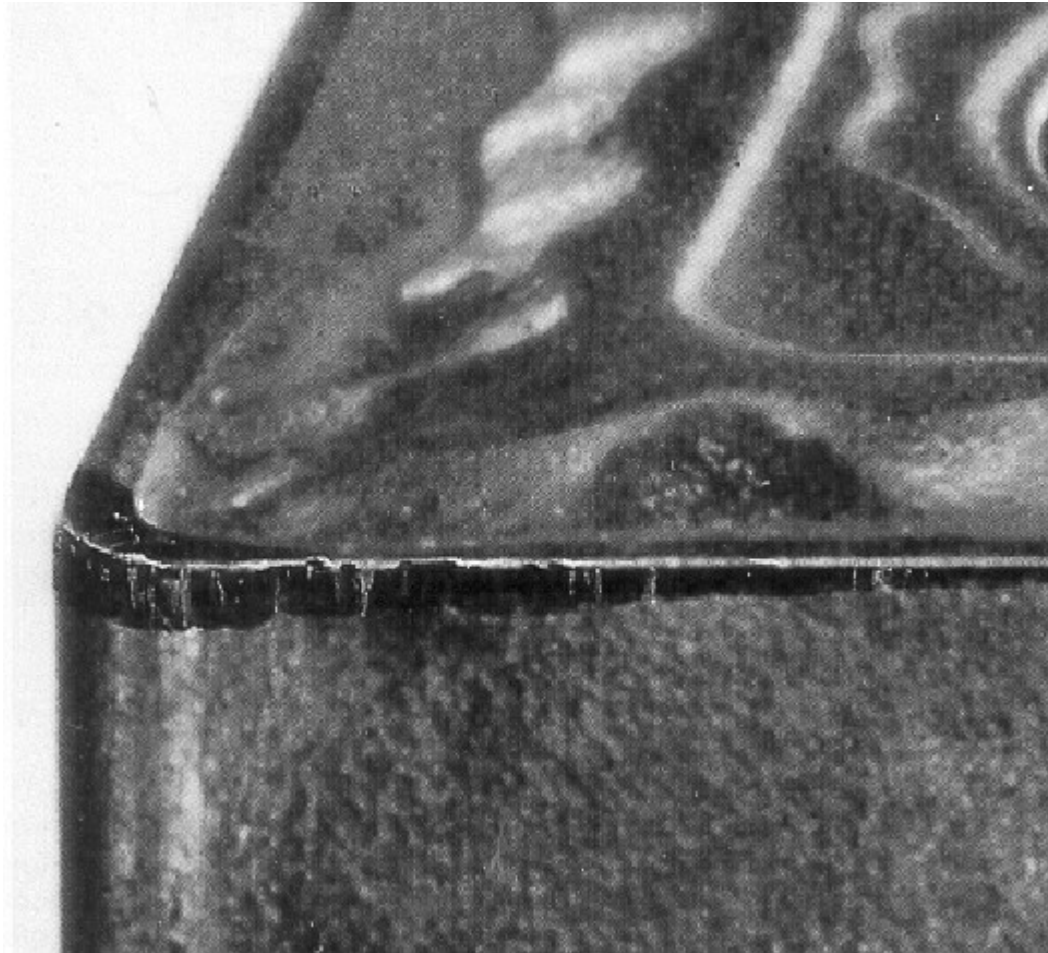
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

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

KT - Profundidade de cratera.

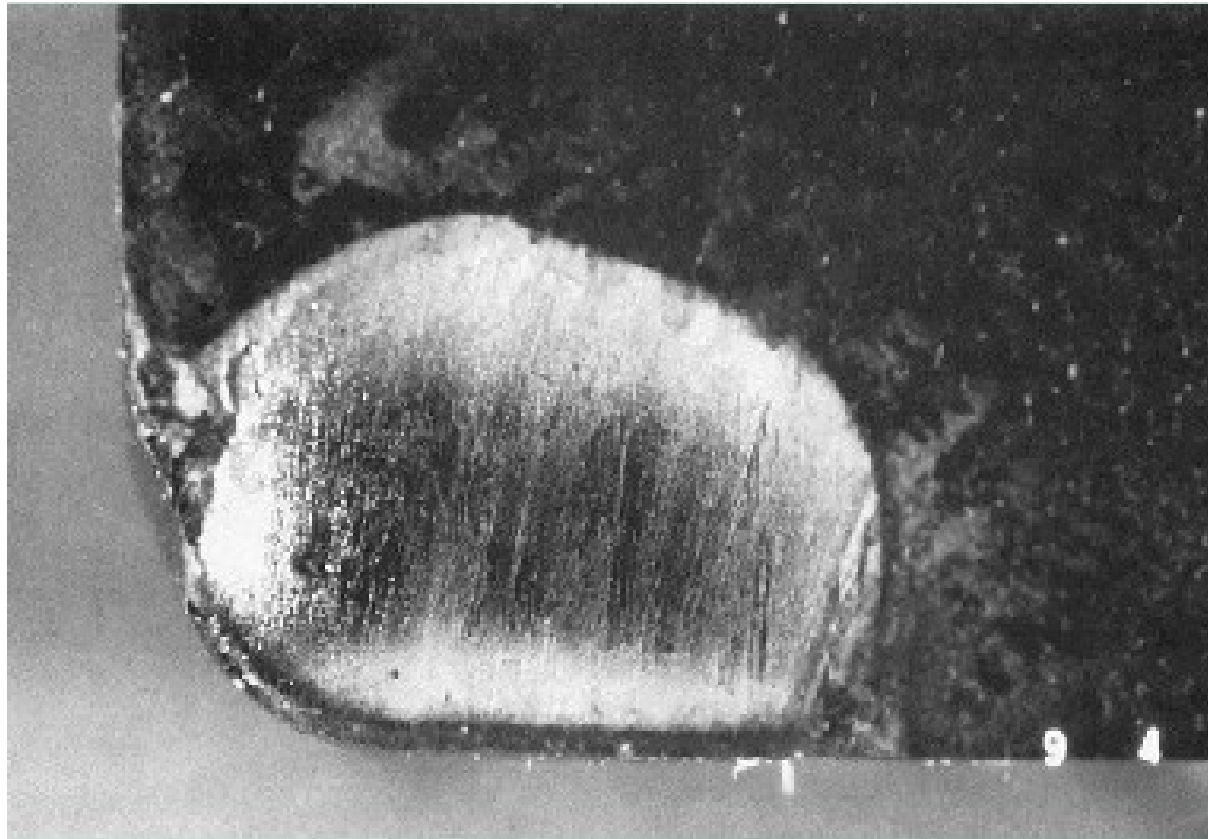
SV γ - Deslocamento lateral do gume na direção da face.

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.

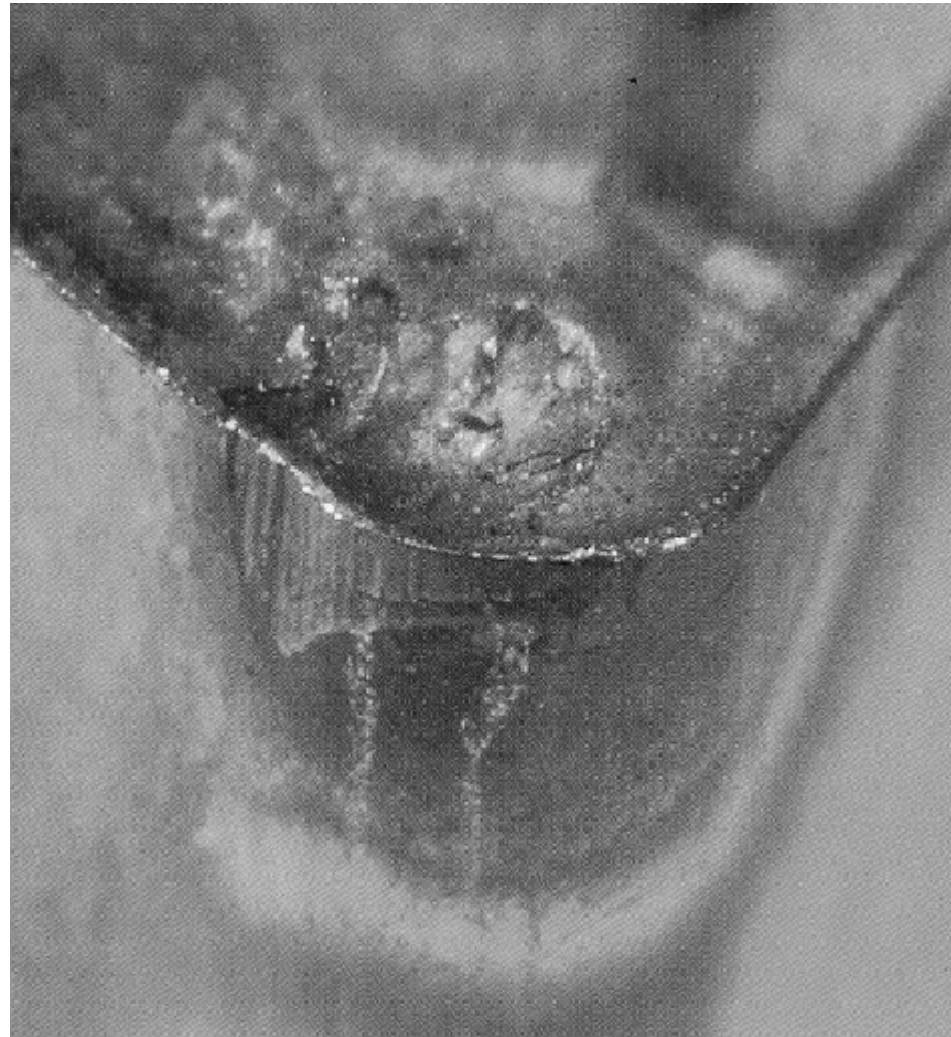
KF - Largura do lábio no desgaste de cratera.

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

KT - Profundidade de cratera.

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

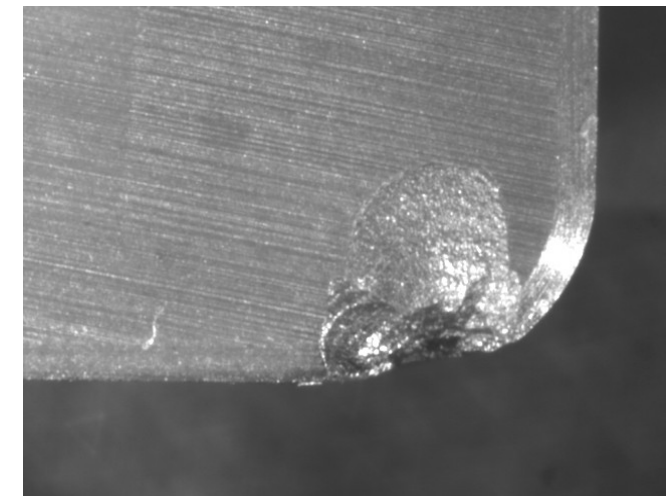
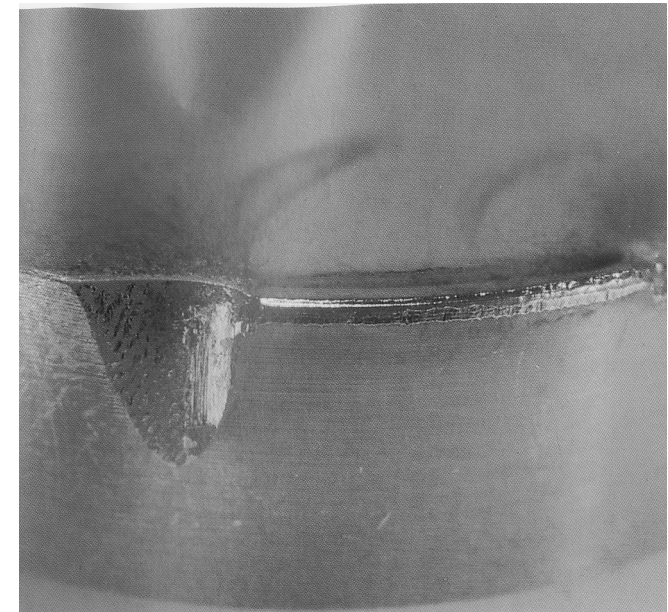
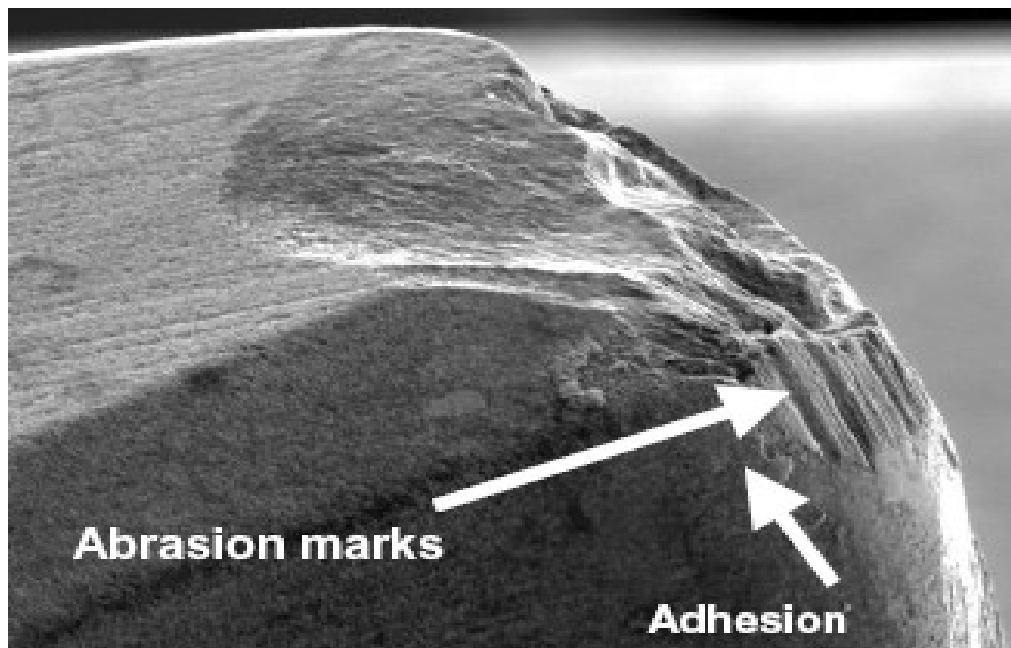
Desgaste em ferramentas de usinagem



Exemplo de desgaste de cratera

Lascamento de gume

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



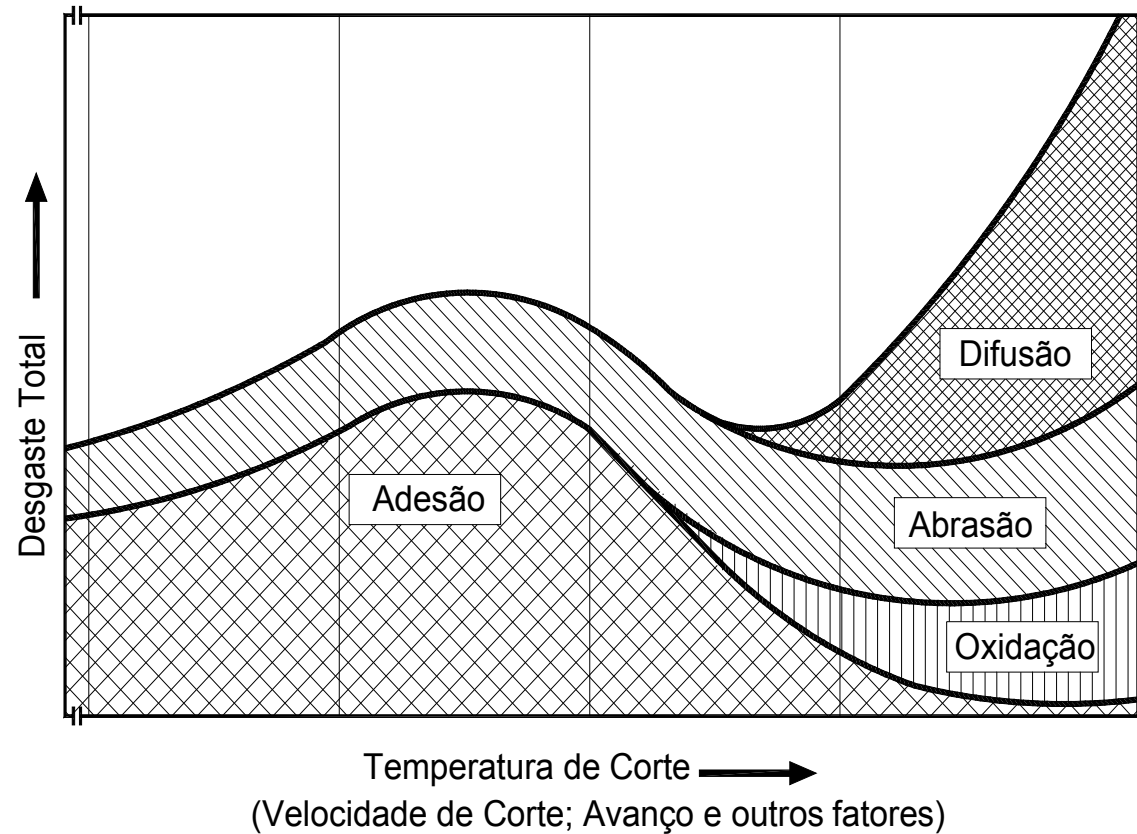
Desgaste em ferramentas de usinagem



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)

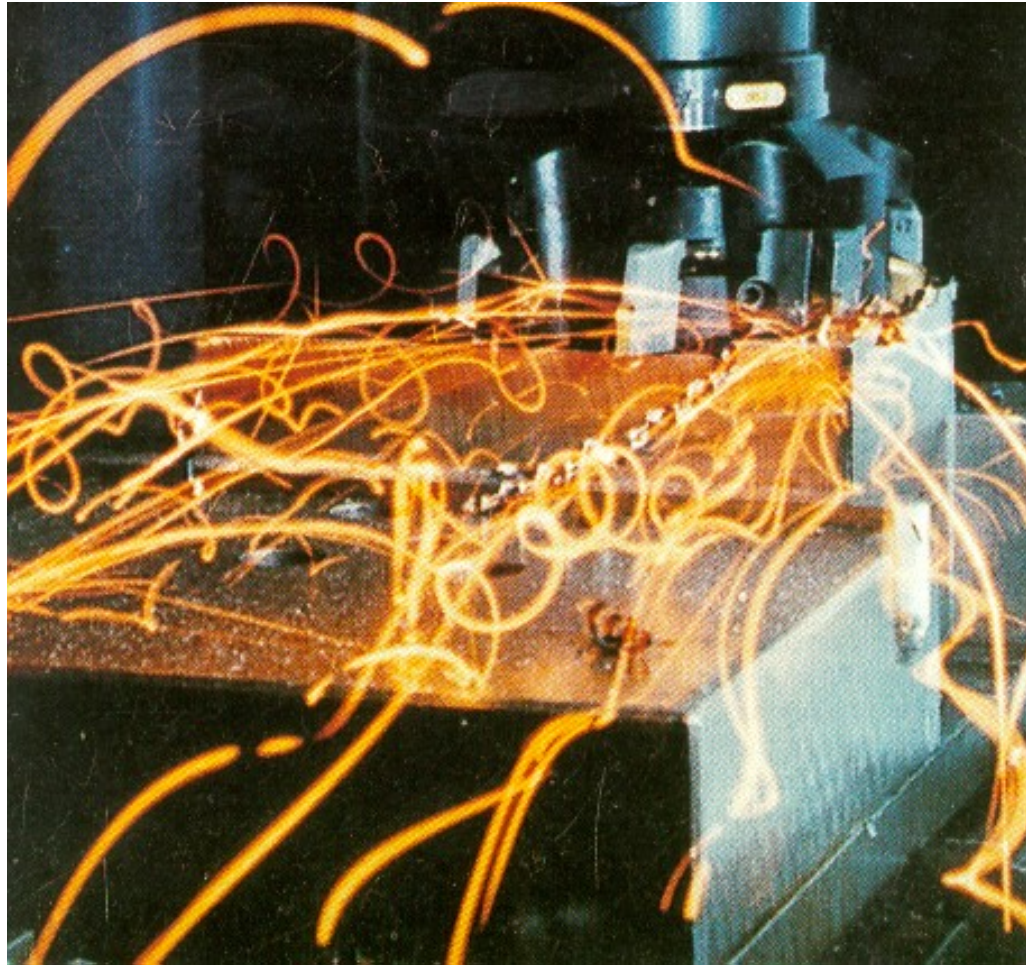
-

•Medição indireta

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

Conceito de usinabilidade

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 usar

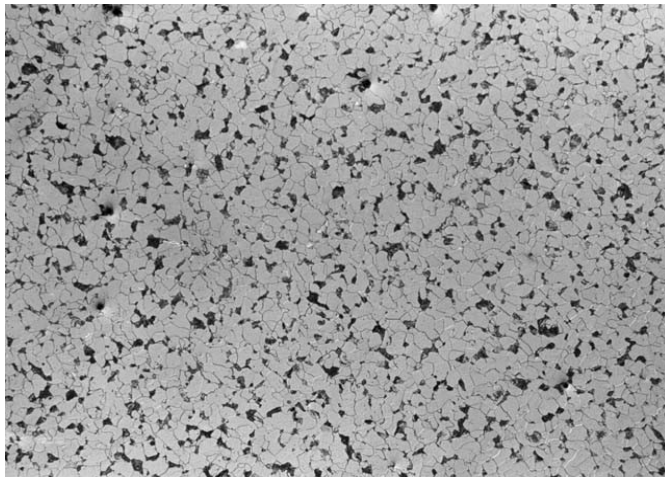
• **Conceito de usinabilidade**

- - Os critérios de usinabilidade dependem:
 - do material da peça
 - grau de deformação
 - presença e tipos de elementos de liga
 - presença de impurezas
 - outros
-

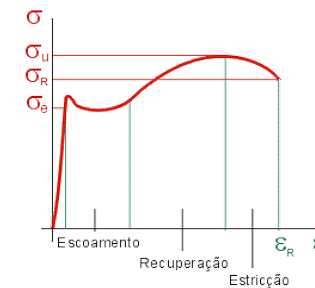
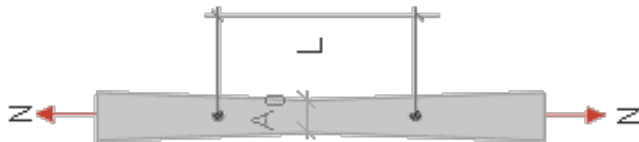
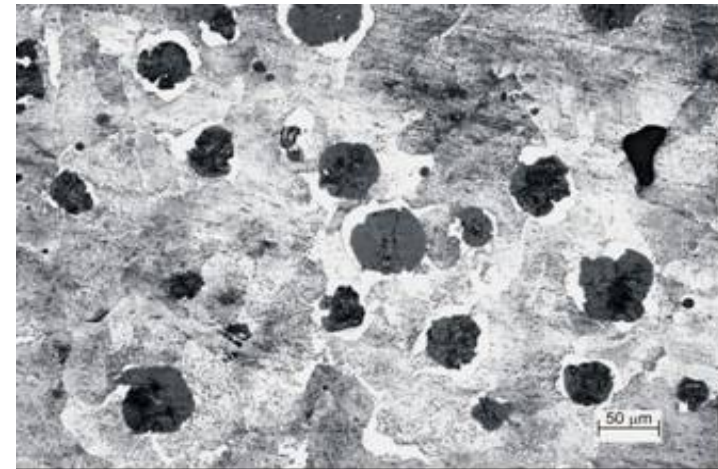
•Fatores de influência na usinabilidade

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

Aço 1020 Recozido - Estrutura Ferrítica-Perlítica



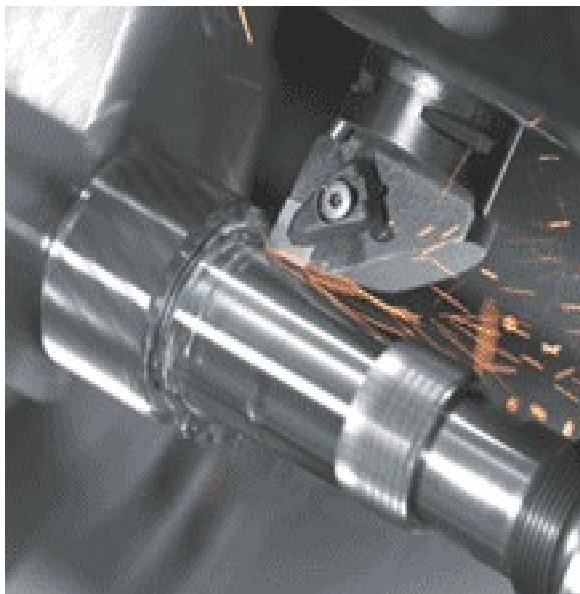
Ferro Fundido Nodular - GGG70



•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



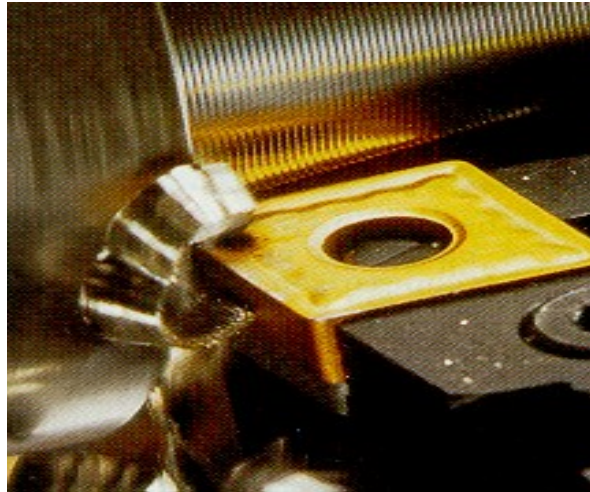
Processo

retificação

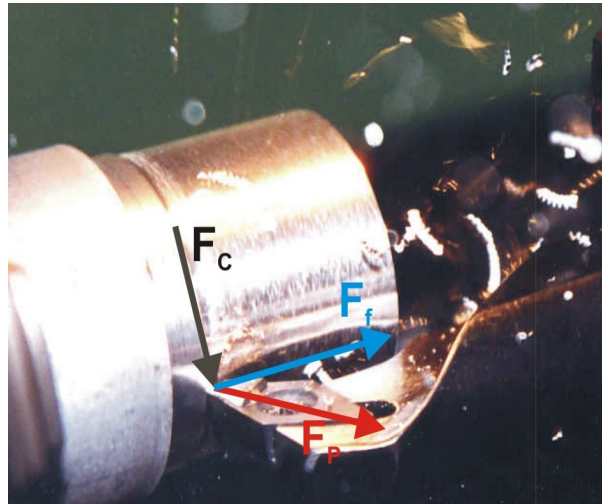


Critérios de Usinabilidade

- Formação de cavaco

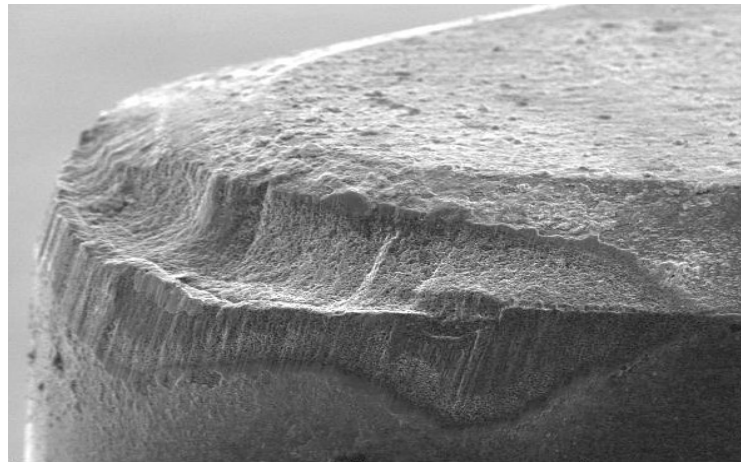


- Forças de usinagem



Crêterios de Usinabilidade

- Abrasividade – grau de desgaste da ferramenta



- Tipo de cavaco



Critérios de Usinabilidade

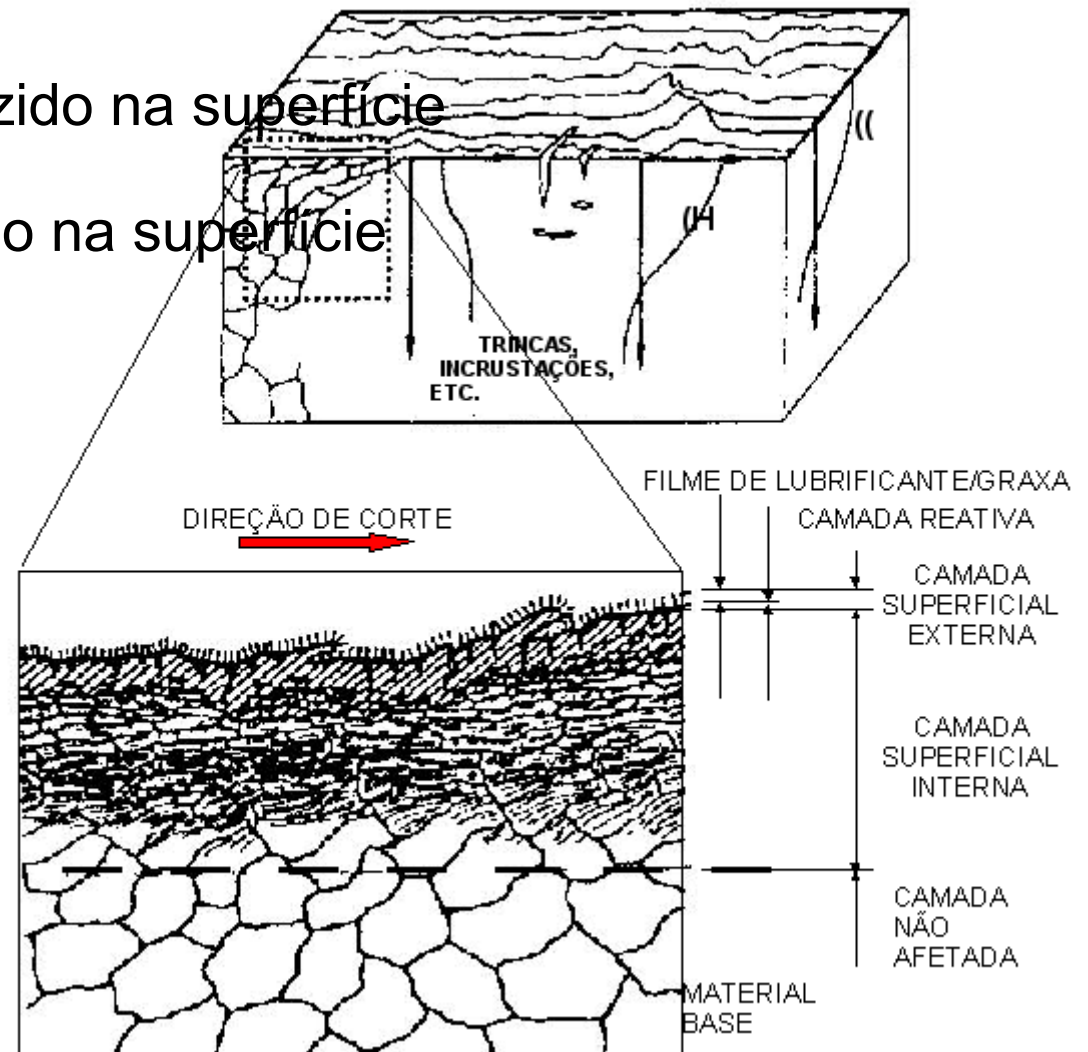
- Qualidade superficial

- 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
-

Vida da ferramenta

•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:

- tolerâncias dimensionais
 - tolerâncias geométricas
 - qualidade superficial da peça
 - nível de vibrações no processo
 - nível de esforços no processo
 - possibilidade de reafiação da ferramenta
 - outros
-

Critério Vida da Ferramenta

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

- A vida é relacionada a um certo critério de fim de vida sob certas condições de usinagem

Determinação da vida

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

Crêterios de fim de vida

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

Esses cr terios   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 reafia  o 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
-

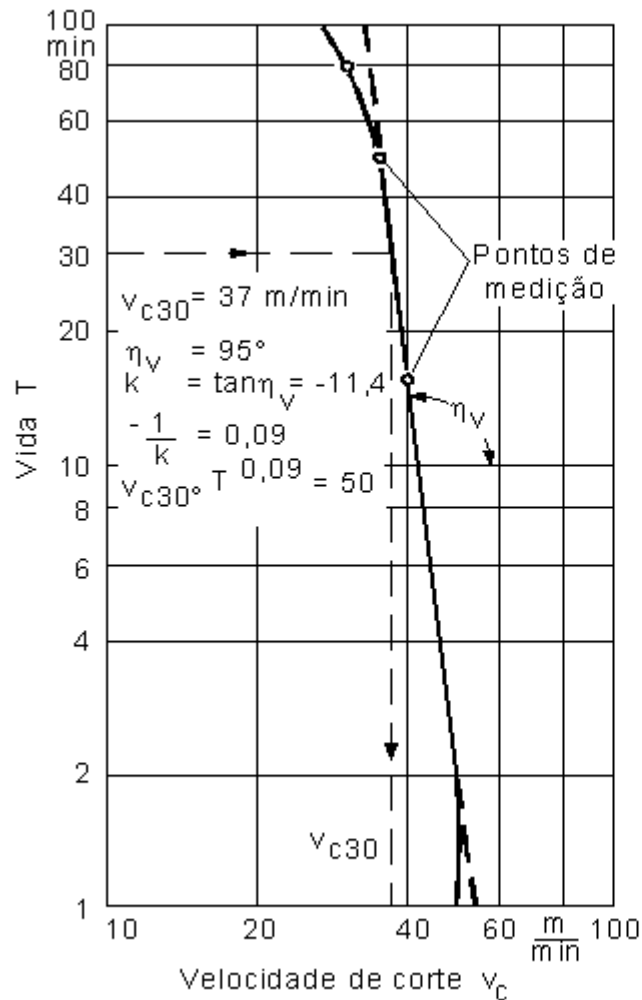
Teste de vida de ferramentas

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:

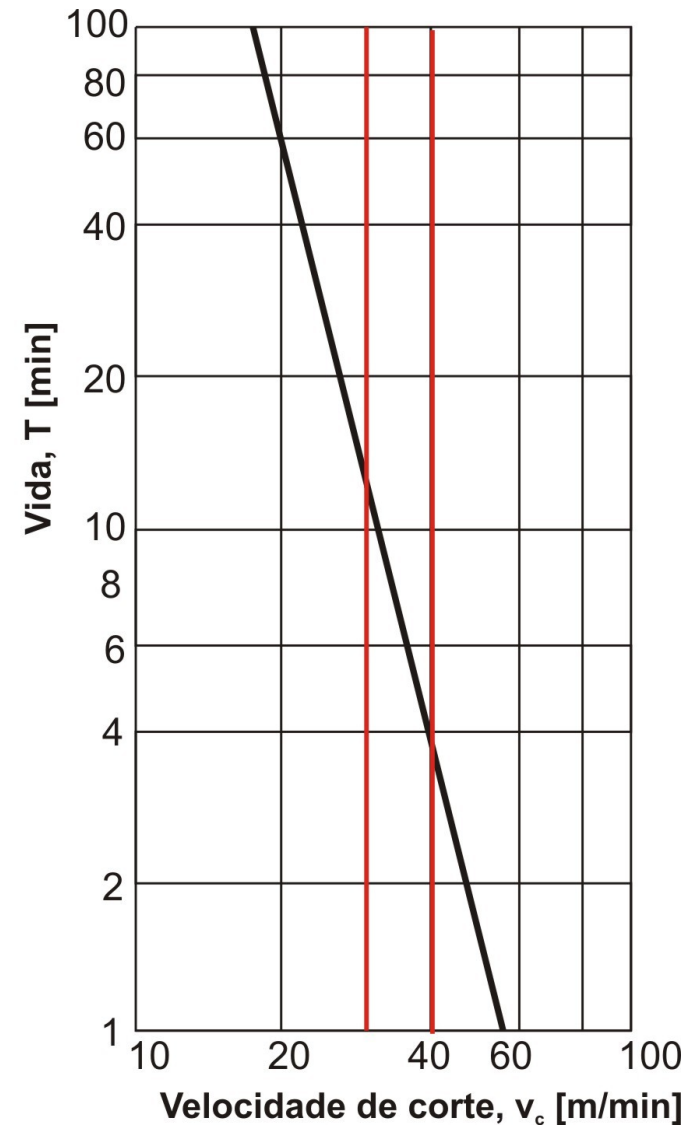
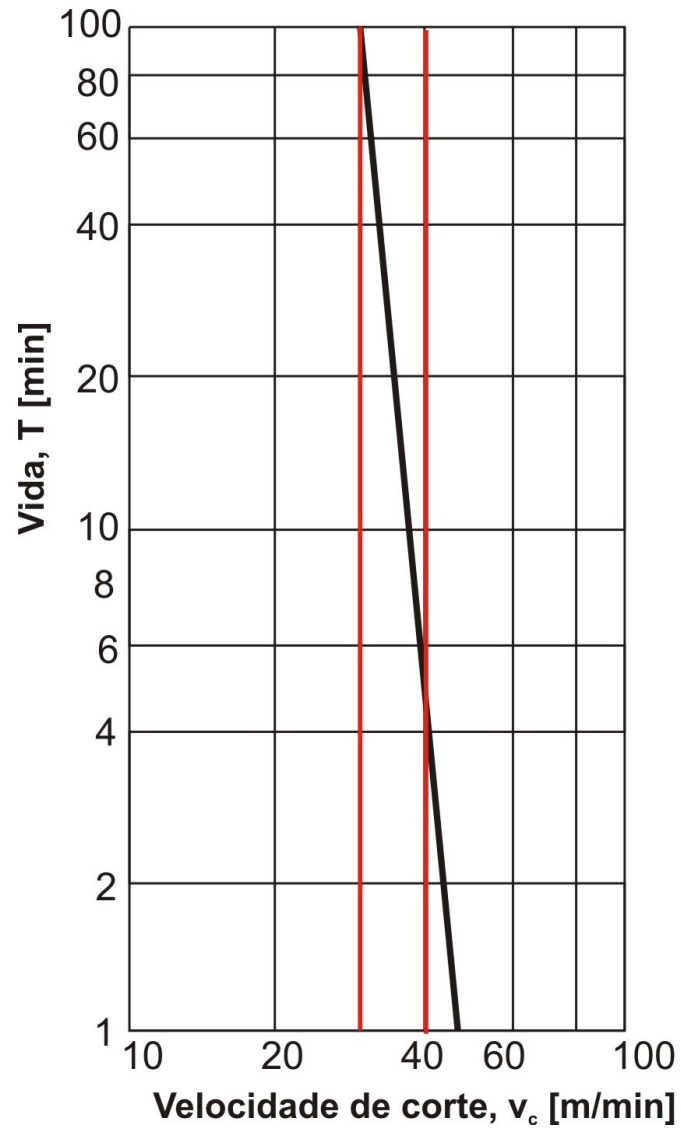
$$T = v_c^k \cdot C_v$$

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



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 $K = f(t_c)$

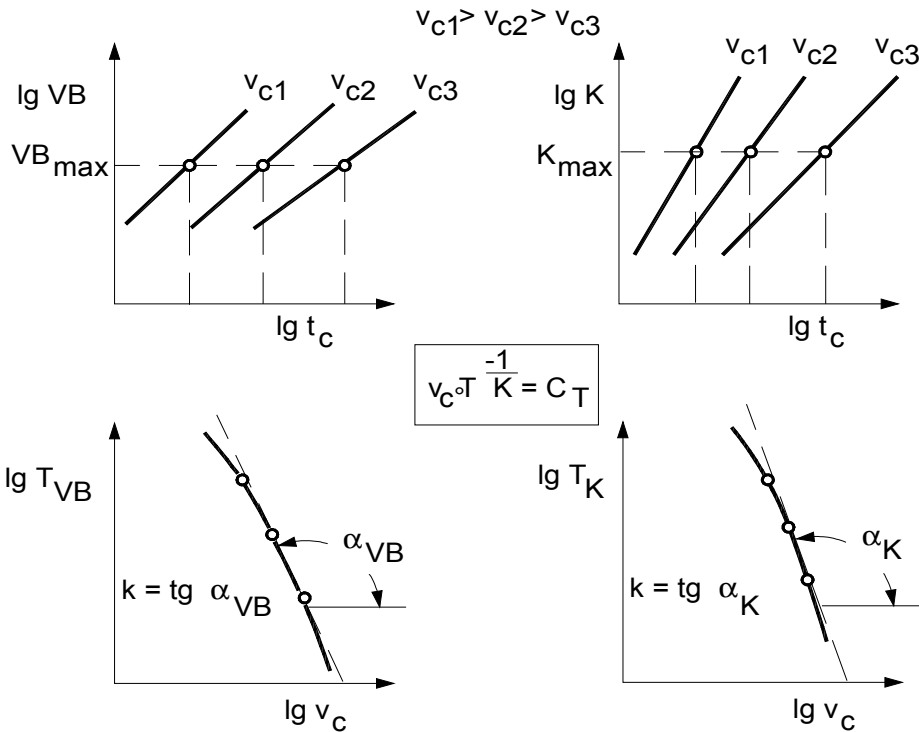
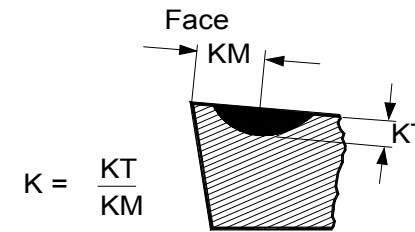
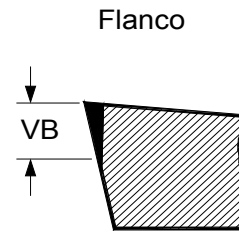
$$T_{VB} = f(v_c) \text{ ou } T_K = f(v_c)$$

- 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

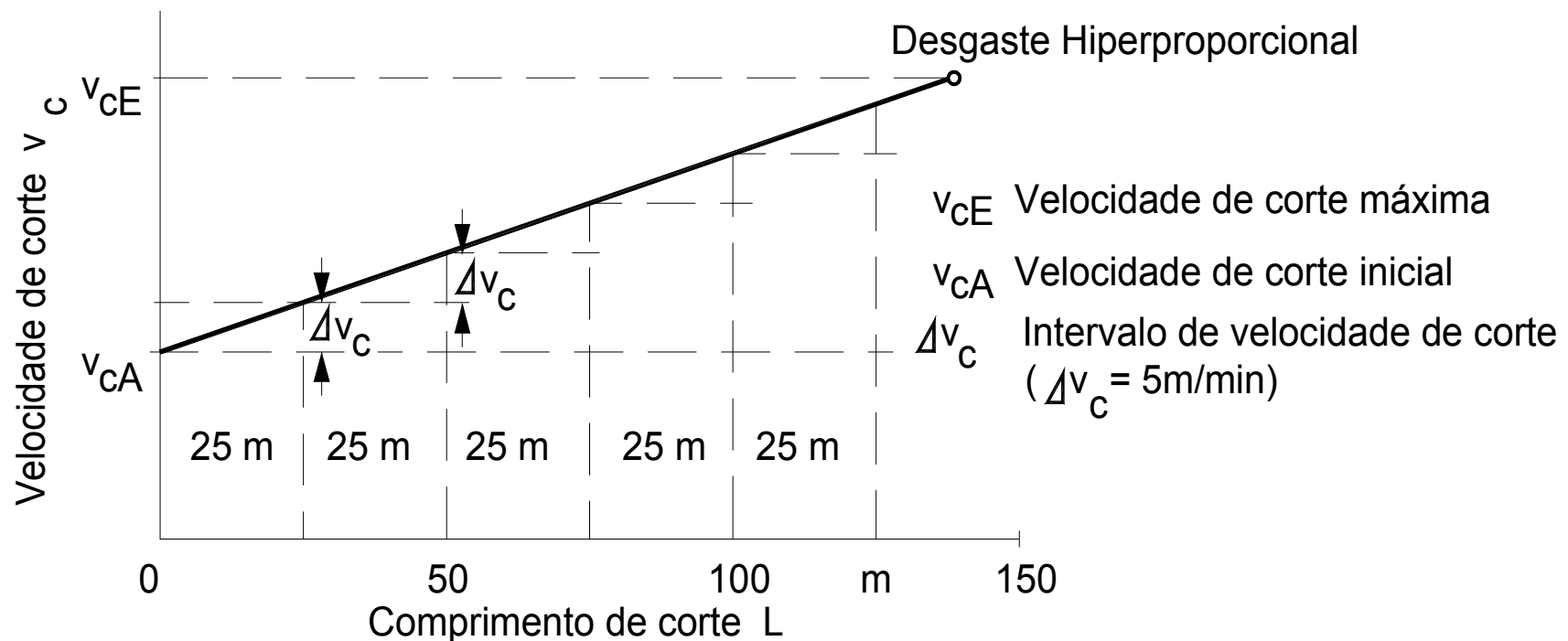
Testes de torneamento – desgaste

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



Teste de vida de ferramentas

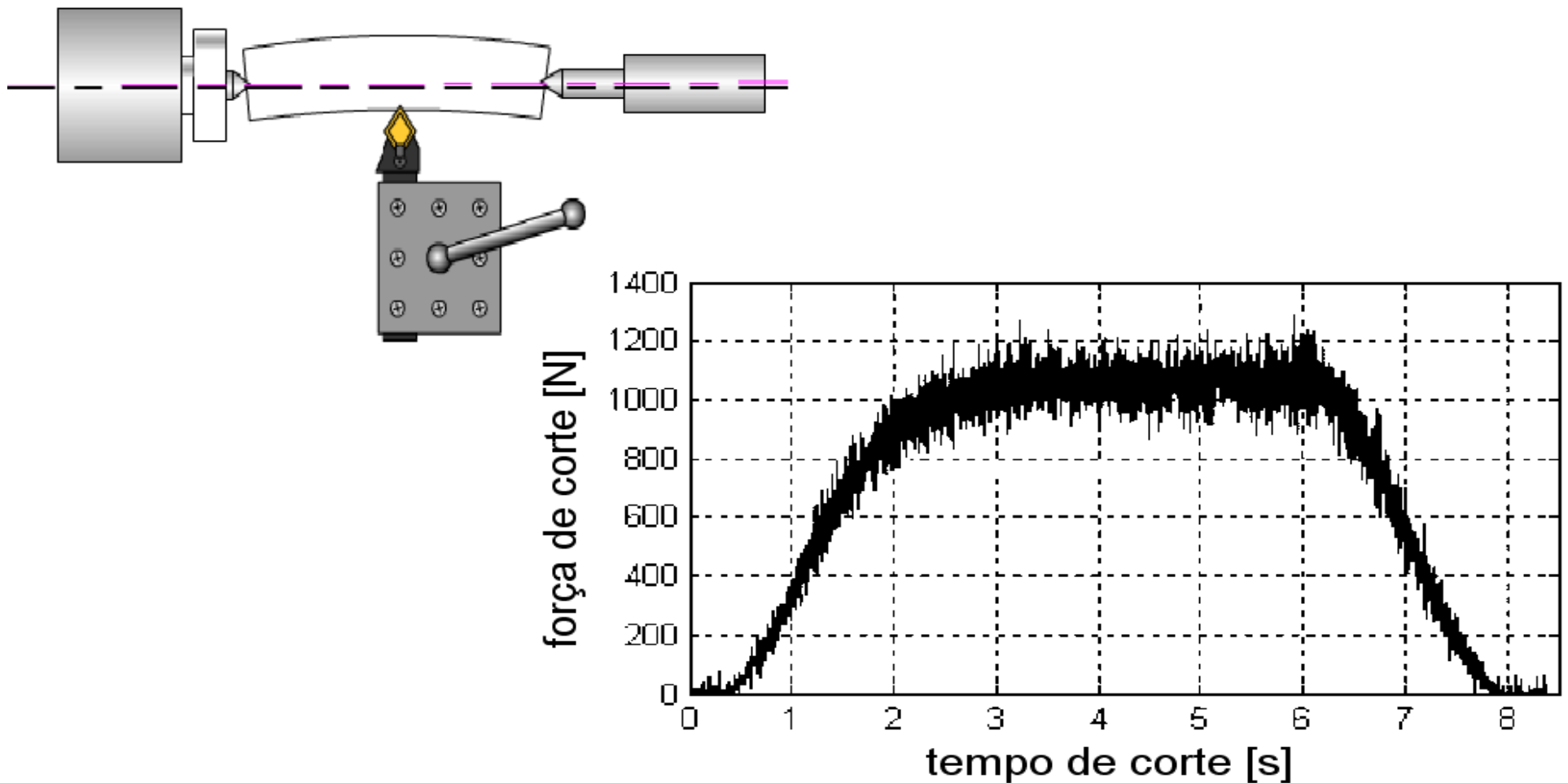
Ensaio v_{cE} com variação contínua da velocidade de corte



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

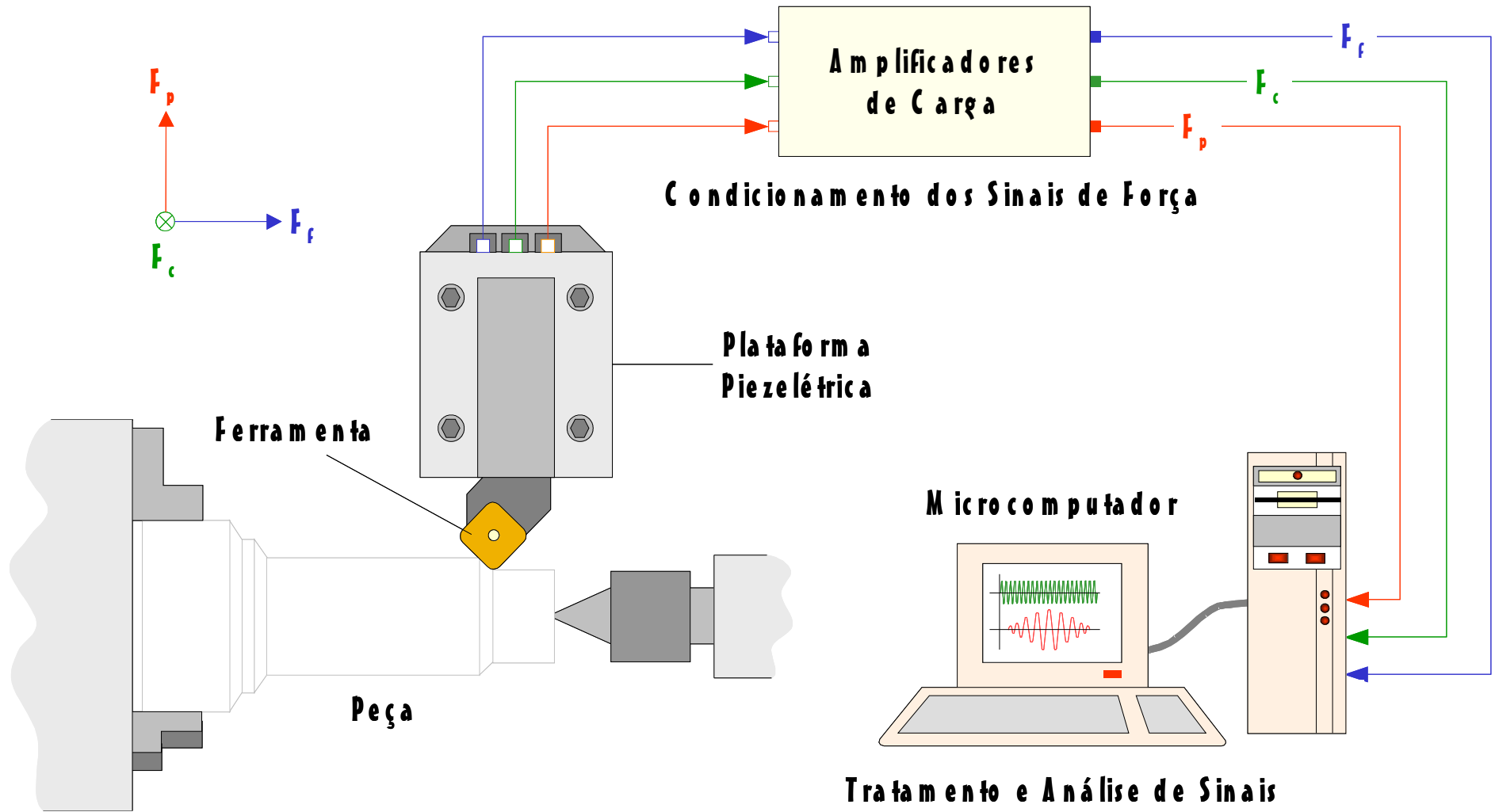
Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – critério de força



Teste de vida de ferramentas

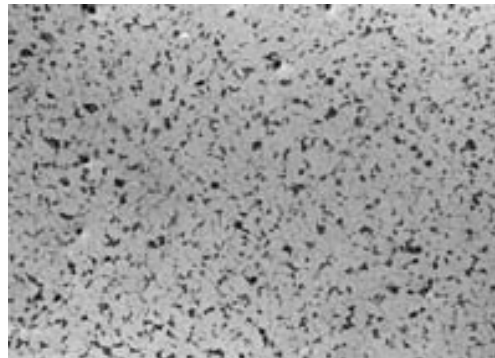
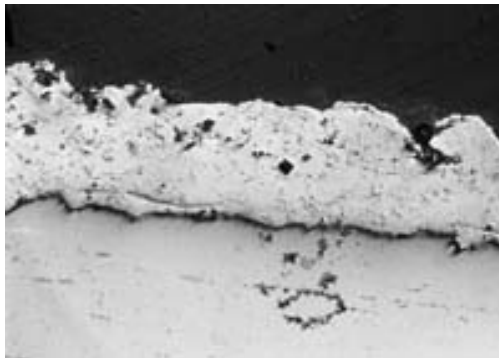
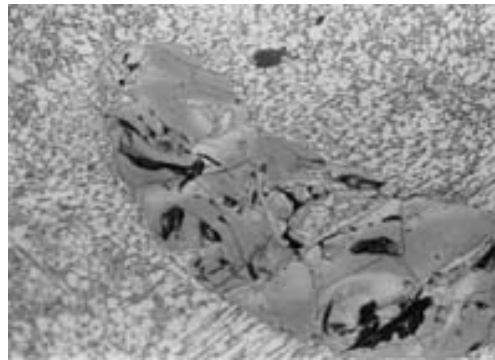
Medição de força de usinagem



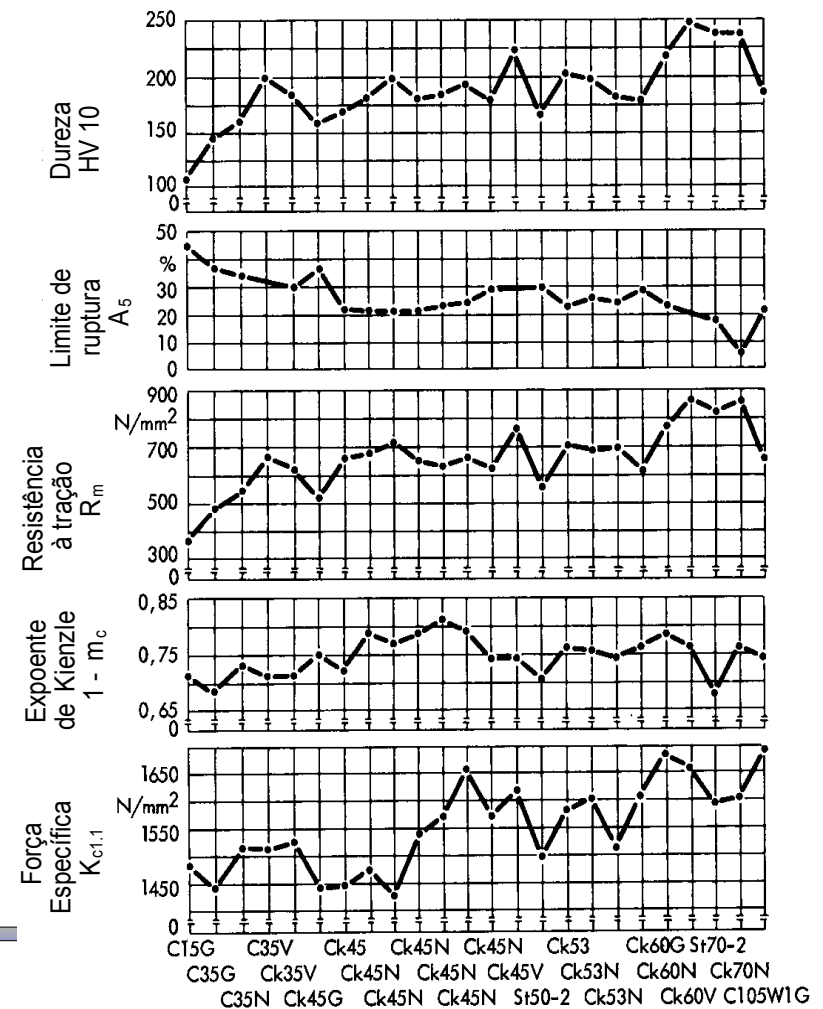
Teste de vida de ferramentas

Testes de torneamento – critério de força

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



Parâmetro: aumento do teor de C



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];

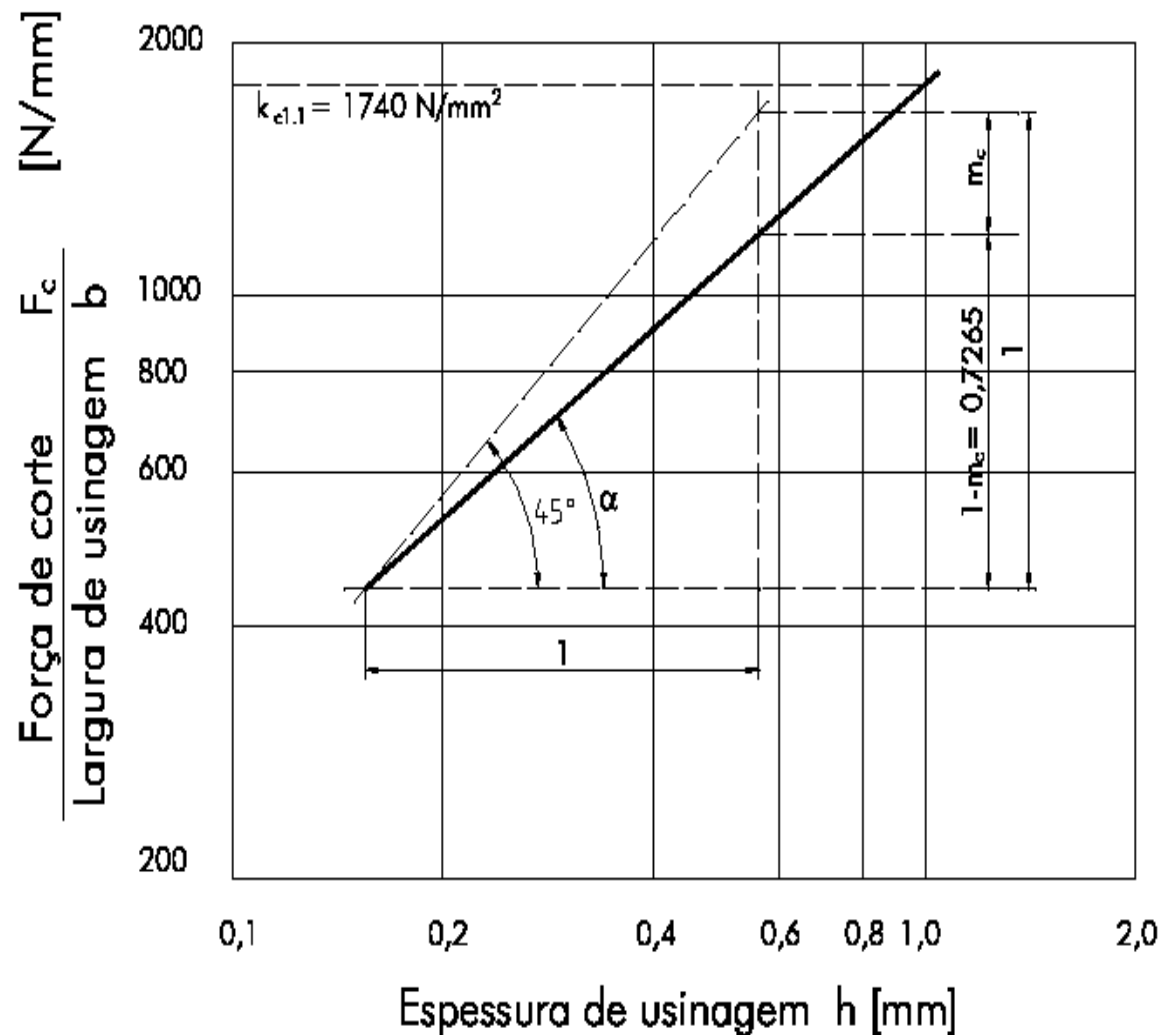
$k_{c1.1}$ = pressão específica de corte para um cavaco de 1x1 mm² [N/mm²];

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

Teste de vida de ferramentas

Critério de força – Equação de Kienzle

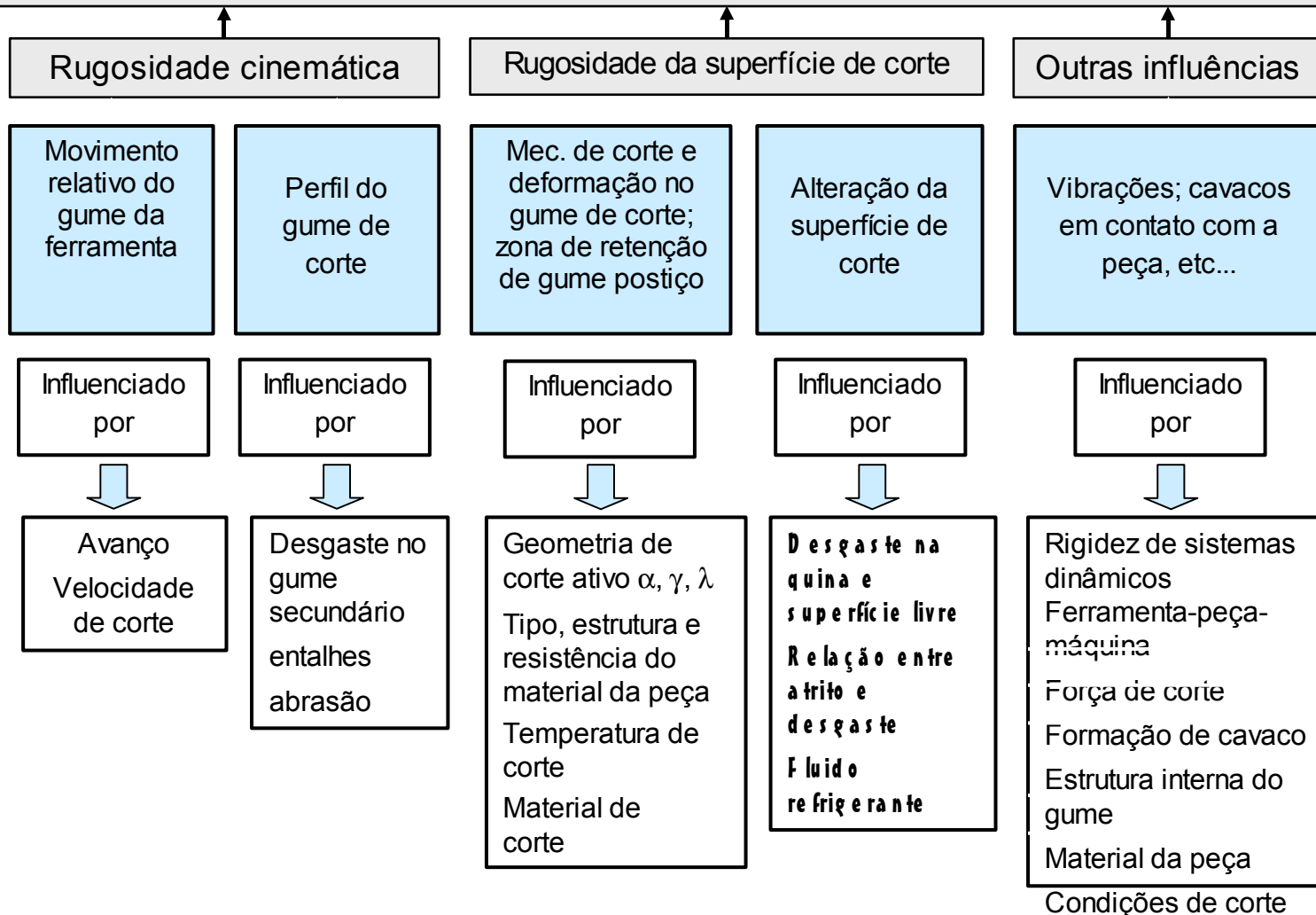
$$F_c = b \cdot h^{(1-m_c)} \cdot k_{c1.1}$$



Teste de vida de ferramentas

Critério de força – Qualidade superficial

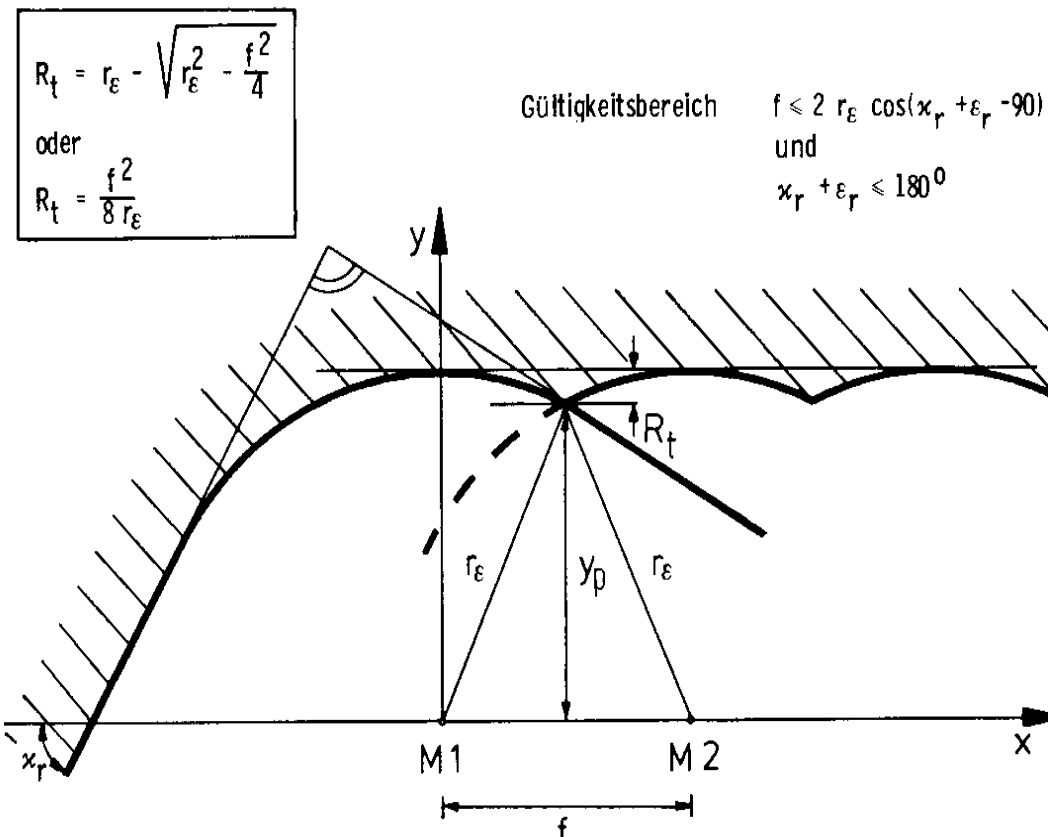
Grandezas influentes sobre a qualidade superficial na usinagem de metais



Teste de vida de ferramentas

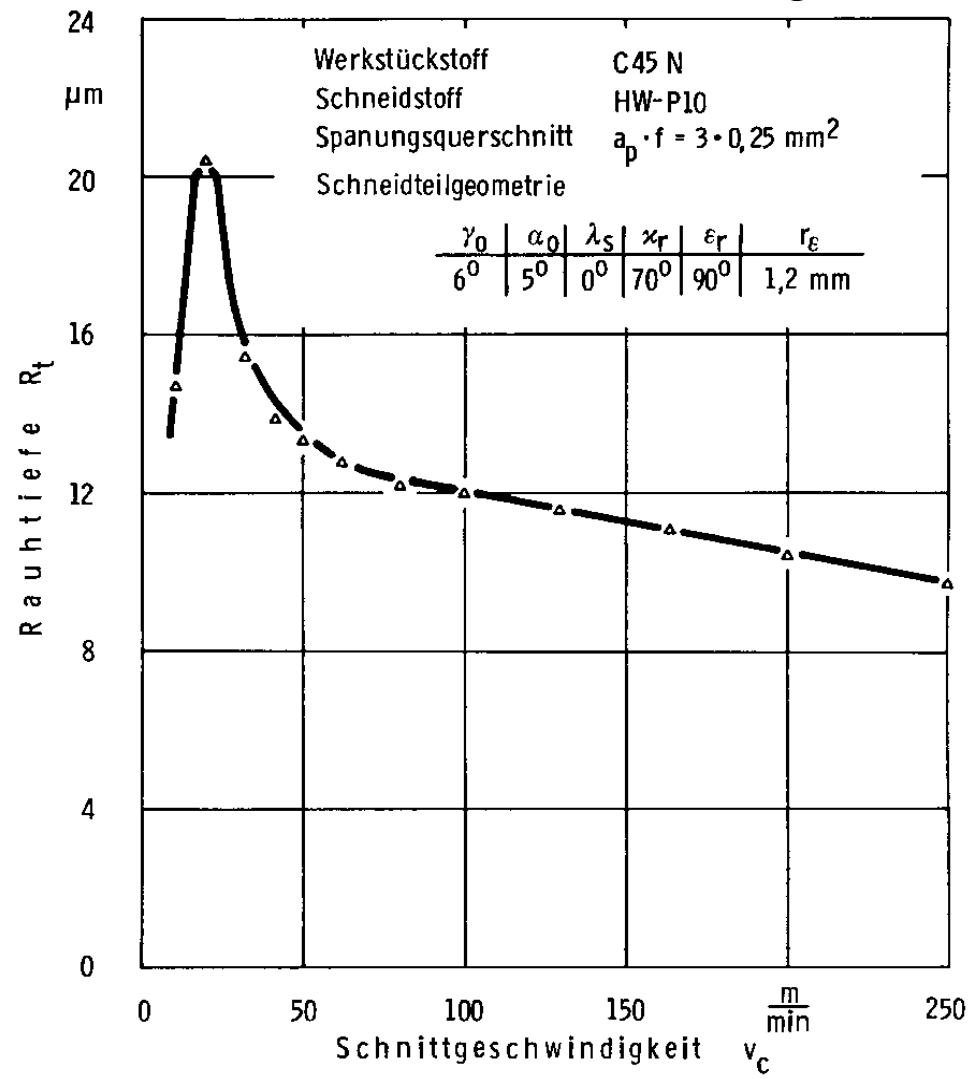
Rugosidade cnemática teórica

- 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



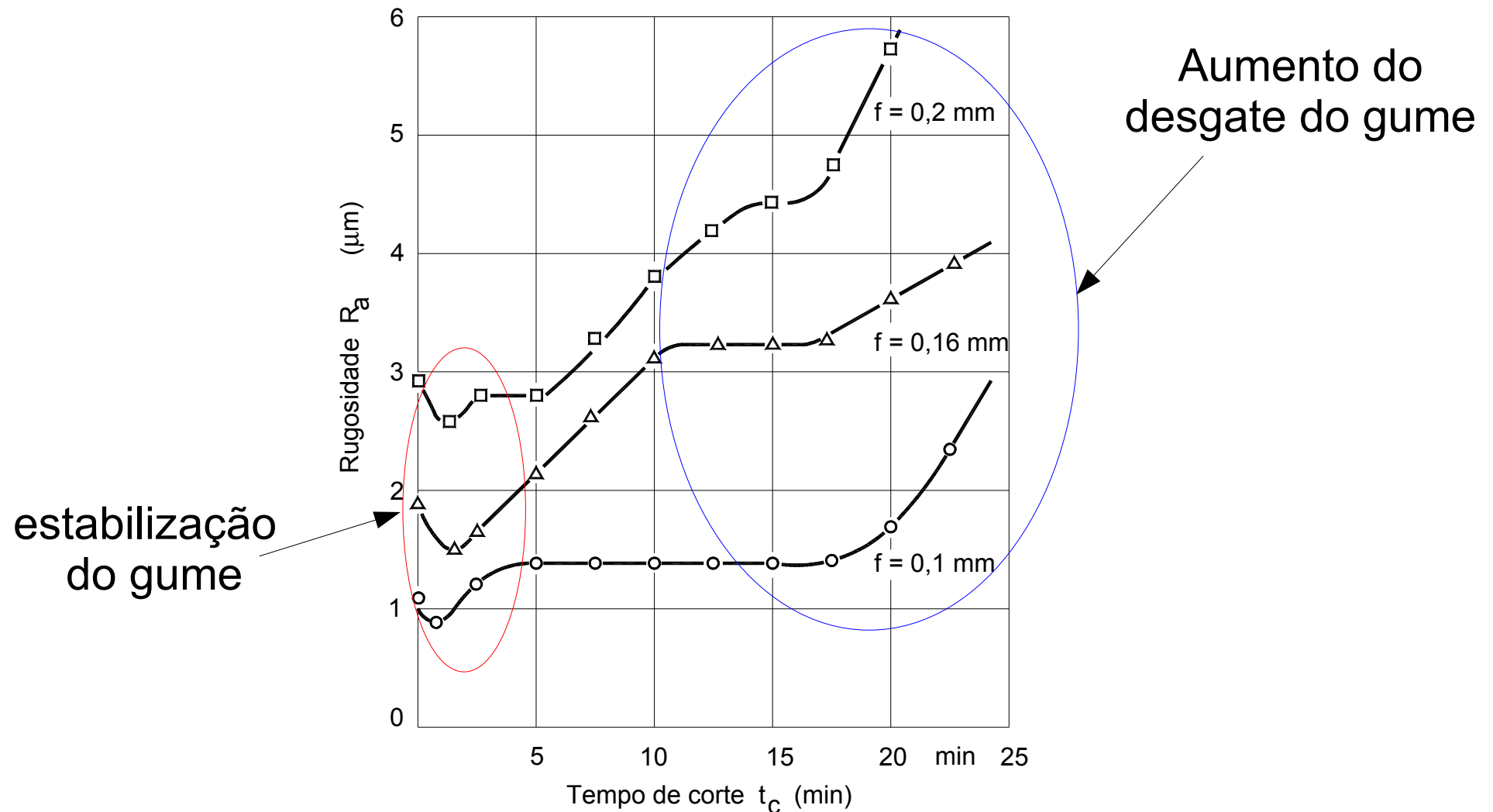
Teste de vida de ferramentas

- 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



Aspéctos Econômicos da Usinagem

Otimização das condições de corte

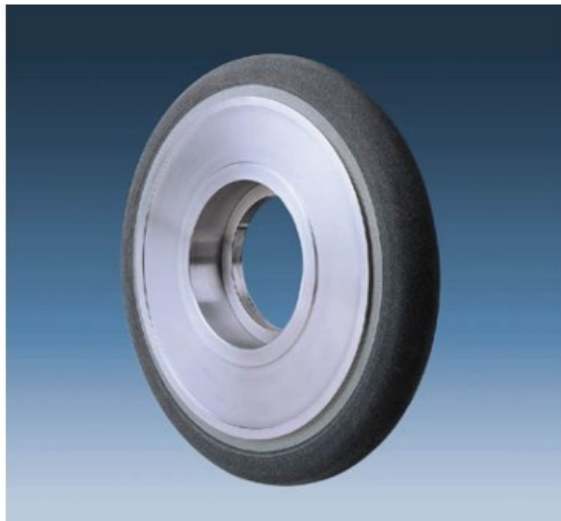
- Procedimento cujo objetivo é tomar, da melhor maneira possível, o valor mais adequado à operação em curso, em função de outros valores que podem ser pré-determinados ou conhecidos
 - Otimização exige conhecimento de leis de desgaste da ferramenta e de métodos de otimização
 - Aumentos no grau de automatização levaram a aumentos nas velocidades de corte e diminuição das vidas das ferramentas
-

Evolução das vidas ótimas de ferramentas

- Causada pelo aumento nos custos de investimentos (máquinas-ferramentas mais caras)
 - 1940 – $T = 4$ a 8 horas
 - 1960 – $T = 1$ h (aproximadamente)
 - 1990 – $T = 10$ a 20 min

Custos de fabricação

- Máquina-ferramenta;
- Ferramentas;
- Mão de obra;



- **velocidades de corte**
 - Maiores vidas de ferramentas
 - Menos trocas de ferramentas
 - Menor custo de ferramentas
 - Maior custo de salários
 - Maior custo de máquinas-ferramentas
 - Maior tempo de usinagem

 - **Custos de salário / máquinas**
 - Atualmente o custo de salário e máquinas é maior que o custo com ferramentas e trocas de ferramentas
 - A tendência de menores custos ocorre para maiores velocidades de corte e menores vidas das ferramentas
-

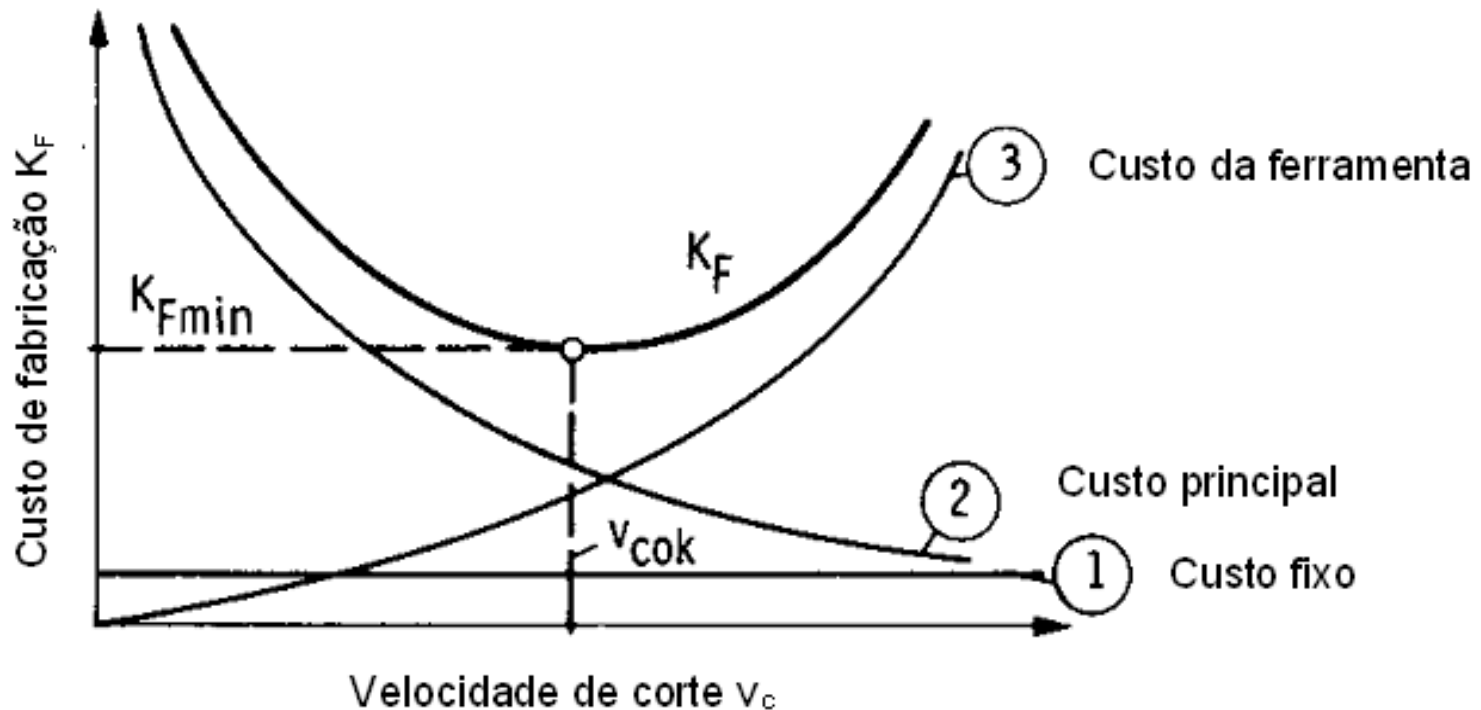
- Otimização da usinagem é feita conforme processo de fabricação, e pode ser realizada com relação a custo, tempos, lucro, qualidade,...

- Desbaste {
 - Mínimo custo
 - Mínimo tempo de fabricação
 - Máximo lucro

- Acabamento {
 - Tolerâncias
 - Qualidade da superfície
 - Outros

Custos de Fabricação

- **Custos de fabricação por peça (K_F) - [\$/peça]**
 - 1 - Custos de preparação e secundários (custo fixo);
 - 2 - Custos de máquina e operador (principal);
 - 3 - Custos de ferramenta



Otimização – Custos da Fabricação

$$K_F = \underbrace{K_{ML} \left(\frac{t_r}{m} + t_n \right)}_1 + \underbrace{K_{ML} \cdot t_h}_2 + \underbrace{\frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})}_3$$

- ✓ K_F - custo de fabricação por peça [\$/peça]
 - ✓ K_{ML} - custo de máquina e operador por hora [\$/min]
 - ✓ K_{WT} - custo de ferramenta por vida [\$]
 - ✓ t_r - tempo de preparação [min]
 - ✓ m - tamanho do lote
 - ✓ t_n - tempos secundários [min]
 - ✓ t_h - tempo principal [min]
 - ✓ t_w - tempo de troca da ferramenta [min]
 - ✓ T - vida da ferramenta [min]
- **1** - Custos de preparação e secundários (custo fixo)
 - **2** - Custos de máquina e operador (principal)
 - **3** - Custos de ferramenta

Otimização – Tempo de Fabricação por Peça

$$t_e = \underbrace{\frac{t_r}{m} + t_n}_{1} + \underbrace{t_h}_{2} + \underbrace{\frac{t_h}{T} \cdot t_w}_{3} \quad [\text{min/peça}]$$

1 - tempo de preparação e secundário

2 - tempo principal

3 - tempo de troca de ferramenta

O tempo de fabricação tem um comportamento análogo aos dos custos de fabricação por peça, apresentando um valor ótimo (mínimo) para uma determinada condição de trabalho

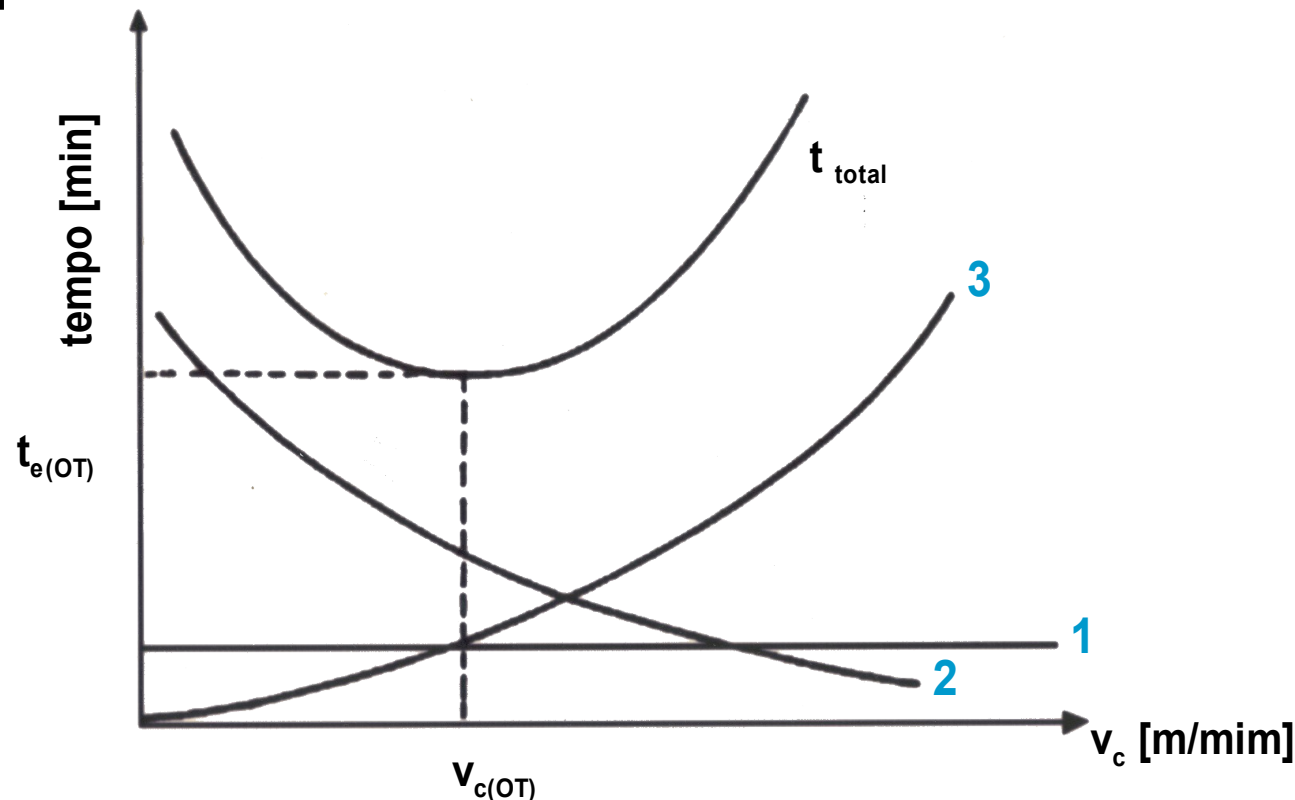
Otimização - Tempo de fabricação

- Custos de fabricação por peça (t_e) - [min/peça]

1 - tempo de preparação e secundário

2 - tempo principal

3 - tempo de troca de ferramenta



Otimização – Custo de Fabricação por Peça

$$K_F = K_{ML} \left(\frac{t_r}{m} + t_n \right) + K_{ML} \cdot t_h + \frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})$$

$$t_h = \frac{d \cdot \pi \cdot l_f}{f \cdot v_c} \quad [\text{min}]$$

$$t_h = \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} \quad [\text{min}]$$

V_z = volume usado por peça

→ Equação do Custo de Fabricação por Peça:

$$K_F = K_{ML} \left(\frac{t_r}{m} + t_n \right) + \frac{K_{ML} \cdot V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot C_V \cdot v_c^{k+1}} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})$$

→ Equação do Tempo de Fabricação por Peça:

$$t_e = \frac{t_r}{m} + t_n + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot C_V \cdot v_c^{k+1}} \cdot t_w$$

Otimização – Custo de Fabricação por Peça

- Para determinar a velocidade de corte de mínimo custo:

$$\frac{dK_F}{dv_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad v_{cok} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{\left(t_w + \frac{K_{WT}}{K_{ML}}\right)}{C_V}}$$

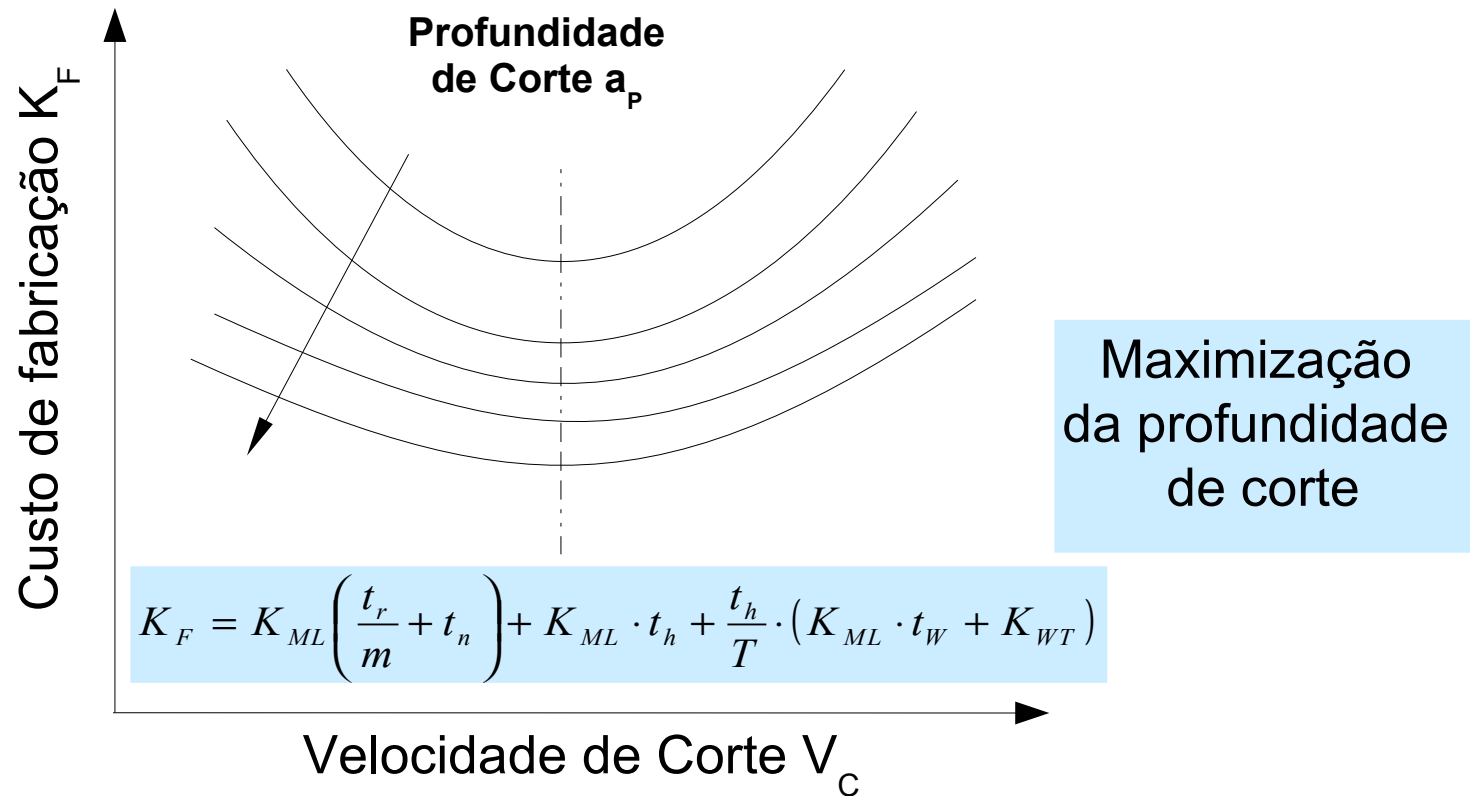
- Para determinar a velocidade de corte de mínimo tempo:

$$\frac{dt_e}{dv_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad v_{coz} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{t_w}{C_V}}$$

OBS: O mesmo deve ser considerado para equacionamento da vida para ótimo custo e vida para ótimo tempo

Otimização

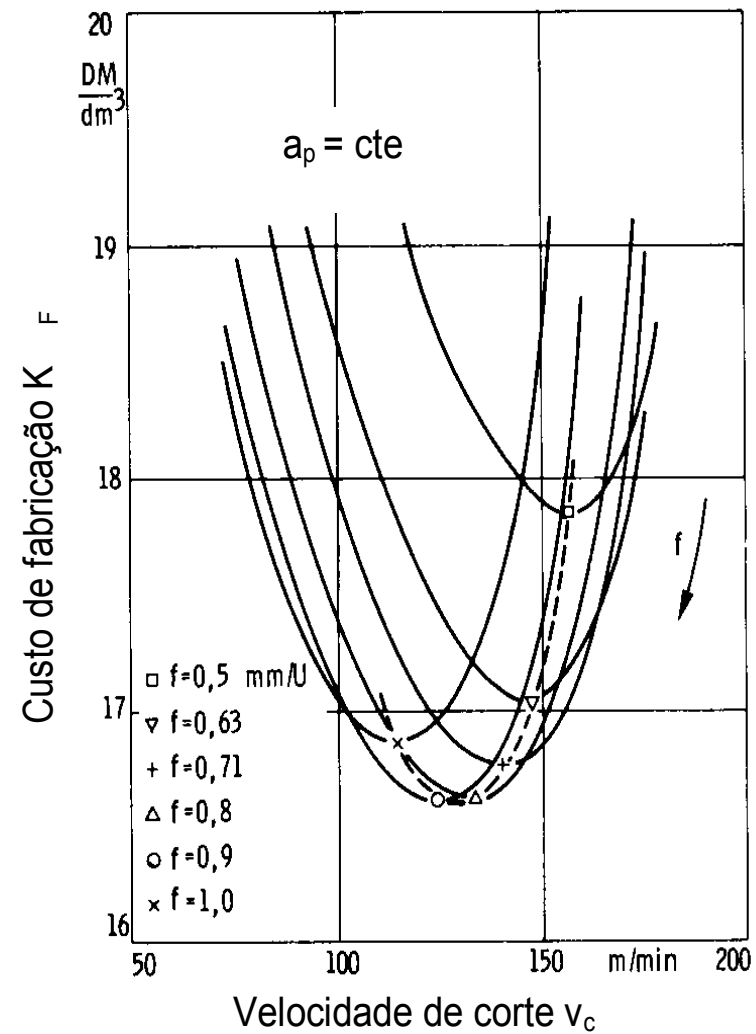
- Otimização dos dados de entrada de usinagem;
 - Otimização da profundidade de corte (a_p)



Otimização

- Otimização dos dados de entrada de usinagem;
 - Otimização do avanço (f)

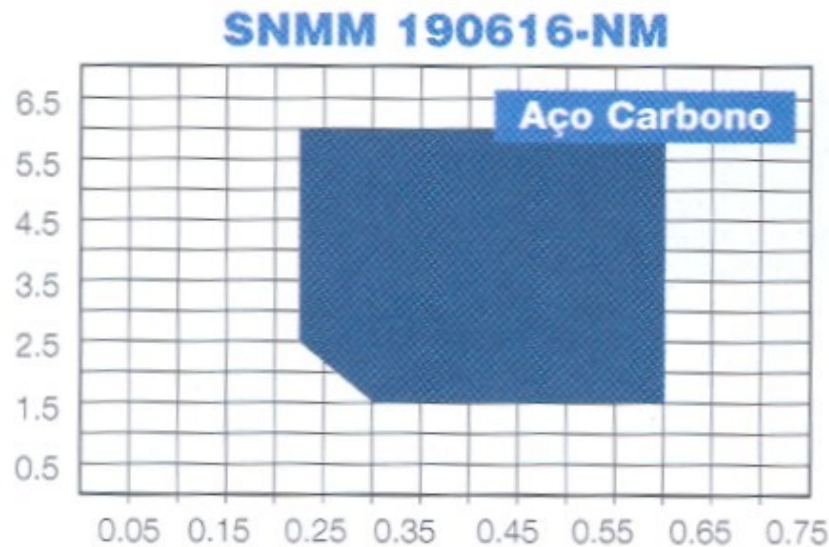
Maximização
do avanço











Otimização

➤ Na escolha dos parâmetros é indispensável observar:

- Limites ferramenta-peça-máquina;
 - Potência da máquina-ferramenta;
 - Tamanho do inserto (largura máxima de usinagem);
 - Forças de corte;



| Forma do inserto | Compr. do gume (mm) | Carga Adm. (N) |
|--|---------------------|----------------|
| TP   | 11 | 4000 |
| | 16 | 9000 |
| | 22 | 17000 |
| | 27 | 24000 |
| TN   | 11 | 4500 |
| | 16 | 10000 |
| | 22 | 19000 |
| | 27 | 27000 |
| SP   | 9 | 6000 |
| | 12 | 10000 |
| | 15 | 20000 |
| | 19 | 26000 |
| | 25 | 49000 |
| SN   | 9 | 6500 |
| | 12 | 12000 |
| | 15 | 22000 |
| | 19 | 28000 |
| | 25 | 55000 |