



SEM 343 – Processos de Fabricação por Usinagem

Professor:

Alessandro Roger Rodrigues

Renato Goulart Jasinevicius



Processos de Fabricação Mecânica

Aula : Processo de Fresamento

Introdução

Máquinas Ferramenta

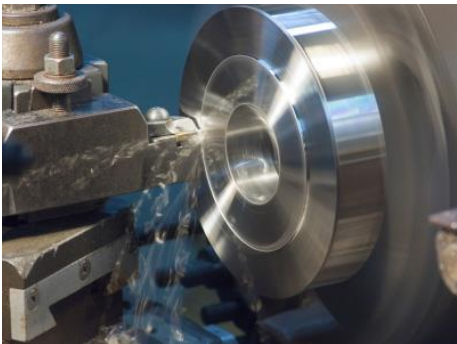
Ferramentas - Fresas

Processo de Fresamento

Condição de Operação

Introdução: Processo de Fresamento

- Peça Rotacional (a) – forma cilíndrica ou forma de disco – Exemplo Torneamento
- Peça Não-Rotacional ou Prismática (b) – forma de caixa ou forma achatada



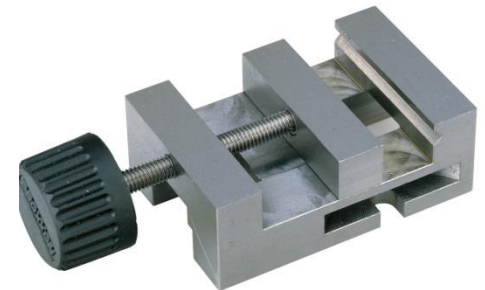
(a) rotacional



(b) não-rotacional

Introdução: Processo de Fresamento

Existem diversos formatos de peças. Essas diferentes formas precisam ser obtidas usando o processo de fabricação adequado para sua obtenção.





Introdução: Processo de Fresamento

Existem diversas formas de se fabricar uma peça ou componentes.

Produção de blocos de motor :

Fundir & Usinar

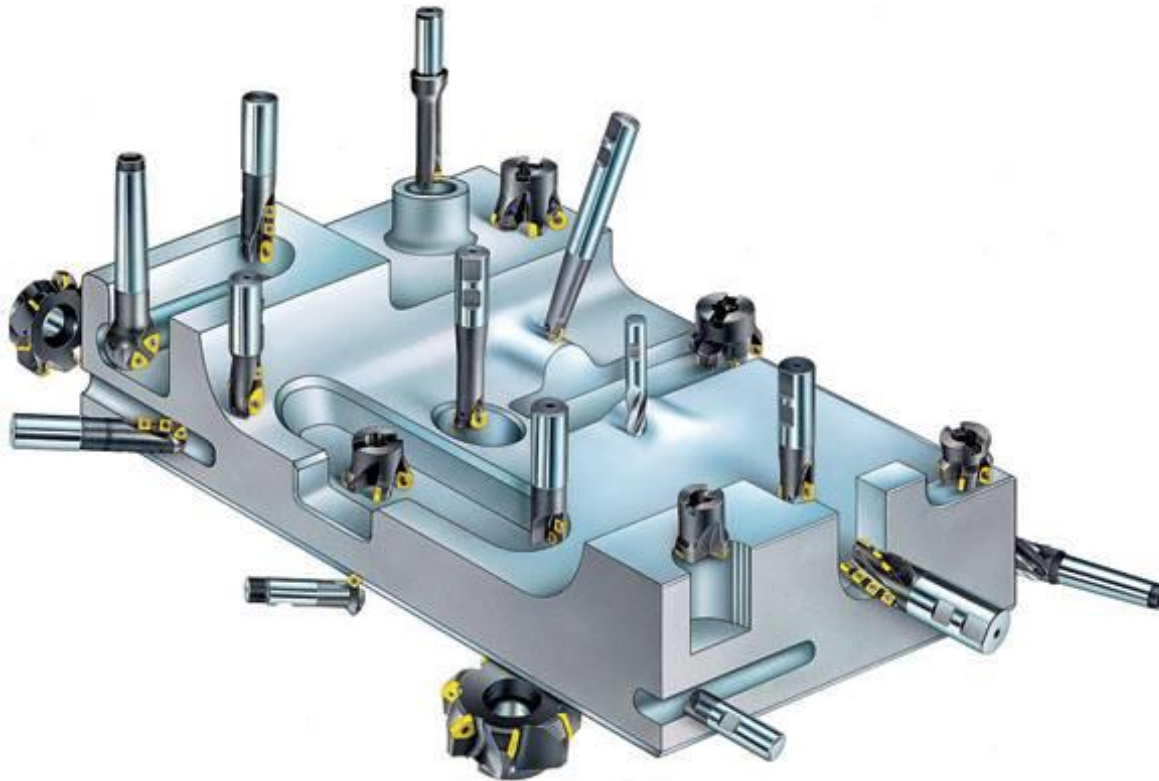
X

Usinar a partir de um Bloco

Introdução: Processo de Fresamento

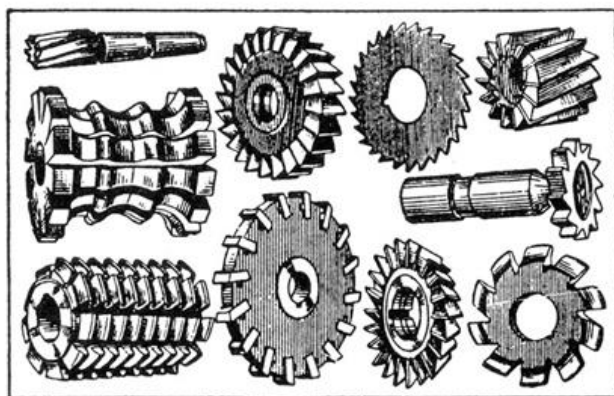
Definição:

O fresamento é a operação de usinagem destinada à obtenção de superfícies quaisquer com o auxílio de ferramentas, geralmente multicortantes.

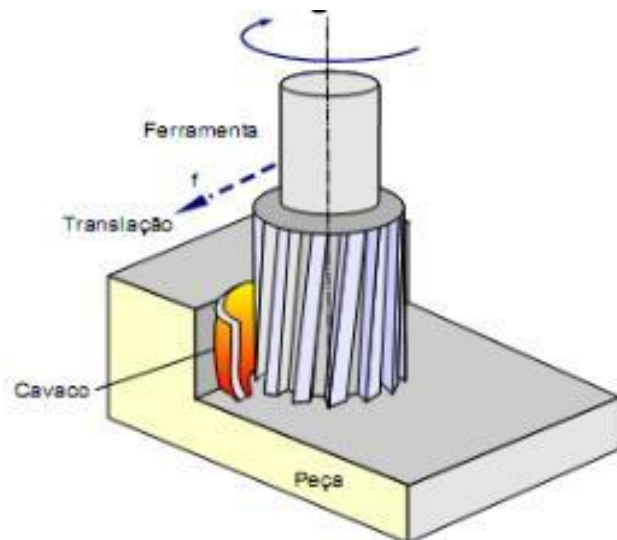
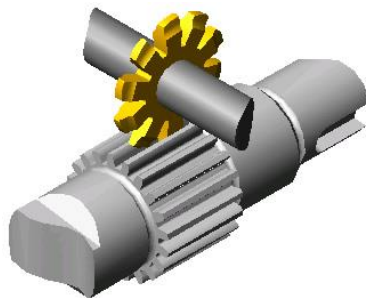


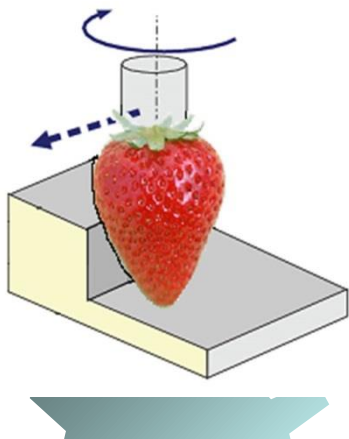
Introdução: Processo de Fresamento

Para tanto, a ferramenta, dita Fresa, caracterizada por arestas cortantes dispostas simetricamente ao redor de um eixo, é provida de um movimento de rotação permitindo que cada dente retire uma camada de material da peça.



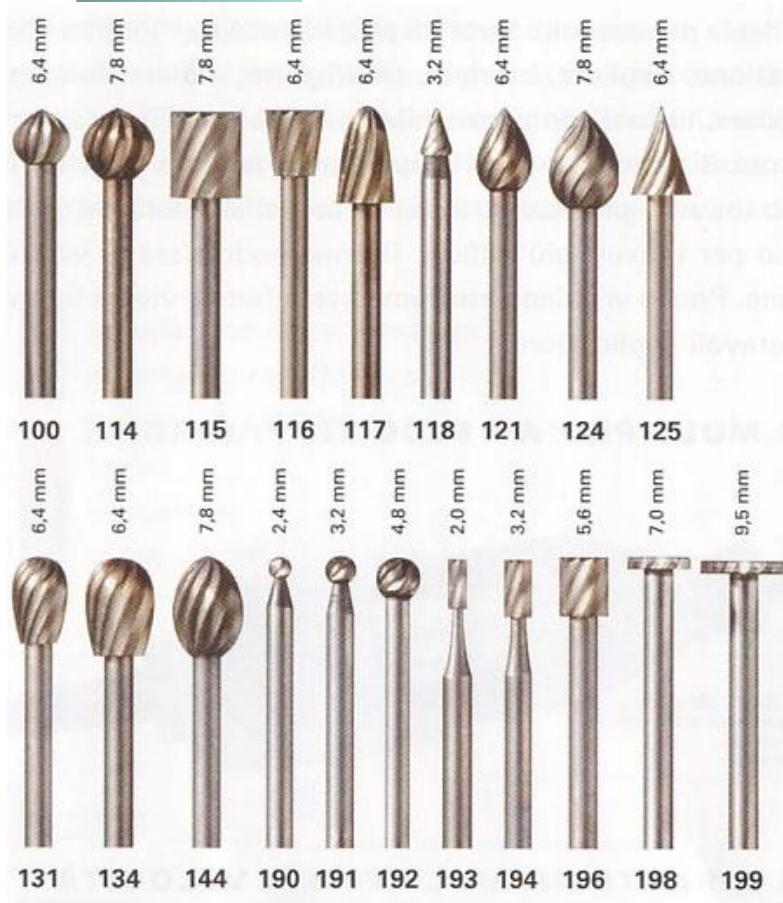
FRESA





Introdução: Processo de Fresamento

"A ferramenta que hoje conhecemos como fresa surgiu na França. As primeiras fresas foram fabricadas por **Jacques de Vaucanson**, antes de 1780, e tinham dentes muito finos, feitos provavelmente com talhadeira. Devido ao formato ovalado, coberto de pequenas saliências (ou escamas), a ferramenta acabou sendo batizada de fresa - que é a palavra para se designar morango na França e em alguns países de língua espanhola".

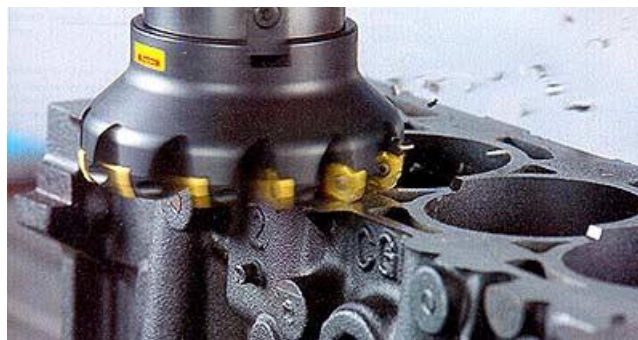


Introdução: Processo de Fresamento

Fresa: exemplos



Fresa caracol, ferramenta utilizada no processo Renânia.



Fresa de Faceamento



Fresa Abacaxi



Fresa módulo

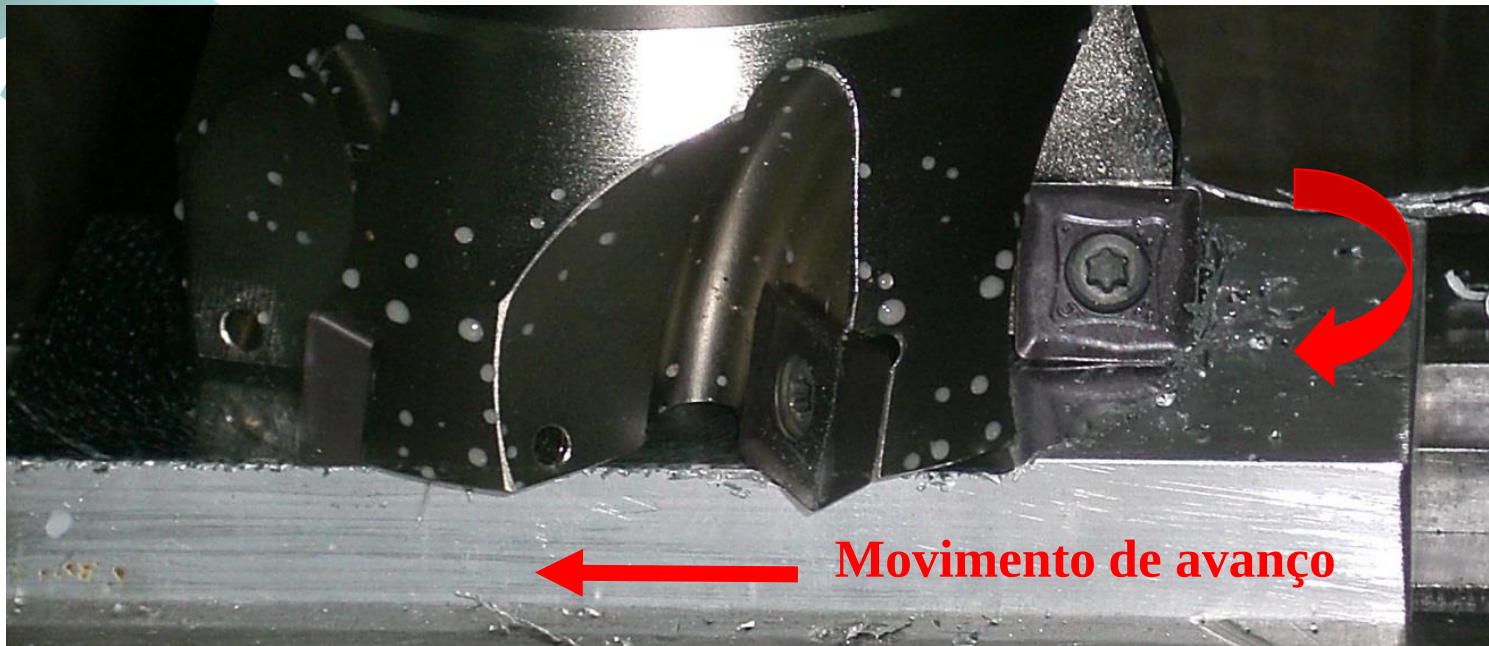


Fresa de Topo.

Introdução: Processo de Fresamento

Definições:

O movimento de avanço é geralmente feito pela peça, que está fixada à mesa da máquina.



**Movimento
de Corte**

Movimento de avanço



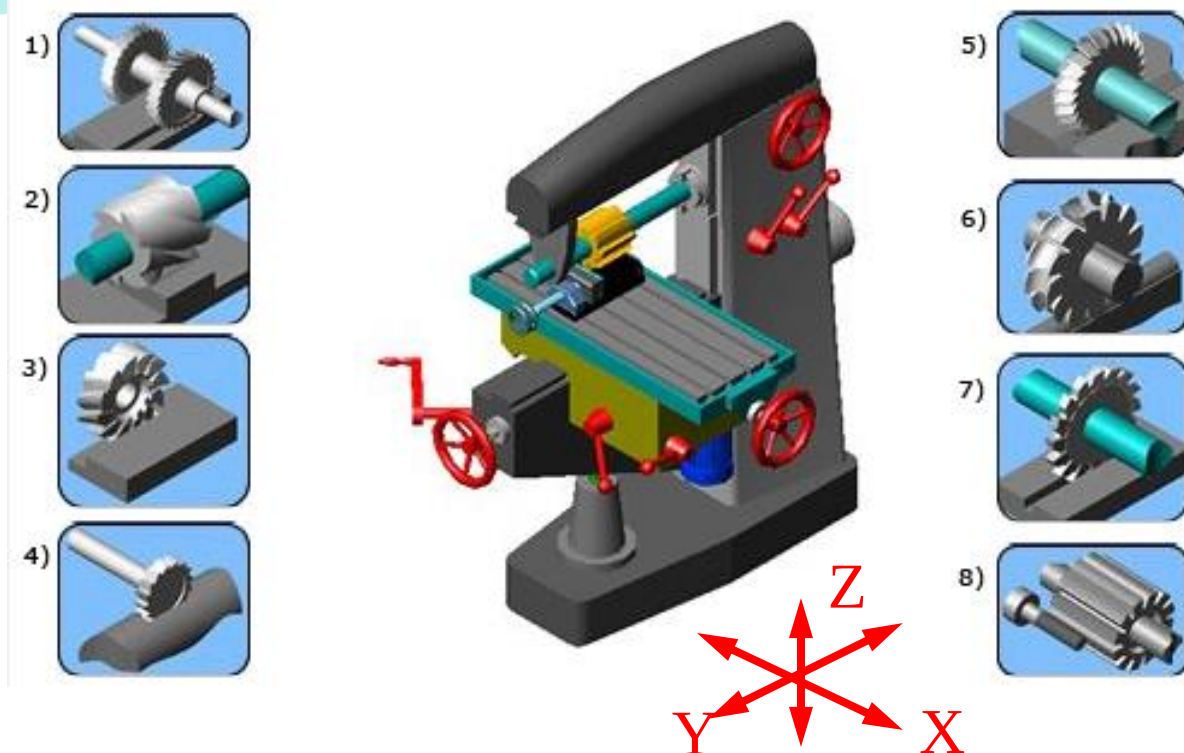
Introdução: Processo de Fresamento

- Os tipos de fresadoras são definidos de acordo a disposição do cabeçote em relação a mesa da máquina, podendo ser definida como:

- Horizontal
- Vertical
- Universal

Introdução: Processo de Fresamento

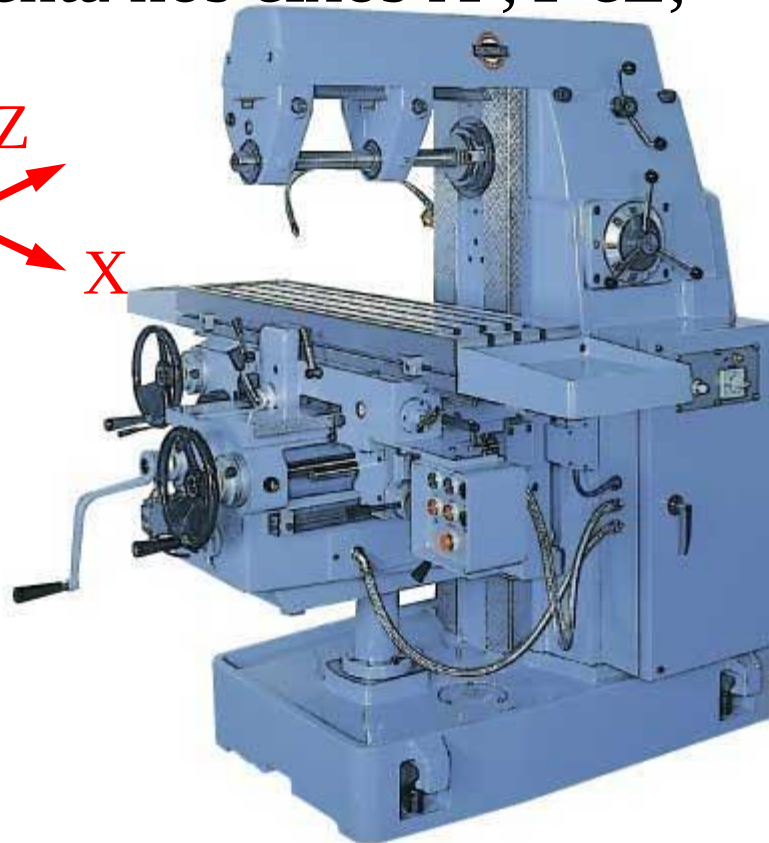
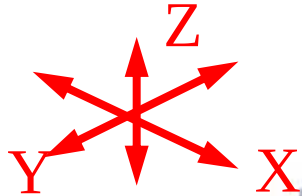
- Ferramenta fixa no cabeçote e peça se movimenta nos eixos X, Y e Z;



Fresadora Horizontal

Introdução: Processo de Fresamento

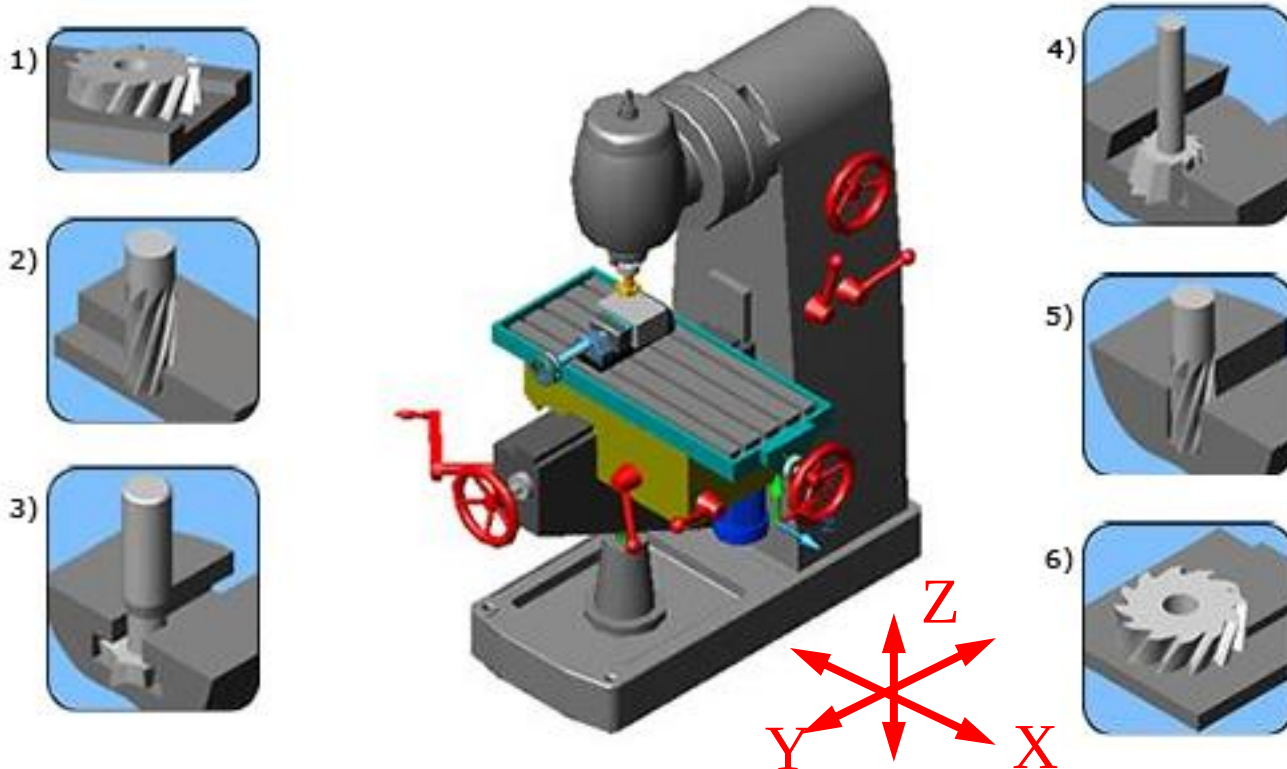
- Ferramenta fixa no cabeçote e peça se movimenta nos eixos X, Y e Z;



Fresadora Horizontal

Introdução: Processo de Fresamento

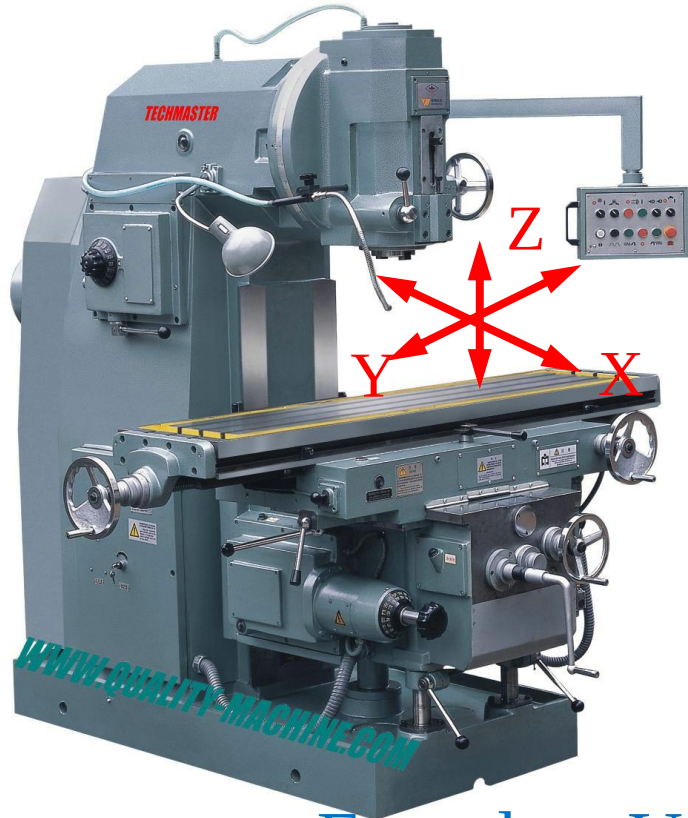
- Ferramenta fixa no cabeçote e peça se movimenta nos eixos X, Y e Z;



Fresadora Vertical

Introdução: Processo de Fresamento

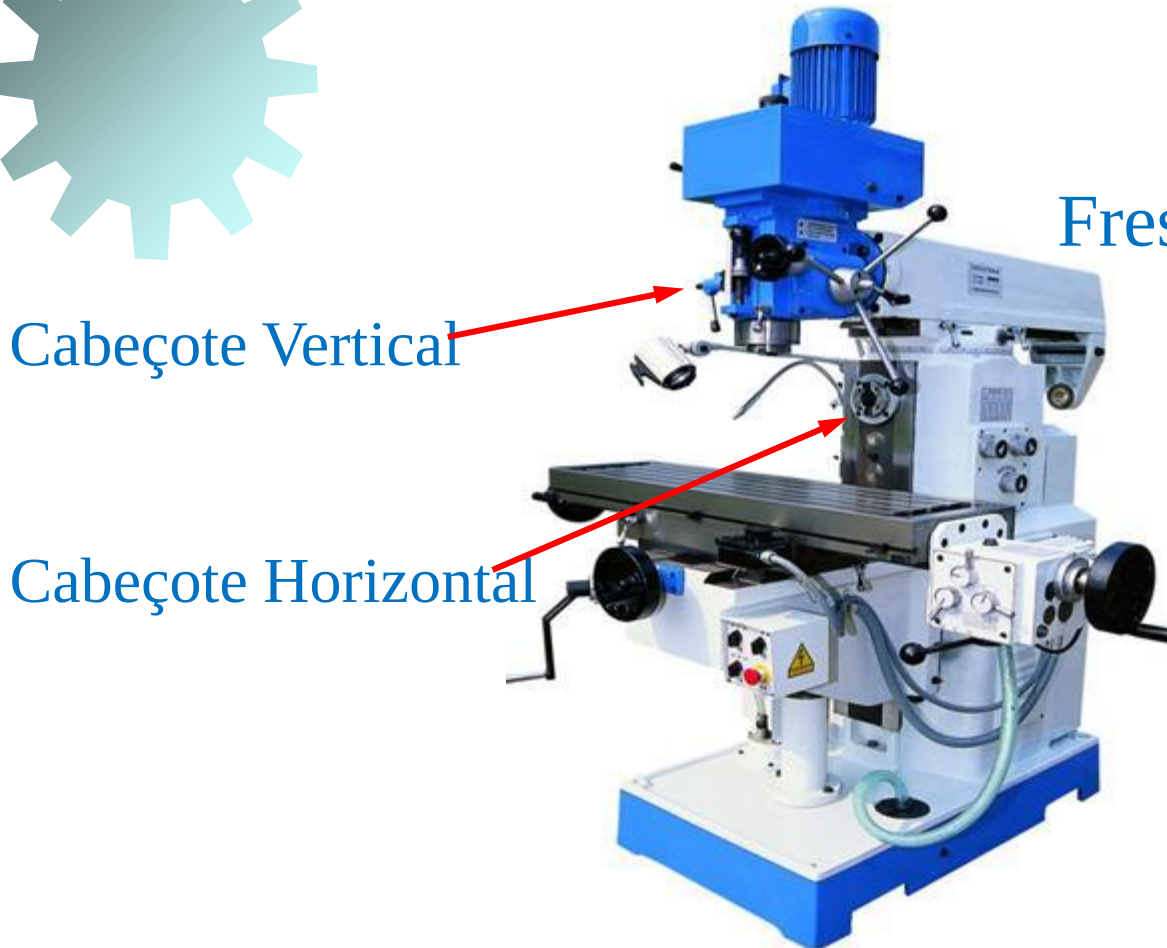
- Ferramenta fixa no cabeçote e peça se movimenta nos eixos X, Y e Z;



Fresadora Vertical

Introdução: Processo de Fresamento

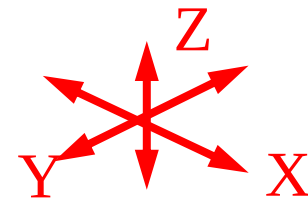
- Fresadora com cabeçote Horizontal e Vertical movimenta nos eixos X ,Y e Z;



Cabeçote Vertical

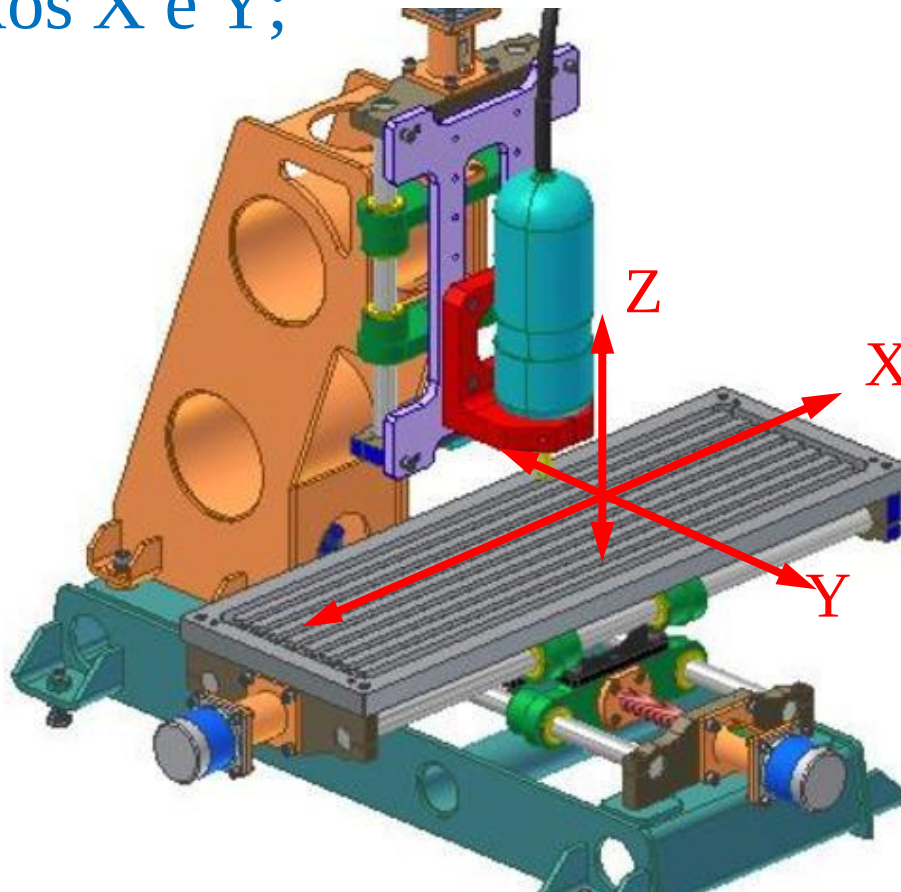
Cabeçote Horizontal

Fresadora Universal



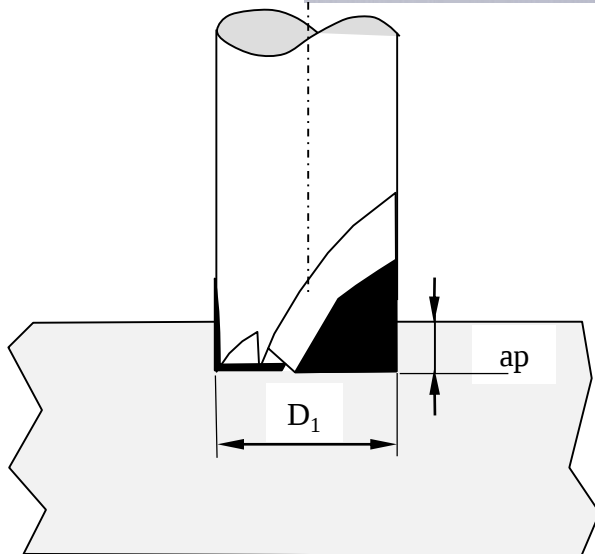
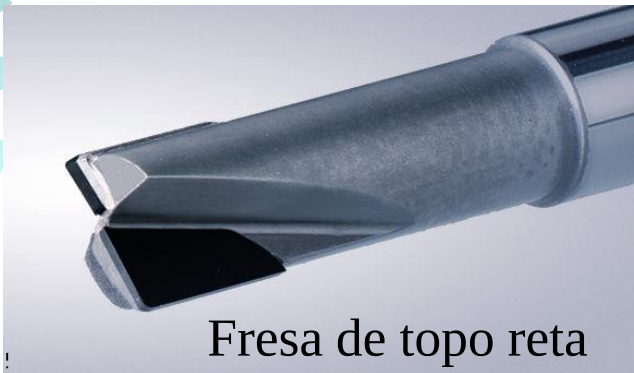
Introdução: Processo de Fresamento

- Ferramenta fixa no cabeçote com movimento em Z e peça se movimento nos eixos X e Y;



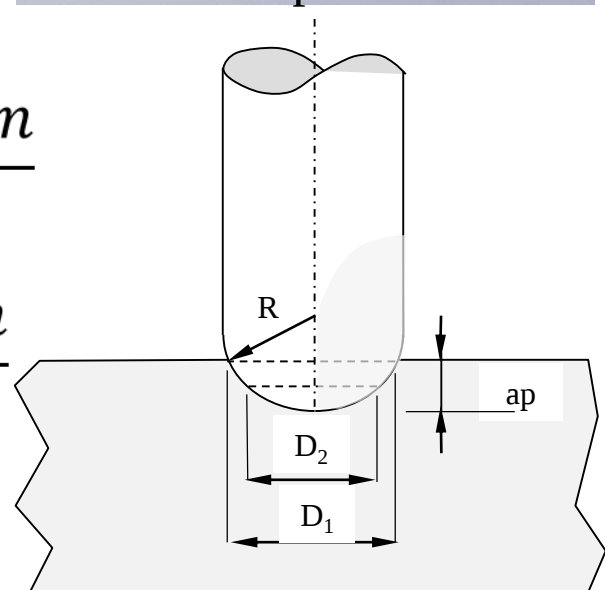
Características do Processo

- Velocidade de corte constante, exceto em fresas de ponta esférica



$$V_{c1} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{1000}$$

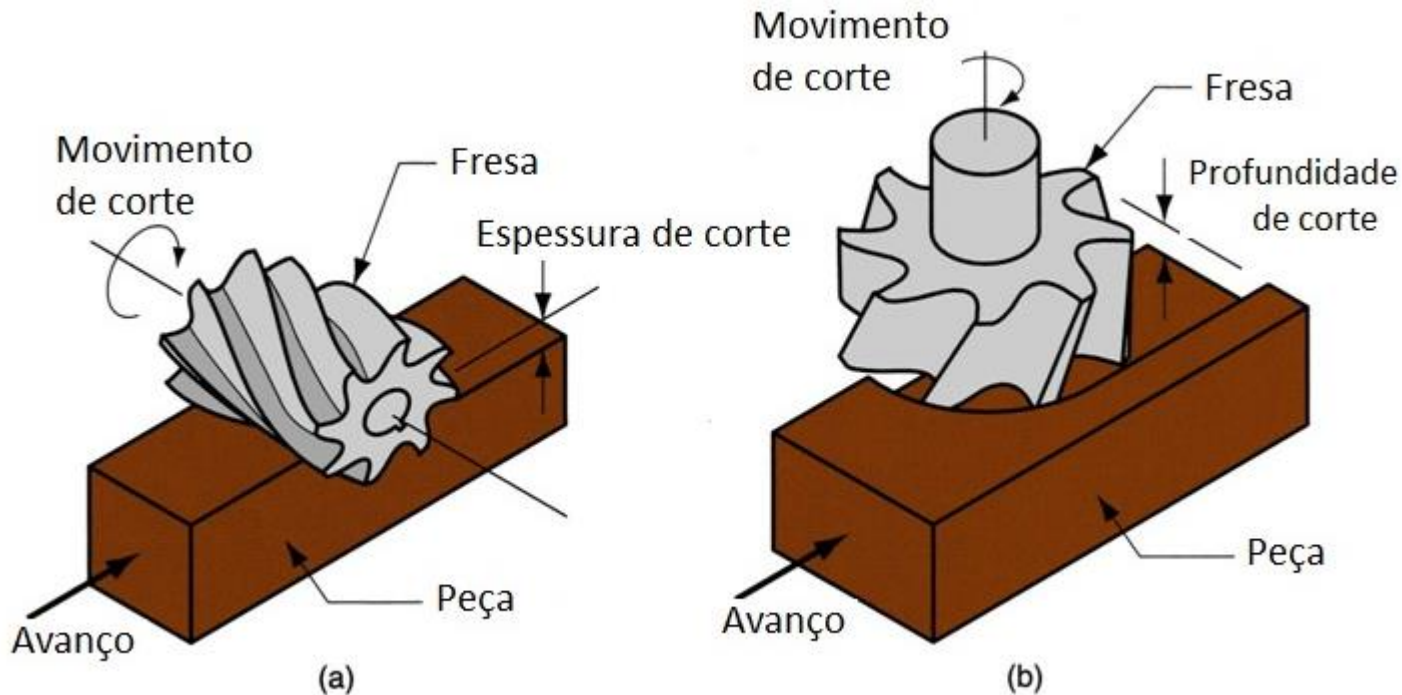
$$V_{c2} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{1000}$$



Movimentos de Corte no Fresamento

(a) **Fresamento Tangencial:** *eixo de rotação da ferramenta é paralelo a superfície da peça*

(b) **Fresamento Frontal:** *eixo de rotação da ferramenta é perpendicular a superfície da peça*



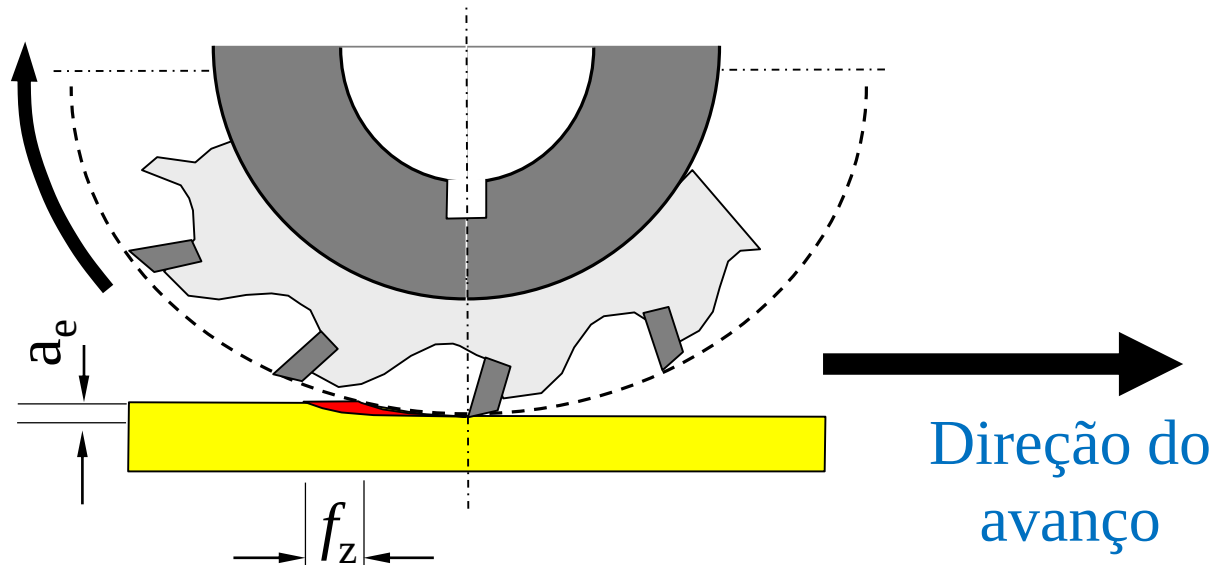
Fresamento Tangencial

Fresamento Frontal

Movimentos de Corte no Fresamento Tangencial

- O eixo da fresa está disposto paralelamente à superfície da peça .
- Arestas de corte colocadas na periferia da parte cilíndrica.

Movimento
de corte

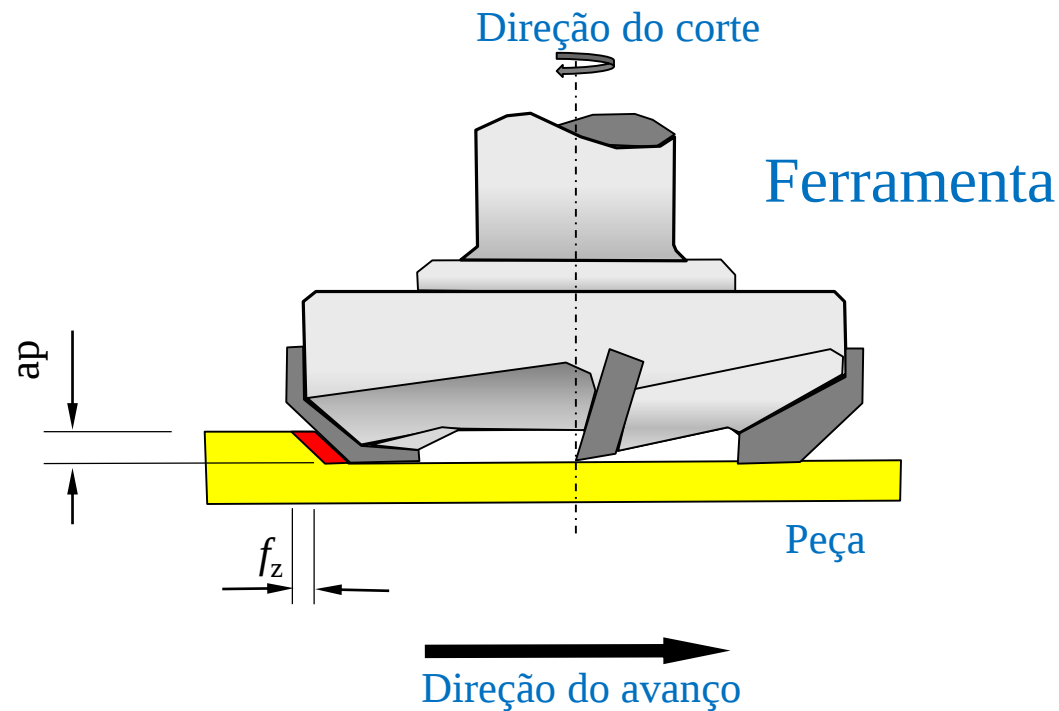


Direção do
avanço

Fresamento tangencial

Movimentos de Corte no Fresamento Frontal

- O eixo da fresa é perpendicular à superfície de trabalho.

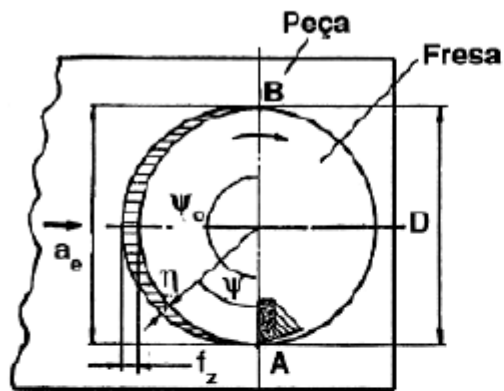


Fresamento frontal

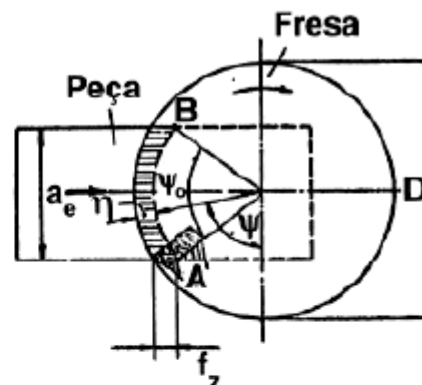
Movimentos de Corte no Fresamento Frontal

Fresamento Frontal

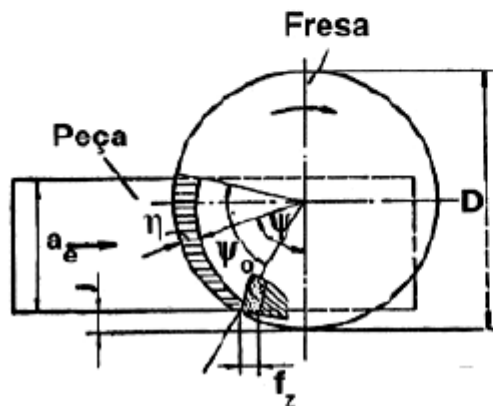
a) simétrico (rasgo)



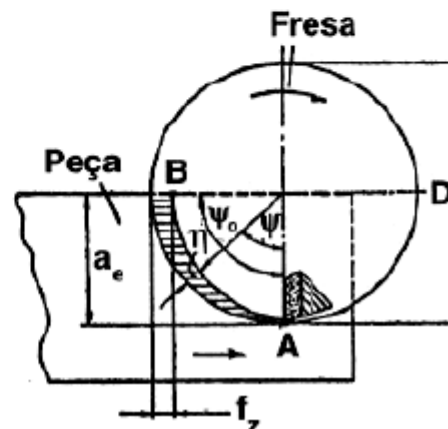
b) simétrico (faceamento)



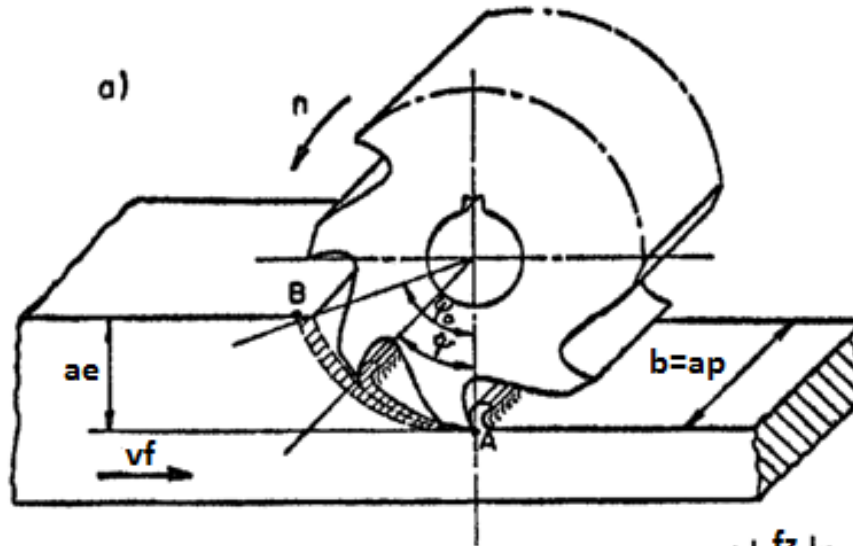
c) assimétrico
(com toda superfície sendo fresada)



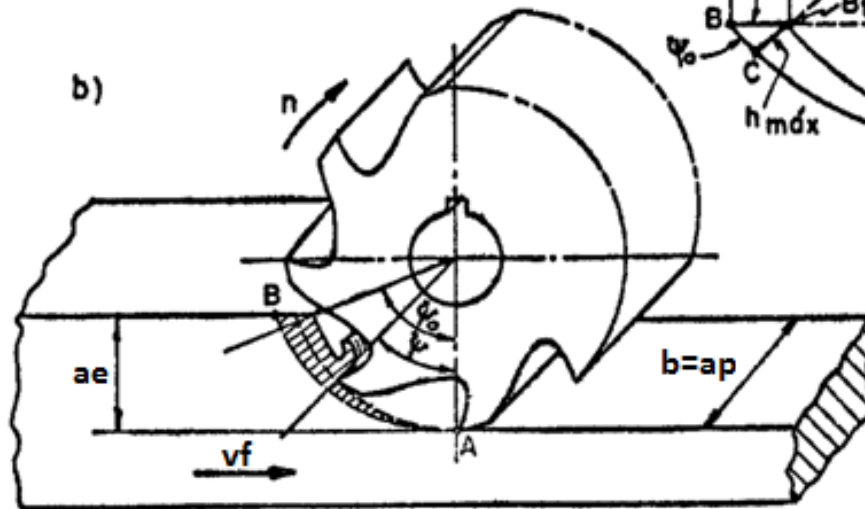
d) assimétrico
(com parte da superfície sendo fresada)



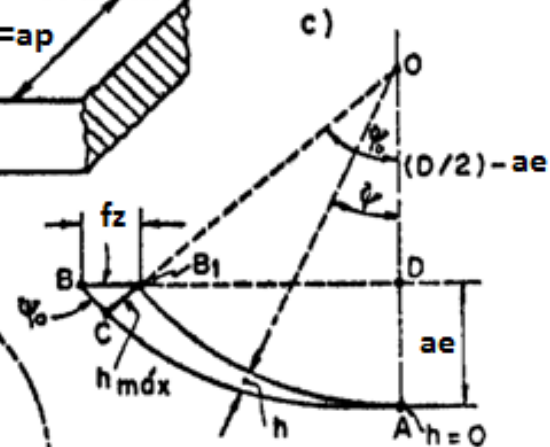
Movimento de Corte: tipos



Concordante

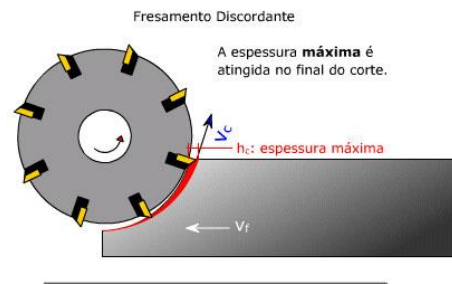


Discordante



Fresamento Tangencial

Vantagens do corte discordante:



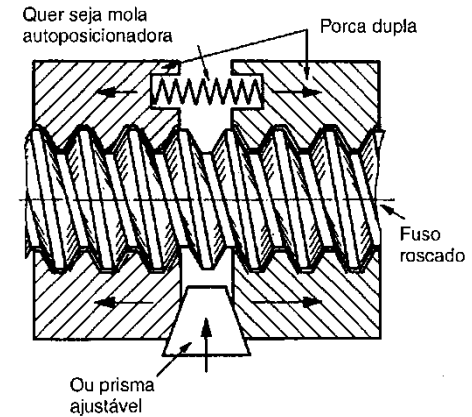
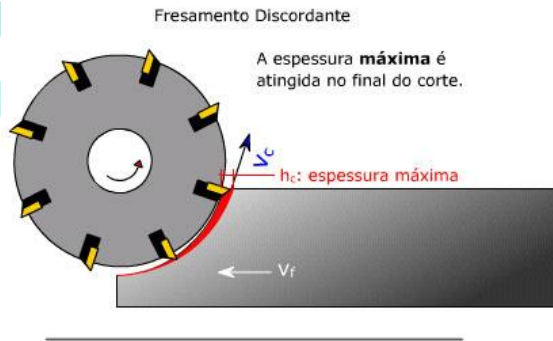
A operação da aresta de corte não depende das características da superfície da peça sendo usinada.

Crosta endurecida ou contaminações na superfície não prejudicam a vida da ferramenta.

O corte é suave, desde que as arestas estejam bem afiadas.

Fresamento Tangencial

Desvantagens do corte discordante:



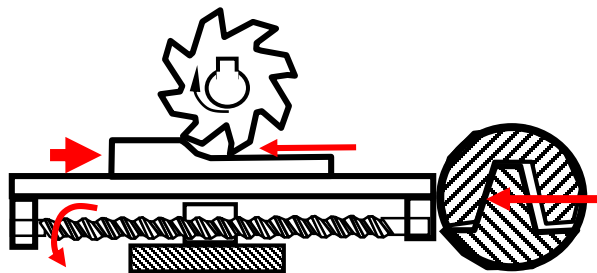
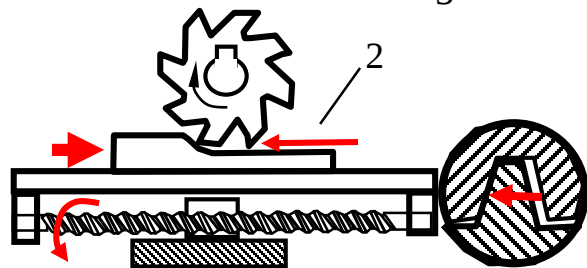
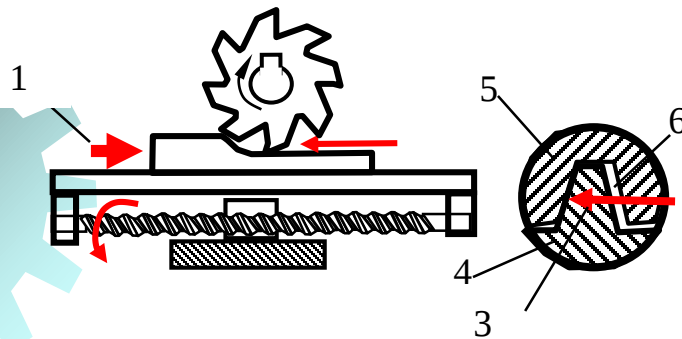
A ferramenta tem a tendência de vibrar.

A peça é puxada para cima o que obriga a ter uma fixação adequada.

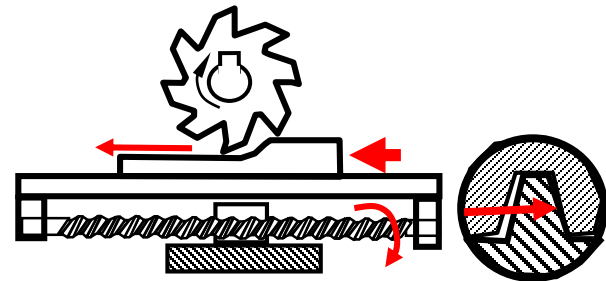
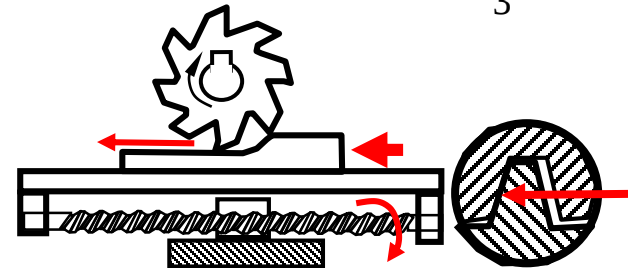
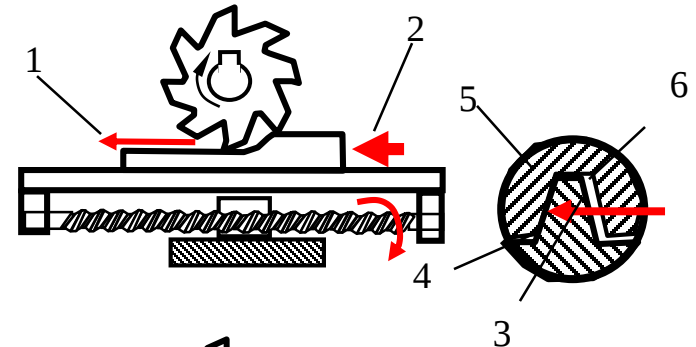
Desgaste mais rápido que no fresamento concordante.

Forças nos Fresamentos e Discordante e Concordante:

- 1) Sentido de deslocamento da mesa;
- 2) módulo e sentido da força de avanço;
- 3) sentido da força que atua no fuso
- 4) fuso;
- 5) porca;
- 6) Folga entre porca e o fuso

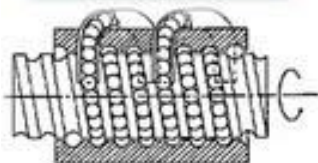


Discordante



Concordante

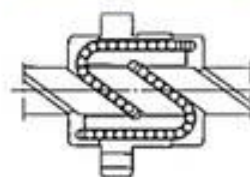
Sistemas de fusos con esferas recirculantes



Tipo tubo



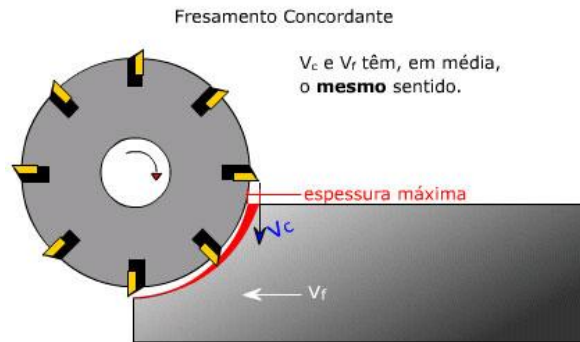
Tipo deflector



Tipo "end cap"

Fresamento Tangencial

Vantagens do corte concordante:



Dispositivos de fixação simples e econômicos (força de corte para baixo)

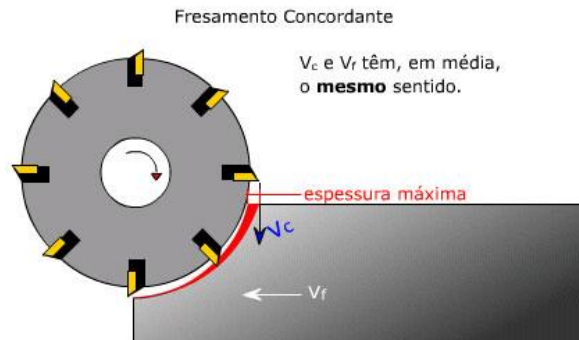
Melhor acabamento da peça (disposição dos cavacos)

Menor desgaste da ferramenta (corte em $h_{\max}$)

Menor potência de corte.

Fresamento Tangencial

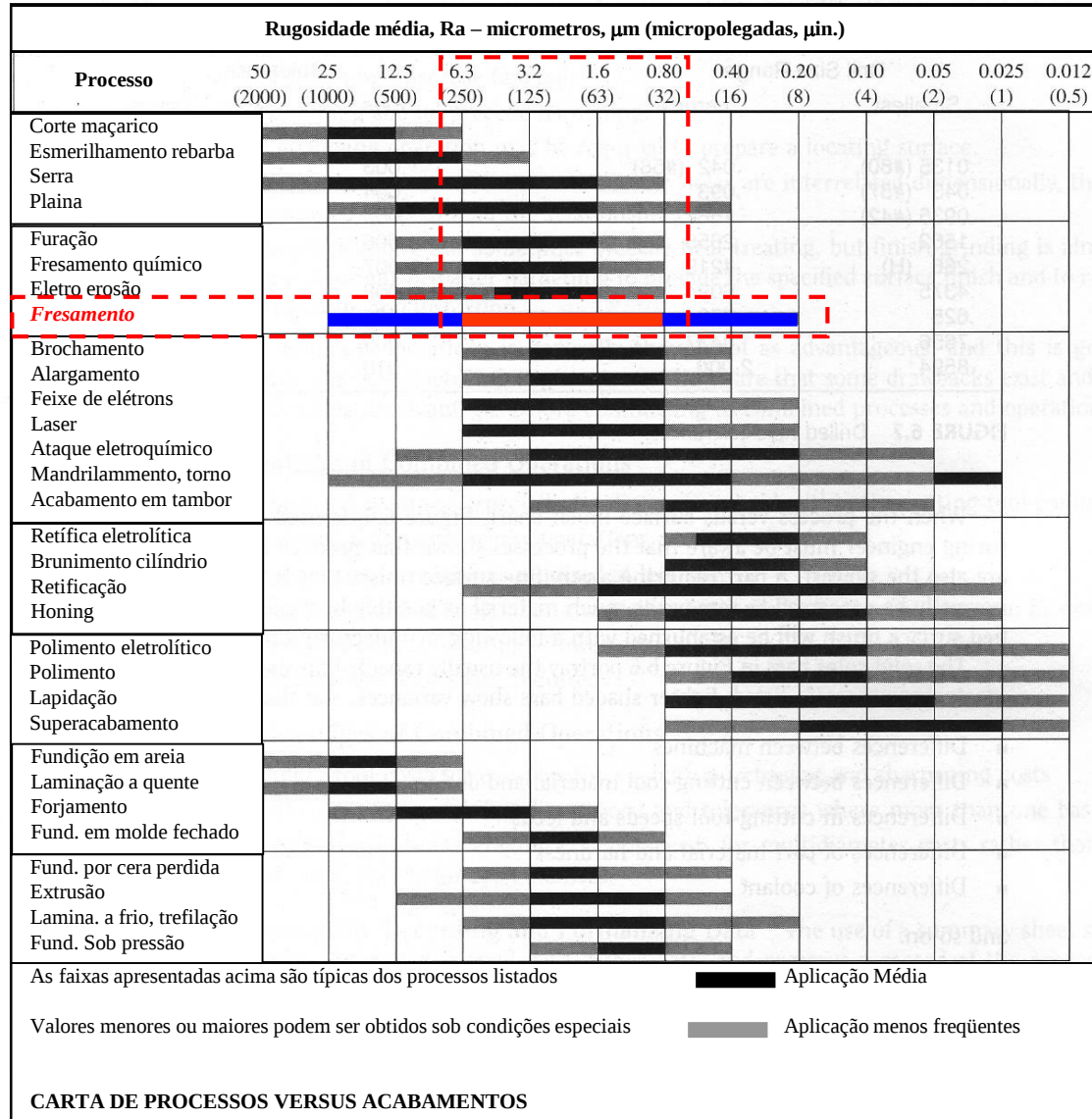
Desvantagens do corte concordante:



Forças de impacto na entrada da ferramenta na peça.

Dificuldade de usinar peças trabalhadas a quente, forjadas e fundidas (superfície dura).

Acabamento no Processo de Fresamento

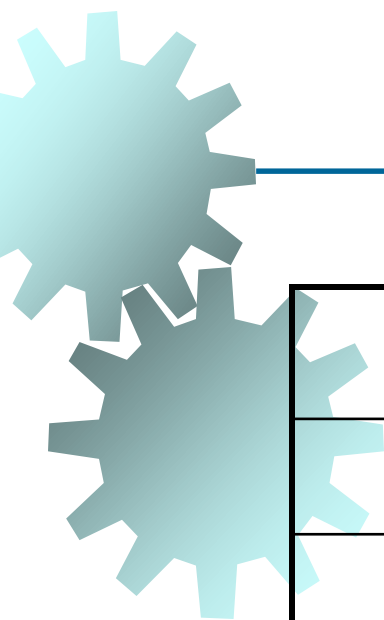


Tolerâncias Processo de Fresamento

± Tolerâncias

	0,013 mm	0,025 mm	0,050 mm	0,075 mm	0,125 mm	0,250 mm	1,250 mm
Torneamento, mandrilamento							
Diâmetro , < 25,4 mm							
25,4 < Diâmetro < 50,8 mm							
Diâmetro > 50,8 mm							
Furação							
Diâmetro , < 0,254 mm							
2,54 ≤ Diâmetro < 6,35 mm							
6,35 ≤ Diâmetro < 12,7 mm							
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm							
Diâmetro > 25,4 mm							
Alargamento							
Diâmetro , < 12,7 mm							
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm							
Diâmetro > 25,4 mm							
Fresamento							
Periférico							
Face							
Topo ou Frontal							
Chavetamento							
Aplainamento							
Brochamento							
Serrar							

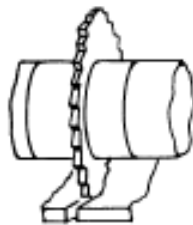
Tolerâncias de furação
geralmente expressas como
intervalos (por exemplo :
+0,127/-0,0254).



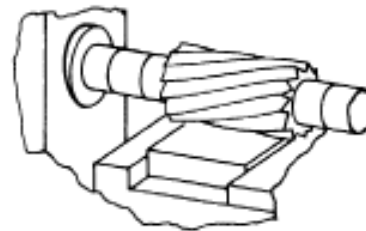
Fresamento Tolerância e acabamento

Método	Exatidão dimensional (mm)	Qualidade Acabamento Rt em μm
Tangencial	IT 8	30
Frontal	IT 6	10
Forma	IT 7	20-30

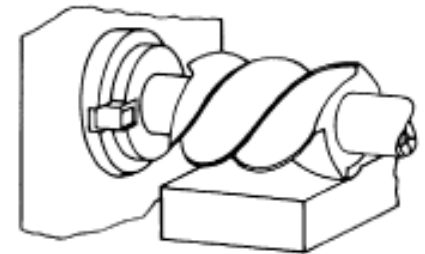
Operações de Fresamento



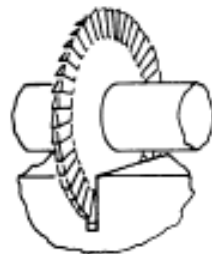
a) Rasgo



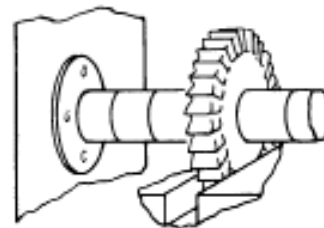
b) Faceamento



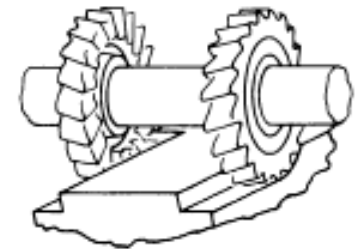
c) Faceamento



d) Ranhura



e) Ranhura



f) Faceamento de canto

Operações de Fresamento



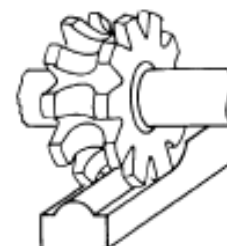
g) Chanfro
ângulo simples



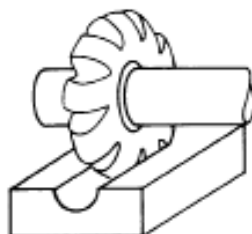
h) Chanfro
ângulo simples



i) Chanfro
ângulo "V"



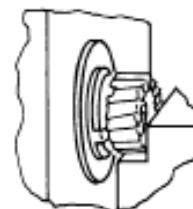
j) Superf. côncava



k) Superf. convexa



l) Arredondamento
de canto



m) Faceamento
de canto



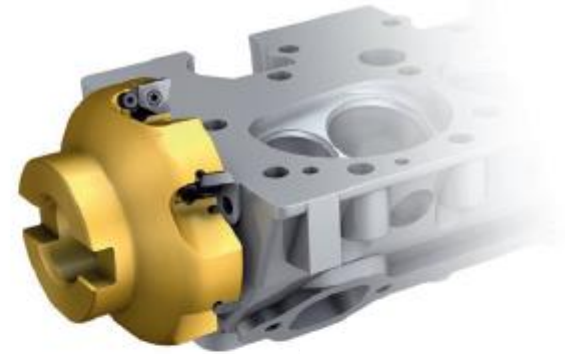
n) Fresamento
de topo

Operações de Fresamento

Faceamento geral



Faceamento de alumínio



Faceamento com altos avanços



Operações de Fresamento

Fresamento de cantos a 90° profundos



Faceamento de cantos a 90°



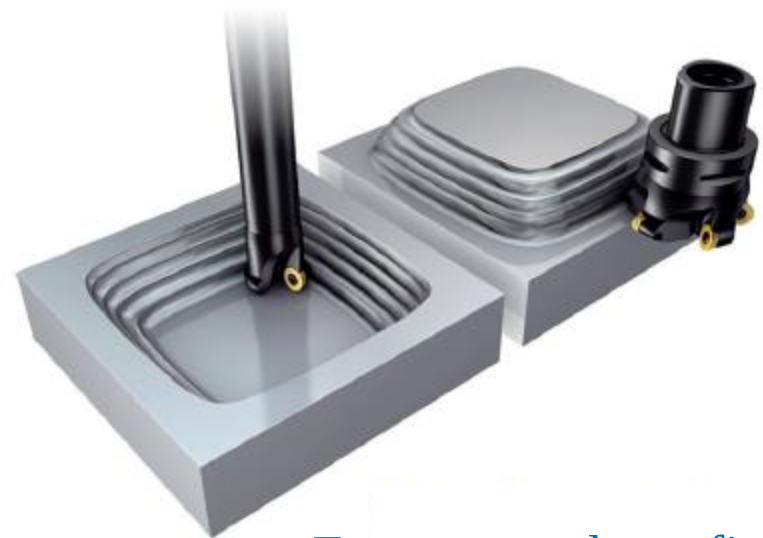
Fresamento de cantos a 90°

Operações de Fresamento

Fresamento de perfis
(acabamento/semi)



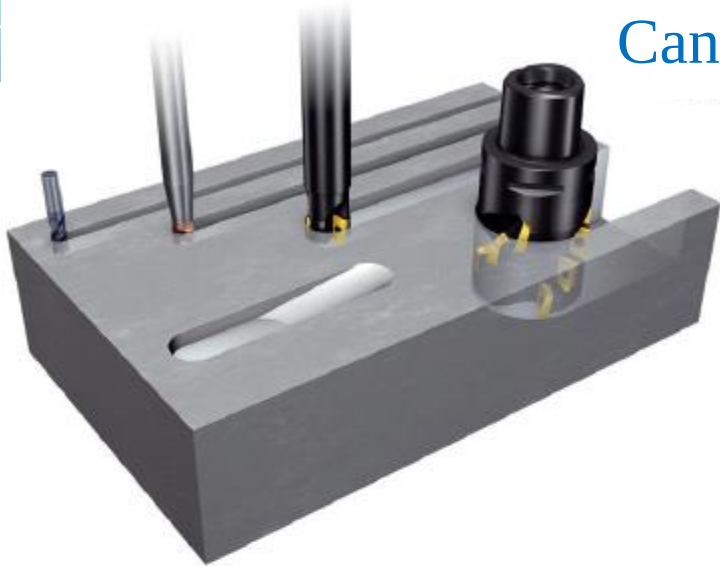
Faceamento de perfis
(acabamento)



Fresamento de perfis
(desbaste/semi)

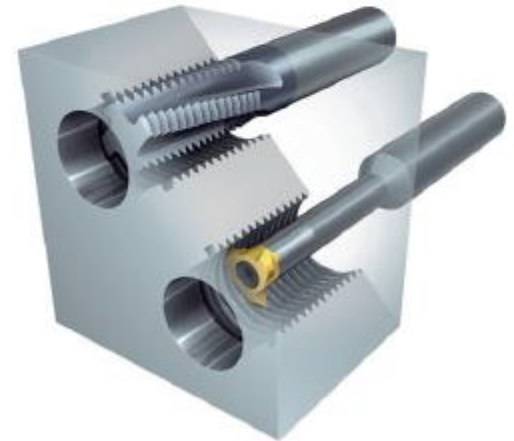
Operações de Fresamento

Canais frontais



Roscas externas

Canais tangenciais



Roscas internas



EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE ALGUMAS OPERAÇÕES DE FRESAMENTO



Canal



Canal



Contorno curvo



Contorno reto



Furo interpolado



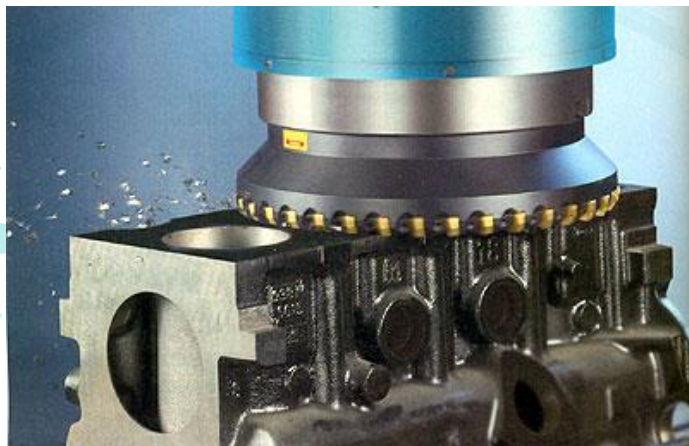
Cavidade esférica



Cavidade



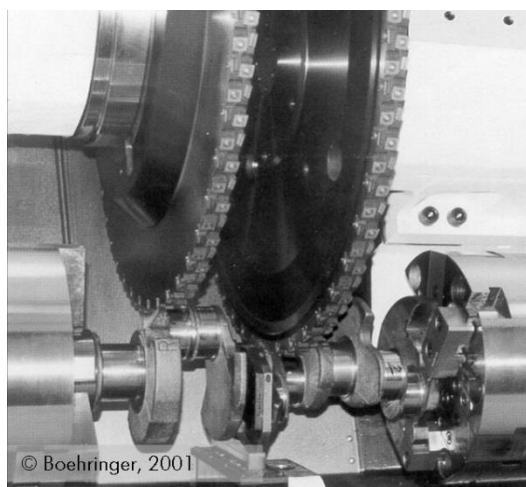
Cavidade



Faceamento



Corte de Engrenagens

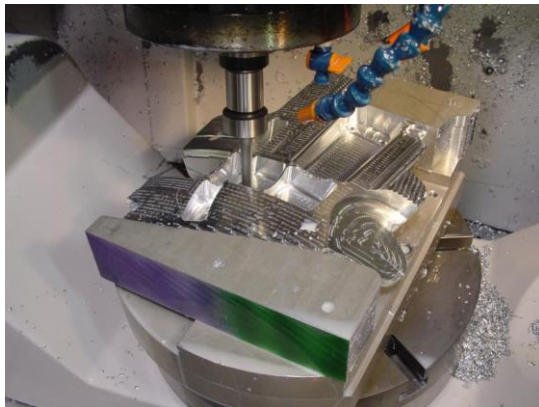
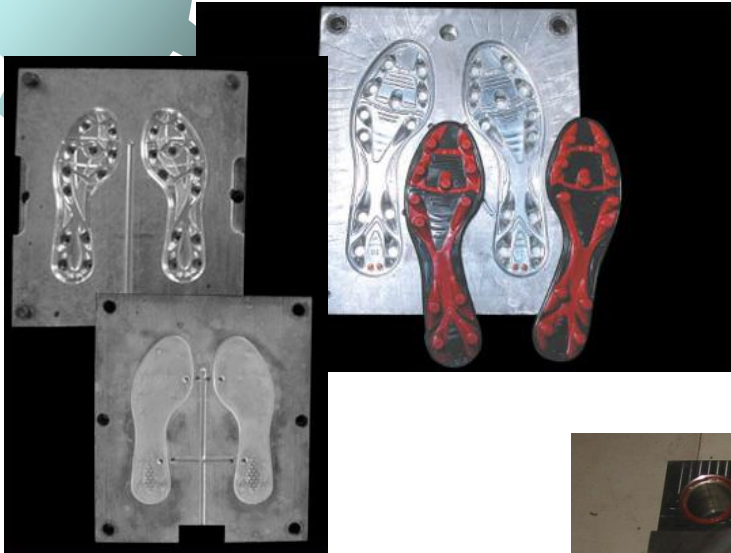


Usinagem de Virabrequim



Usinagem de Splines

FERRAMENTARIA



Filme

Fixação da Peça na Fresadora



Grampos



Base Magnética



Macacos

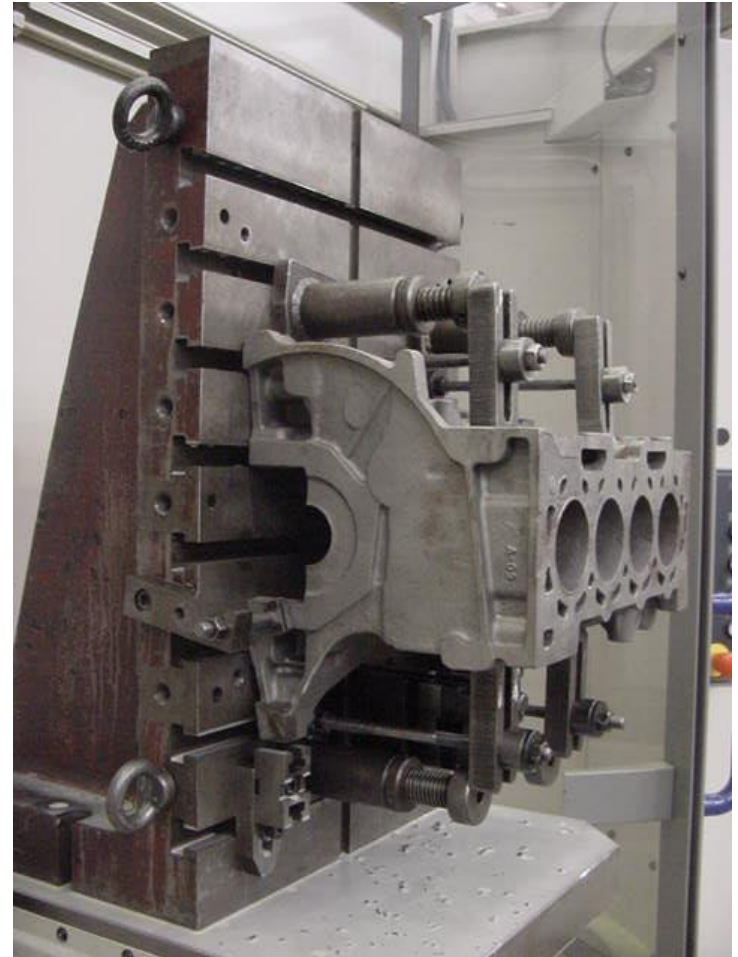
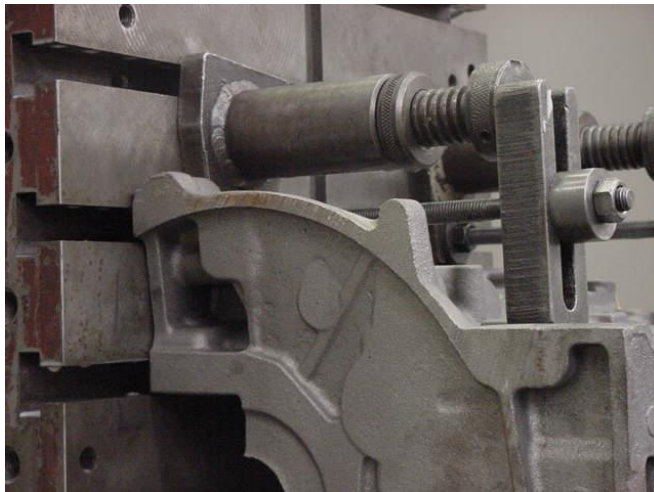


Excêntrico

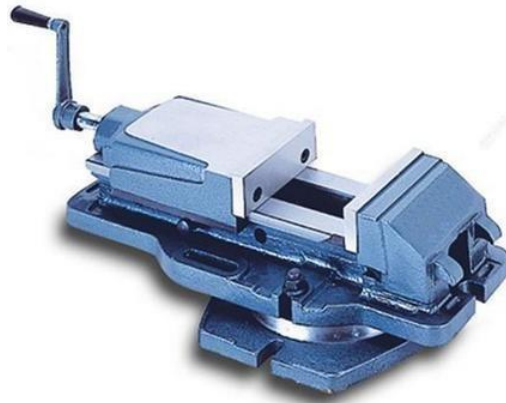
Fixação da Peça na Fresadora



Grampos



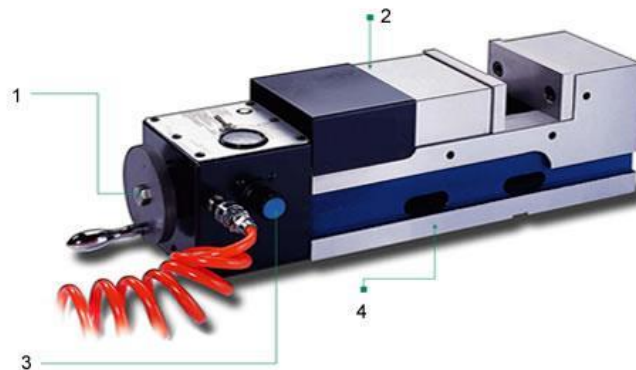
Fixação da Peça na Fresadora



Morsa giratória



Morsa angular

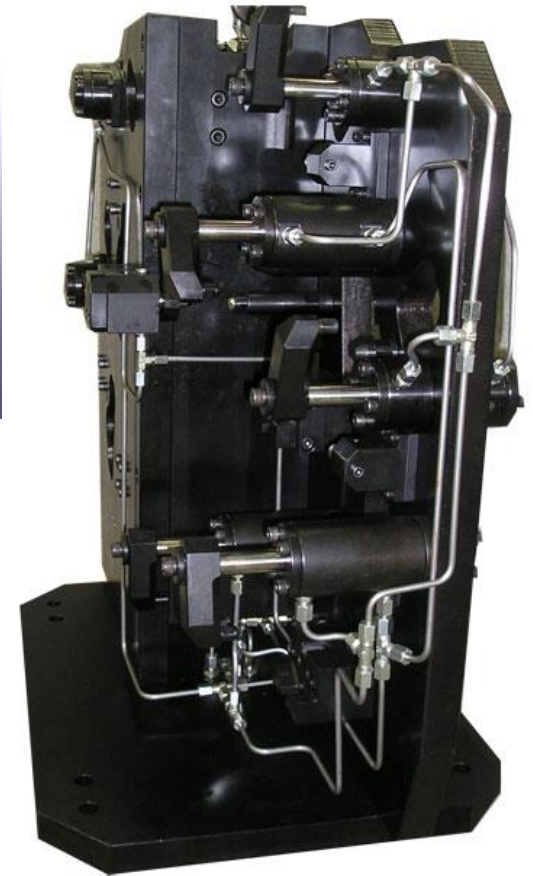
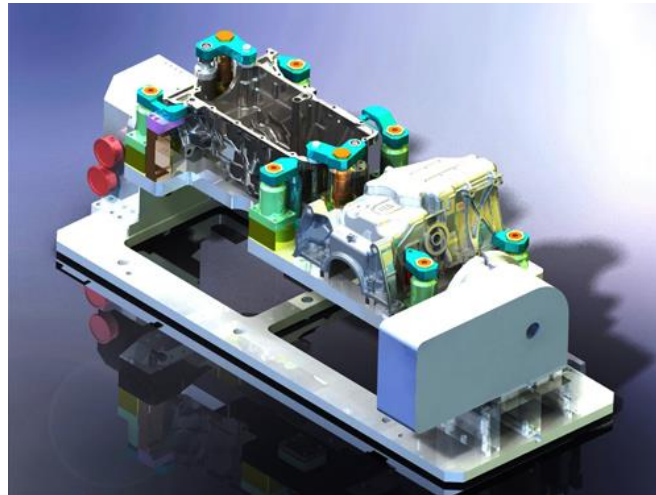
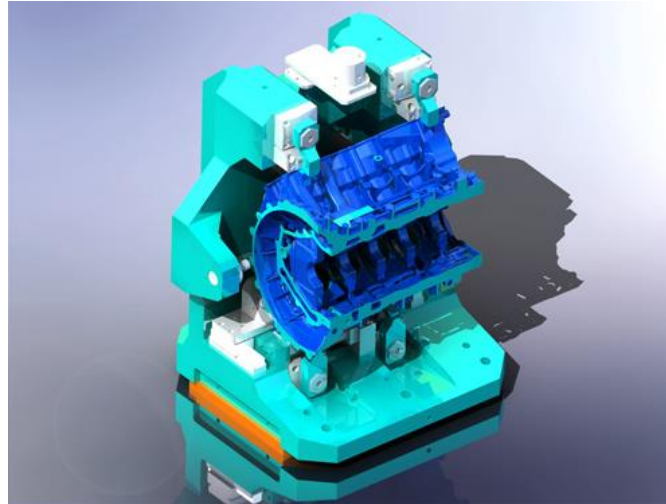


Morsa pneumática



Morsa de precisão

Fixação da Peça na Centros de Usinagem



Filme

Dispositivos especiais

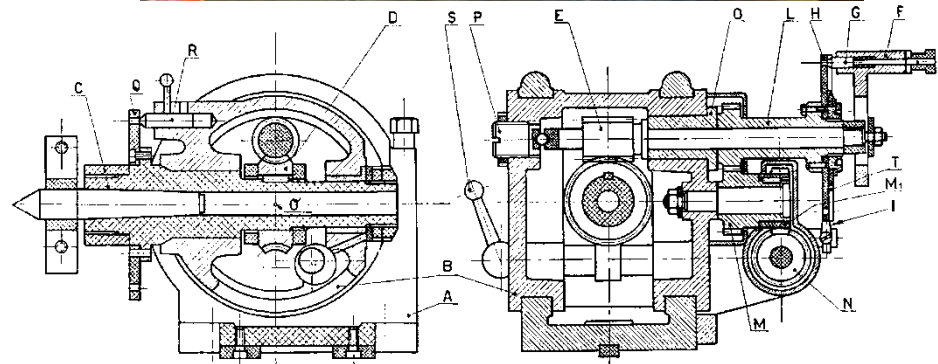
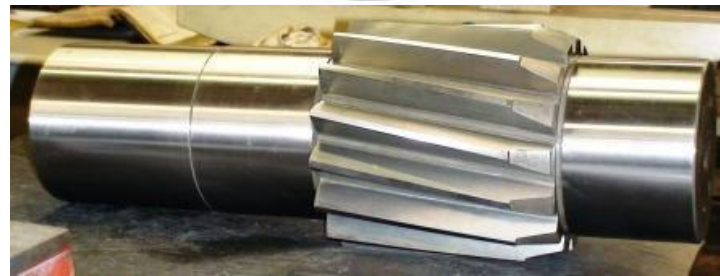
Cabeçote divisor



Contra Ponta



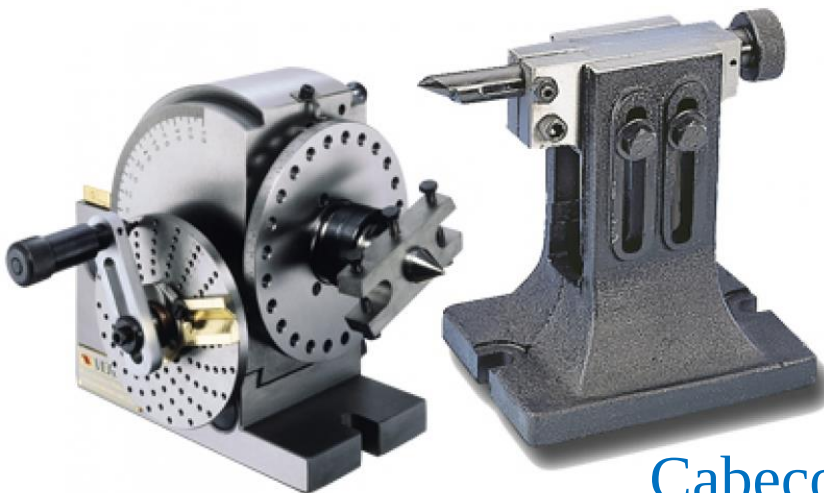
Tem a função de produzir giros na peça para se obter divisões desejadas.



Dispositivos Especiais

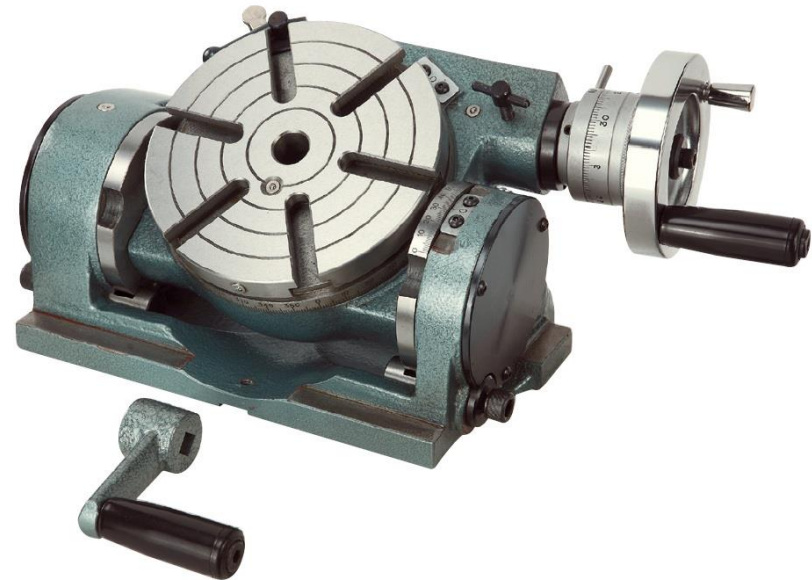


Cabeçote divisor



Cabeçote divisor

Mesa divisora



Tipos de Fresadoras

Horizontais

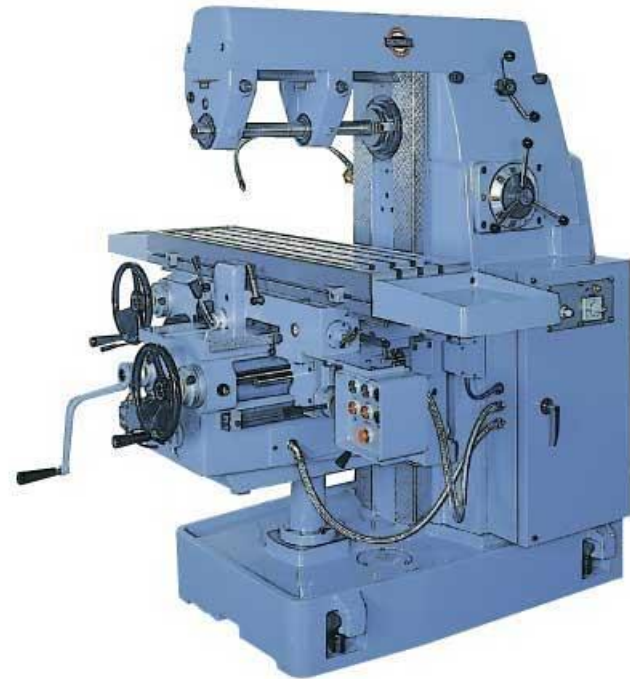
São as máquinas que realizam a operação de fresamento tangencial.



Tipos de Fresadoras

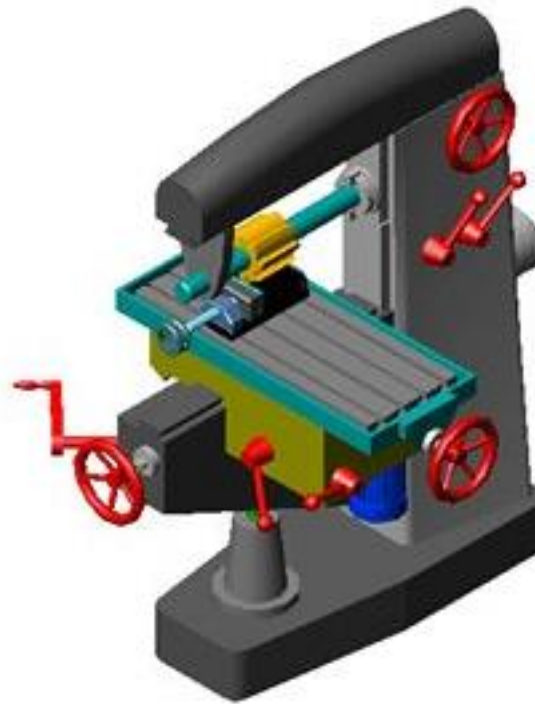
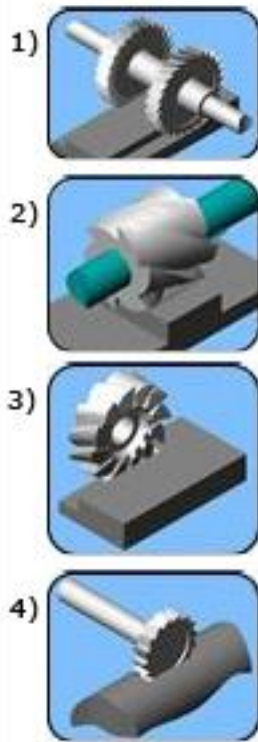
Horizontais

São as máquinas que realizam a operação de fresamento tangencial.



Fresadora Horizontal

A fresadora horizontal tem o seu eixo-
árvore paralelo a mesa da máquina.



Tipos de Fresadoras

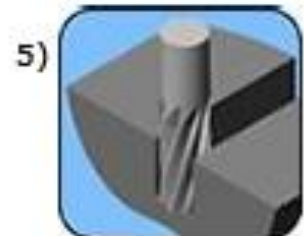
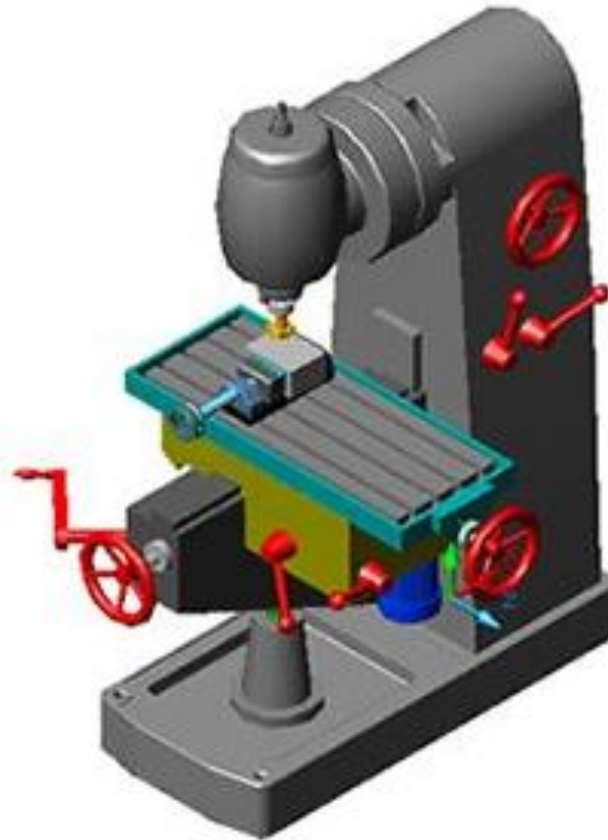
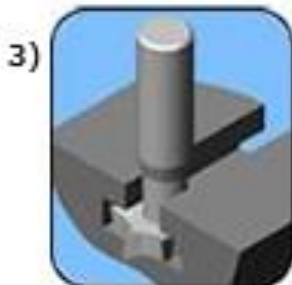
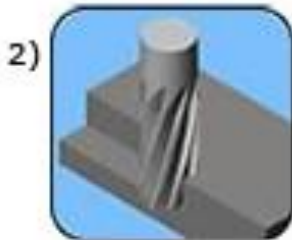
Verticais

São as máquinas que realizam a operação de fresamento frontal.



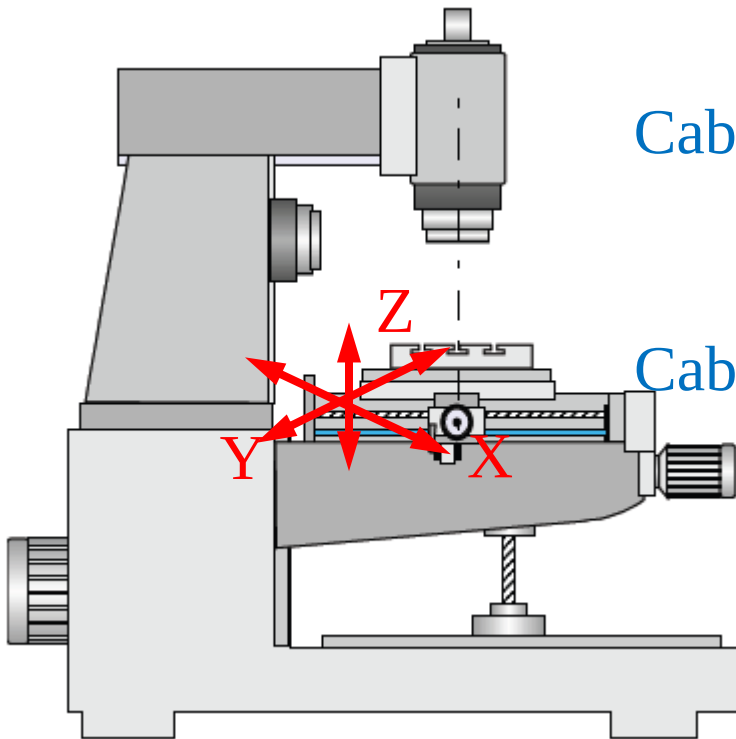
Tipos de Fresadoras

A fresadora vertical tem o seu eixo-árvore perpendicular a mesa da máquina.



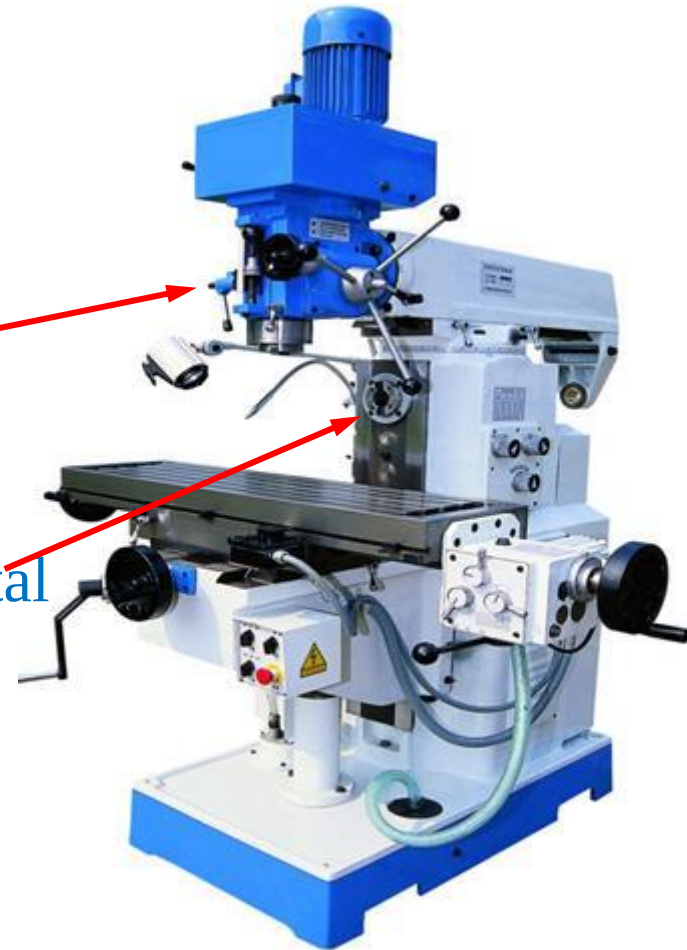
Tipos de Fresadoras

Universal

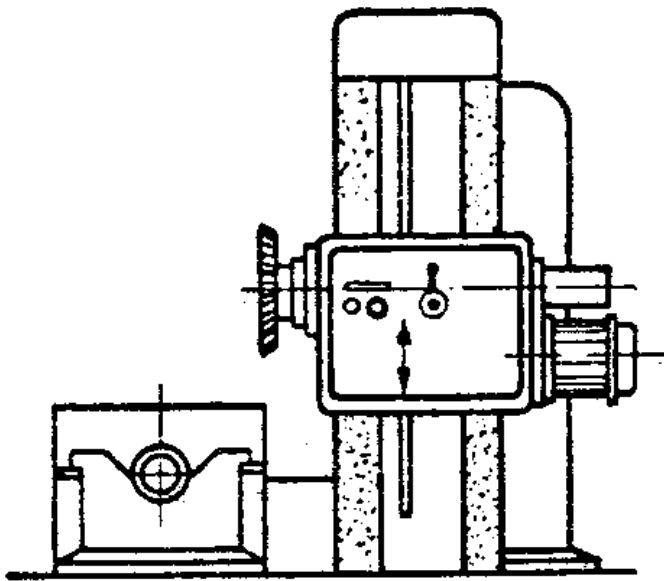


Cabeçote Vertical

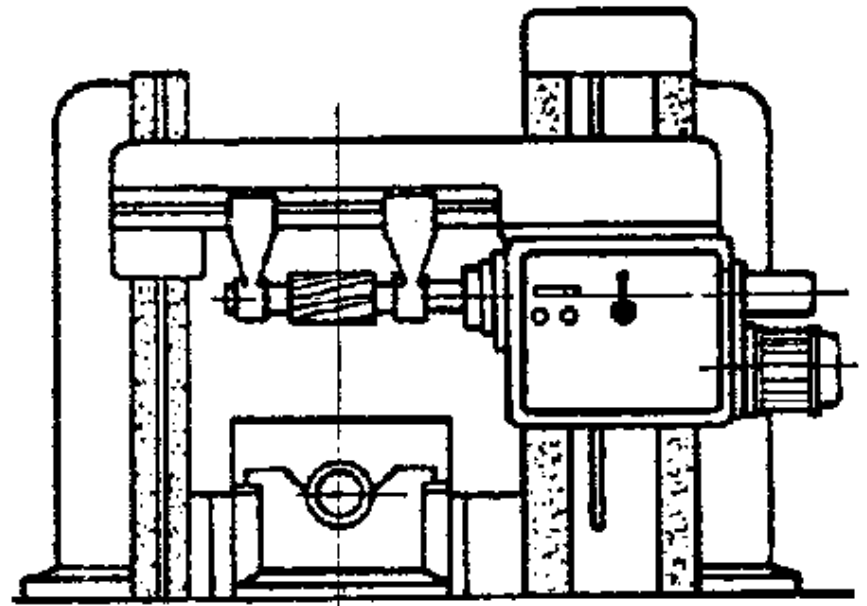
Cabeçote Horizontal



Tipos de Fresadoras

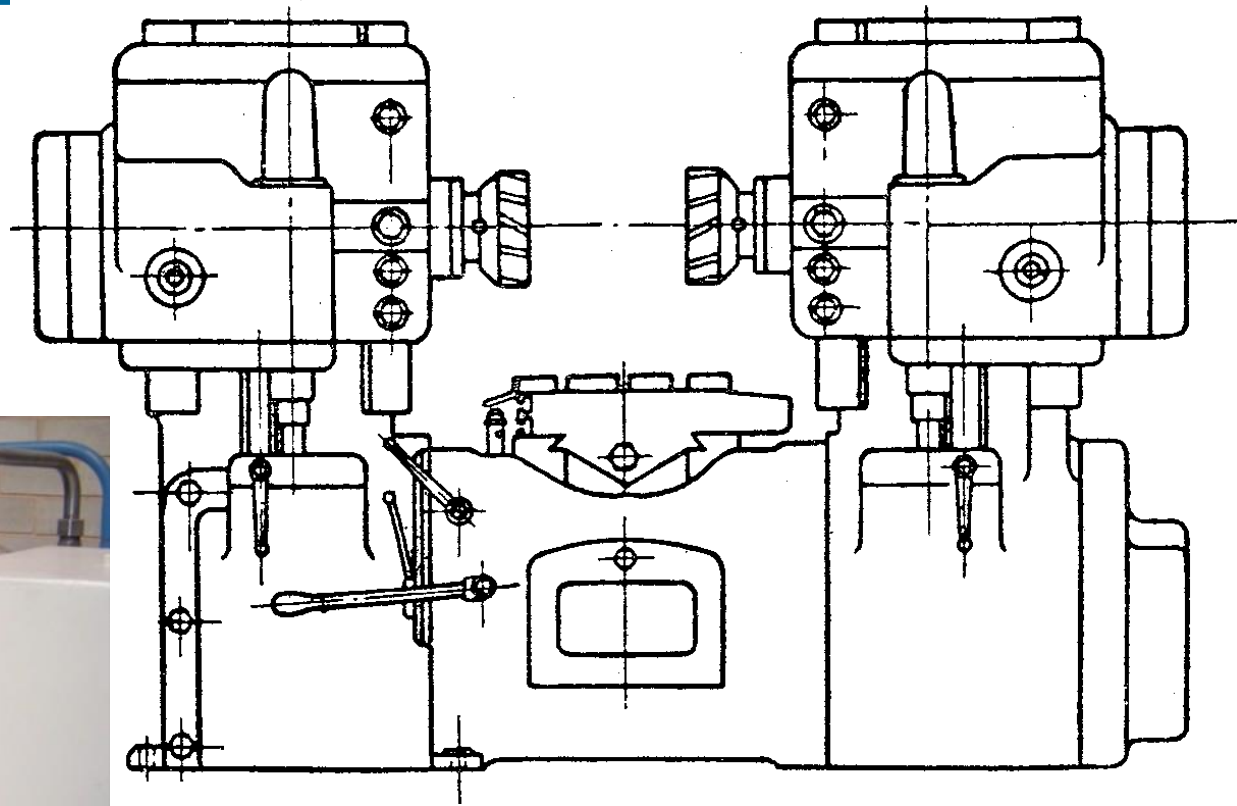


Um montante
(frontal)



Dois montantes
(tangencial)

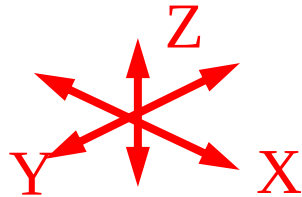
Tipos de Fresadoras



Dois cabeçotes
(frontal)



Tipos de Fresadoras



Ferramenteira

Máquinas CNC

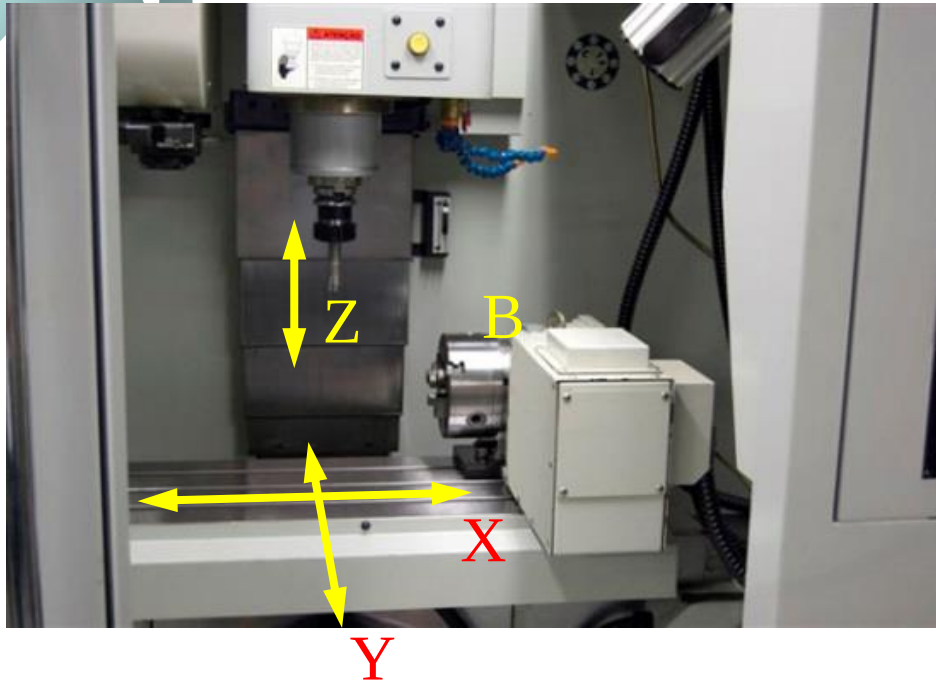


Centro de Usinagem



Multi-tarefa **FILME**

Máquinas CNC

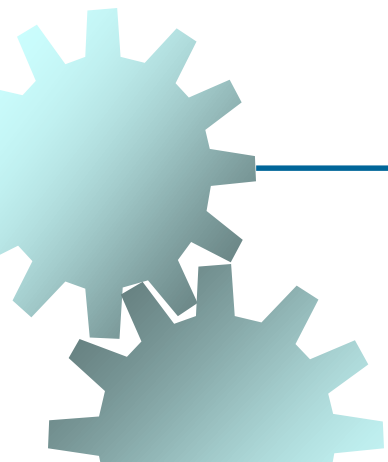


Centro de Usinagem
Vertical



Centro de Usinagem
Horizontal

Máquinas CNC



Centro de Usinagem
Horizontal



Troca de Ferramenta em Máquinas CNC

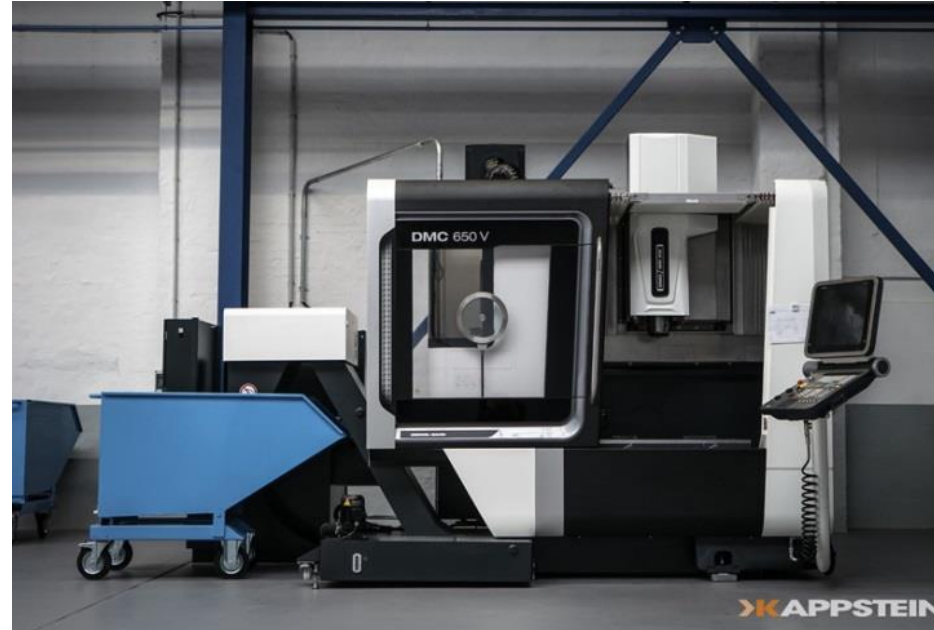
Centros de Usinagem



Carrossel



Máquinas CNC



Centro de Usinagem com transportadora de cavaco

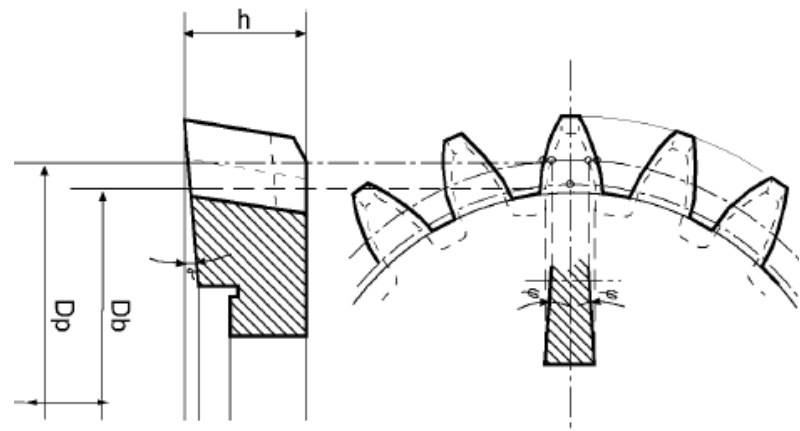
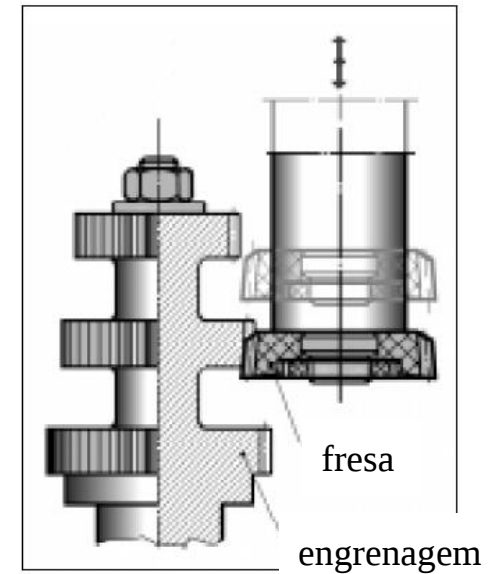
Tipos de Fresadoras (Especiais)

Copiadora

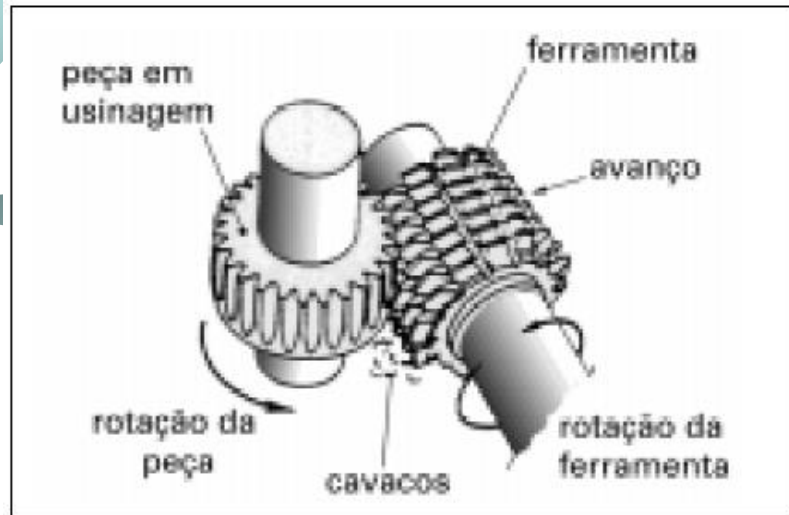


Tipos de Fresadoras (Especiais)

Fellows



Tipos de Fresadoras (Especiais)



Renânia





Ferramentas para Operação de Fresamento

- Forma e Geometria das Ferramentas
- Material da ferramenta
- Ângulos Principais
- Fixação das Ferramentas
- Condições de Corte

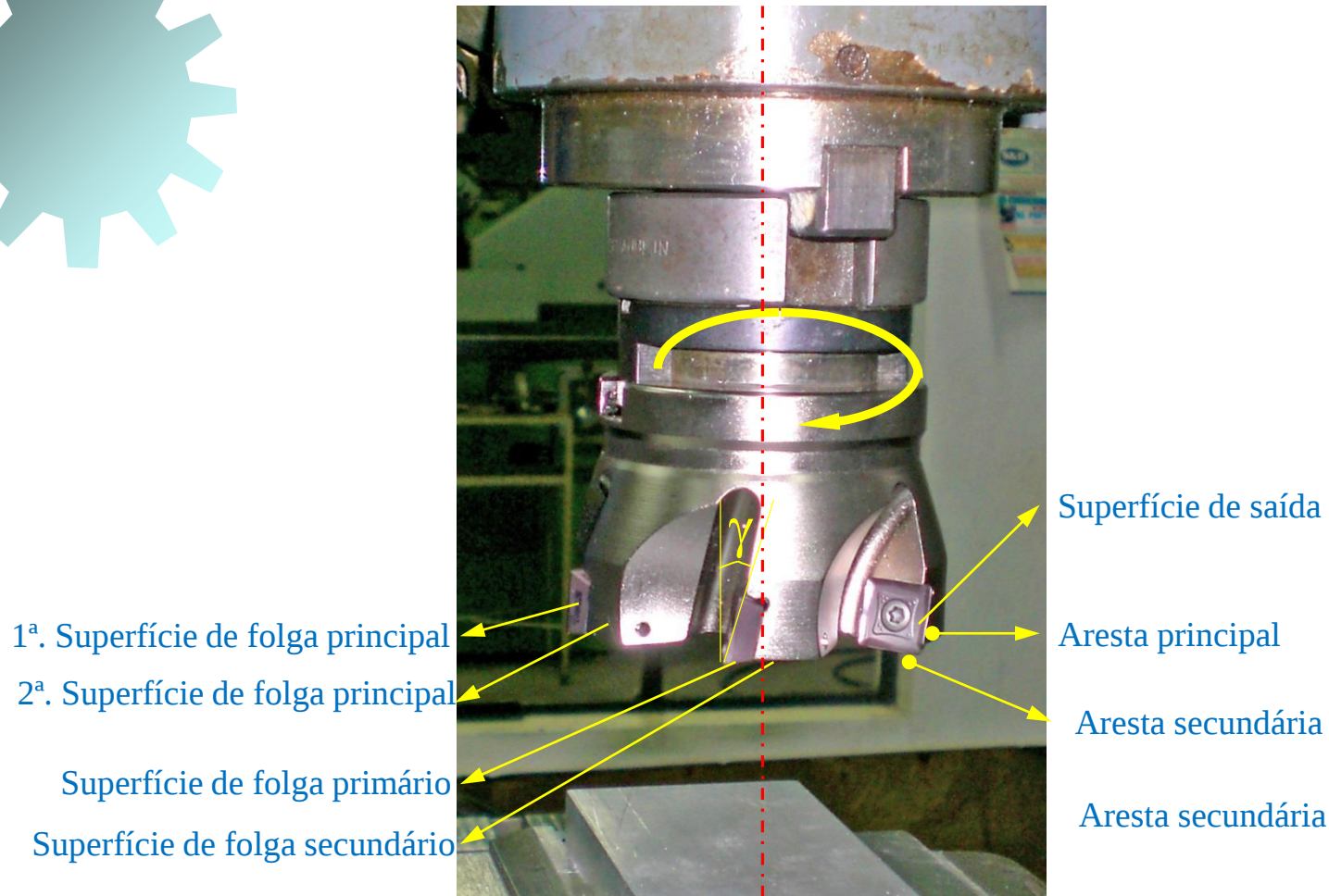
Fresa

É a ferramenta de trabalho multicortante que realiza o corte do material da peça.

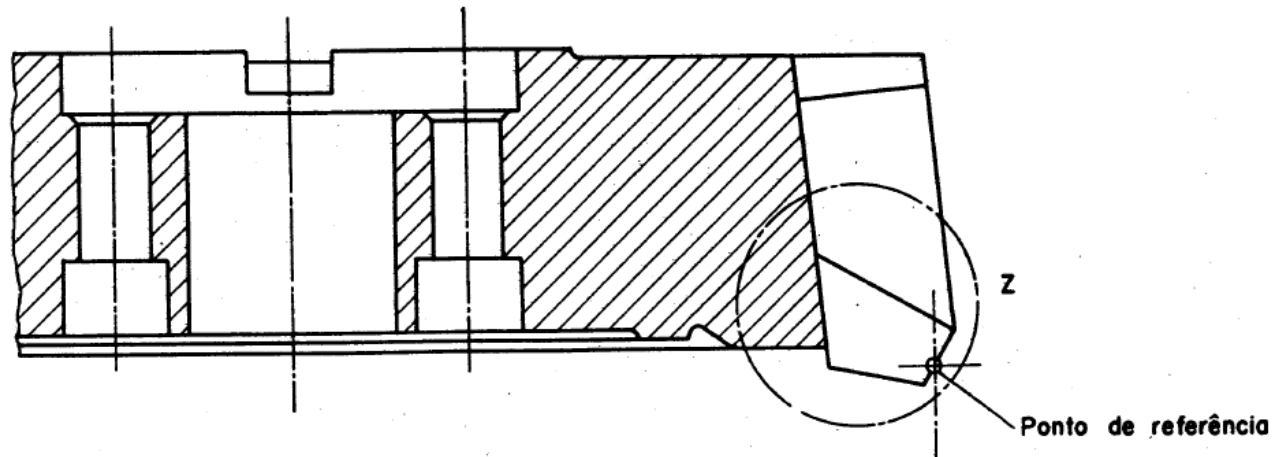


Geometria da Ferramenta

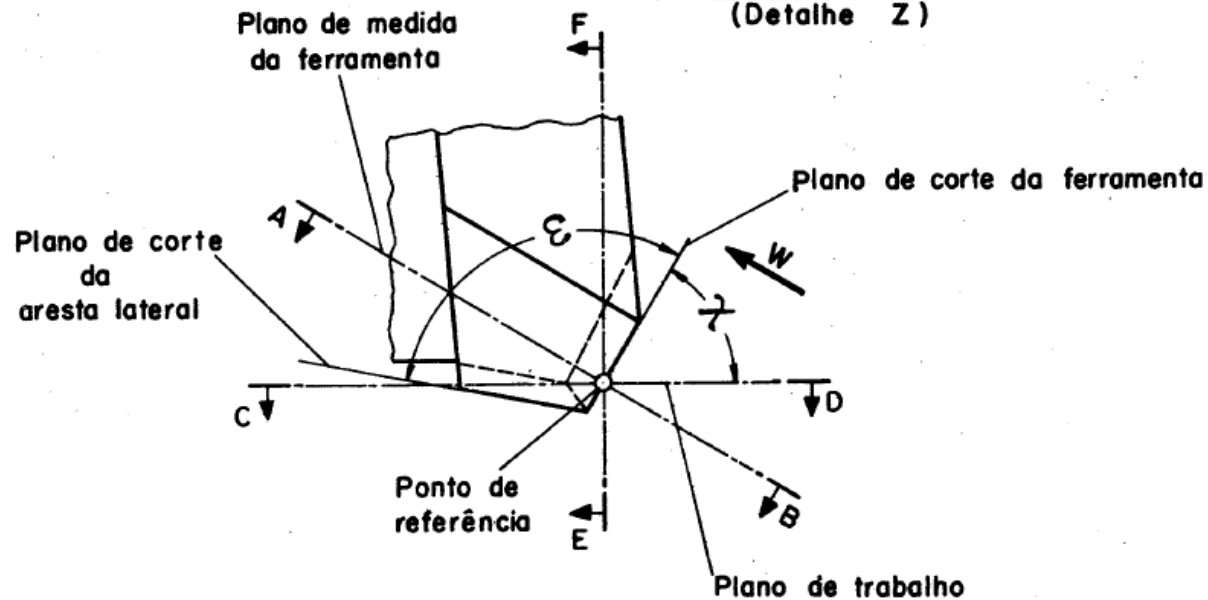
Partes constituintes da ferramenta



Ângulos

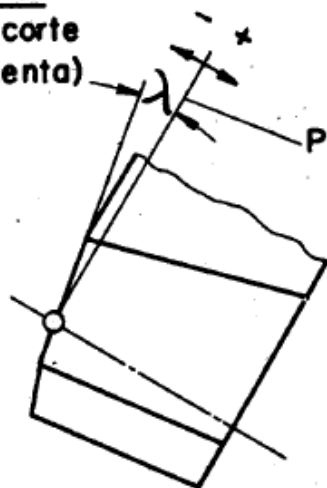


VISTA PRINCIPAL
(Detalhe Z)



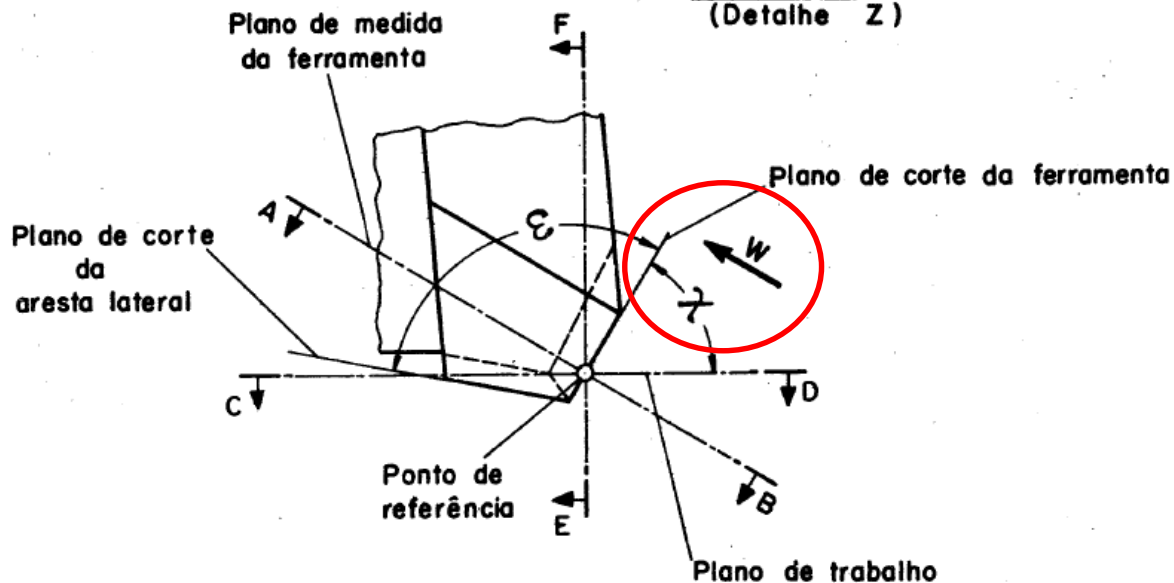
Ângulos

VISTA W
(Plano de corte da ferramenta)

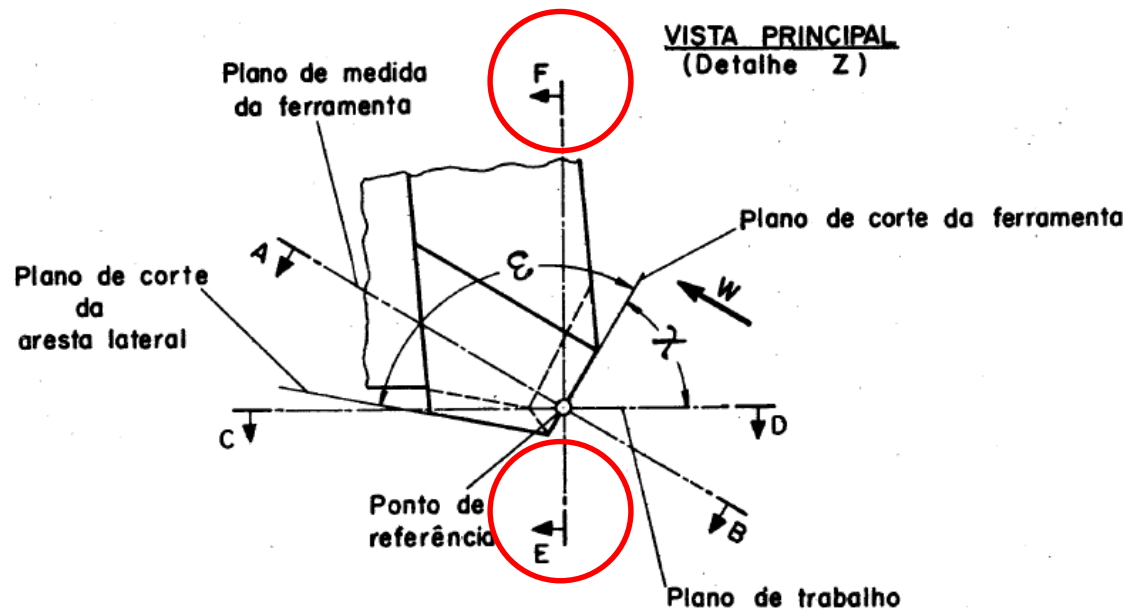


Plano de referência da ferramenta

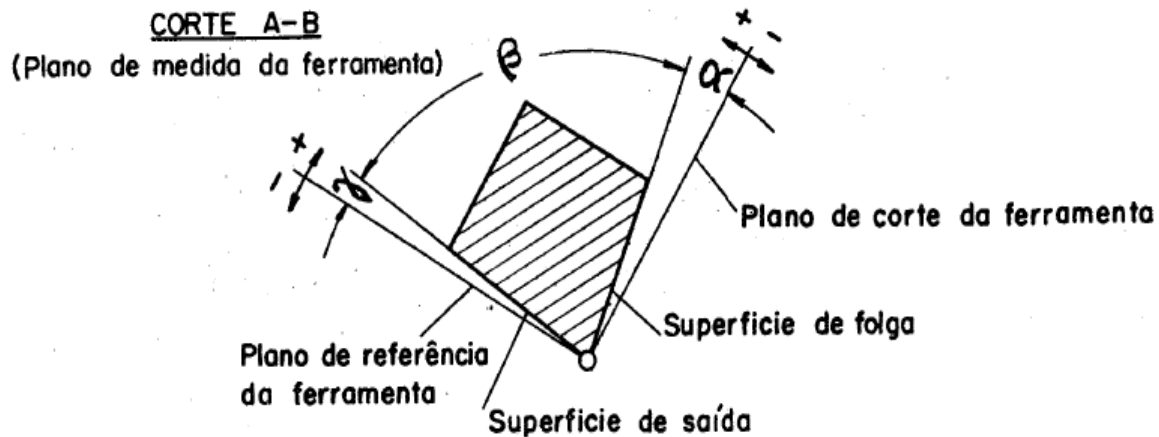
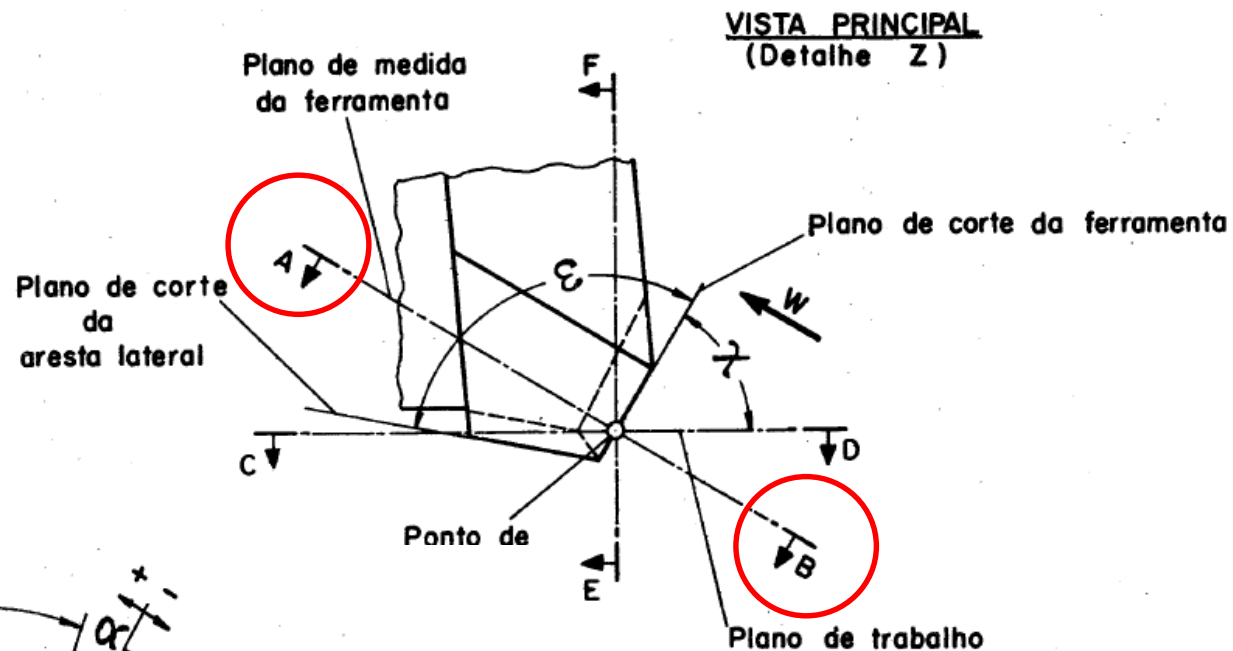
VISTA PRINCIPAL
(Detalhe Z)



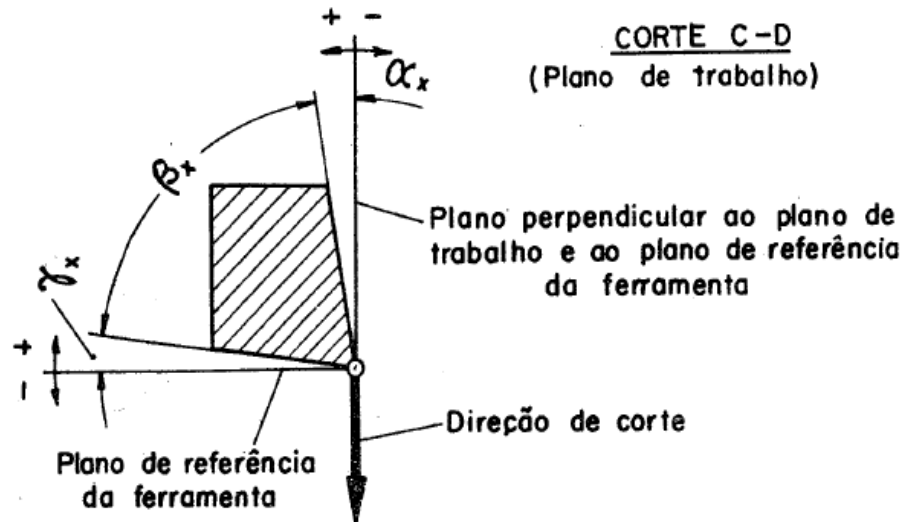
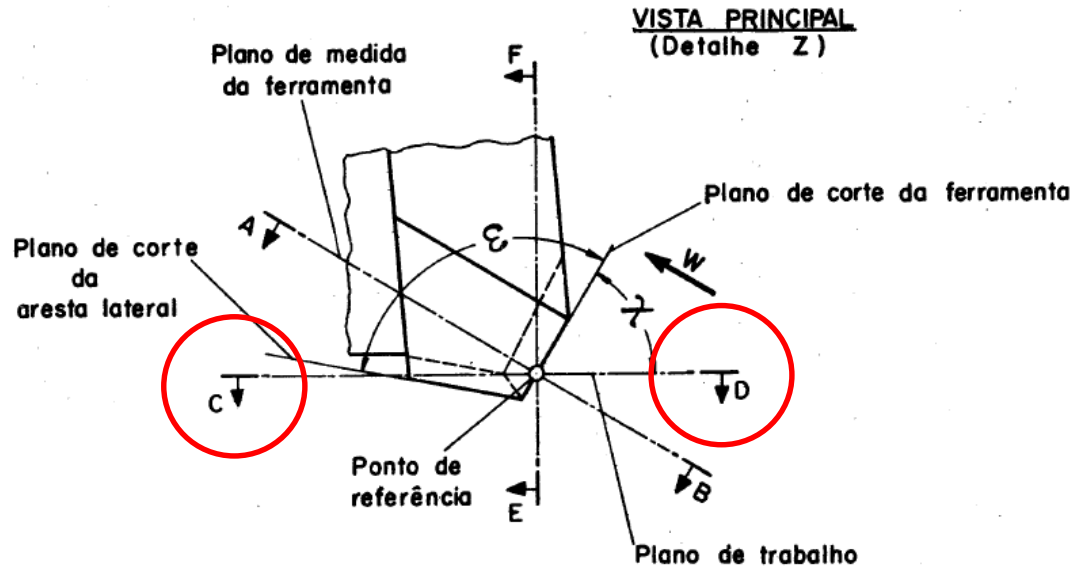
(Perpendicular ao plano de trabalho
e ao plano de referência da ferram.)



Ângulos

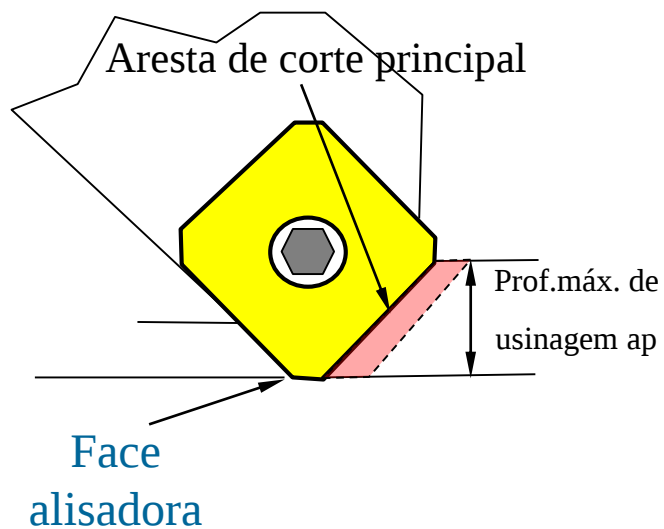


Ângulos

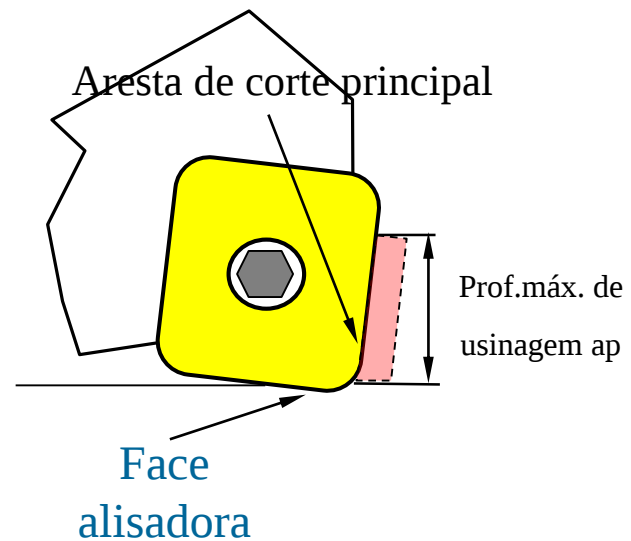


Ângulo de Posição

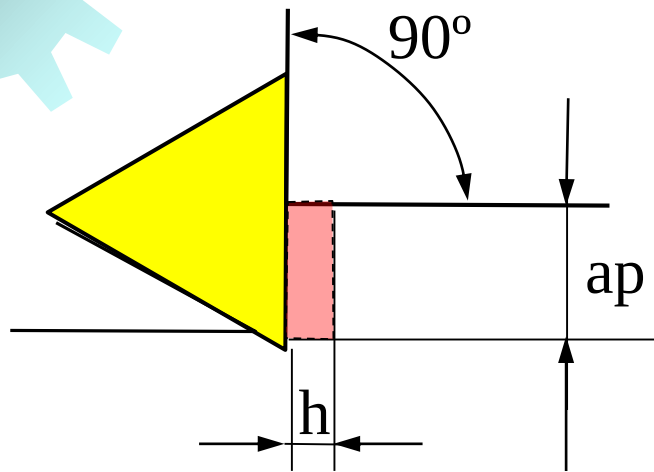
Ângulo de posição 45°



Ângulo de posição 90°



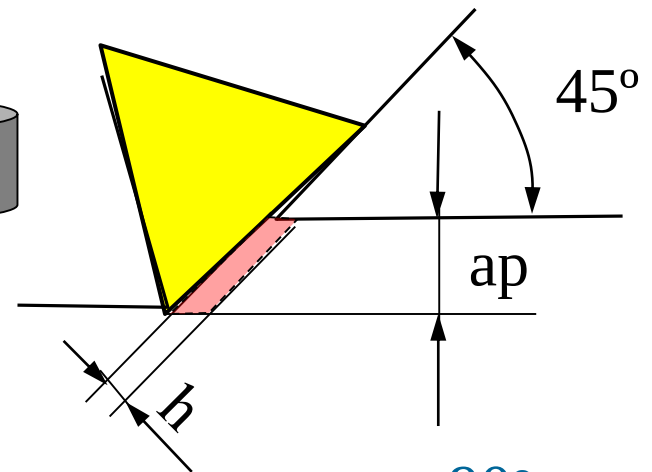
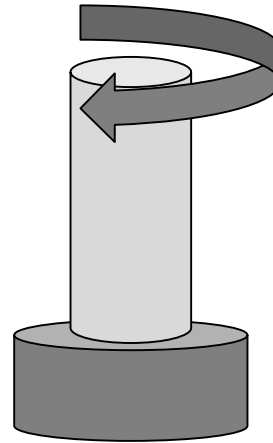
Ângulo de Posição



$$\chi = 90^\circ$$

$$h = f$$

$$b = ap$$



$$\chi \neq 90^\circ$$

$$h = f \cdot \text{sen} \chi$$

$$b = ap / \text{sen} \chi$$

Ângulo de Saída

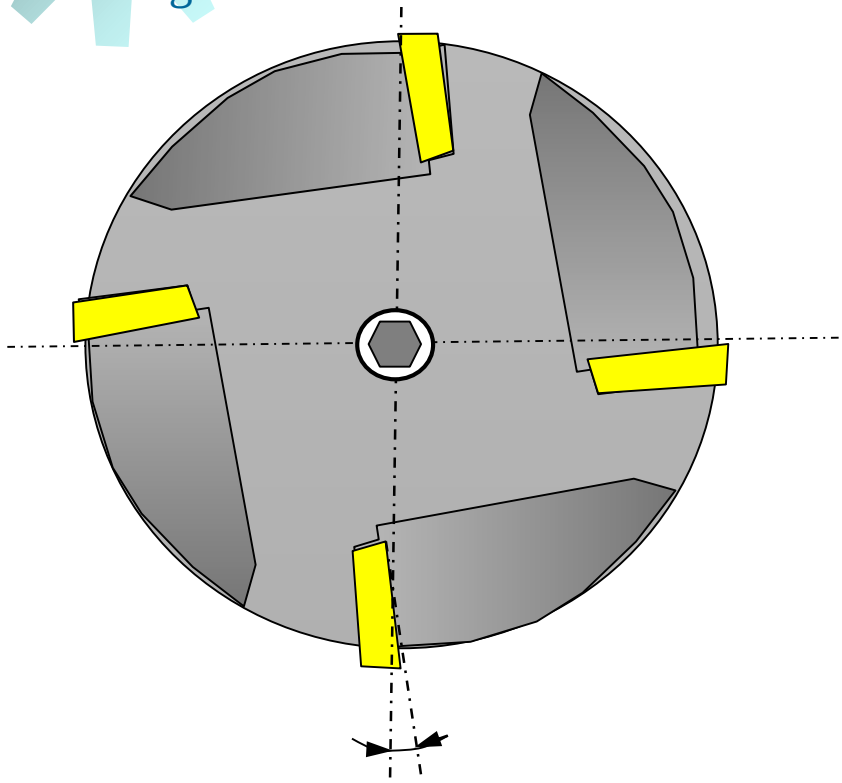
As fresas apresenta dois ângulos de Saída: Radial e Axial

Determinam:

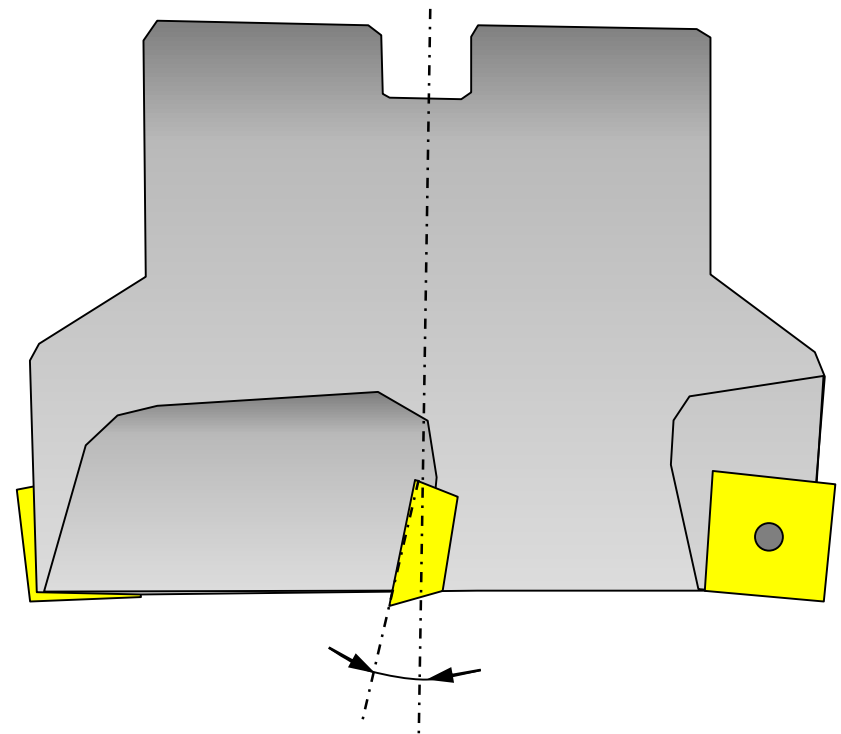
Agudez da aresta de corte

Direção do escoamento do cavaco

Ângulo de Saída Radial

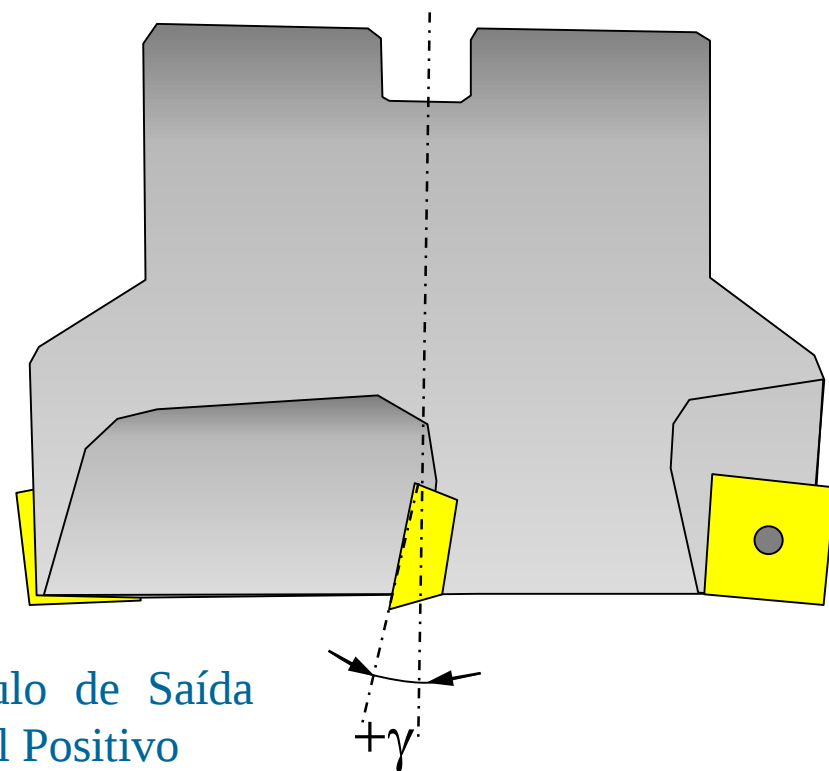
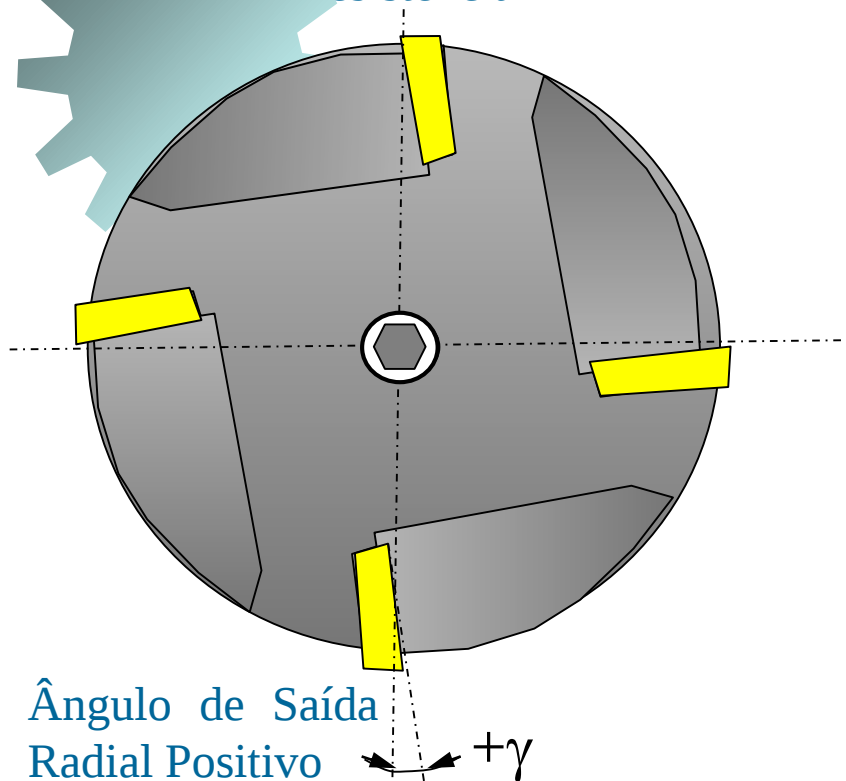


Ângulo de Saída Axial



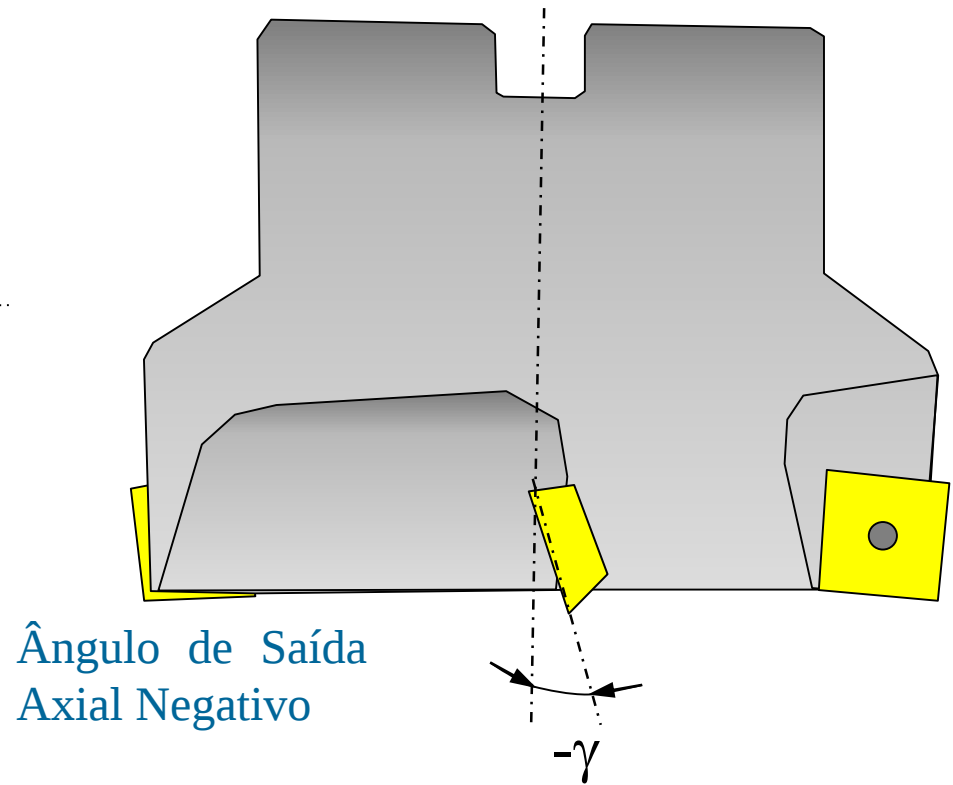
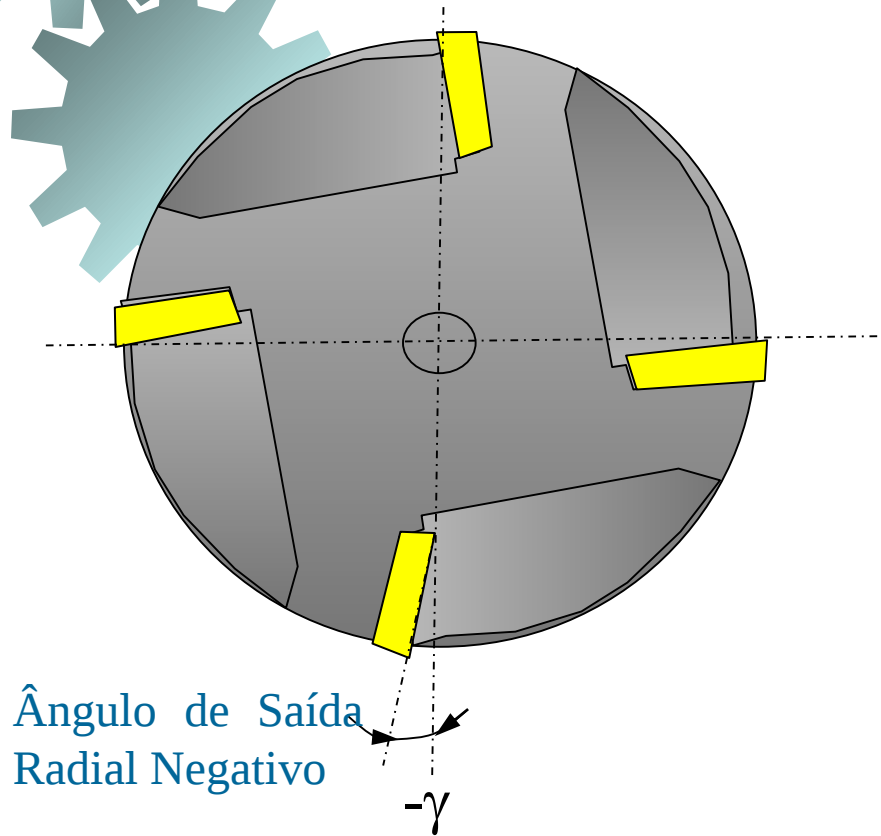
Ângulo de Saída

Arestas de corte altamente agudas mas com baixa resistência



Obs.:Deve-se observar que nesse caso a potência de corte pode ser menor no corte concordante desde que a máquina não apresente folga no sistema de deslocamento com porca e parafuso.

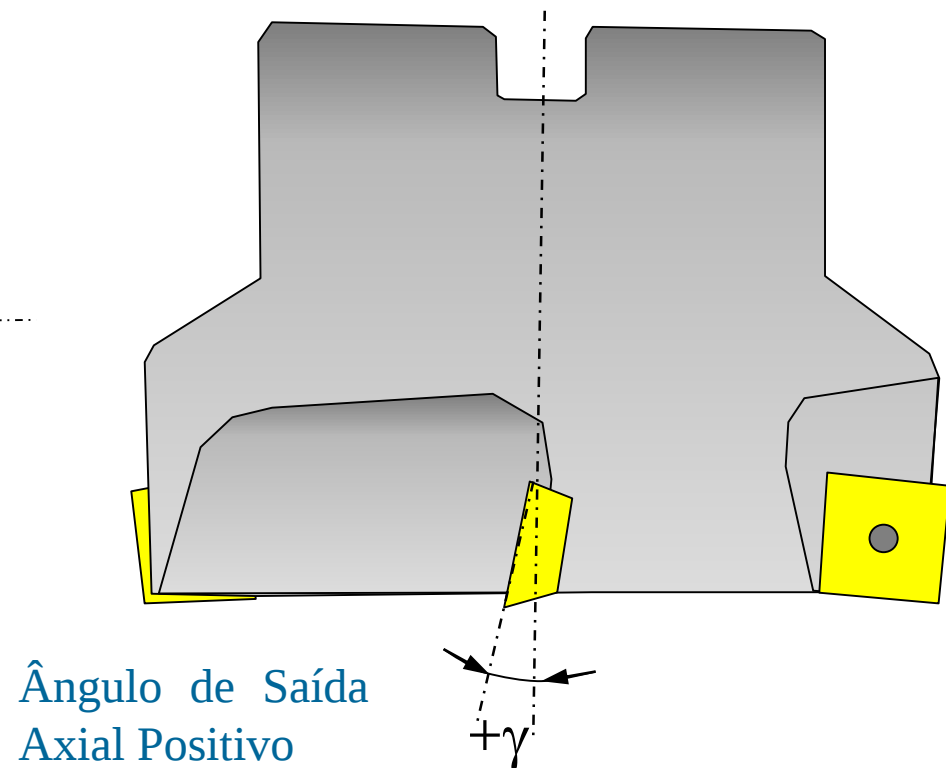
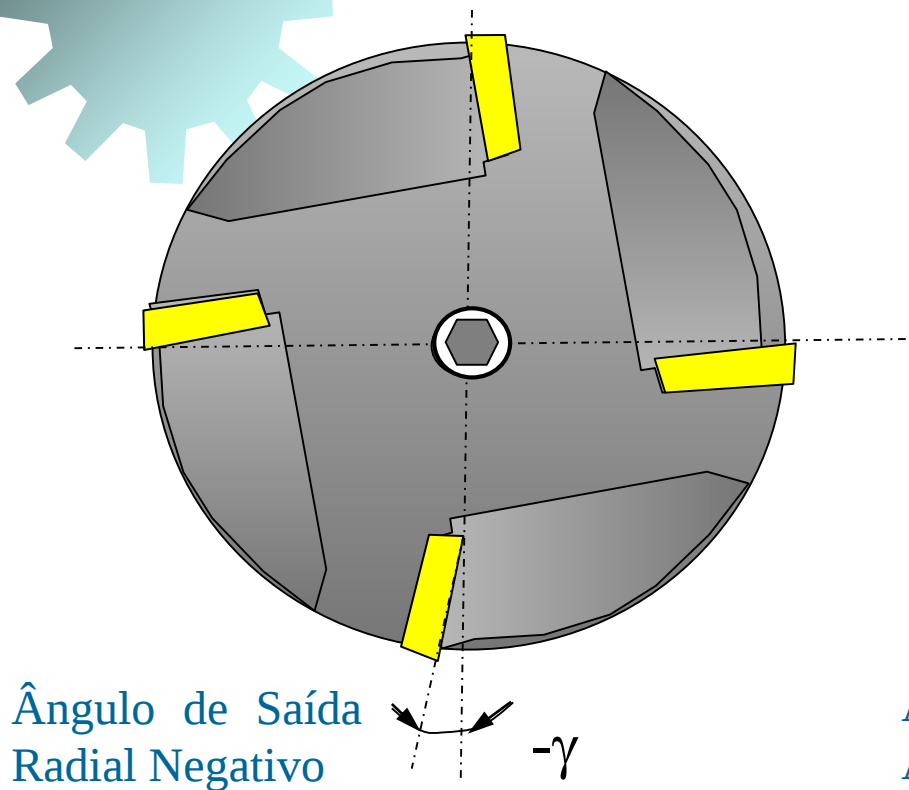
Ângulo de Saída



Aresta de corte Altamente resistente, mas dificulta o corte

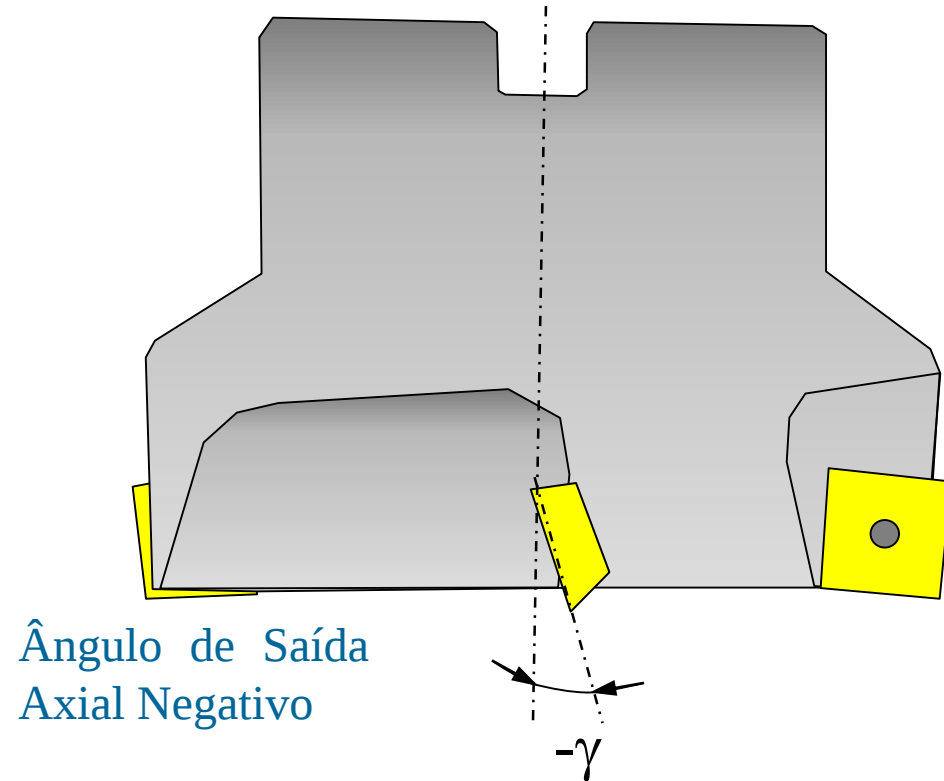
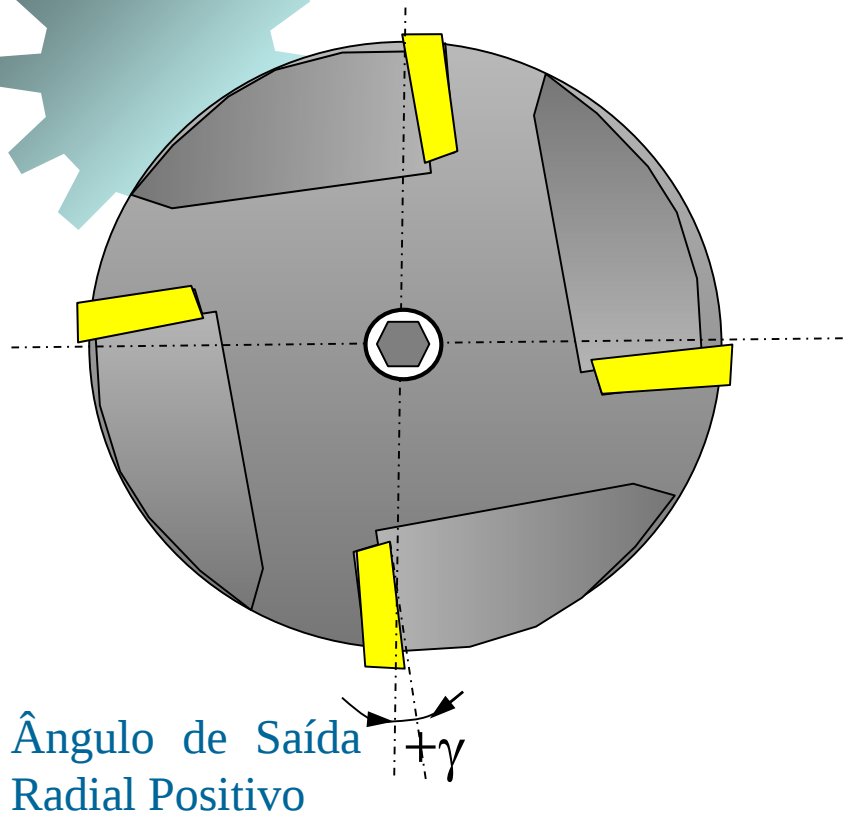
Ângulo de Saída

Aresta aguda e boa evacuação de cavacos



Ângulo de Saída

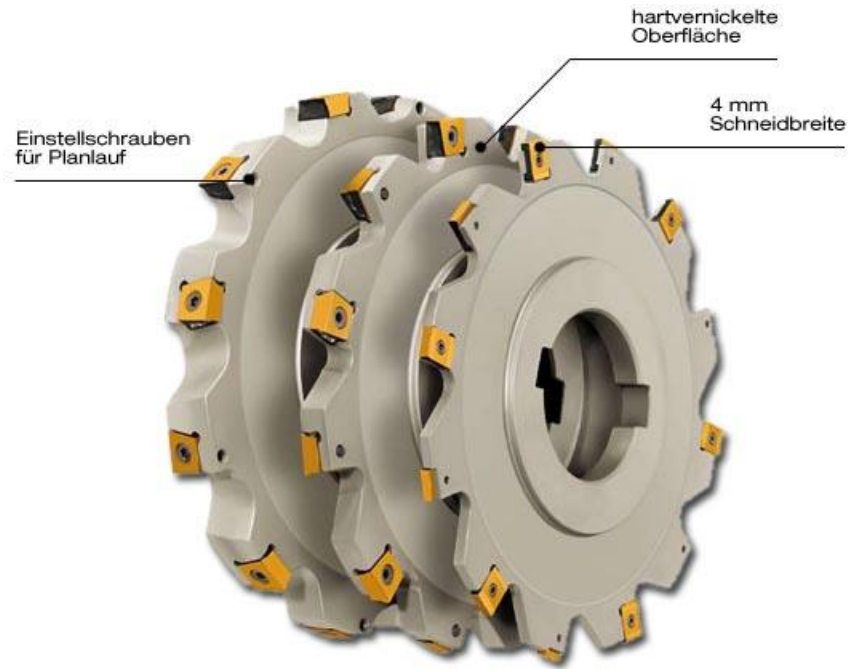
Não são usados





Tipos de Fresas

Fresas Tangenciais



Fresas Tangenciais - Disco

(tipo disco para Corte ou Fenda)

D_1 = Diâmetro de corte efetivo

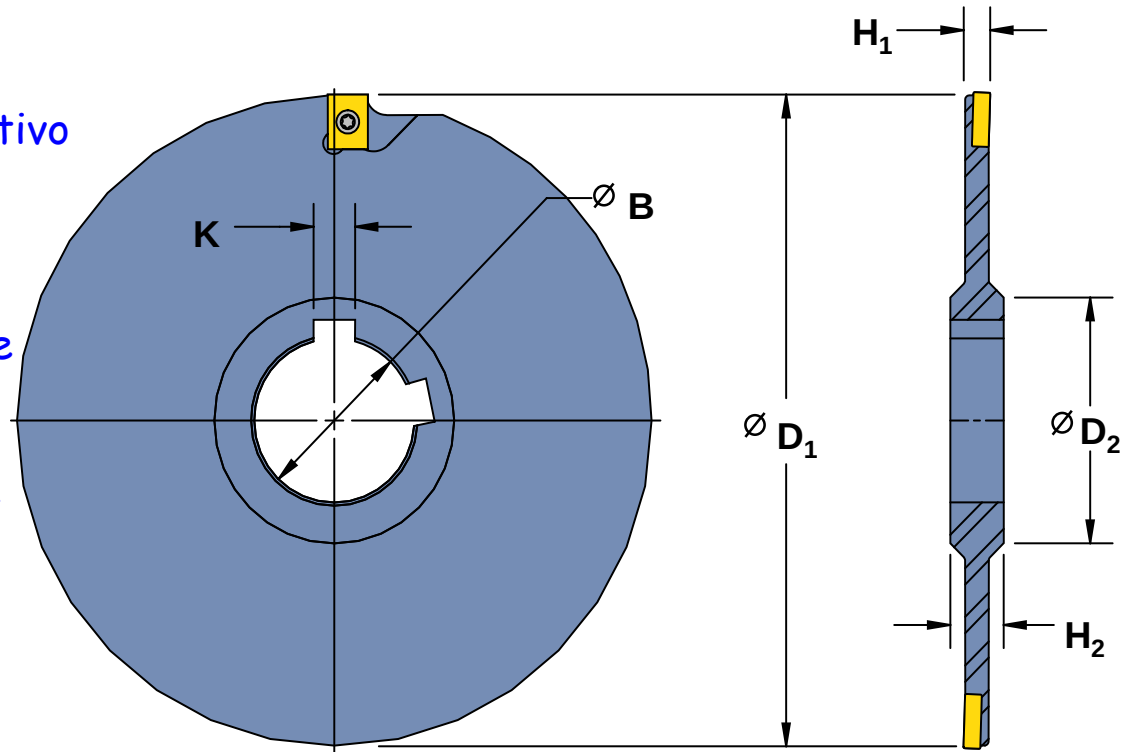
H_1 = Largura de corte

D_2 = Diâmetro do Cubo

B = Diâmetro do furo de
Acoplamento

K = Largura da chaveta

H_2 = Largura do Cubo



Tipos de Fresas - Tangenciais

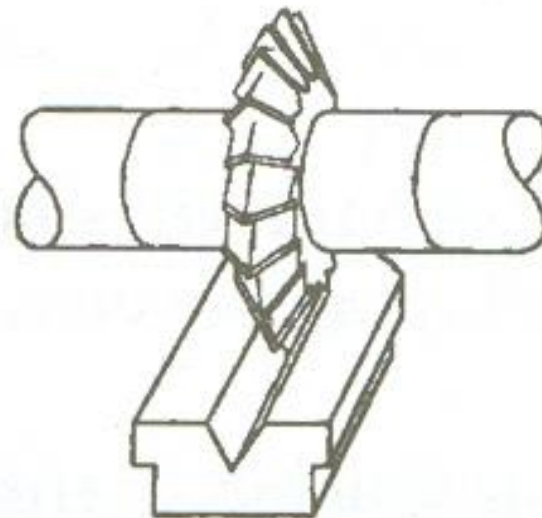
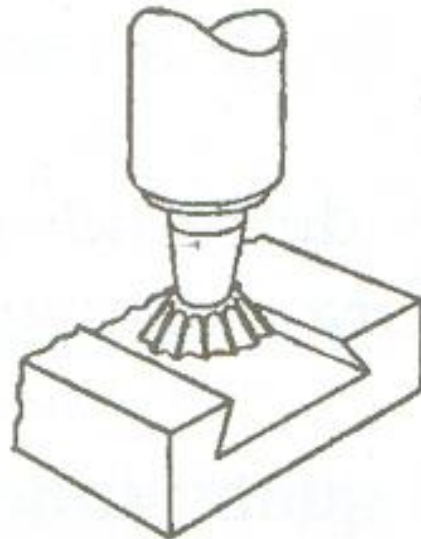
Fresas Tangenciais ou Periféricas

Fresas de Topo e Radial	Fresas de Disco	Fresas de Perfil	
			
Têm arestas cortantes periféricas e mais arestas cortantes numa face. Têm rasgo de chave para fixação no fuso.	Têm arestas de corte nos lados e também na periferia. As facas estão em zig-zag de modo que cada faca alternada corta num lado determinado do rasgo. Isto permite que sejam feitos cortes profundos, pesados.	Nas fresas de perfil as arestas de corte periféricas localizam-se num cone e não num cilindro. Pode ser originado um ângulo simples ou duplo.	

Tipos de Fresas - Tangenciais

Fresas de Angulares

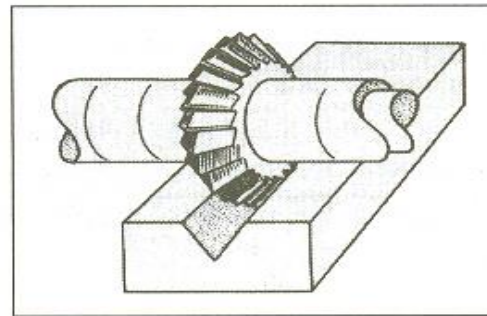
São utilizadas para usinagem de perfis em ângulos, como rasgos prismáticos e encaixes do tipo rabo de andorinha.



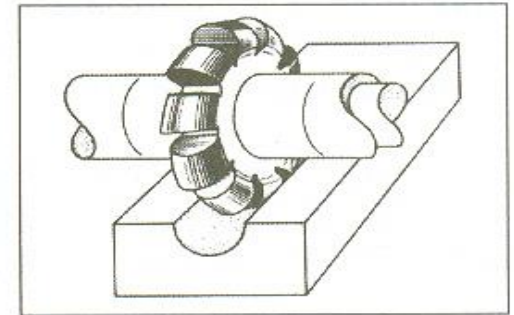
Tipos de Fresas - Tangenciais

Fresas de Perfil Constante

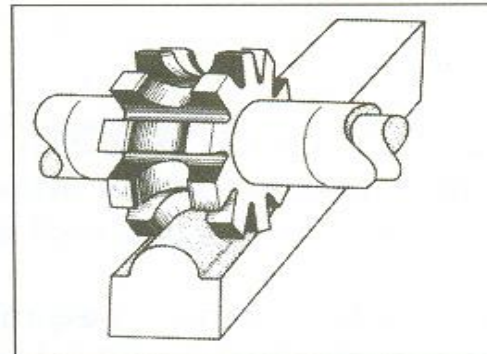
São utilizadas para
abrir canais,
superfícies
côncavas e
convexas ou gerar
engrenagens .



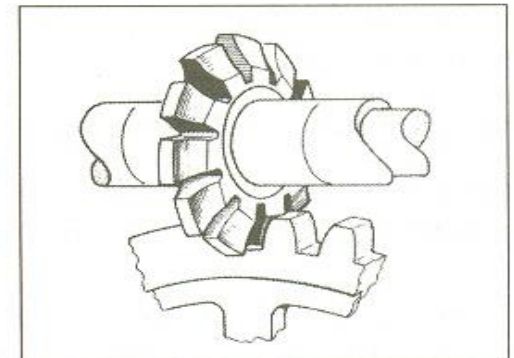
fresa biangular/perfil em V



fresa convexa/perfil côncavo



fresa côncava/perfil convexo



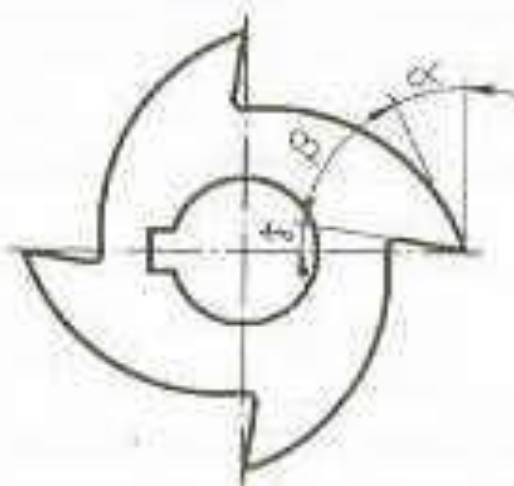
fresa módulo/dentes de engrenagem

Escolha das Ferramentas de Fresamento

A fresa do tipo W por ter o menor ângulo de cunha possui a menor resistência.

É recomendada para usinar materiais não-ferrosos de baixa dureza, como o alumínio, bronze e plásticos.

Tipo W



$$\gamma = \text{Saída} = 25^\circ$$

$$\beta = \text{Cunha} = 57^\circ$$

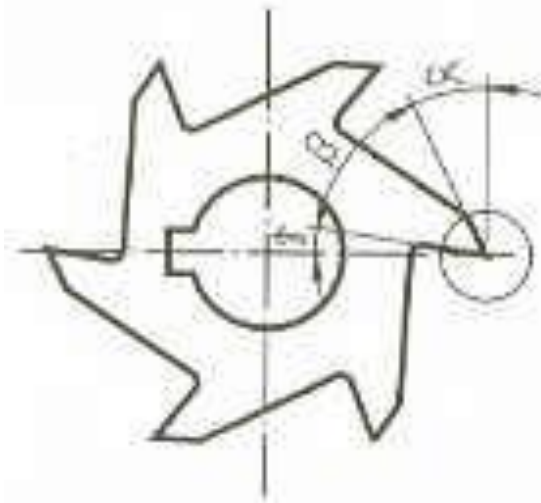
$$\alpha = \text{Folga} = 8^\circ$$

Escolha das Ferramentas de Fresamento

A fresa do tipo N é uma fresa com resistência intermediária entre o tipo W e H.

É recomendada para usinar aços com até 700 N/mm² de resistência à tração.

Tipo N



$$\gamma = \text{Saída} = 10^\circ$$

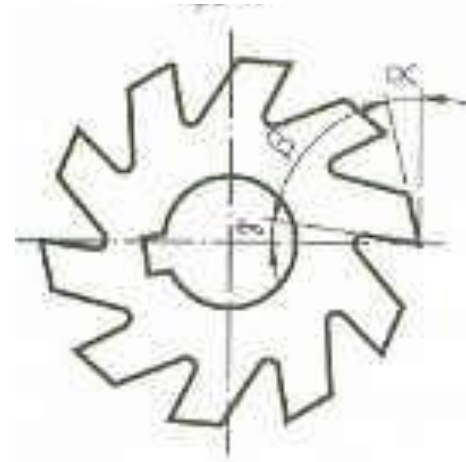
$$\beta = \text{Cunha} = 73^\circ$$

$$\alpha = \text{Folga} = 7^\circ$$

Escolha das Ferramentas de Fresamento

- Finalmente, a fresa do tipo H é a fresa que possui a maior resistência. Recomendada para se usinar metais duros e quebradiços como aços com mais de 700 N/mm² de resistência à tração.

Tipo H

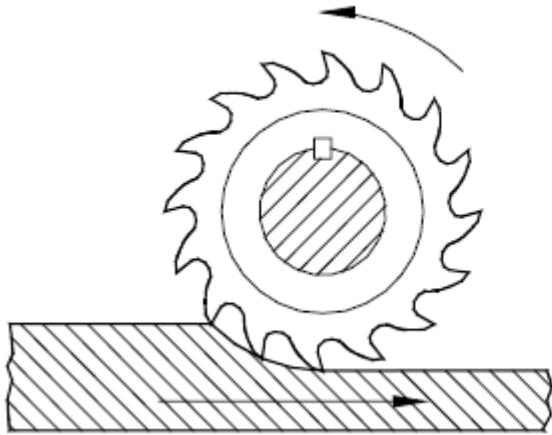


$$\gamma = \text{Saída} = 5^\circ$$

$$\beta = \text{Cunha} = 81^\circ$$

$$\alpha = \text{Folga} = 4^\circ$$

Número de Arestas Ativas



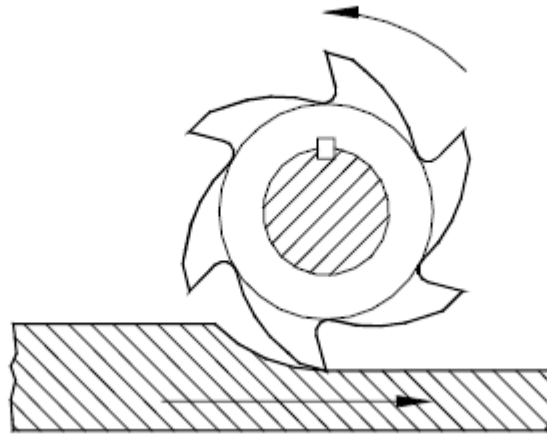
Passo fino

+ potência (acúmulo cavaco)

Evitar Danos na peça

Acabamento (+)

Materiais de cavaco curto:
frágeis, Fofo, etc.



Passo largo

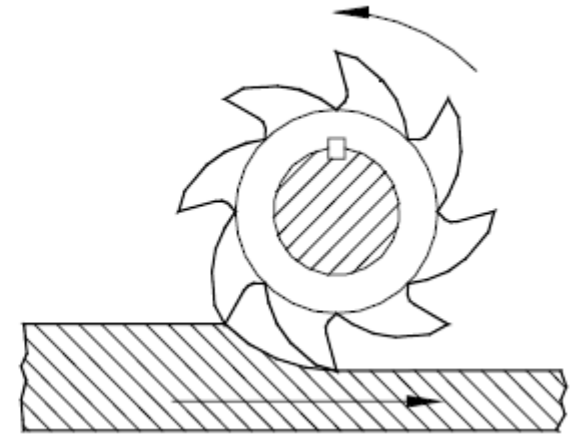
+ chance vibração

Acabamento (-)

Imprecisão dimensional (peça)

Desgaste da ferramenta

Materiais de cavaco longo:
dúcteis, alumínio, etc.



Passo médio

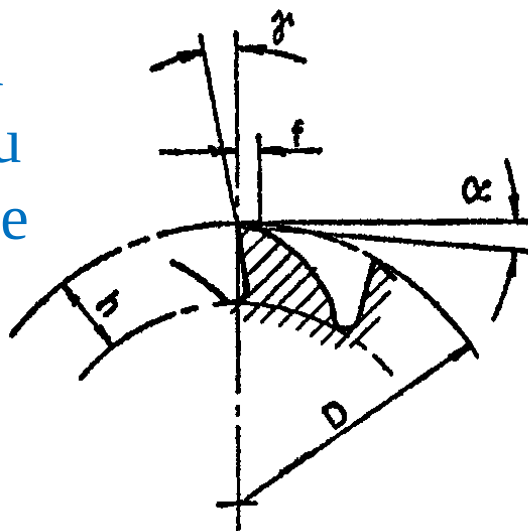
Primeira escolha

Materiais de dureza
intermediária

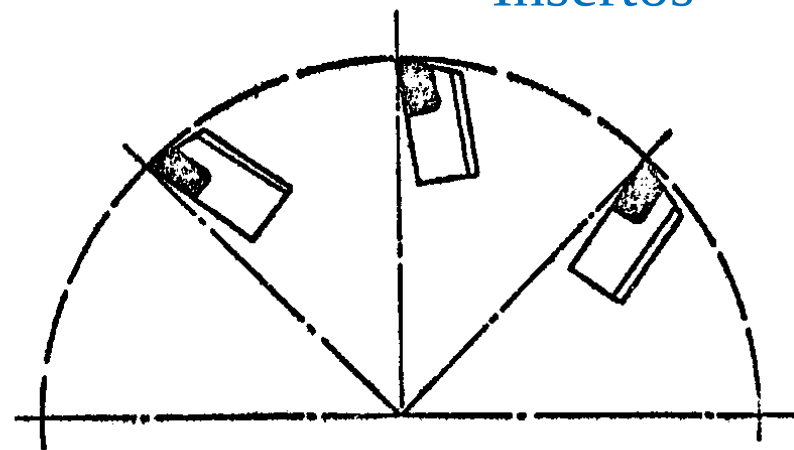
Tipos de Dentes de Fresa



Fresa Renânia
Detalonados ou
Perfil Constante

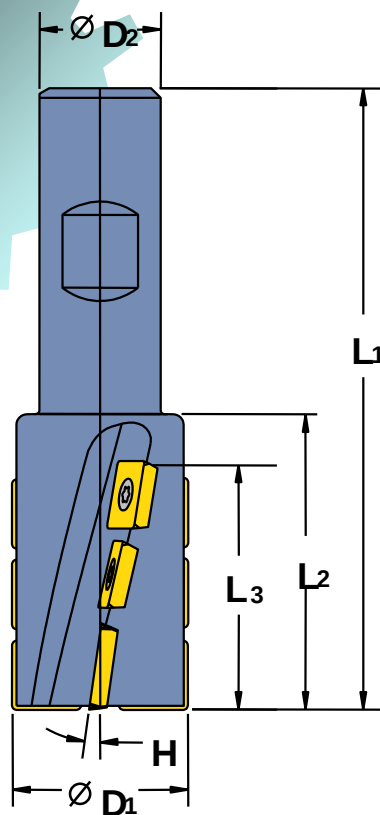


Insertos

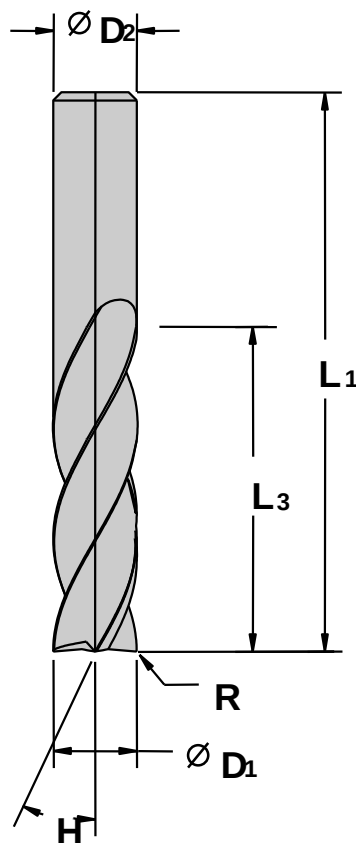


Tipos de Fresas

Fresas Frontais ou de Topo



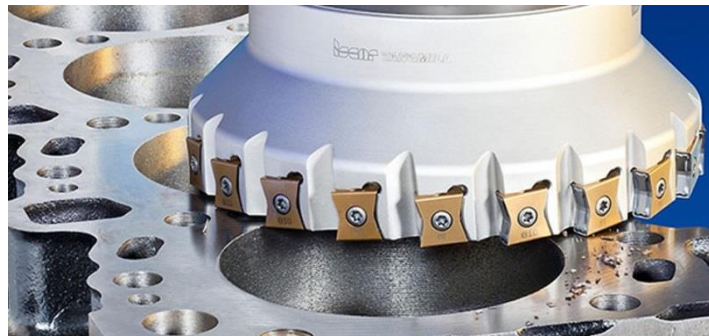
Fresas de topo
Intercambiáveis



Fresas de Topo
Metal duro inteiriço e HSS

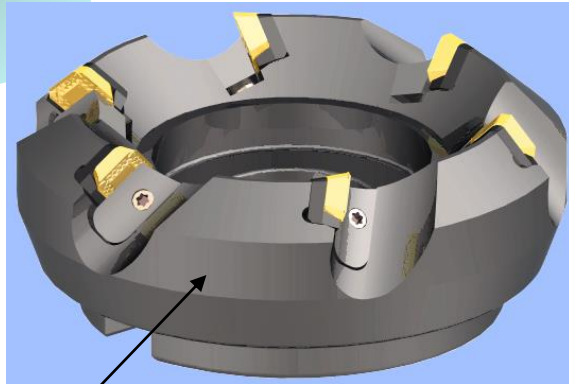
- D_1 = Diâmetro de corte
- D_2 = Diâmetro da haste
- H = Ângulo da hélice
- L_1 = Comprimento total
- R = Raio da aresta
- L_2 = Comprimento do corpo
- L_3 = Comprimento de corte

Fresas Frontais

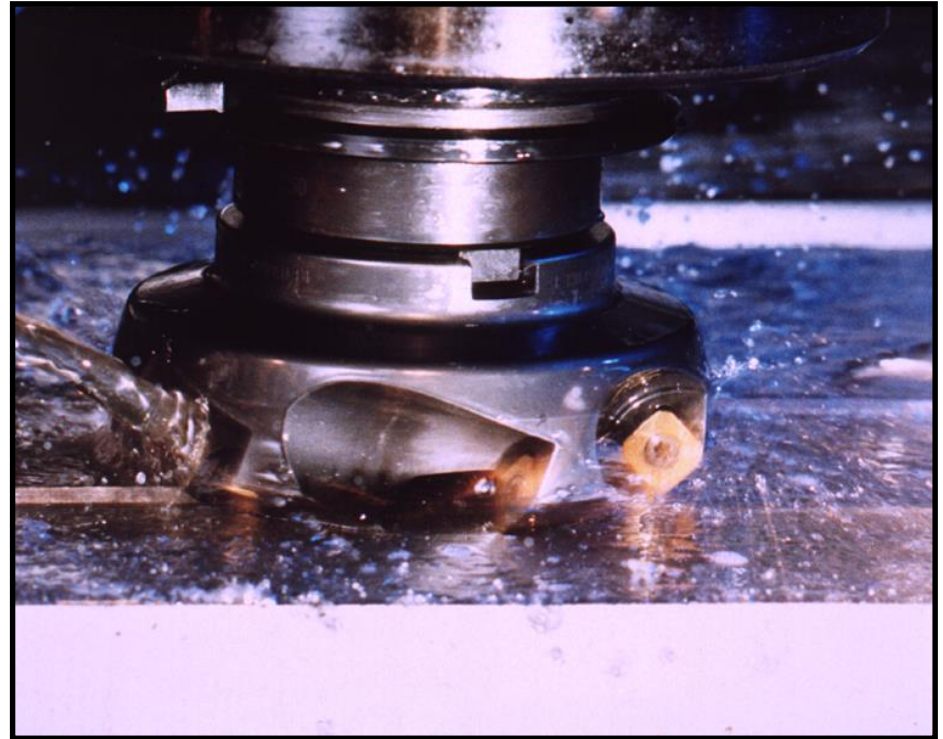


Fresas Frontais

Pastilha de MD



Corpo de Aço Carbono



Tipos de Fresas

Fresas Frontais de Topo

Fresas de Topo	Fresas de Topo Esférico	Fresas de Topo com Raio	Mini-Fresas
 90°			
Estas fresas de topo têm um ângulo reto na extremidade da fresa.	A forma nos extremos das fresas é uma semi-esfera.	Estas fresas de topo têm um pequeno raio na extremidade em vez de uma aresta em esquadro.	Fresas de topo com diâmetro de corte de até 1 mm.

Fresas Frontais ou de Topo

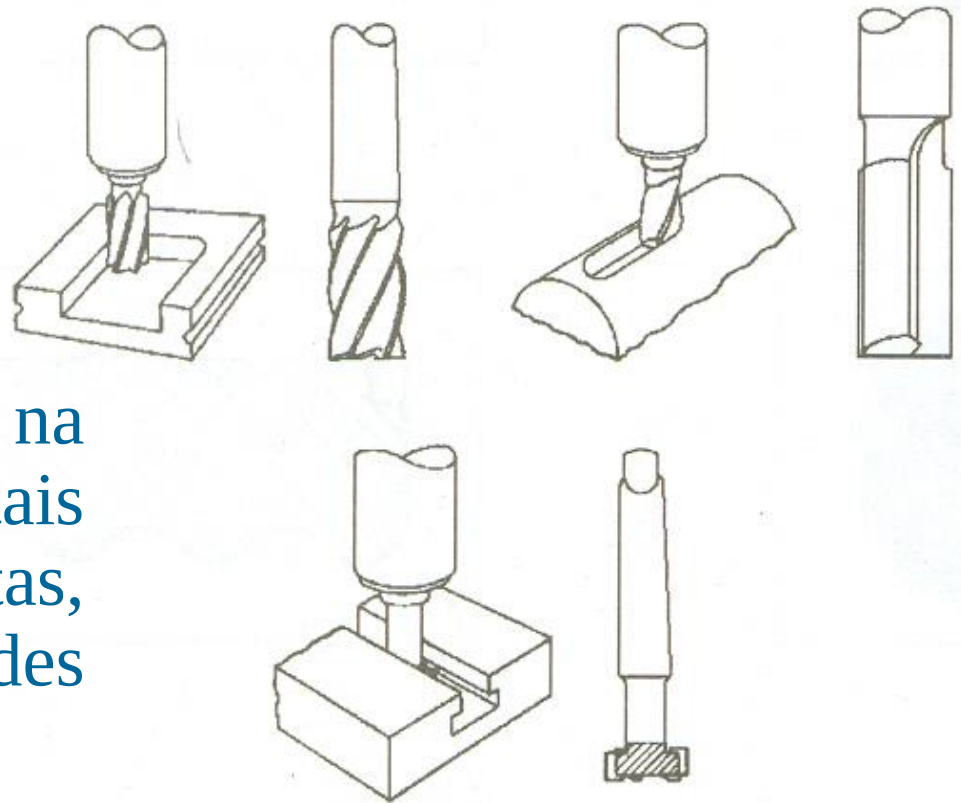
CARACTERÍSTICAS DA FRESA DE TOPO – ARESTAS DE CORTE NA EXTREMIDADE
As arestas de corte na extremidade dividem-se em:

Tipo com corte sobre o centro	Tipo sem corte sobre o centro
	
Permite operações de furação e mergulho. Duas arestas atingem o centro no caso de um número par de canais (p.ex. 2-4-6,etc). Somente uma aresta no caso de número ímpar (p.ex.3-5, etc)	Usado somente para perfilamento e rasgos abertos. Permite a reafiação entre centros.



Fresas Frontais

Fresas de Topo

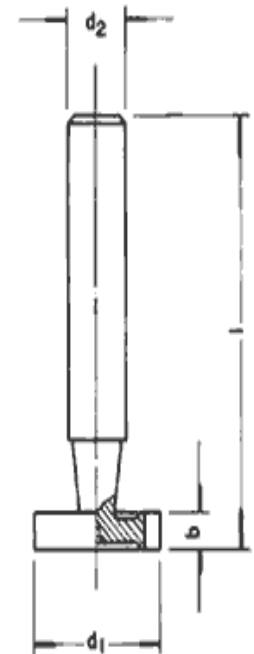
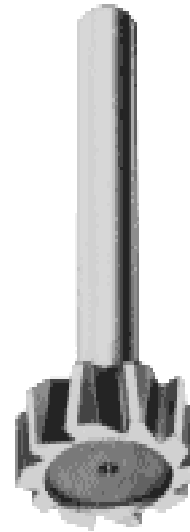
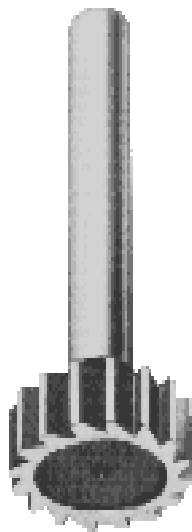
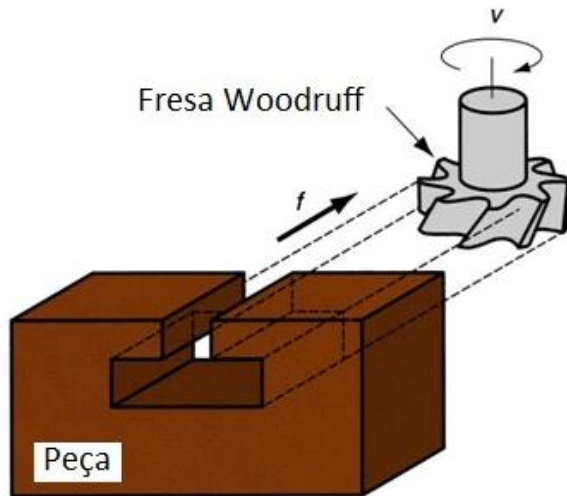


São utilizadas na construção cavidades tais como: rasgos de chavetas, rasgos em T e cavidades em moldes.

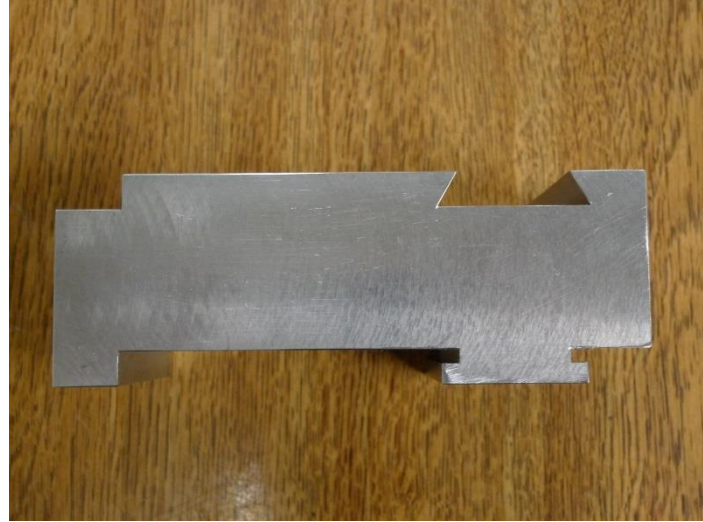
Outros Tipos de Fresas

Fresas de Woodruff

Usadas para rasgos T e rasgos de chaveta



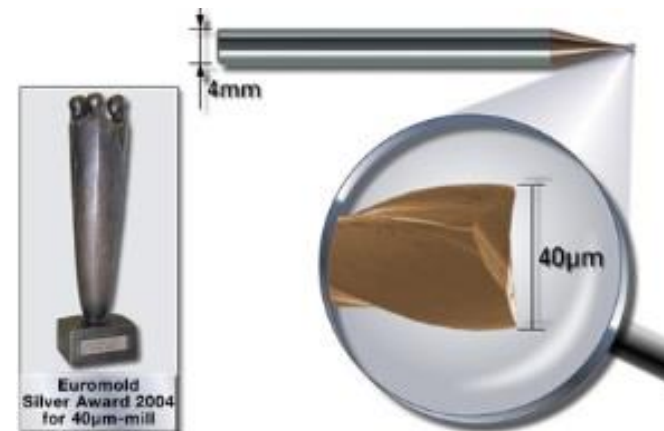
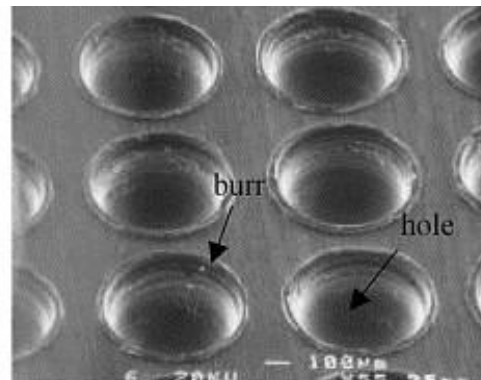
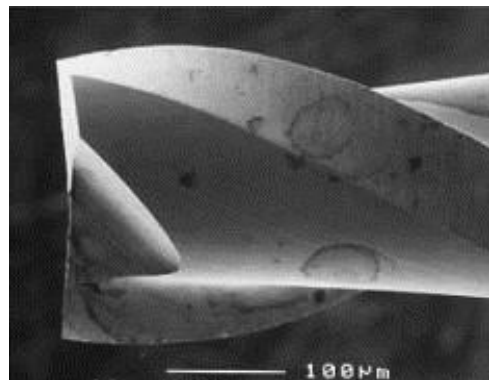
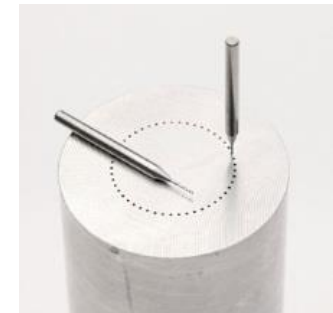
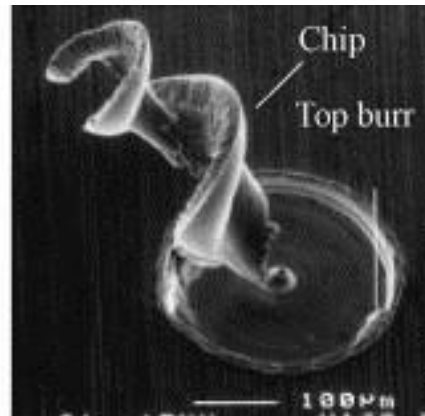
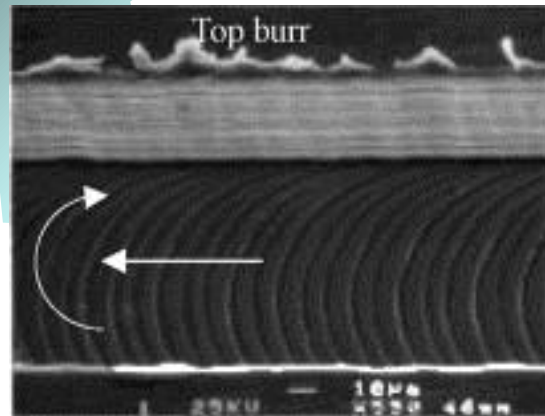
Outros Tipos de Fresas



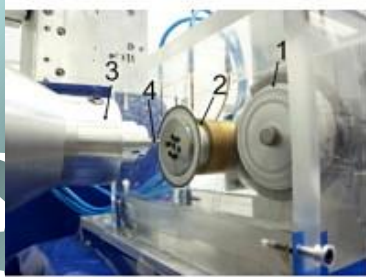
Outros Tipos de Fresas

Micro Fresas Frontais ou de Topo - Dimensões

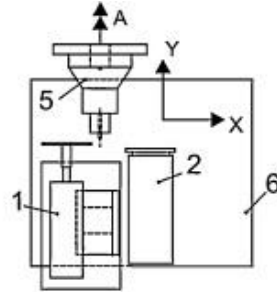
MicroFresas –
Dimensões < 1mm



Fresas Frontais ou de Topo - Dimensões



- 1 Pre-grinding spindle
- 2 Fine-grinding spindle
- 3 Clamping device



- 4 Tool shank
- 5 Rotational Axis
- 6 X-Y-Table

Tool grinding machine					
Section I	Section II		Section III		
Blank grinding process	Pre-grinding		Fine-grinding		
	helix angle				
cylindrical blank	$\lambda = 0^\circ$				
shank with 40° cone peak	$\lambda = +30^\circ$				

- a) Tool grinding machine
- 1 Pre-grinding spindle
 - 2 Fine-grinding spindle
 - 3 Clamping device
 - 4 Tool shank
 - 5 Rotational Axis
 - 6 X-Y-Table

b) Fine-grinding



c) SEM image showing the influence of the grinding blade profile on the tool

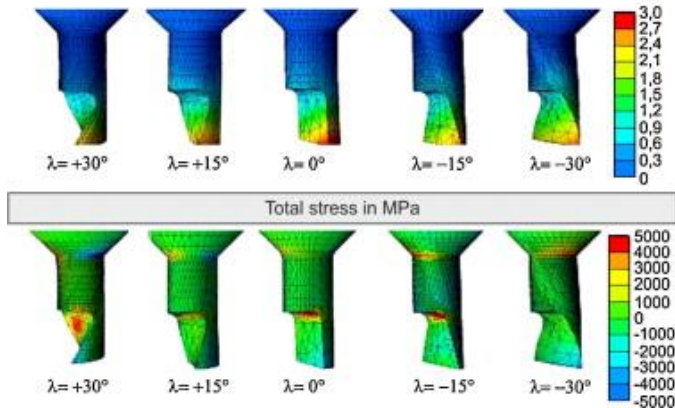
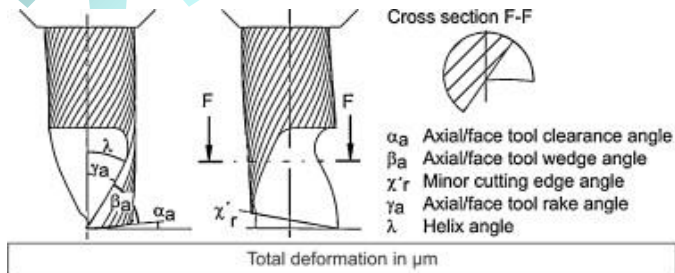
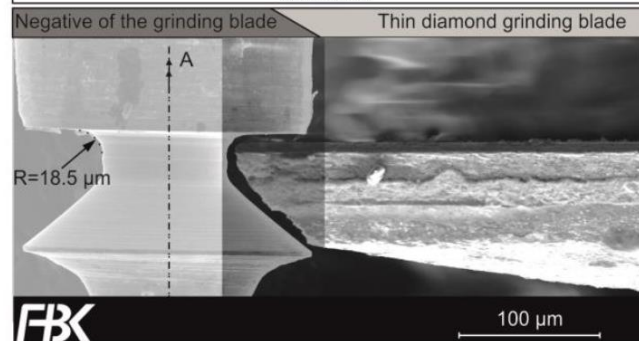
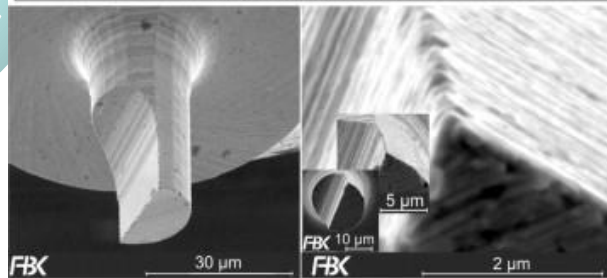
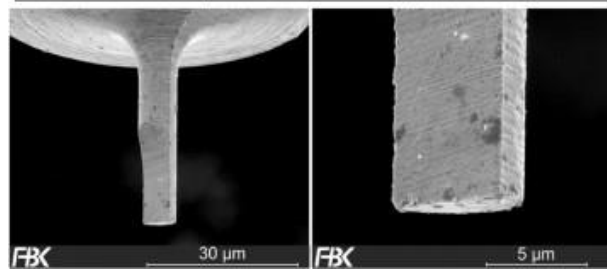


Fig. 1: Manufacture of USM mills

a) Micro end mill D= 20 μm



b) Micro end mill D= 10 μm

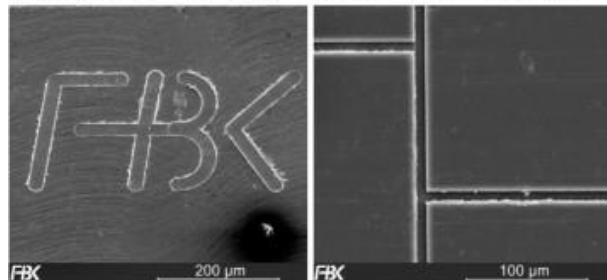


Titanium alloy Ti-6Al-7Nb

D= 20 μm

$v_c = 3.14$ m/min at 50000 rpm

$f_z = 0.1$ $\mu\text{m/tooth}$ $a_p = 10$ μm



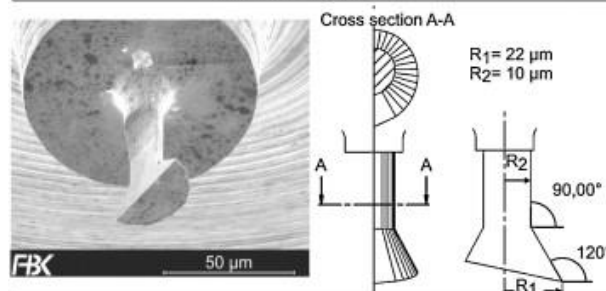
PMMA

D= 10 μm

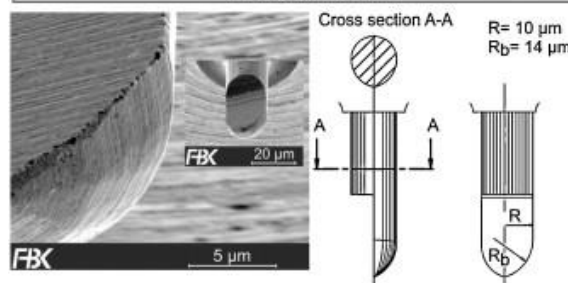
$v_c = 1.57$ m/min at 50000 rpm

$f_z = 0.2$ $\mu\text{m/tooth}$ $a_p = 7$ μm

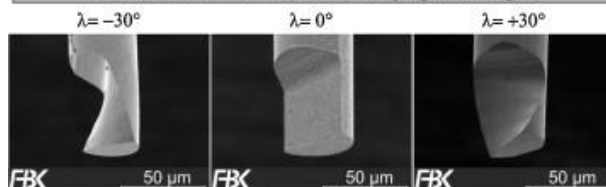
Micro profile end mill



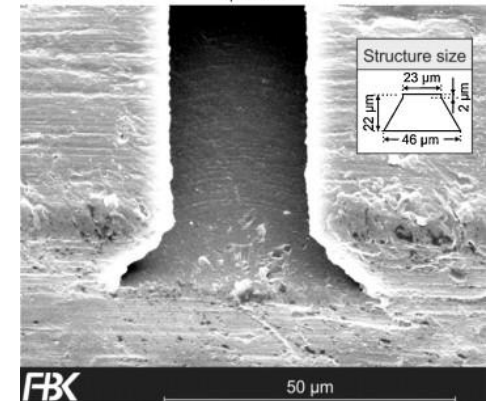
Micro ball end mill



Micro end mills D= 48 μm with varying helix angle



v_c from 2.51 to 5.53 m/min at 40000 rpm
 $f_z = 0.025$ $\mu\text{m/tooth}$ $a_p = 22$ μm



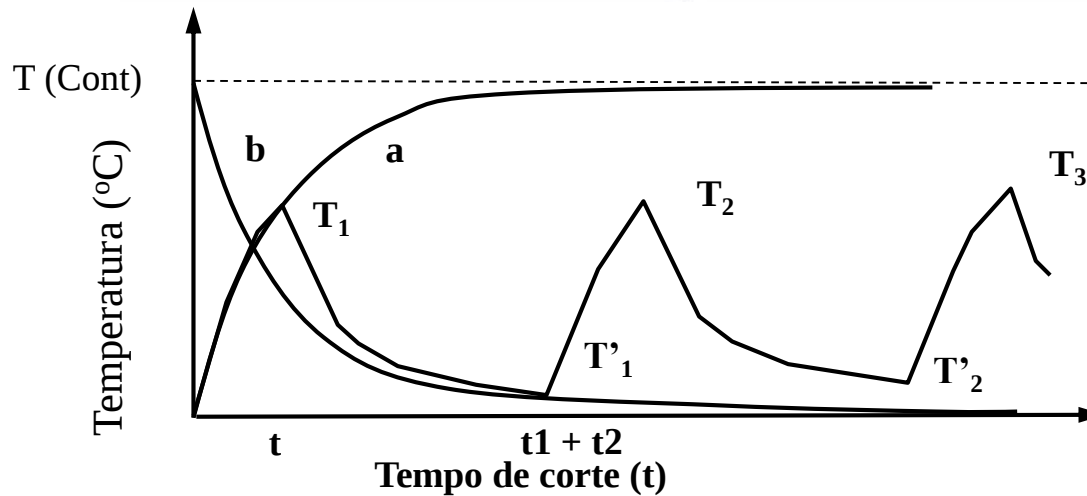
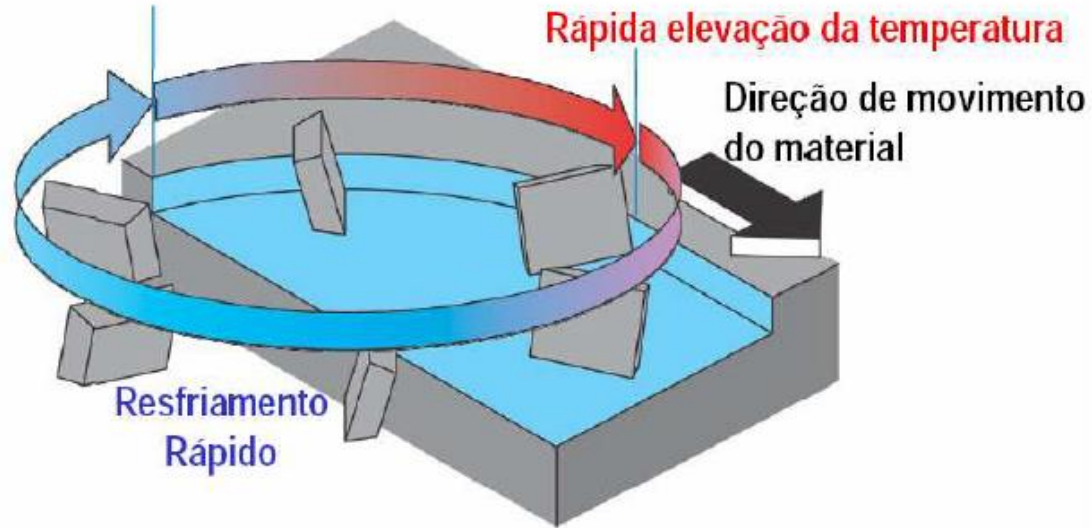


Propriedades dos Materiais para Ferramenta

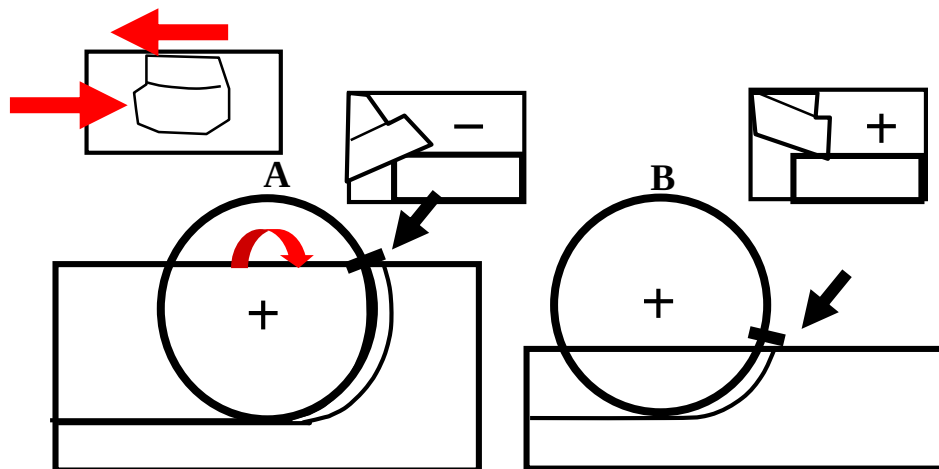
Materiais devem apresentar
primordialmente:

resistências térmica e mecânica a
solicitações cíclicas

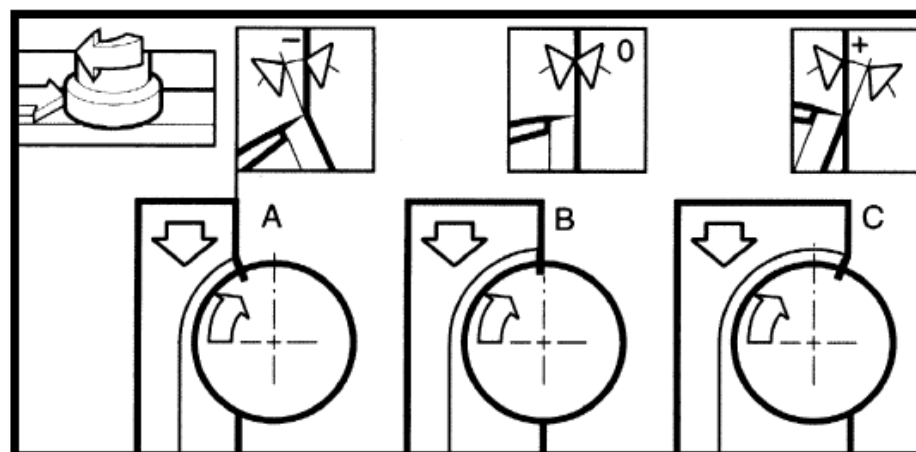
Choque Térmico



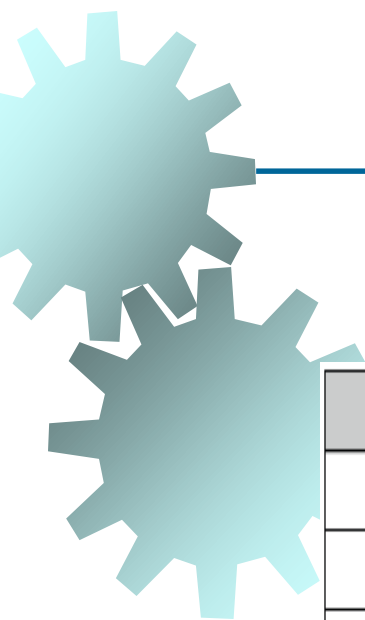
Choque Mecânico



Entrada na peça



Saída da peça



Recomendação de Materiais para Ferramenta de Fresamento

<i>Material da peça</i>	<i>Material da ferramenta</i>
Aço	Aços rápidos e metais duro P15 a P40
Fofo, metais não ferrosos, plásticos e aços temperados	metais duro K10 a K30
Aços HB<300	Cermets
Desbaste de fofo	Cerâmicas de Si_3N_4
Fofo cinzento, fofo duro, aços para cementação, aços de beneficiamento, aços temperados	Cerâmicas óxidas mista
Aços para beneficiamento de alta resistência (HRC > 45)	CBN

Partes de uma Fresa

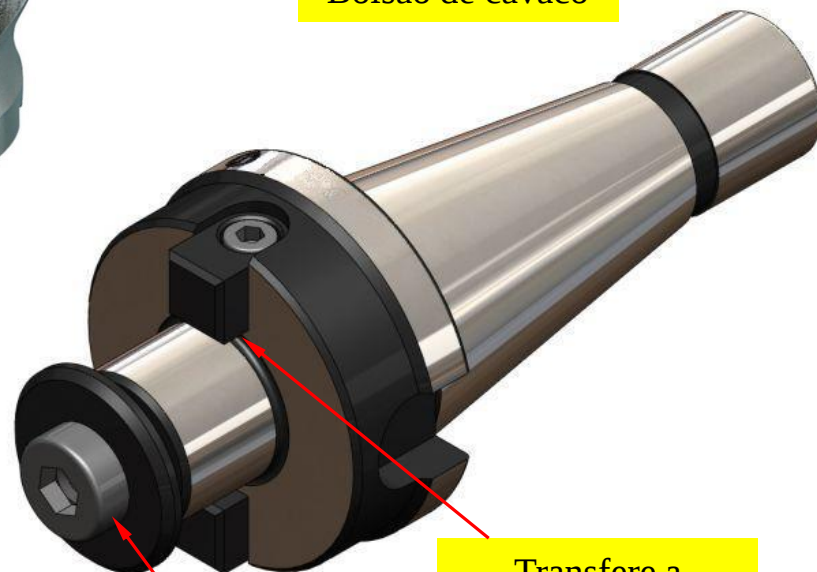
Transfere a
rotação do eixo
árvore para
ferramenta

Fixa fresa no cone
porta fresa

Bolsão de cavaco

Fixa fresa no cone
porta fresa

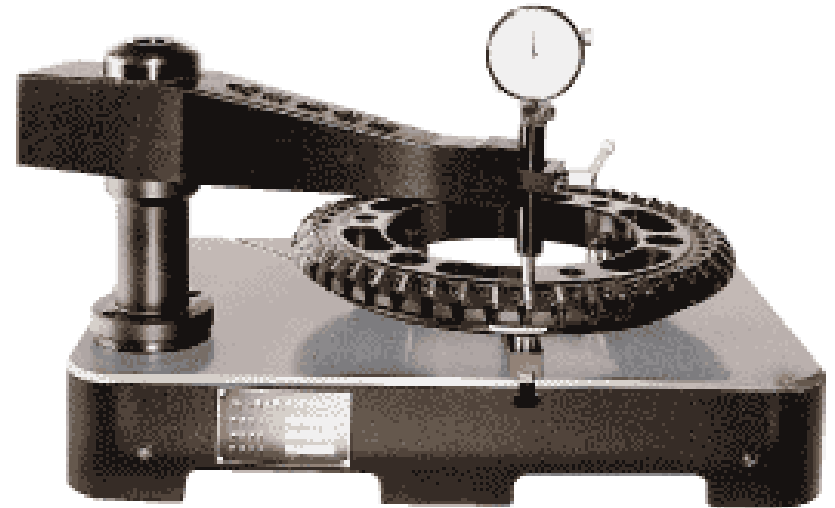
Transfere a
rotação do eixo
árvore para
ferramenta



Joifer

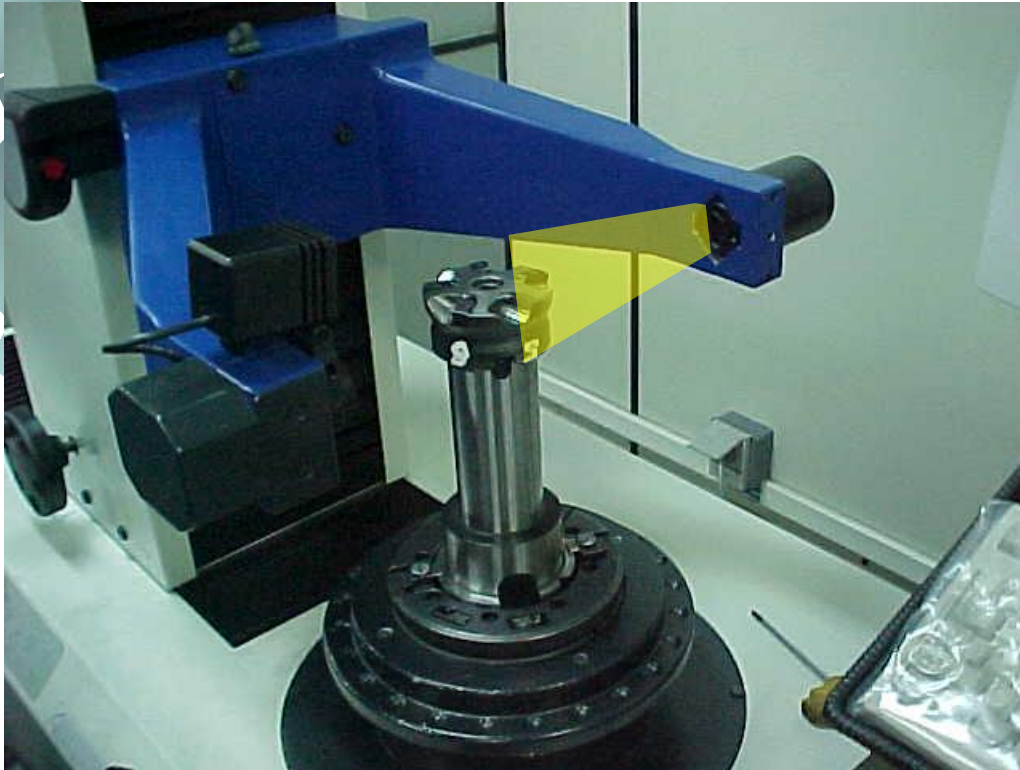
APARELHO DE MONTAGEM

O ponto de ajuste do inserto é a aresta de corte, portanto a precisão de batimento é alta.

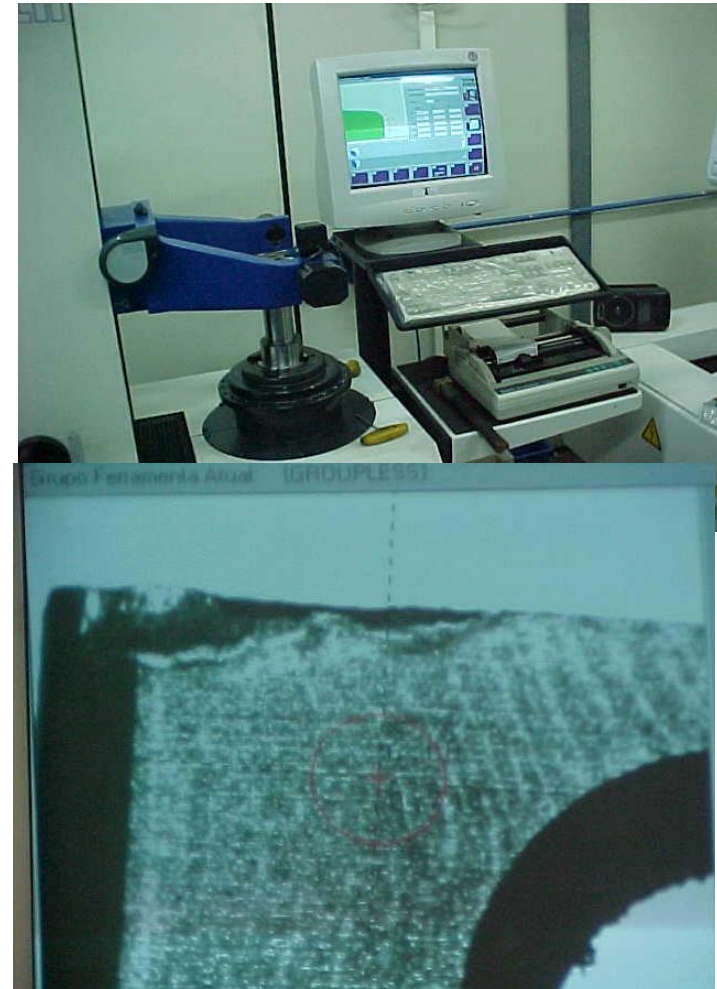


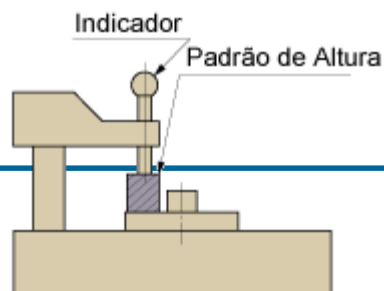
Montagem e ajuste das pastilhas no corpo da fresa

APARELHO DE MONTAGEM



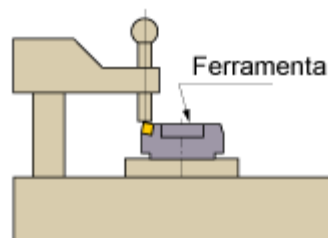
Montagem e ajuste das pastilhas no corpo da fresa





Ajuste o indicador utilizando o padrão de altura o qual deve ter a mesma altura da ferramenta.

Movimente o indicador até um inserto.

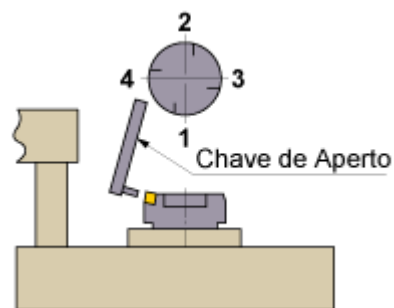


Deslize o inserto até o ponto onde toque o indicador. Aperte todos os inserts suavemente.

(Utilize uma chave de aperto).

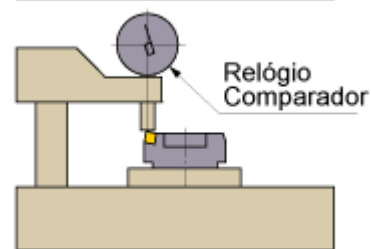
(1 – 2 N•m)

*Apertar os inserts com muita força resulta em baixa precisão.



Após o aperto temporário, utilize uma chave de aperto para fixar firmemente os inserts. (Utilize uma chave de aperto) (8 N•m).

Aperte firmemente os inserts de acordo com a figura da esquerda.



Verifique o batimento de todos os inserts de acordo com a figura da esquerda.

*Para fresamento em geral, $\leq 10\mu\text{m}$ é padrão. Para acabamento, o batimento do inserto deve estar em $\leq 5\mu\text{m}$.

Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Tipos Básicos de Mandris:

- Jacobs
- Porta-pinça
- Porta-Ferramenta



FDC Collets

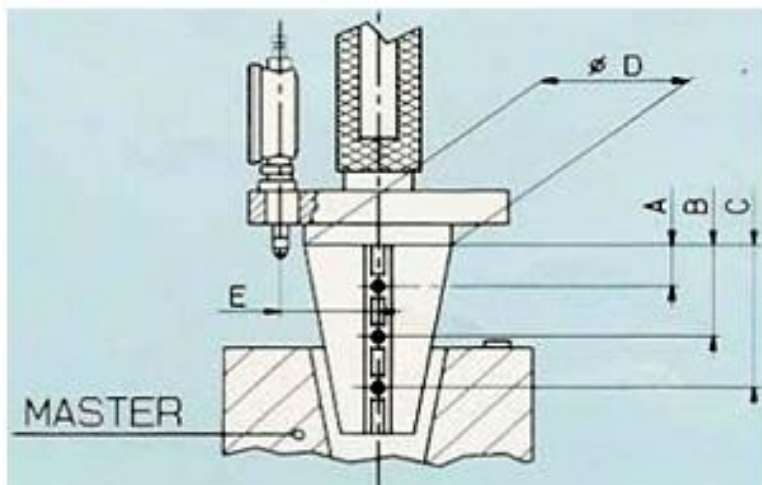


Mandril
Jacobs

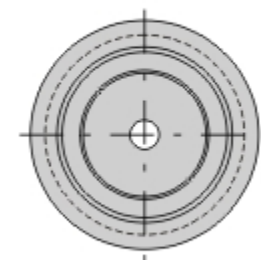
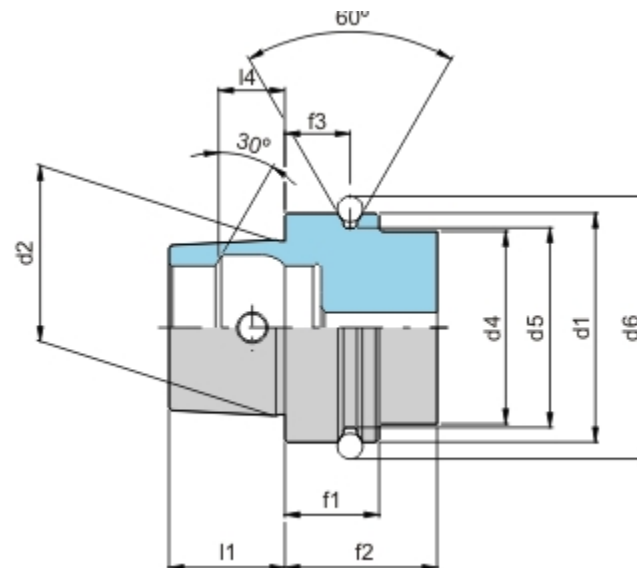
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Cone ISO

TIPO	ØD	A	B	C	E
30	31,75	8	24	40	21,5
40	44,45	10	34	58	29
45	57,15	10	41	72	38
50	69,85	10	51	92	45



Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



ESPECIFICAÇÃO DIMENSIONAL DO CONE HSK-E

HSK-E	25	32	40	50	63
d1	25	32	40	50	63
d2	19	24	30	38	48
d4	20	26	34	42	53
d5	22	26,5	34,8	43	55
d6	28,5	37	45	59,3	72,3
f1	10	20	20	26	26
f2	20	35	35	42	42
f3	4,5	16	16	18	18
l1	13	16	20	25	32
l4	7,21	8,92	11,42	14,13	18,13

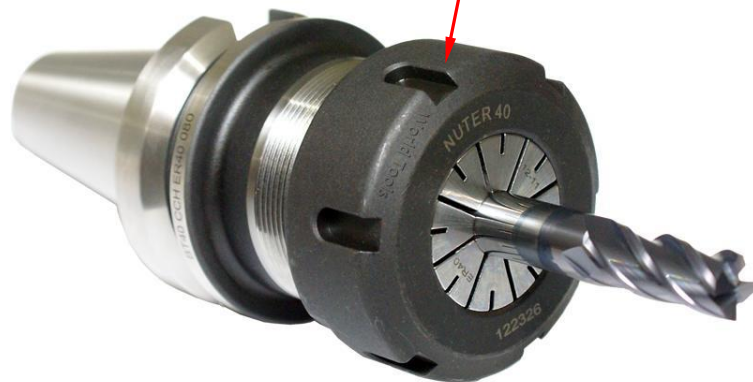
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Cone para fixação
com pinças

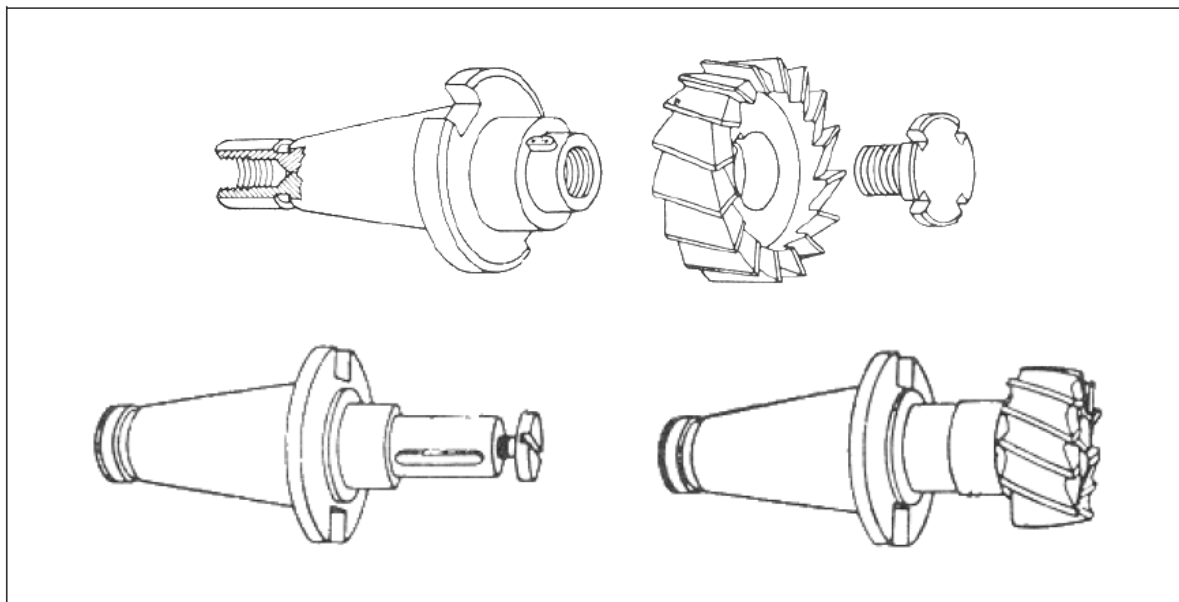
Pinças de diversos
tamanhos



Fixa pinça na
fresa



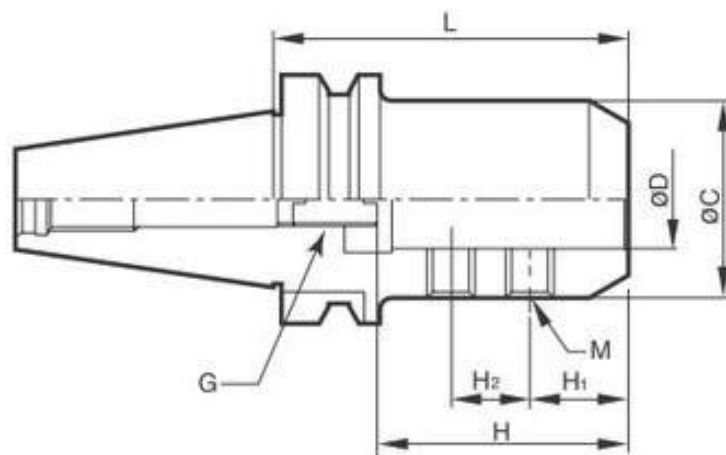
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



Mandril Porta-Ferramenta



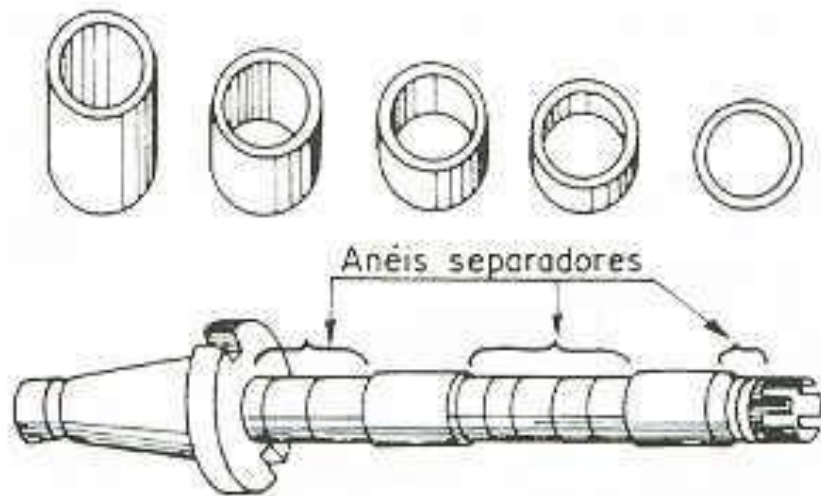
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



Mandril Porta-Barra

Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Anéis Separadores



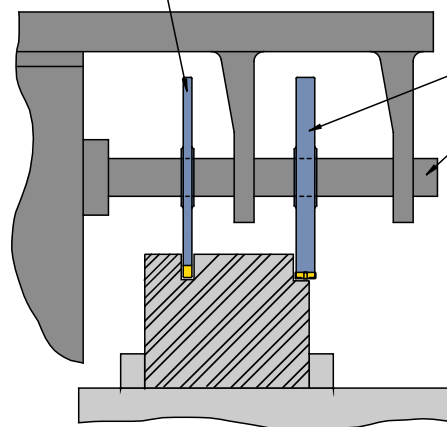
Bucha que serve para pressionar e fixar a fresa ao longo do eixo cilíndrico.

Eixo Porta Fresa - Usado para fixar a fresa no eixo-árvore.



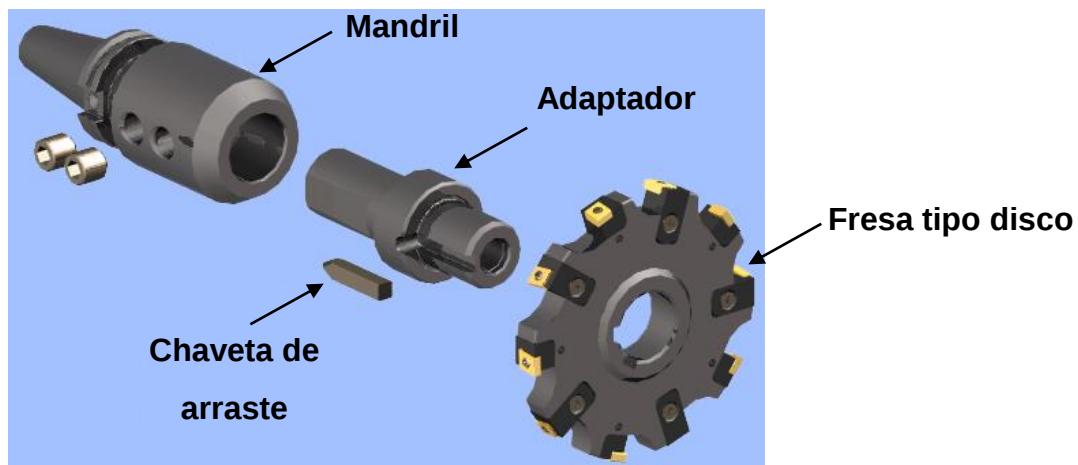
Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Fresa tipo Disco
(corte ou fenda)



Fresa tipo Disco
(corte ajustável)

Mandril ou adaptador



Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

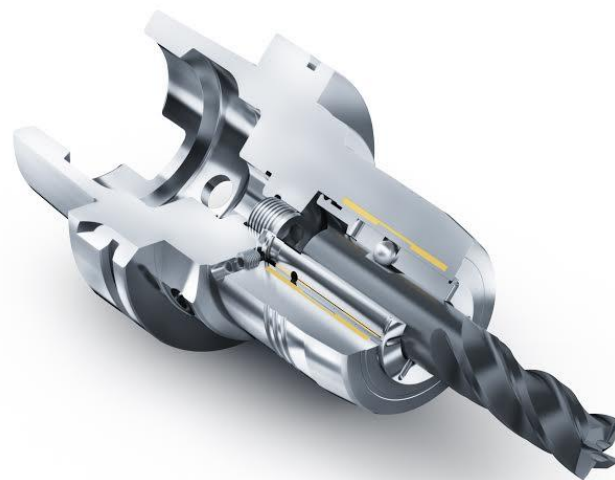
Mandril para fixação térmica



Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores



Mandril para fixação hidráulica



Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

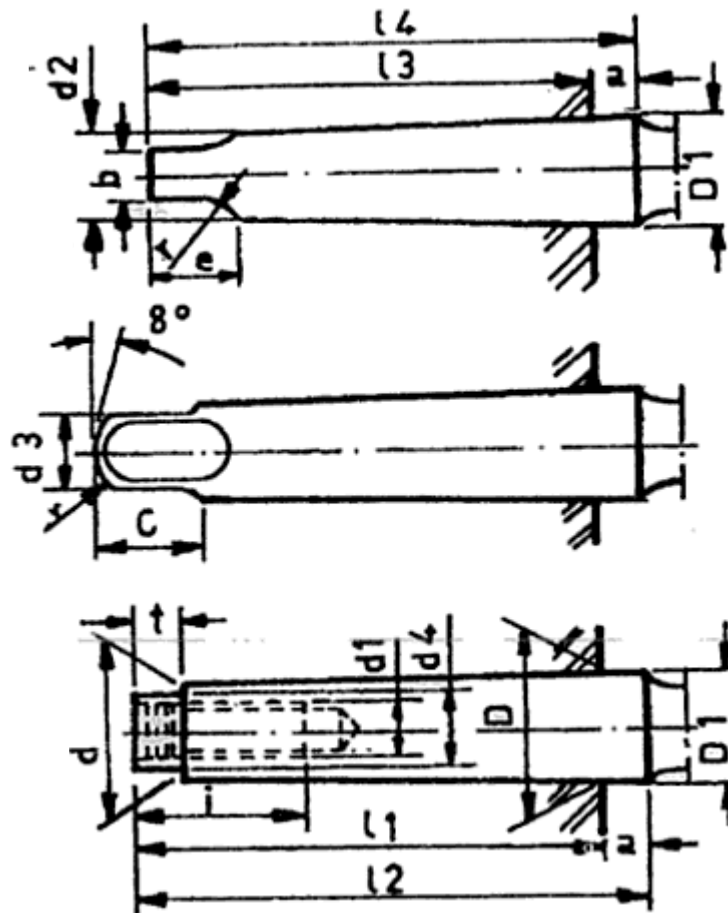
Cone Morse



Bucha



Haste



Fixação das Ferramentas: Mandris e Adaptadores

Cone Morse

N° de identificação		CONICIDADE	$\frac{\alpha}{2}$	A	b h 13	d ₁	d ₂ ²⁾	d ₆ ²⁾	d ₁ máx	l ₃ - 1	l ₄ máx	l ₅ máx	r ₁	r ₂
CONE MORSE	0	1:19,212=0,05205	1°29'27"	3	3,9	9,045	9,2	6,1	6	56,5	59,5	10,5	4	1
	1	1:20,047=0,04988	1°25'43"	3,5	5,2	12,065	12,2	9	8,7	62	65,5	13,5	5	1,2
	2	1:20,020=0,04995	1°25'50"	5	6,3	17,780	18	14	13,5	75	80	16	6	1,6
	3	1:19,922=0,05020	1°26'16"	5	7,9	23,825	24,1	19,1	18,5	94	99	20	7	2
	4	1:19,254=0,05194	1°29'15"	6,5	11,9	31,267	31,6	25,2	24,5	117,5	124	24	8	2,5
	5	1:19,002=0,05263	1°30'26"	6,5	15,9	44,399	44,7	36,5	35,7	149,5	156	29	10	3
	6	1:19,180=0,05214	1°29'36"	8	19	63,348	63,8	52,4	51	210	218	40	13	4



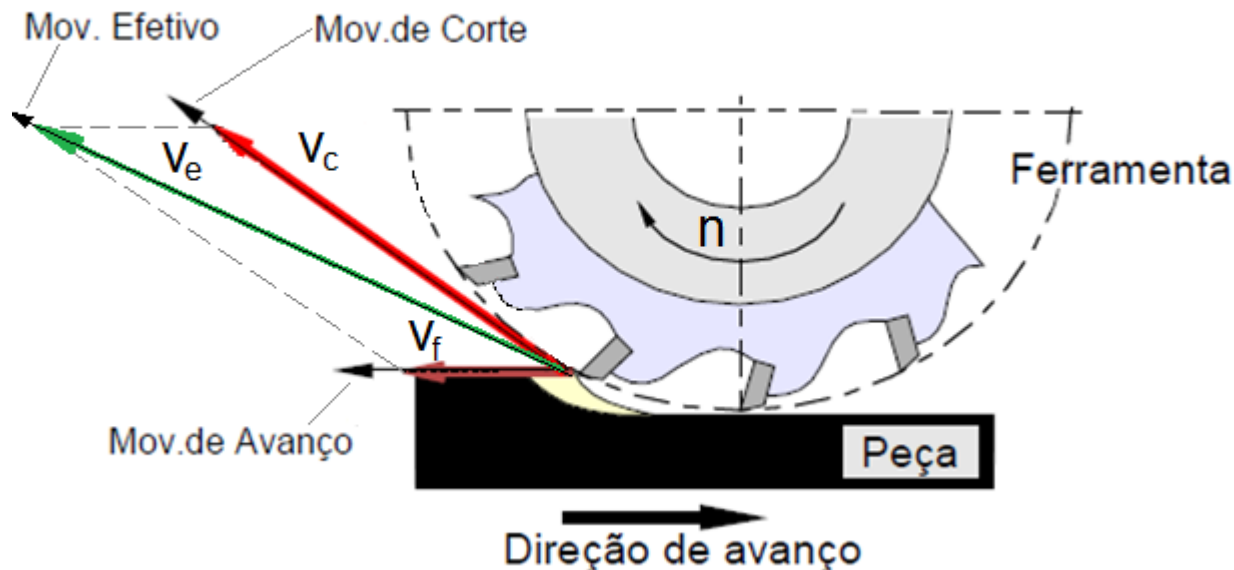
Parâmetros de Corte

- Velocidade de Corte (v_c)
- Avanço (f)
- Profundidade de usinagem (a_p)

Parâmetros de Corte

Existem dois movimentos de corte:

- movimento primário de corte (rotação)
- movimento de avanço

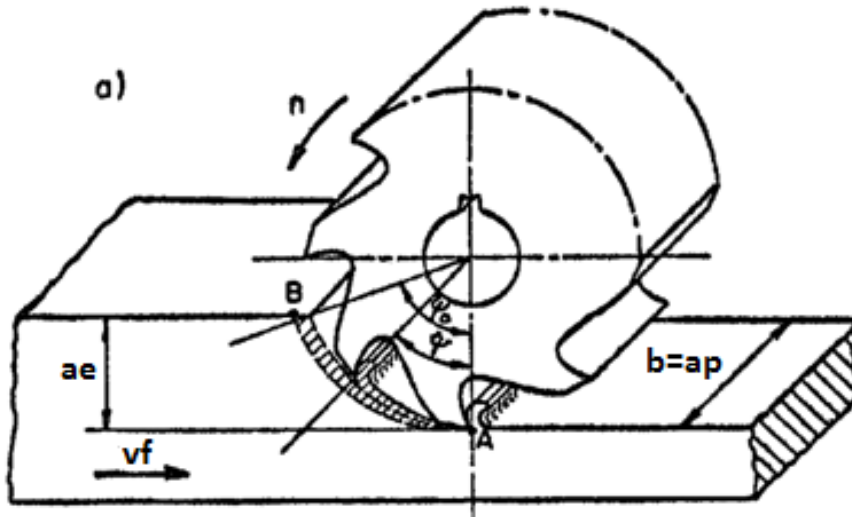




Definição de velocidade de corte (v_c)

Velocidade de corte é o deslocamento da ferramenta diante da peça ou a velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da ferramenta em torno da peça (m/min).

Grandezas Fresamento Tangencial



ae = profundidade radial (mm)

ap = profundidade de usinagem (mm)

vc = velocidade de corte (m/min)

vf = velocidade de avanço (mm/min)

n = rotação (rpm)

f = avanço (mm/rev)

fz = avanço por dente (mm/dente)

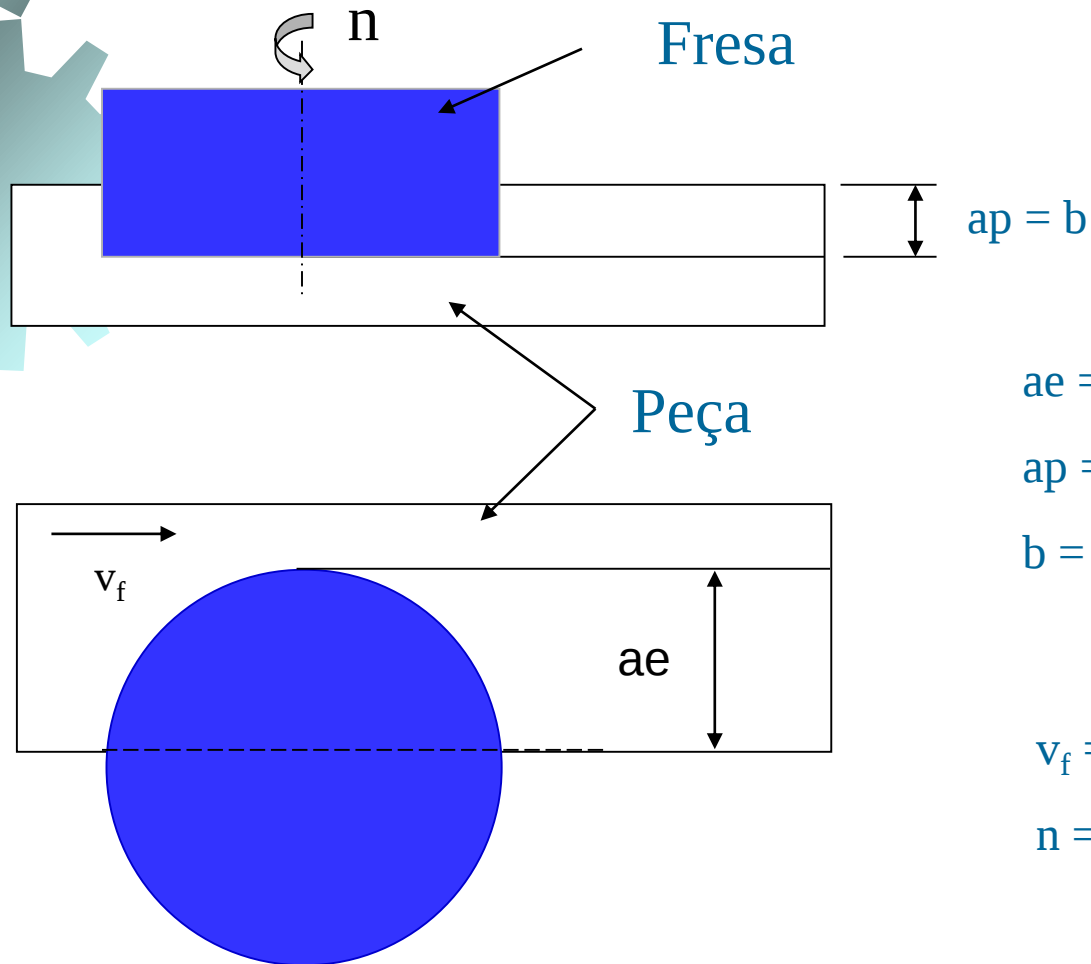
$$vc = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$vf = f \times n = fz \times Z \times n$$

$$f = fz \times Z$$

d = diâmetro da fresa; Z = número de dentes da fresa

Grandezas Fresamento Frontal



ae = penetração de trabalho

ap = profundidade de usinagem

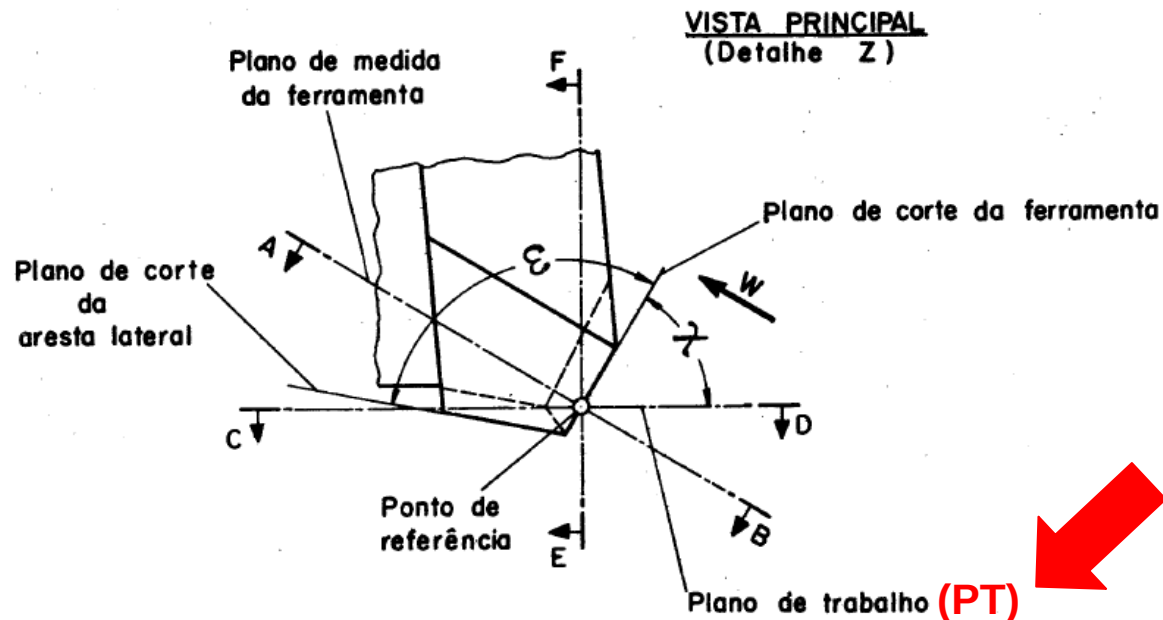
b = largura de corte

v_f = velocidade de avanço

n = rotação da fresa

Definição de Profundidade de Usinagem (a_p) e Profundidade Radial (a_e)

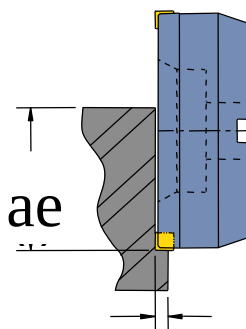
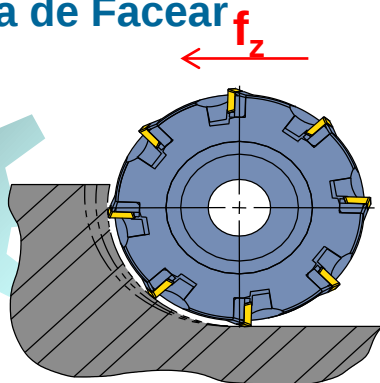
- a_p : profundidade de penetração da ferramenta em relação à peça, **medida perpendicularmente ao plano de trabalho** (mm);
- a_e : profundidade de penetração da ferramenta em relação à peça, **medida no plano de trabalho e perpendicularmente à direção de avanço** (mm).



Grandezas

Largura e Profundidade de Usinagem

Fresa de Facear



Nomenclatura

f_z : avanço por dente

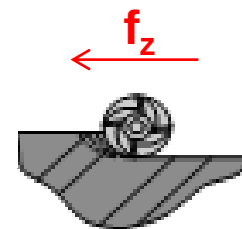
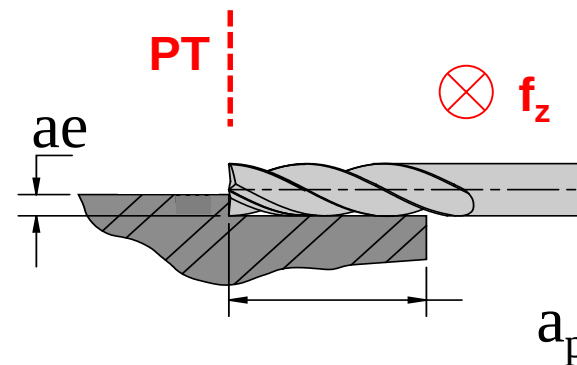
a_e : largura de usinagem

a_p : profundidade de usinagem

PT: Plano de Trabalho

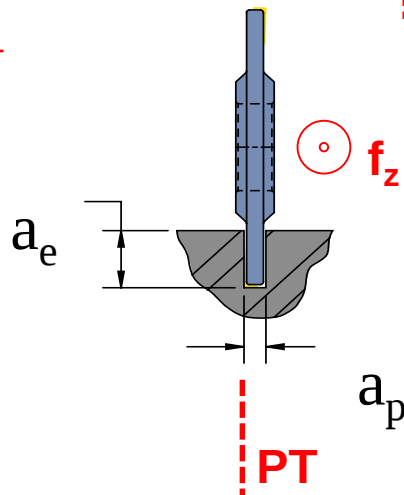
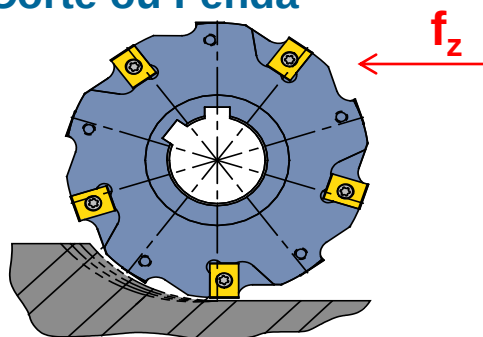
a_p

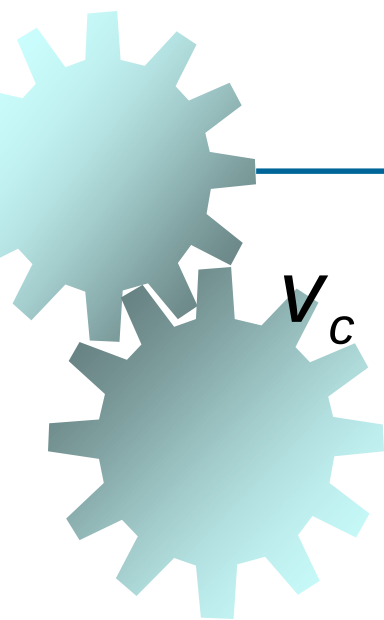
Fresas de Topo



Fresa tipo disco

Corte ou Fenda





Fórmula para Determinar v_c

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

**Exemplo: Ferramenta com $\varnothing 20$ mm
600 rpm**

$$V_c = \frac{rpm \times diâmetro \times \pi}{1000} = \frac{rpm \times diâmetro}{318}$$

$$V_c = \frac{600 \times 20}{318} = 377 \text{ m/min}$$

$$rpm = \frac{V_c \times 1000}{diâmetro \times \pi} = \frac{V_c \times 318}{diâmetro}$$



Velocidades de Corte Recomendadas

Material Peça	Resistência	Fresas de Topo		Demais Tipos	
	(kgf/mm ²)	AR	MD	AR	MD
Aço Carbono	< 50	21 - 30	90 - 200	17 - 24	100 – 150
	50 - 70	20 - 28	80 - 160	16 - 24	80 – 120
	70 - 90	15 - 23	60 - 110	15 - 20	60 – 100
	90 - 110	12 - 19	50 - 100	11 - 18	50 - 80



Cálculo do Tempo de Usinagem

$$t_c = \frac{l \cdot i}{V_f} = \frac{l \cdot i}{f \cdot n}$$

Onde

t_c = tempo de corte

l = percurso total da ferramenta (mm)

i = número de passos

V_f = velocidade de avanço (mm/min).

Cálculo do Tempo de Usinagem

Corte periférico Fresamento Tangencial

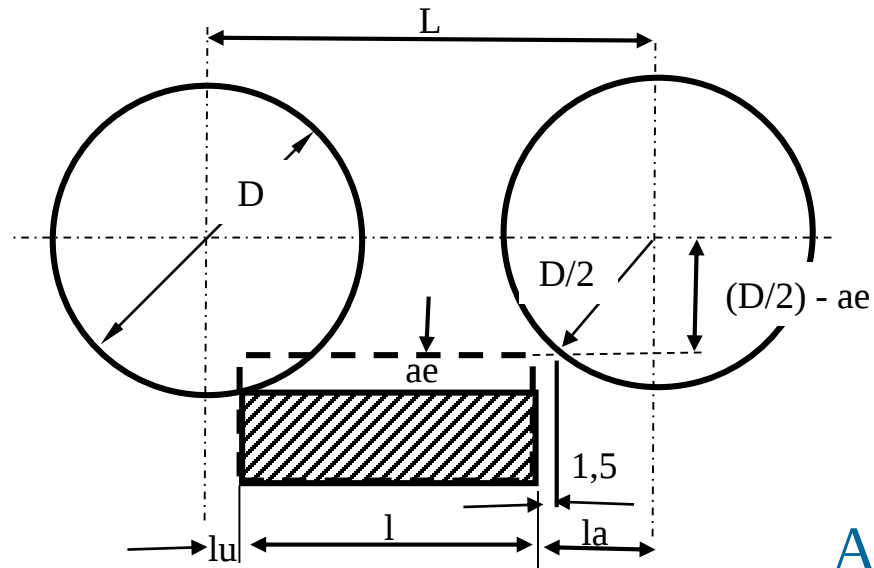
$$L = l_a + l + l_u$$

Desbaste

$$l_a = 1,5 + \sqrt{D \cdot a_e - a_e^2}$$

$$l_u = 1,5 \text{ mm}$$

$$L = l + 3 + \sqrt{D \cdot a_e - a_e^2}$$



Acabamento

$$L = l + 3 + \sqrt{D \cdot a_e - a_e^2}$$

$$l_a = 1,5 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D^2 - B^2}$$

$$L = l + 3 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D^2 - B^2}$$

Devido ao re-corte $l_a = l_u$

$$L = l + 3 + \sqrt{D^2 - B^2}$$

Cálculo do Tempo de Usinagem

Faceamento excêntrico – Fresamento Frontal

Desbaste

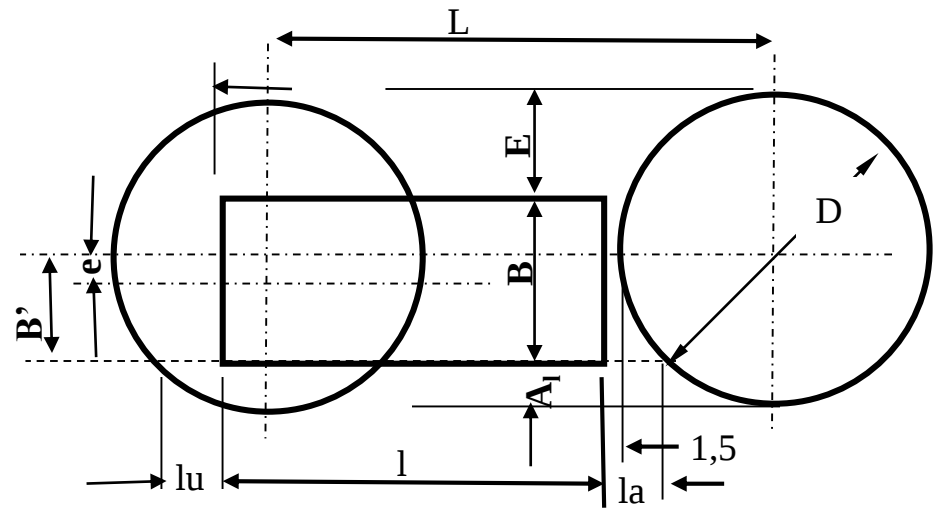
$$l_a = 1,5 + \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - B'^2}$$

$$l_u = 1,5 \text{ mm}$$

$$L = l + 3 + \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - B'^2}$$

$$B' = \frac{B}{2} + e = \frac{B}{2} + \left(\frac{D}{2} - A_t - \frac{B}{2}\right)$$

$$B' = \frac{D}{2} - A_t$$



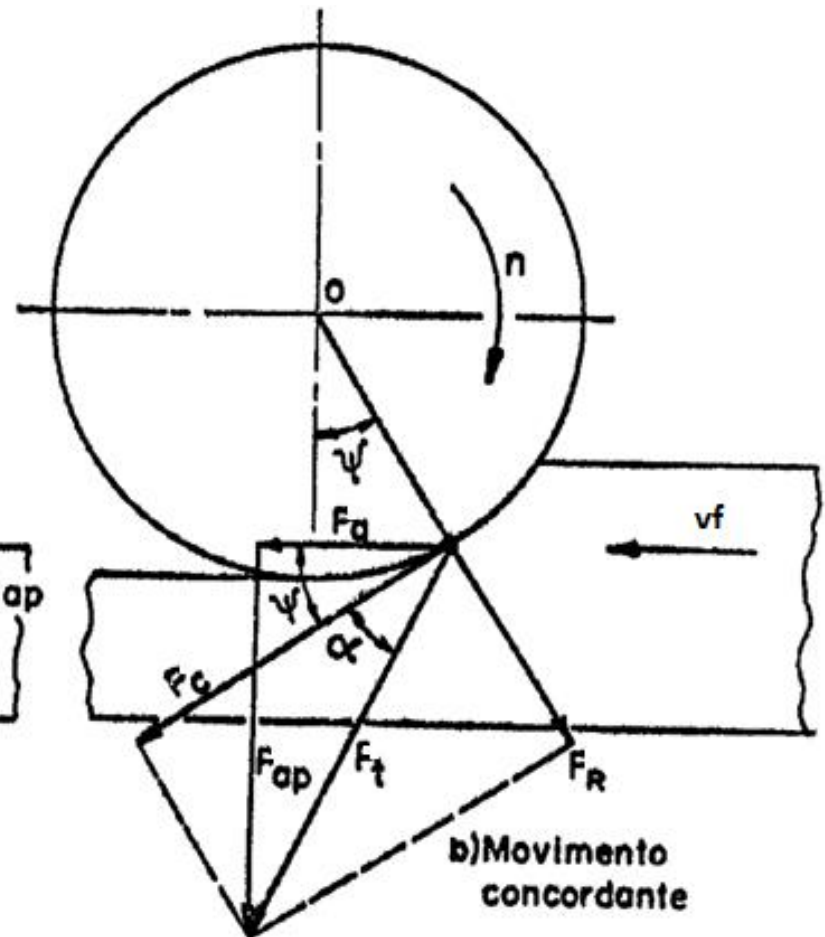
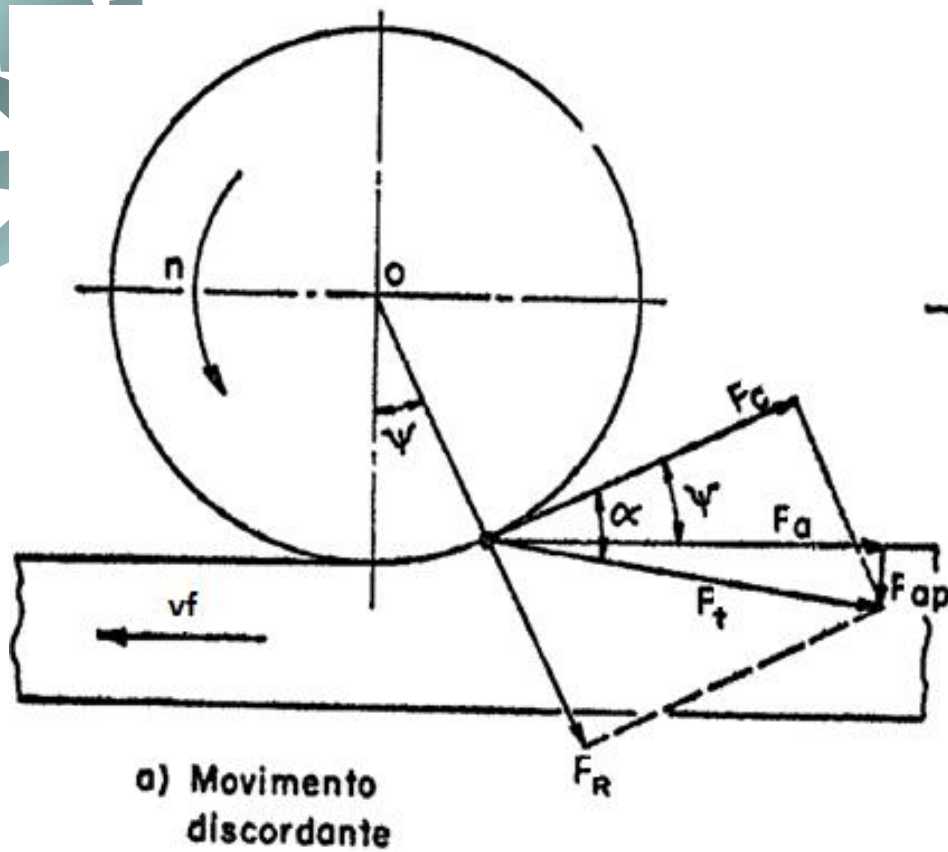
Acabamento

$$L = l + 3 + D$$

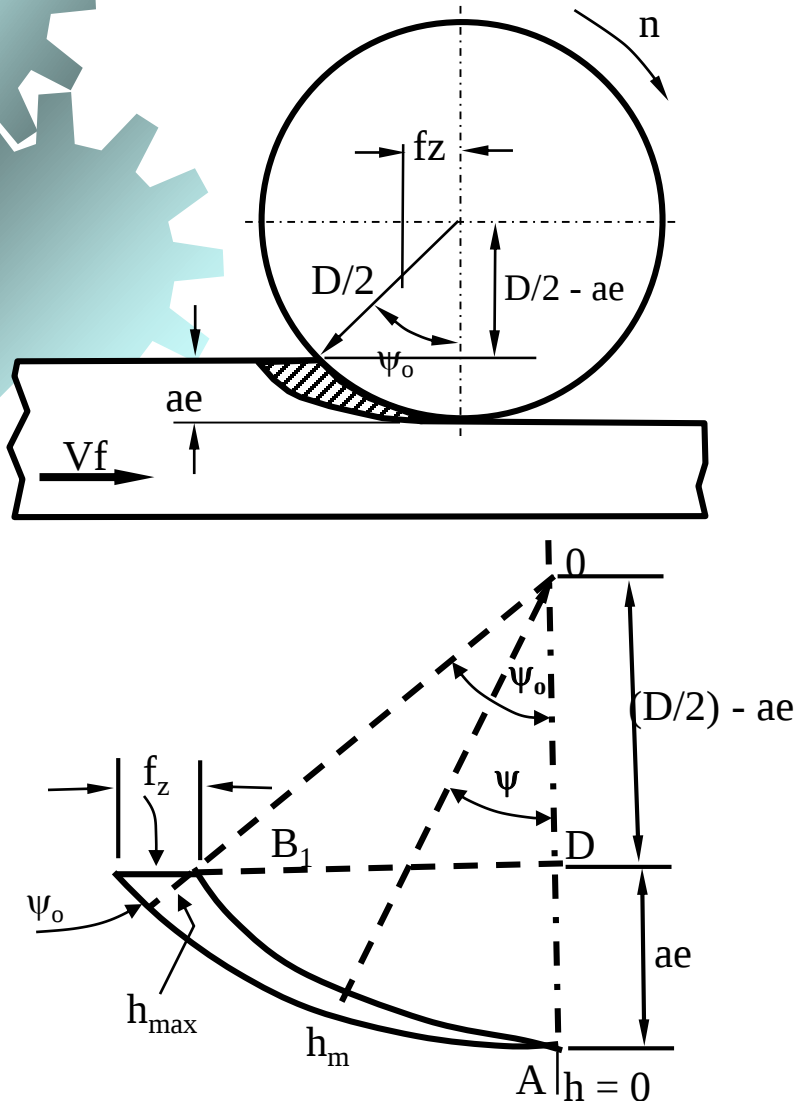


Força e Potência no Fresamento Tangencial

Força e Potência no Fresamento Tangencial



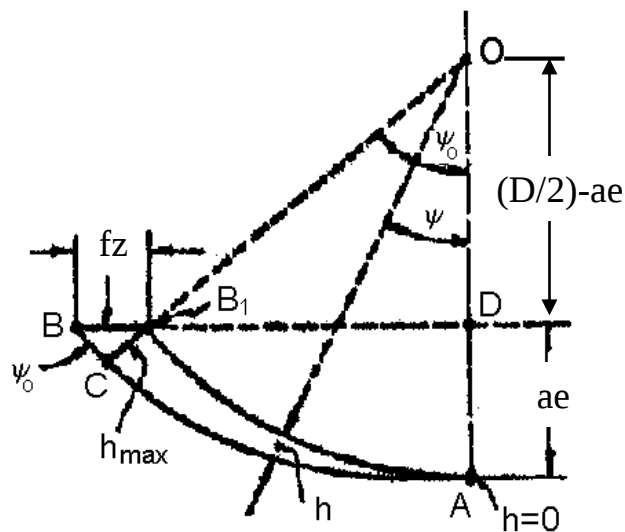
Forma do Cavaco no Fresamento



Ângulo de contato ψ_o - ângulo central formado pelos raios que ligam o centro da fresa com os pontos onde o dente penetra e sai do material em usinagem.

Espessura do cavaco h - é medida sempre na direção radial e varia de zero a um valor máximo h_{max}

Força e Potência no Fresamento Tangencial



Ângulo de contato

$$\Psi_o = f(D, ae)$$

$$\cos \Psi_o = \frac{\frac{D}{2} - ae}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2 \cdot ae}{D}$$

Espessura de corte

$$h_{\max} = f_z \cdot \sin \Psi_o = 2 \cdot f_z \cdot \sqrt{\frac{ae}{D} - \left(\frac{ae}{D}\right)^2}$$

D = diâmetro da fresa - mm

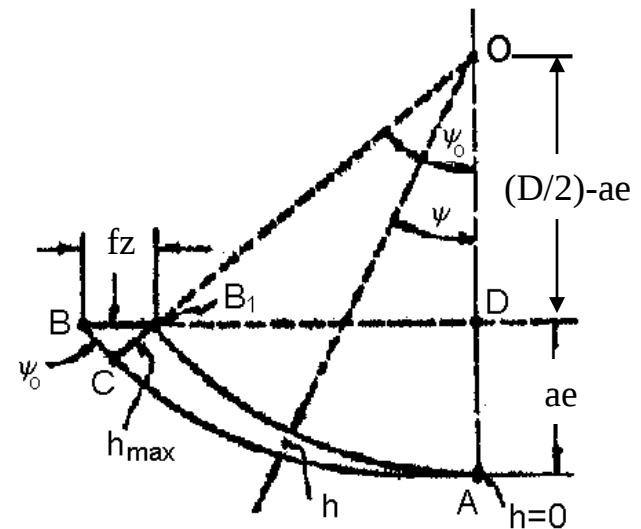
ae = penetração de trabalho - mm

f_z = avanço por dente – mm/dente

$F_c =$
 $h = f$

$$h = f_z \cdot \sin \Psi_0$$

$$F_c = K_s \frac{v_f}{nZ} \cdot b \cdot \text{sen} \Psi_o$$



$$\begin{array}{l} f_z = f / Z \\ v_f = f \cdot n \end{array} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} v_f = f_z \times Z \times n \end{array}$$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

$$F_c = K_s \cdot \frac{v_f}{nZ} \cdot b \cdot \text{sen} \Psi_o$$

Como $h = f(\Psi) \rightarrow K_s = f(\Psi) \rightarrow F_c$ é variável em direção e módulo

Segundo Kienzle $\longrightarrow K_s = K_{s1} h^{-z}$

K_{s1} e $1-z$ (tabelados)

$$F_c = K_{s1} h^{1-z} b = K_{s1} \cdot b \cdot \left(\frac{v_f}{n \cdot Z} \right)^{1-z} \cdot (\text{sen} \Psi_o)^{1-z}$$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

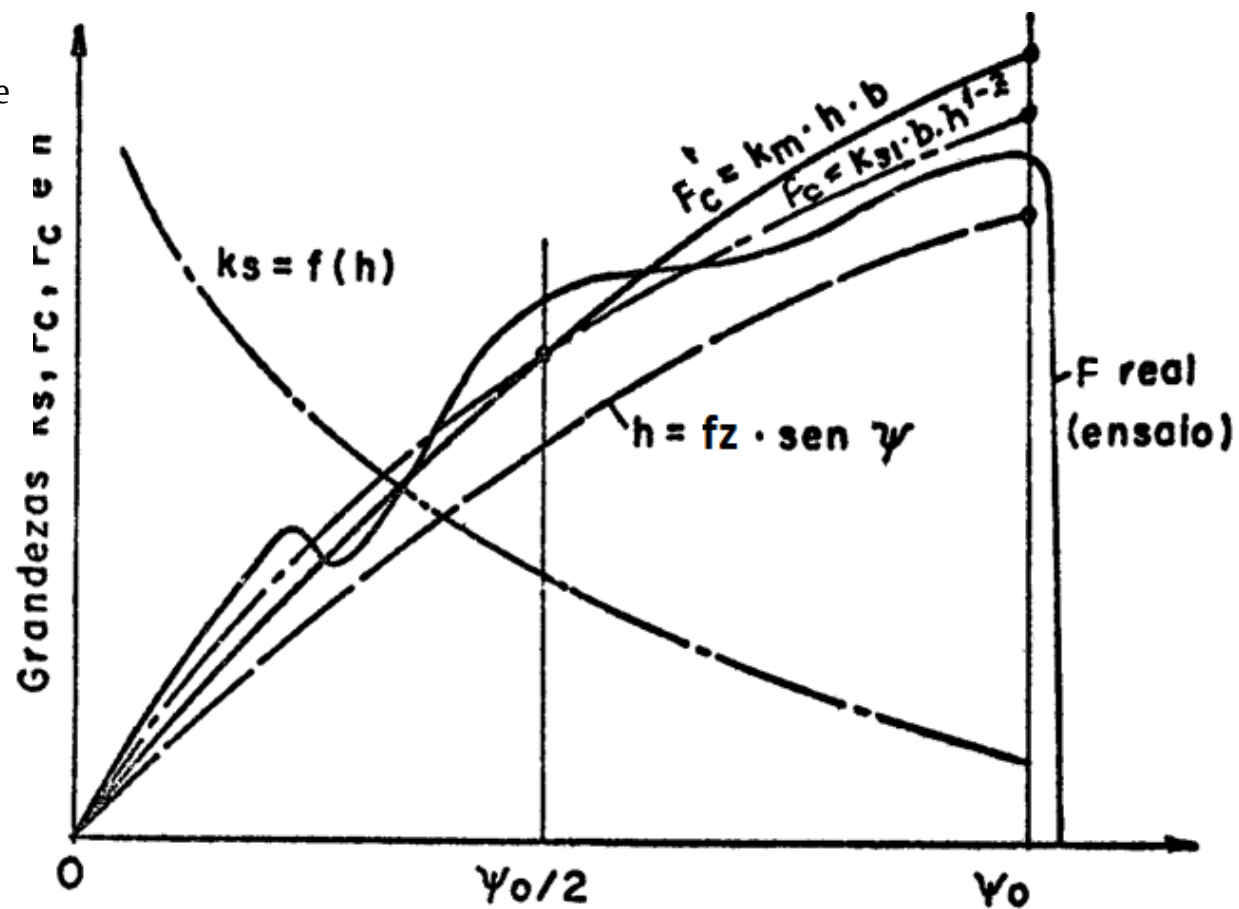
Usando pressão específica de corte média K_m

Determina-se $h_m = f_z \cdot \sin(\Psi_o/2)$

K_m (Tabelado)

Calcula-se a força de corte pela expressão

$$F'_c = K_m \cdot h \cdot b = K_m \cdot \frac{v_f}{n \cdot Z} \cdot b \cdot \sin \Psi_o$$





Força e Potência no Fresamento Tangencial

Potência de Corte (P_c)

$$P_c = \frac{K_m \cdot b \cdot a_e \cdot v_f}{60 \cdot 75 \cdot 1000} \quad [\text{CV}]$$

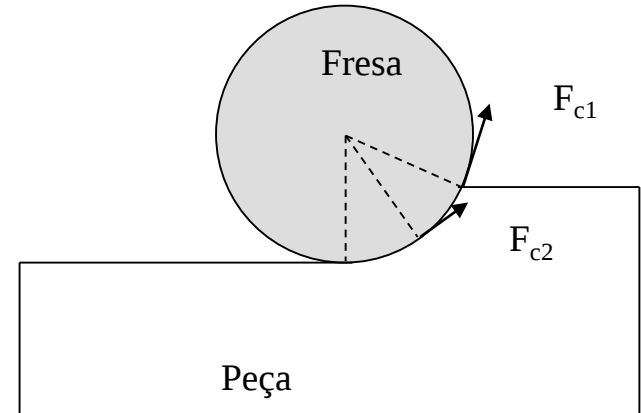
$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot K_m \cdot b \cdot a_e \cdot v_f$$

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot Z \cdot n \quad \text{e} \quad n = (1000 \cdot v_c) / (\pi \cdot D)$$

MOMENTO DE TORÇÃO

$$M_t = f(F_c, Z_i)$$

$$M_t = \sum F_{ci} (D/2)$$



Supondo 2 dentes apenas

$$M_{t_{\max}} = (F_{c1} + F_{c2}) \cdot (D/2)$$

$$F_{c1} = K_{s1} \cdot b \cdot (h_1)^{1-z} = K_{s1} \cdot b \cdot (f_z \cdot \sin \Psi_1)^{1-z}$$

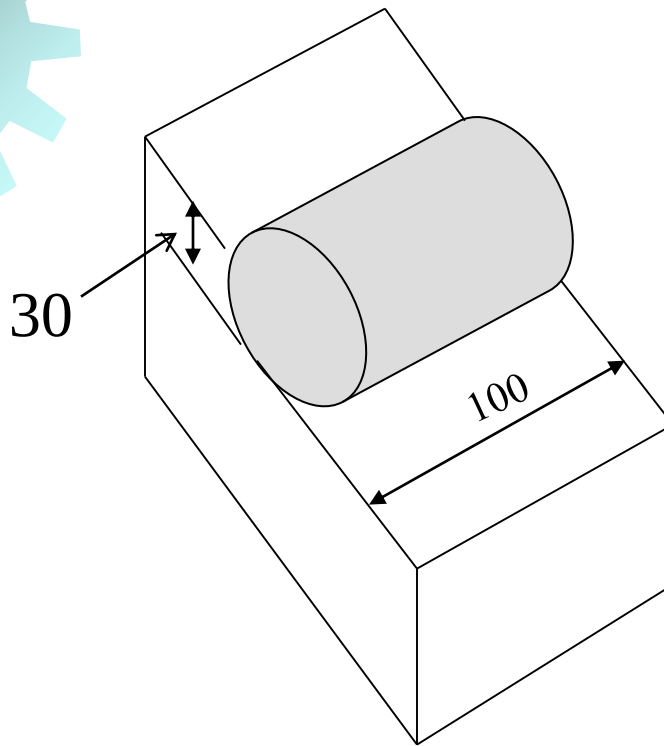
$$F_{c2} = K_{s1} \cdot b \cdot (h_2)^{1-z} = K_{s1} \cdot b \cdot (f_z \cdot \sin \Psi_2)^{1-z}$$

$$\text{Se } \Psi_1 = \Psi_o$$

$$\Psi_2 = \Psi_o - (360/Z)$$

Força e Potência no Fresamento Tangencial

Exemplo



Material da peça: Aço St70

Fresa: Aço rápido

$D = 150 \text{ mm}$

$Z = 12 \text{ dentes}$

Condições de corte

$v_c = 25 \text{ m/min}$

$f_z = 0,1 \text{ mm/dente}$

$a_e = 30 \text{ mm}; b = a_p = 100 \text{ mm}$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

Cálculo de F_{cmax}

$$F_c = K_{s1} \cdot h^{(1-z)} \cdot b$$

$$F_c = F_{cmax} \quad \Leftrightarrow \quad h = h_{max} = f_z \cdot \text{sen } \Psi_o$$

$$\cos \Psi_o = 1 - (2ae)/D = 1 - (60)/150 = 0,6$$

$$\Psi_o = 53^\circ \quad \text{e} \quad \text{sen } \Psi_o = 0,8$$

$$h_{max} = f_z \cdot \text{sen } \Psi_o = 0,1 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{ll} \text{St 70} & \text{Tabela} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} K_{s1} = 220 \text{ kgf/mm}^2 \\ 1-z = 0,80 \end{array} \right.$$

Força e Potência no Fresamento Tangencial

Tab. V.1- Valores da pressão específica de corte para o fresamento, segundo Kienzle - Haidt | 14 |

Nº	Material Especificação	Resistência σ_t Kg*/mm ² ou Dureza HB	Ângulo de Saída γ_c/γ°	Expoente ^{*)} 1 - z	Pressão espec. de corte ^{**)} k _{s1}	Valor aproximado pressão espec. k _s kg/mm ²									
						Espessura de corte h (mm)									
						0,025	0,04	0,063	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	
1	St50.11	52	-79/129	0,74	205	535	475	425	375	330	295	260	230	205	
2	C35	58	-79/129	0,80	195	405	370	340	310	280	255	235	215	195	
3	St60.11	62	-79/129	0,83	220	415	380	350	325	300	280	260	240	220	
4	St70.11	75	-79/129	0,80	270	460	420	380	350	320	290	265	240	220	
5	CK45	67	-79/129	0,86	230	385	360	340	320	300	280	260	245	230	
6	CK60	77	-79/129	0,82	220	425	390	360	330	305	280	260	240	220	
7	(aço fundido)	50 70	-79/129	0,82	180	350	320	295	270	250	235	220	200	180	
8	16MnCr5	77	-79/129	0,74	220	570	510	455	400	355	315	280	250	220	
9	18CrNi6	63	-79/129	0,70	230	695	605	525	460	400	350	300	265	230	
10	37MnSi5	72	-79/129	0,80	235	490	450	405	370	340	310	280	255	235	
11	42CrMo4	73	-79/129	0,74	260	675	600	535	475	420	370	330	290	260	
12	34CrMo4	60	-79/129	0,79	230	495	455	415	375	340	310	280	255	230	
13	50CrNiMo8	76	-79/129	0,80	270	565	515	470	425	390	355	325	295	270	
14	50CrV4	60	-79/129	0,74	230	600	530	475	420	370	330	290	260	230	
15	55NiCrMoV6	94	-79/129	0,76	180	440	390	350	315	280	250	225	200	180	
16	55NiCrMoV6	HB-352	-79/129	0,76	200	490	435	385	350	310	280	250	225	200	
17	ECMo	59	-79/129	0,83	240	450	415	380	355	330	305	280	260	240	
18	Meehanite A	36	89	0,74	115	300	265	235	210	185	165	145	130	115	
19	Fofo duro	HRC=46	29/89	0,81	210	420	390	355	325	300	275	250	230	210	
20	Fofo GG26	HB=200	89	0,75	105	270	240	215	190	170	150	135	120	105	

OBSERVAÇÕES:

*)valores aproximadamente iguais ao do torneamento.

**)valores um pouco maiores do que os correspondentes ao torneamento.



Força e Potência no Fresamento Tangencial

St 70
kgf/mm²

$$K_{s1} = 220$$

$$1-z = 0,80$$

Substituindo e calculando:

$$F_{\text{cmax}} = 220 \cdot (0,08)^{0,8} \cdot 100 = 2916 \text{ Kgf}$$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

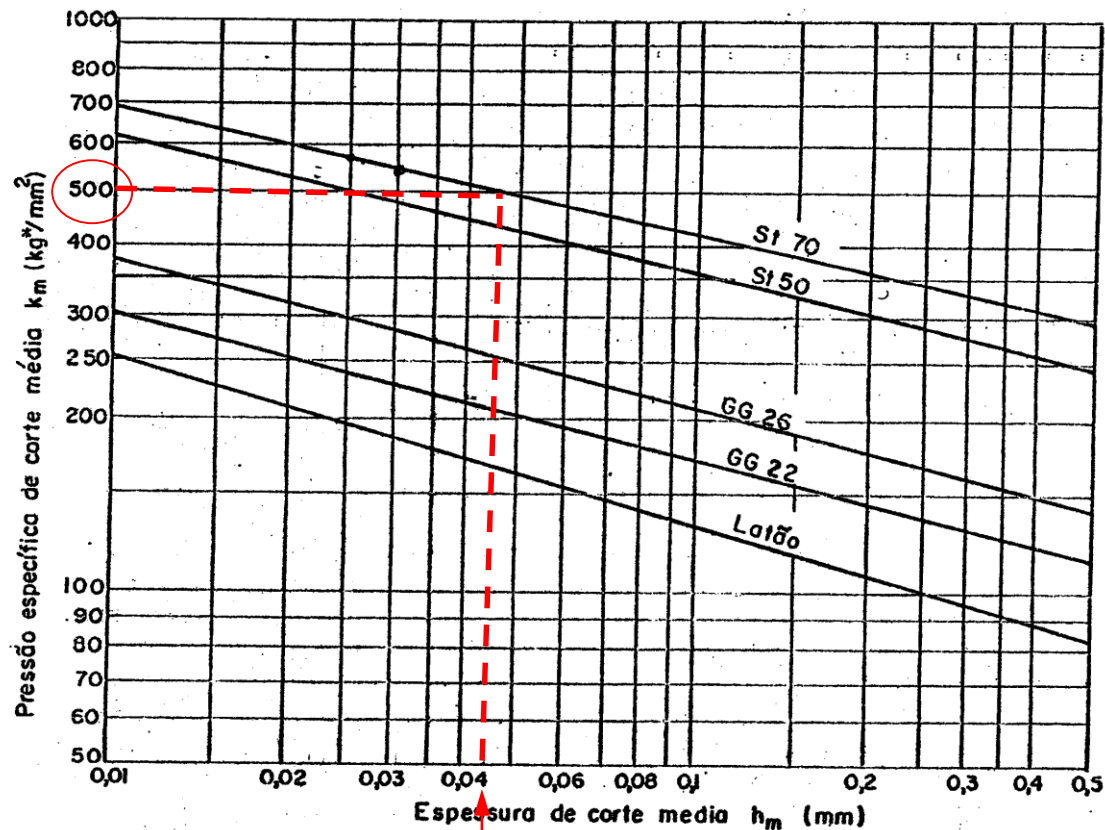
Cálculo de F_{cmax}

$$F_{cmax} = K_m \cdot h \cdot b \quad K_m \text{ é dado em função de } h_m$$

$$h_m = fz \cdot \sin(\Psi_o / 2) = 0,1 \cdot \sin(53/2) = 0,045 \text{ mm}$$

$$h_m = 0,045 \text{ mm} \Rightarrow K_m = 500 \text{ Kgf/mm}^2 \text{ (Tabelado)}$$

Força e Potência no Fresamento Tangencial



Equivalência aproximada dos materiais		
DIN	ABNT	Tipo do material
Sf50 St70	1030 - 1035 1050 - 1060	Aço carbono
GG22 GG26	FF20 FF25	Ferro fundido

Fig. 5.2 : Determinação da pressão específica de corte média k_m segundo Graupner.

$h_m = 0,045$ mm

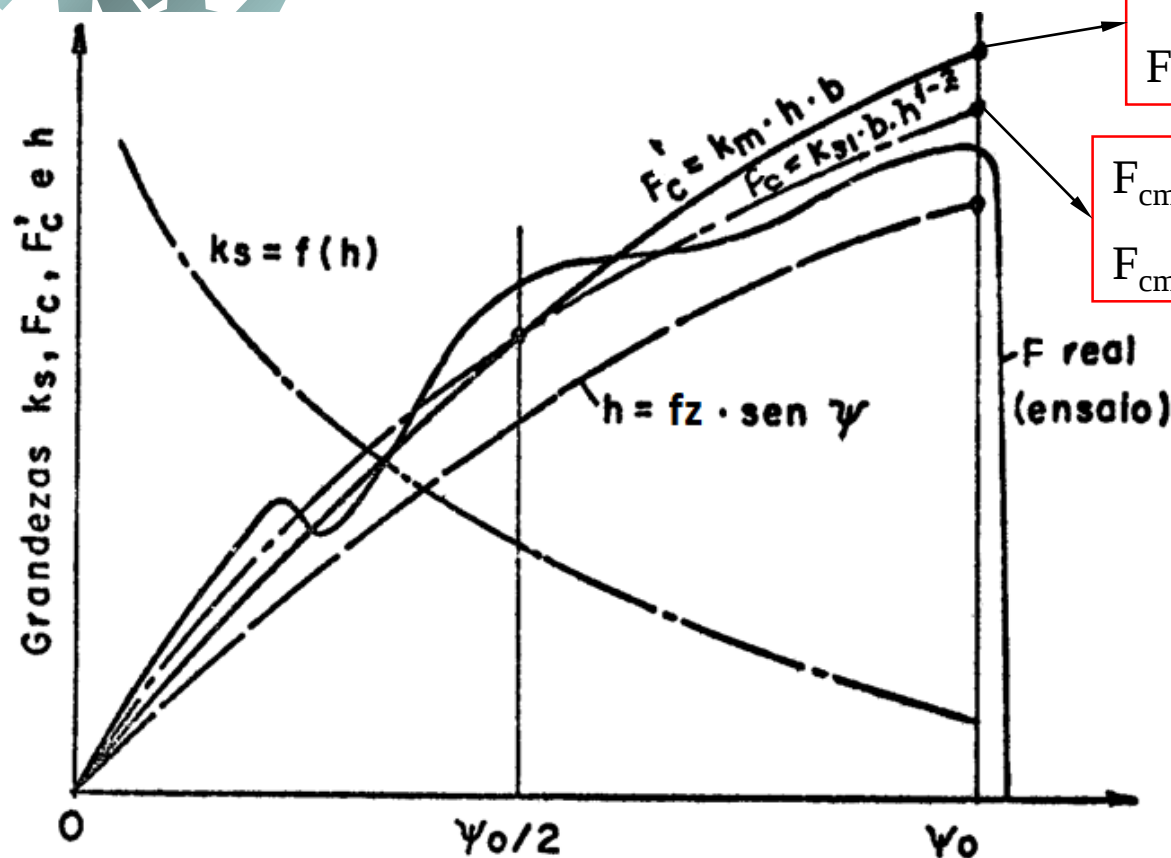


Força e Potência no Fresamento Tangencial

Portanto, F_{cmax}

$$F_{cmax} = 500 \cdot 0,08 \cdot 100 = 4000 \text{ Kgf}$$

Força e Potência no Fresamento Tangencial



$$F'_{cmax} = K_m \cdot h \cdot b$$

$$F'_{cmax} = 500 \cdot 0,08 \cdot 100 = 4000 \text{ Kgf}$$

$$F_{cmax} = K_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$$

$$F_{cmax} = 220 \cdot (0,08)^{0,8} \cdot 100 = 2916 \text{ Kgf}$$



Força e Potência no Fresamento Tangencial

Cálculo da Potência de Corte P_c

$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot K_m \cdot b \cdot a_e \cdot v_f$$

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot Z \cdot n \quad \text{e} \quad n = (1000 \cdot v_c) / (\pi \cdot D)$$

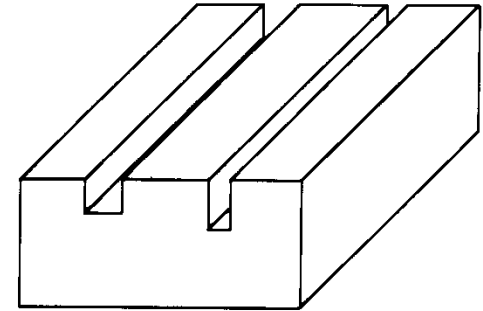
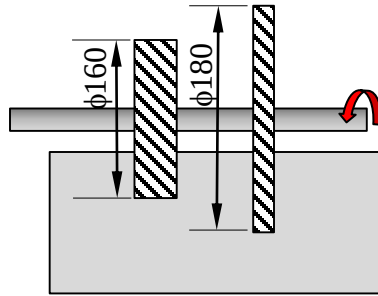
$$n = (1000 \cdot 25) / (\pi \cdot 150) = 53 \text{ rpm}$$

$$v_f = 0,1 \cdot 12 \cdot 53 = 64 \text{ mm/min} \quad \text{logo,}$$

$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot 500 \cdot 100 \cdot 30 \cdot 64 = 21,3 \text{ CV}$$

Exercício

Os dois rasgos mostrados na figura devem ser feitos simultaneamente por duas fresas em um único passe. Será utilizada uma fresadora horizontal e as duas fresas serão fixadas em um eixo porta-fresa. O rasgo da esquerda tem 20 mm de altura por 20 mm de largura e o rasgo da direita tem 30 mm de altura por 10 mm de largura. O material da peça, as condições de usinagem e os dados das fresas são dados abaixo. Pede-se:



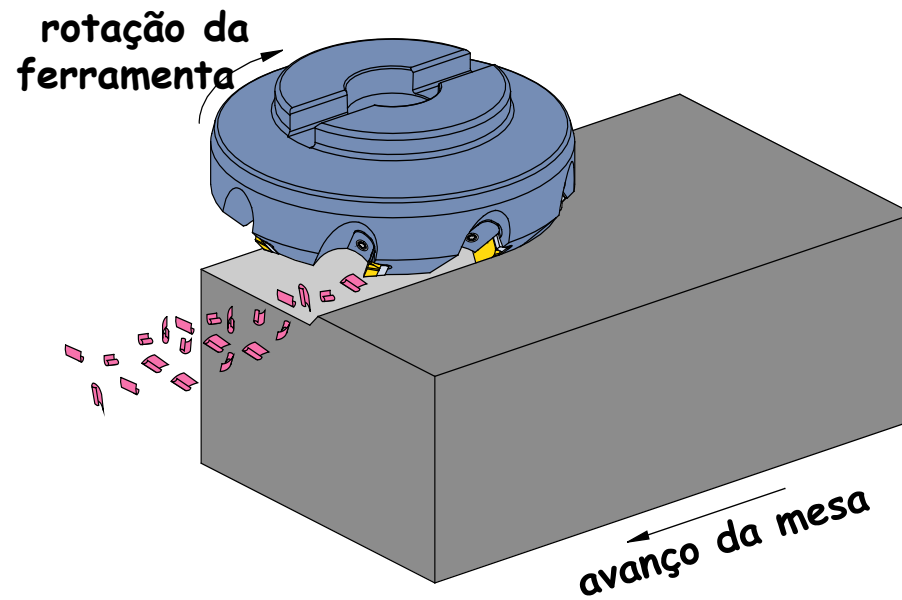
- a) A potência necessária do motor da fresadora para realizar a operação ($\eta=0,85$)
- b) O máximo momento de torção agindo no eixo da fresadora
- c) O tempo de corte t_c sabendo-se que o comprimento da peça é de 500 mm.

Material da peça: Aço ABNT 1050

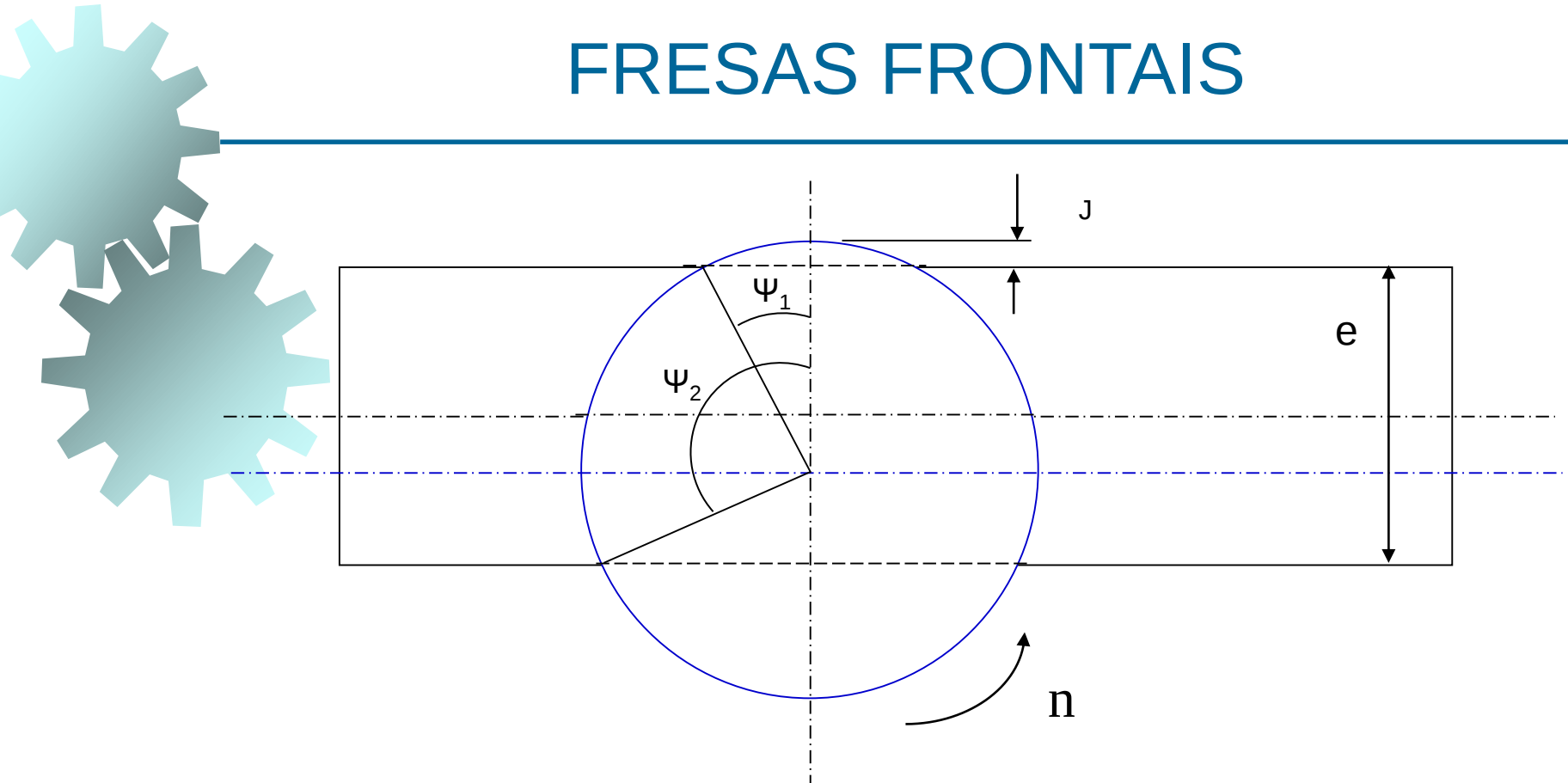
Fresas: $D_1 = 160$ mm e $Z = 10$ e $D_2 = 180$ mm e $Z = 12$

Condições de corte: $V_c = 30$ m/min e $V_f = 140$ mm/min

Força e Potência no Fresamento Frontal



FRESAS FRONTAIS



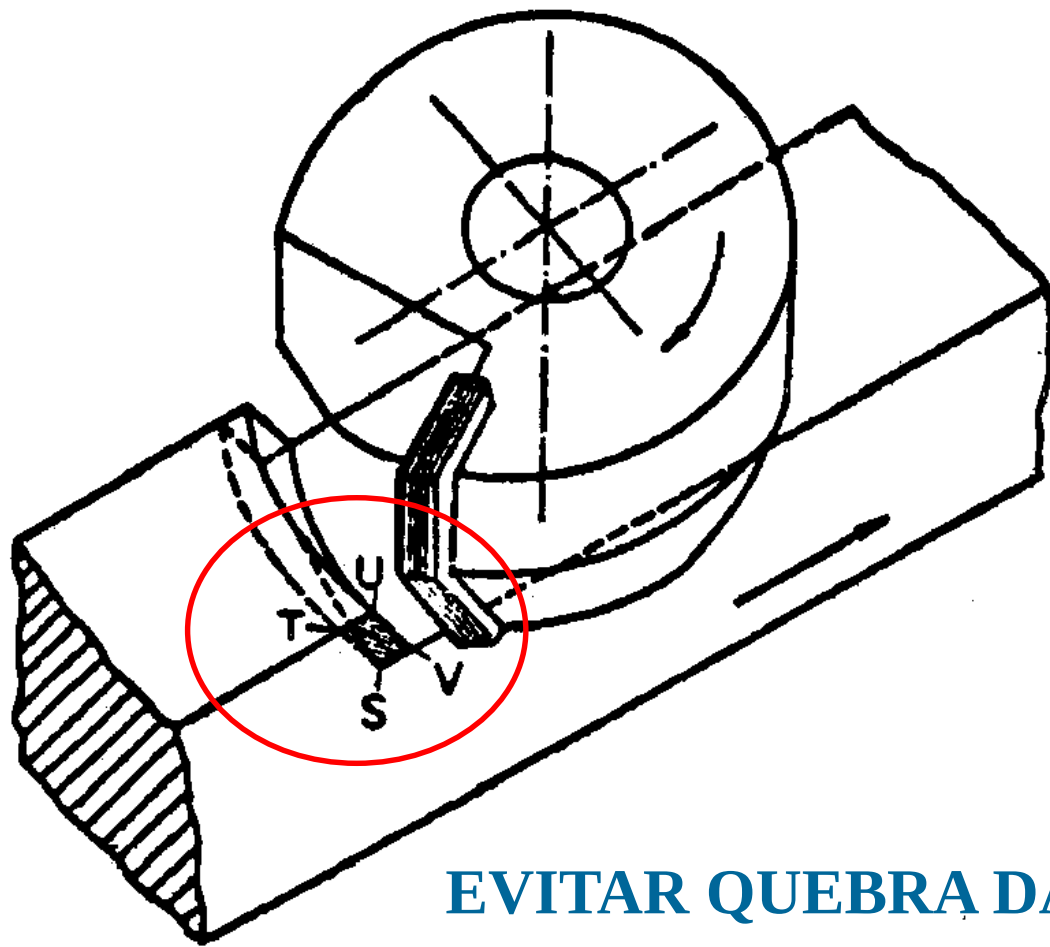
$D = 1,33e$, para fofo e aço fundido

$D = 1,66e$, para aço

Distância de Ajustagem

$J = 0,05D$

Tempo de Choque

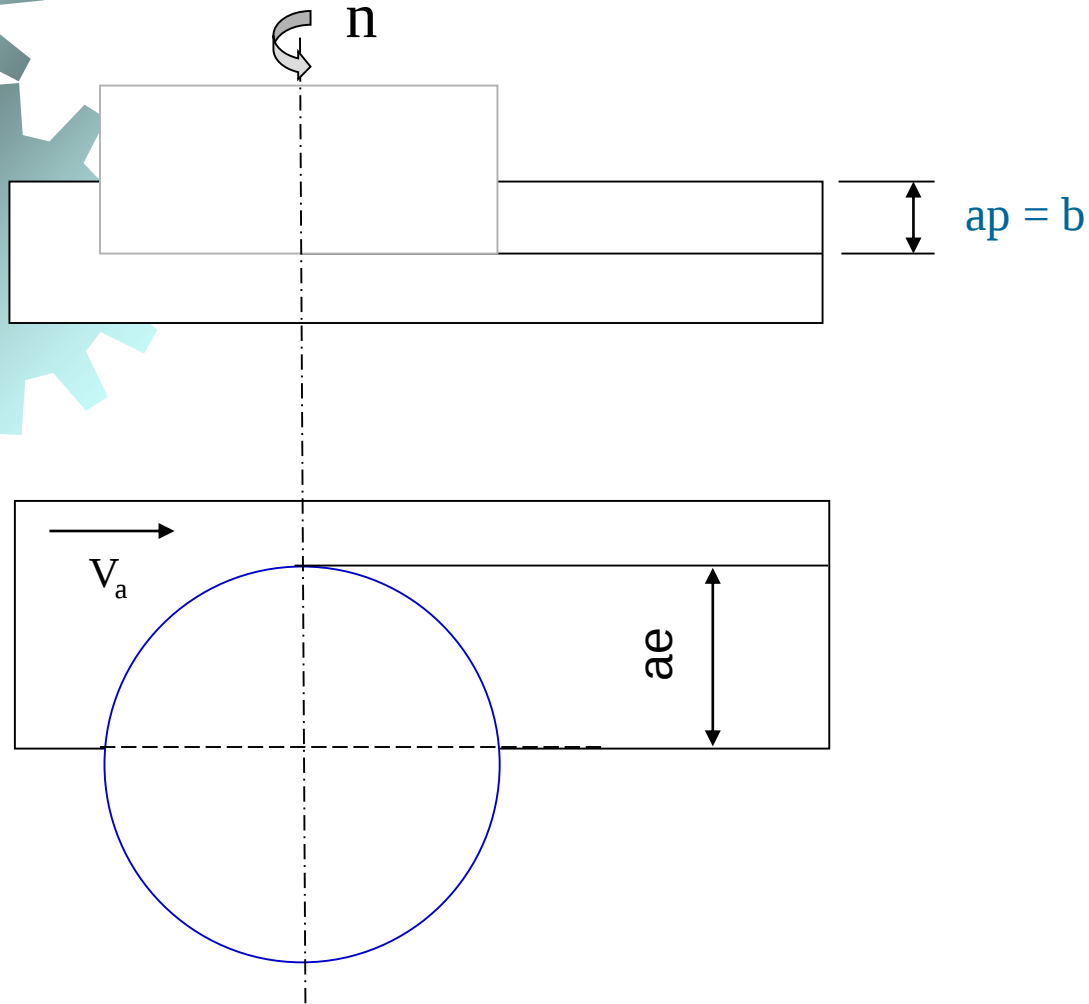


Pontos U e V devem ser os primeiros pontos de contato da ferramenta na peça.

Pontos T e S devem entrar em contato com a ferramenta por último

EVITAR QUEBRA DA PONTA DA PASTILHA

GRANDEZAS DE CORTE



ae = prof. radial

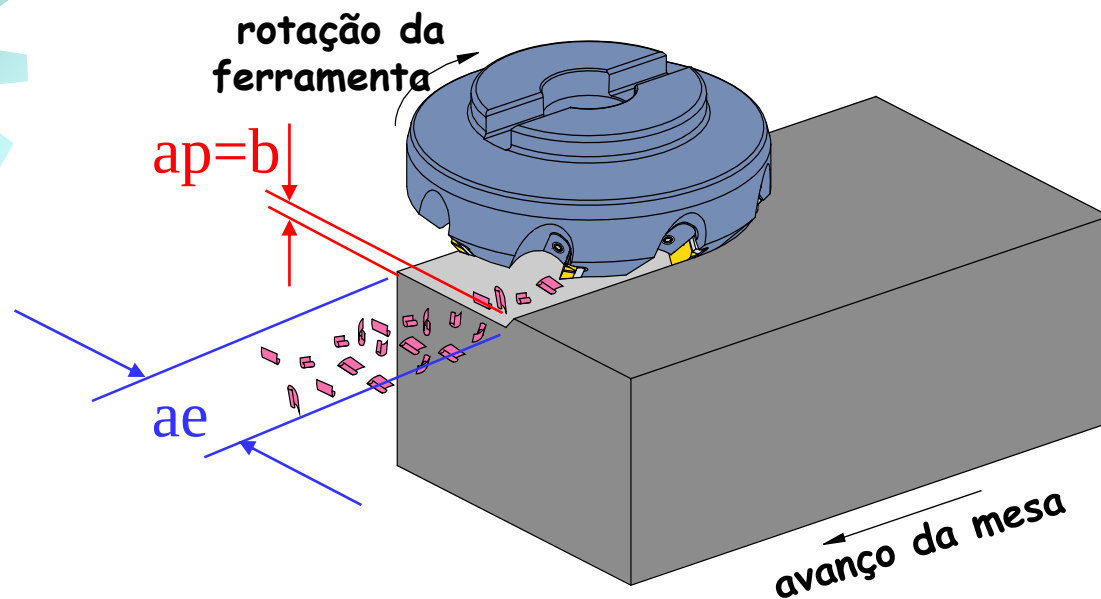
ap = profundidade de corte

b = largura do corte

V_a = velocidade de avanço

n = rotação da fresa

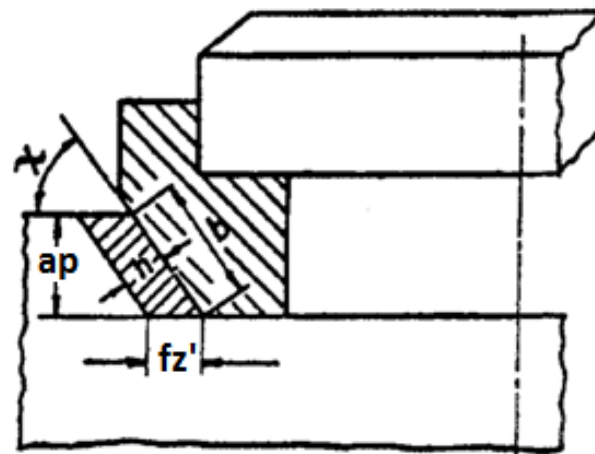
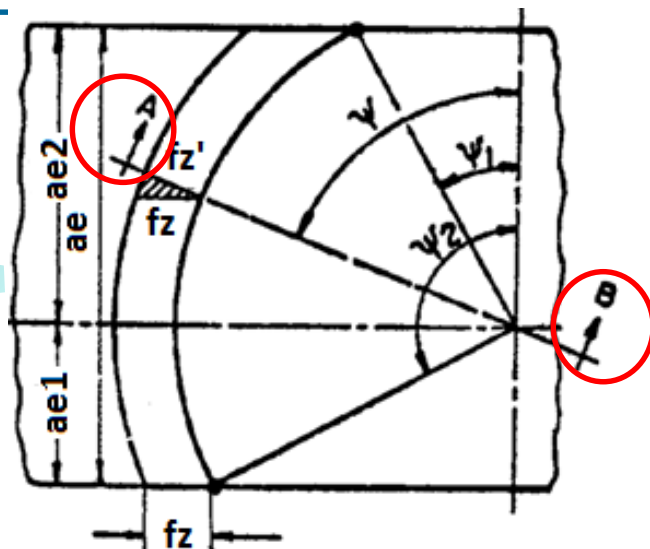
GRANDEZAS DE CORTE



ap = profundidade de corte

ae = prof. radial

Força e Potência no Fresamento Frontal



Corte A-B $\rightarrow \sin \chi = ap/b$

$$f_z' = f_z \cdot \sin \psi$$

$$h = f_z' \cdot \sin \chi$$

logo
$$h = f_z \cdot (\sin \chi) (\sin \psi)$$

χ = Ângulo de posição

ψ Ângulo de contato



Força e Potência no Fresamento Frontal

$$F_c = K_s hb$$

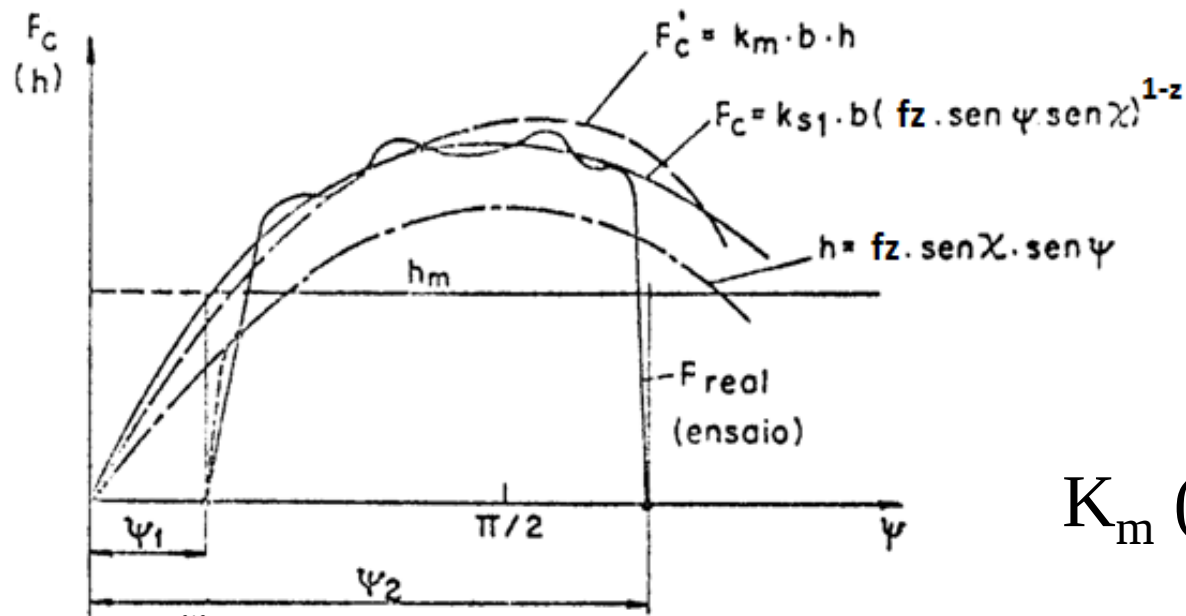
Segundo Kienzle $\longrightarrow K_s = K_{s1} h^{-z}$

$$F_c = K_{s1} \cdot b \cdot h^{1-z} \quad \text{ou ainda}$$

$$F_c = K_{s1} \cdot b \cdot (fz \cdot \text{sen} \chi \cdot \text{sen} \psi)^{1-z}$$

K_{s1} e $1-z$ (tabelados)

Espessura média do Cavaco



K_m (tabelado)

$$F'_c = K_m \cdot b \cdot h$$

$$h_m = \frac{\int_{\psi_1}^{\psi_2} h d\psi}{\psi_2 - \psi_1} = \frac{1}{\psi_2 - \psi_1} \int_{\psi_1}^{\psi_2} (f_z \sin \chi \sin \psi) d\psi$$

$$h_m = \frac{1}{\psi_2 - \psi_1} f_z \sin \chi (\cos \psi_1 - \cos \psi_2)$$

- Força Média de Corte F_c

$$F_c = K_m b h$$

$$K_m = f(h_m) \longrightarrow \text{Fig. 5.2}$$

$$h_m = \frac{1}{\psi_2 - \psi_1} \cdot f_z \cdot \text{sen} \chi \cdot (\cos \psi_1 - \cos \psi_2)$$

Ψ_1 e Ψ_2 são dados em radianos



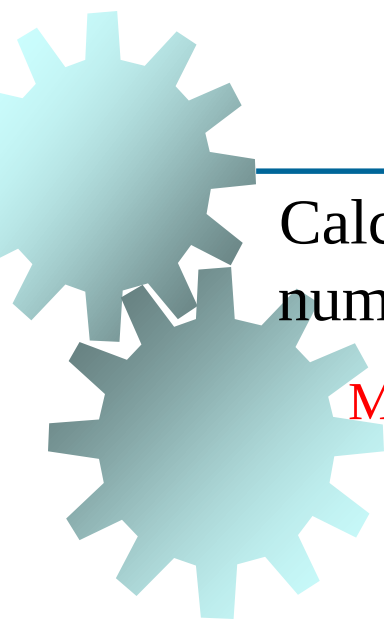
Força e Potência no Fresamento Frontal

Potência de Corte (P_c)

$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot K_m \cdot a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

$$v_f = f \cdot n = fz \cdot Z \cdot n \quad \text{e} \quad n = (1000 \cdot v_c) / (\pi \cdot D)$$

As fórmulas para calcular P_c para fresamento frontal e tangencial são idênticas exceto pelo método de se calcular K_m , pois $K_m = f(h_m)$.



Exemplo de Aplicação

Calcular a potência consumida pelo motor de acionamento, numa operação de fresamento frontal com os dados abaixo.

Material da peça: Aço Carbono com 200 HB ($\sigma_t = 67 \text{ Kgf/mm}^2$)

Condições de usinagem:

Profundidade de usinagem ou largura de corte: $a_p = b = 3,0 \text{ mm}$

Velocidade de avanço: 300 mm/min

Espessura de penetração: $a_e = 100 \text{ mm}$

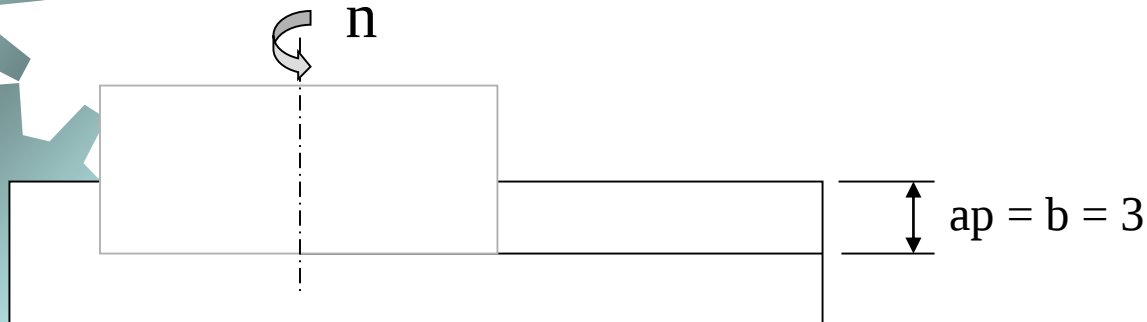
Velocidade de corte: $V_c = 120 \text{ m/min}$

Avanço por dente f_z : $0,16 \text{ mm/dente}$

Fresadora: fresadora vertical com rendimento de 55%

Fresa: fresa frontal de metal duro com 250 mm de diâmetro, 12 dentes e ângulo de posição $\chi = 90^\circ$

Solução



$$ae = 100 \text{ mm}$$

$$ap = 3 \text{ mm}$$

$$b = 3 \text{ mm}$$

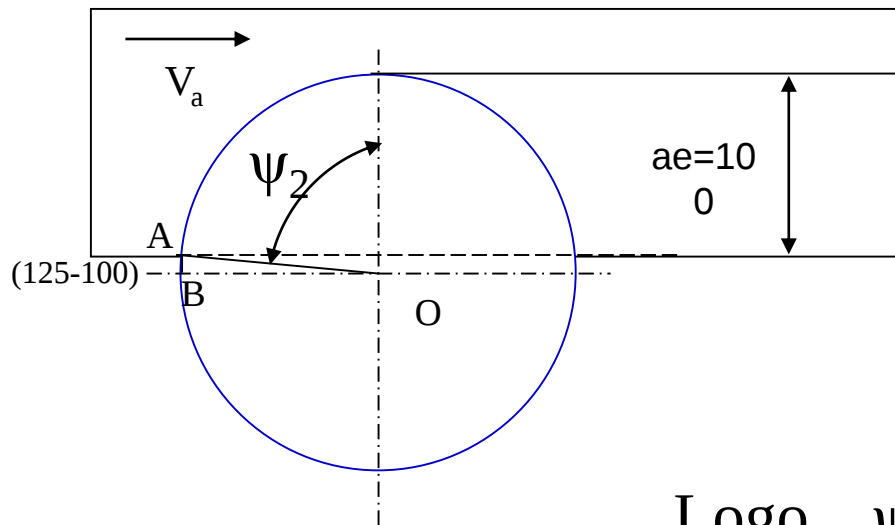
$$V_f = 300 \text{ mm/min}$$

n = rotação da fresa

Do $\triangle ABO$

$$\text{sen } \hat{O} = AB/AO$$

$$\text{sen } \hat{O} = (125-100)/125 = 0,2 \rightarrow \hat{O} = 11,5^\circ$$



$$\text{Logo } \psi = 90 - 11,5 = 78,5^\circ = 1,37 \text{ rd}$$

Solução – Potência Média

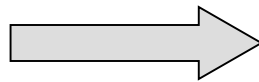
$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot K_m \cdot a_e \cdot a_p \cdot v_f$$

$$h_m = \frac{1}{\psi_2 - \psi_1} \cdot f_z \cdot \text{sen} \chi \cdot (\cos \psi_1 - \cos \psi_2)$$

$$h_m = \frac{1}{1,37 - 0} (0,16) \cdot \text{sen}(90) \cdot (\cos 0 - \cos 78,5) = 0,0935 \text{ mm}$$

$h_m = 0,10 \text{ mm}$
Aço 67 Kgf/mm²

Fig. 5.2



$K_m = 400 \text{ Kgf/mm}^2$

$$P_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot 400 \cdot 100 \cdot 3 \cdot 300 \rightarrow$$

$$P_c = 8,0 \text{ CV e } P_m = 16 \text{ CV}$$

Solução – Potência Máxima

Fresa com 12 dentes. Portanto, 1 dente a cada 30°

$$h = f_z \cdot \sin \chi \cdot \sin \psi \rightarrow \chi = 90^\circ$$

$$h_1 = 0,16 \text{ mm}$$

$$h_2 = 0,12 \text{ mm}$$

$$h_3 = 0,05 \text{ mm}$$

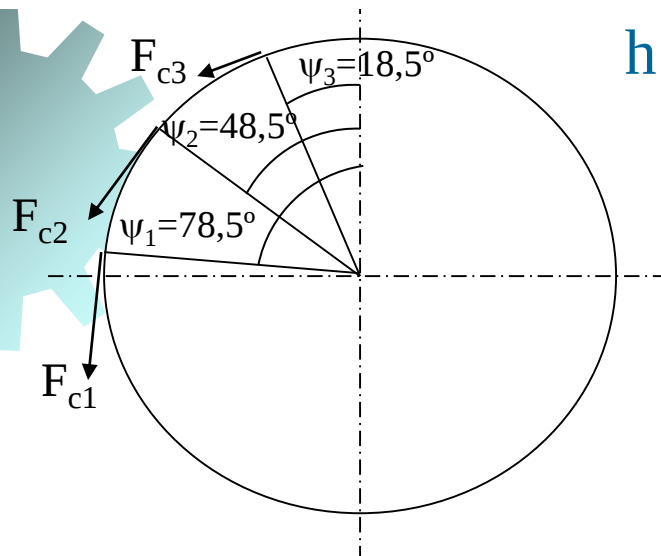


Tabela V.1 $\rightarrow K_{s1} = 230 \text{ Kgf/mm}^2$ e $1-z = 0,86$

Aço Carbono com 200 HB ($\sigma_t = 67 \text{ Kgf/mm}^2$)

$$F_c = K_{s1} b h^{1-z}$$

$$F_{c1} = 142,7 \text{ Kgf}$$

$$F_{c2} = 111,4 \text{ Kgf}$$

$$F_{c3} = 52,5 \text{ Kgf}$$

$$P_c = \frac{F_c \times V_c}{60 \times 75}$$

$$P_{c\text{máx}} = 8,2 \text{ CV e}$$

$$P_m = 16,8 \text{ CV}$$

Tab. V.1- Valores da pressão específica de corte para o fresamento, segundo Kienzle - Haidt | 14 |

Nº	Material Especificação	Resistência σ_t Kg*/mm ² ou Dureza HB	Ângulo de Saída γ_c/γ°	Expoente ^{*)} 1 - z	Pressão espec. de corte ^{**) k_{s1}}	Valor aproximado pressão espec. k _s kg/mm ²								
						Espessura de corte h (mm)								
						0,025	0,04	0,063	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0
1	St50.11	52	-79/129	0,74	205	535	475	425	375	330	295	260	230	205
2	C35	58	-79/129	0,80	195	405	370	340	310	280	255	235	215	195
3	St60.11	62	-79/129	0,83	220	415	380	350	325	300	280	260	240	220
4	St70.11	77	-79/129	0,80	220	460	420	380	350	320	290	265	240	220
5	CK45	67	-79/129	0,86	230	385	360	340	320	300	280	260	245	230
6	CK60	77	-79/129	0,82	220	425	390	360	330	305	280	260	240	220
7	(aço fundido)	50 70	-79/129	0,82	180	350	320	295	270	250	235	220	200	180
8	16MnCr5	77	-79/129	0,74	220	570	510	455	400	355	315	280	250	220
9	18CrNi6	63	-79/129	0,70	230	695	605	525	460	400	350	300	265	230
10	37MnSi5	72	-79/129	0,80	235	490	450	405	370	340	310	280	255	235
11	42CrMo4	73	-79/129	0,74	260	675	600	535	475	420	370	330	290	260
12	34CrMo4	60	-79/129	0,79	230	495	455	415	375	340	310	280	255	230
13	50CrNiMo8	76	-79/129	0,80	270	565	515	470	425	390	355	325	295	270
14	50CrV4	60	-79/129	0,74	230	600	530	475	420	370	330	290	260	230
15	55NiCrMoV6	94	-79/129	0,76	180	440	390	350	315	280	250	225	200	180
16	55NiCrMoV6	HB-352	-79/129	0,76	200	490	435	385	350	310	280	250	225	200
17	ECMo	59	-79/129	0,83	240	450	415	380	355	330	305	280	260	240
18	Meehanite A	36	89	0,74	115	300	265	235	210	185	165	145	130	115
19	Fofo duro	HRC=46	29/89	0,81	210	420	390	355	325	300	275	250	230	210
20	Fofo GG26	HB=200	89	0,75	105	270	240	215	190	170	150	135	120	105

OBSERVAÇÕES:

*) valores aproximadamente iguais ao do torneamento.

**) valores um pouco maiores do que os correspondentes ao torneamento.

Condições de Operação



Acabamento de Superfície através de fresamento

Valores de referência: 0,4 até 50 μm Ra

Valores comuns: 0,8 até 12,5 μm

<i>Rugosidade Ra (μm)</i>	Graduação de Rugosidade
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

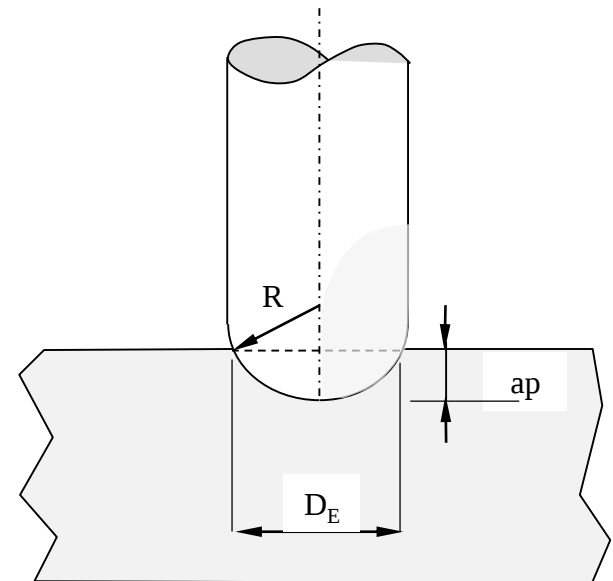
Cinemática de corte com ponta esférica

$$D_E = 2 \times \sqrt{R^2 - (R - ap)^2}$$

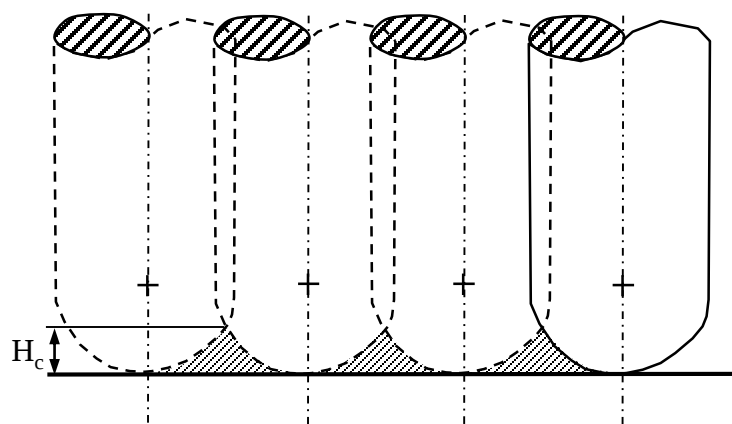
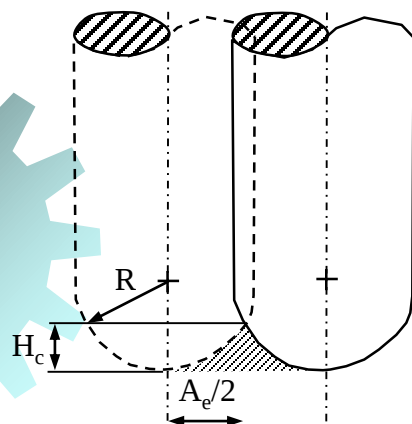
D_E = Diâmetro Operacional

R = Raio da Ferramenta

ap = Profundidade Axial de corte



Cinemática de corte com ponta esférica



A Altura da cúspide pode ser estimada:

$$H_c = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{Ae}{2}\right)^2}$$

ou

$$Ae = 2\sqrt{R^2 - (R - H_c)^2}$$

Hc: Altura da cúspide

R: Raio de ponta

Ae: valor da superposição entre dois passos de corte

A correlação entre Hc e Ra é aproximadamente:

Hc (μm)	0,2	0,4	0,7	1,25	2,2	4	8	12,5	25	32	50	63	100
Ra (μm)	0,03	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	8	12,5	16	25

Ra é aproximadamente 25% de Hc

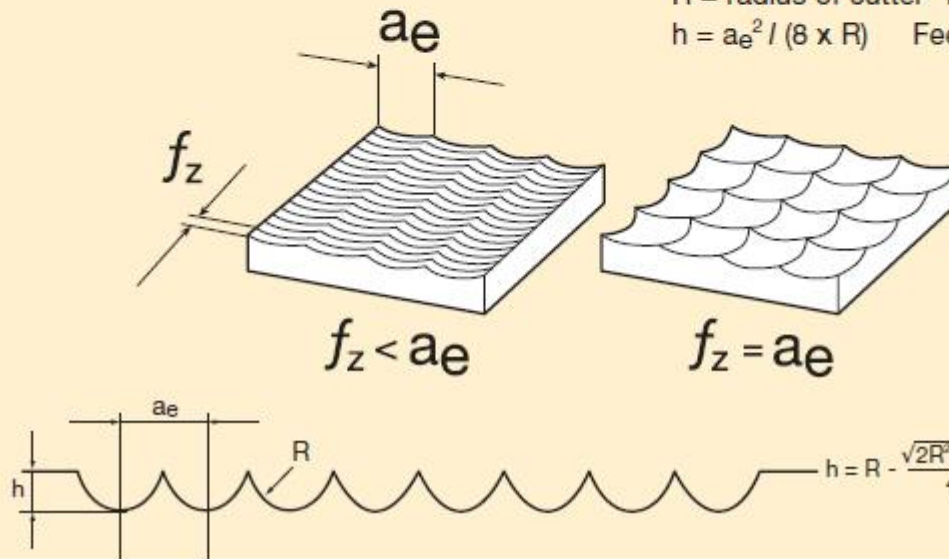
Cinemática de corte com ponta esférica



Spindle speed $n = 12000$ rpm, cutter diameter = 6 mm

f_z/a_e	0.05	0.075	0.1	0.15	0.2	0.25
Feed v_f	F1200	F1800	F2400	F3600	F4800	F6000
Cusp/h	h0.0001	h0.0002	h0.0004	h0.0009	h0.002	h0.003
Time (min)	10	4.44	2.50	1.11	0.62	0.40

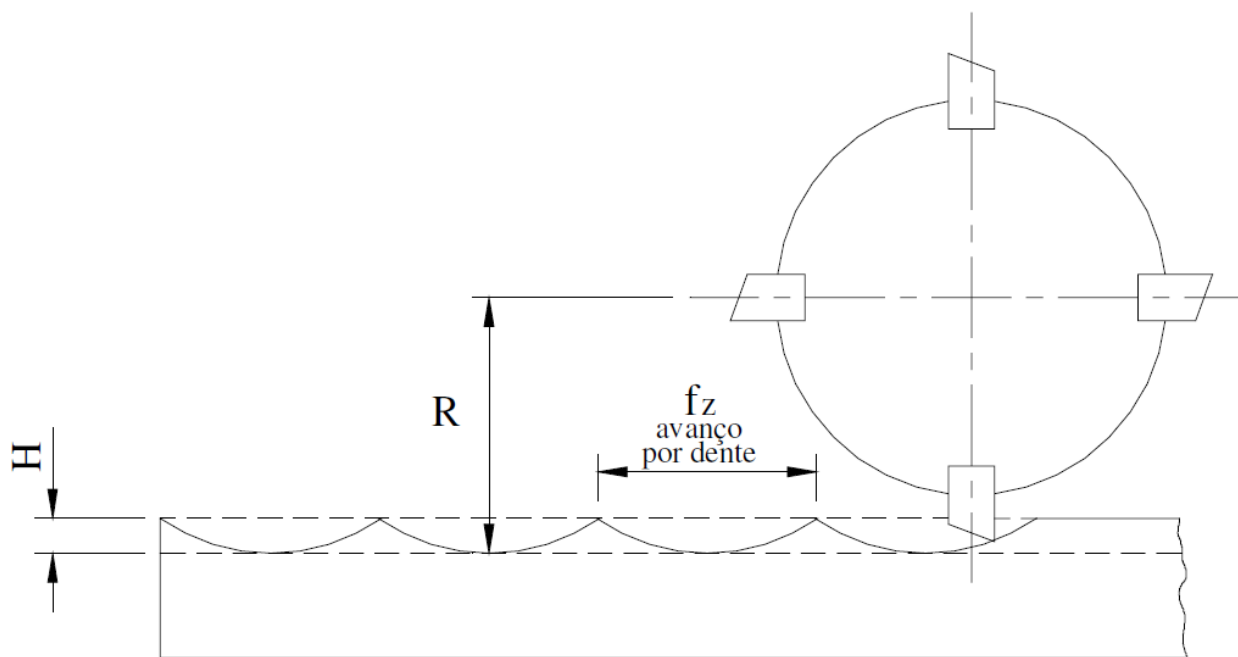
R = radius of cutter h = cusp height
 $h = a_e^2 / (8 \times R)$ Feed = Rpm $\times f_z \times z$



Rugosidade para o Fresamento Tangencial

$$R_{\max} = \frac{fz^2}{8 \cdot R}$$

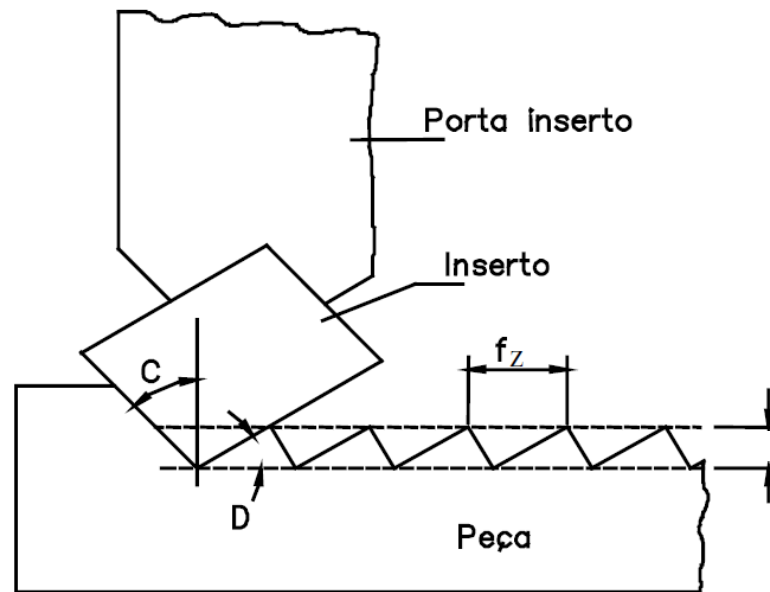
$$R_a = \frac{fz^2}{18\sqrt{3} \cdot R}$$



onde fz é o avanço por dente (mm/Z) e R é o raio da fresa

Rugosidade para o Fresamento Frontal

$$R_{\max} = \frac{f_z \cdot z}{\operatorname{tg}(C) + \cot g(D)}$$
$$R_a = \frac{Rp - \sqrt{Rp - \left(\frac{f_z}{2}\right)^2}}{2}$$



onde fz é o avanço por dente (mm/Z) e Rp é o raio de ponta da fresa

Solução de Problemas no Fresamento



Problema	Causa	Solução
Quebra	Remoção exagerada de material	Diminuir o avanço por faca
	Avanço elevado demais	Diminuir o avanço
	Comprimento dos canais ou total grandes demais	Introduzir mais a haste no porta-ferramenta, utilizar fresa de topo mais curta
Desgaste	Material da peça de trabalho duro demais	Verificar Catálogo ou Selector para ferramenta correta com material de classe mais elevada e/ou revestimento adequado
	Avanço e velocidade inadequados	Verificar Catálogo ou Selector para parâmetros de corte corretos
	Evacuação de cavacos deficientes	Reposicionar as linhas do refrigerante
	Fresamento convencional	Fresamento ascendente
	Hélice de corte inadequada	Ver recomendações no Catálogo/ Selector para alternativa correta de ferramenta
Escamação	Taxa de avanço elevada demais	Reduzir taxa de avanço
	Trepidação	Reduzir as RPM
	Baixa velocidade de corte	Aumentar as RPM
	Fresamento convencional	Fresamento ascendente
	Rigidez da ferramenta insuficiente	Escolher uma ferramenta mais curta e/ou colocar a haste mais para dentro do porta ferramentas
	Rigidez insuficiente da peça de trabalho	Fixar firmemente a peça de trabalho



Referências

Nelson, D.H.; Schneider Jr, G. **Applied Manufacturing Process Planning**. Prattice Hall, 720p, 2001.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 2. Ed. São Paulo: Artliber, 2000. 244 p.

FERRARESI, D. **Fundamento da usinagem dos metais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. 754 p.