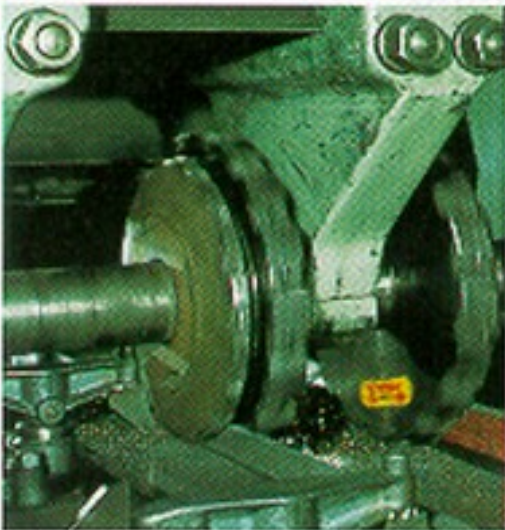
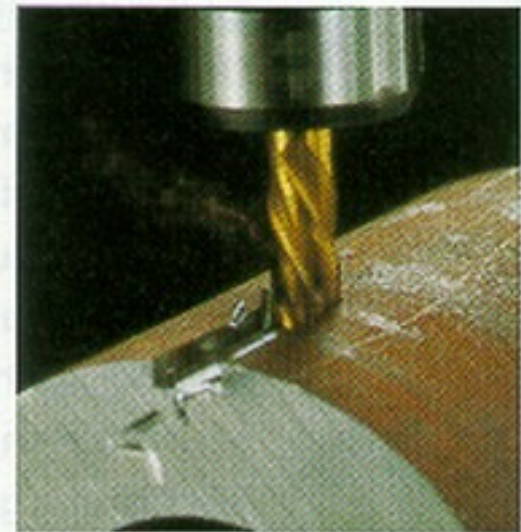


Aula 08

Processo de Fresamento

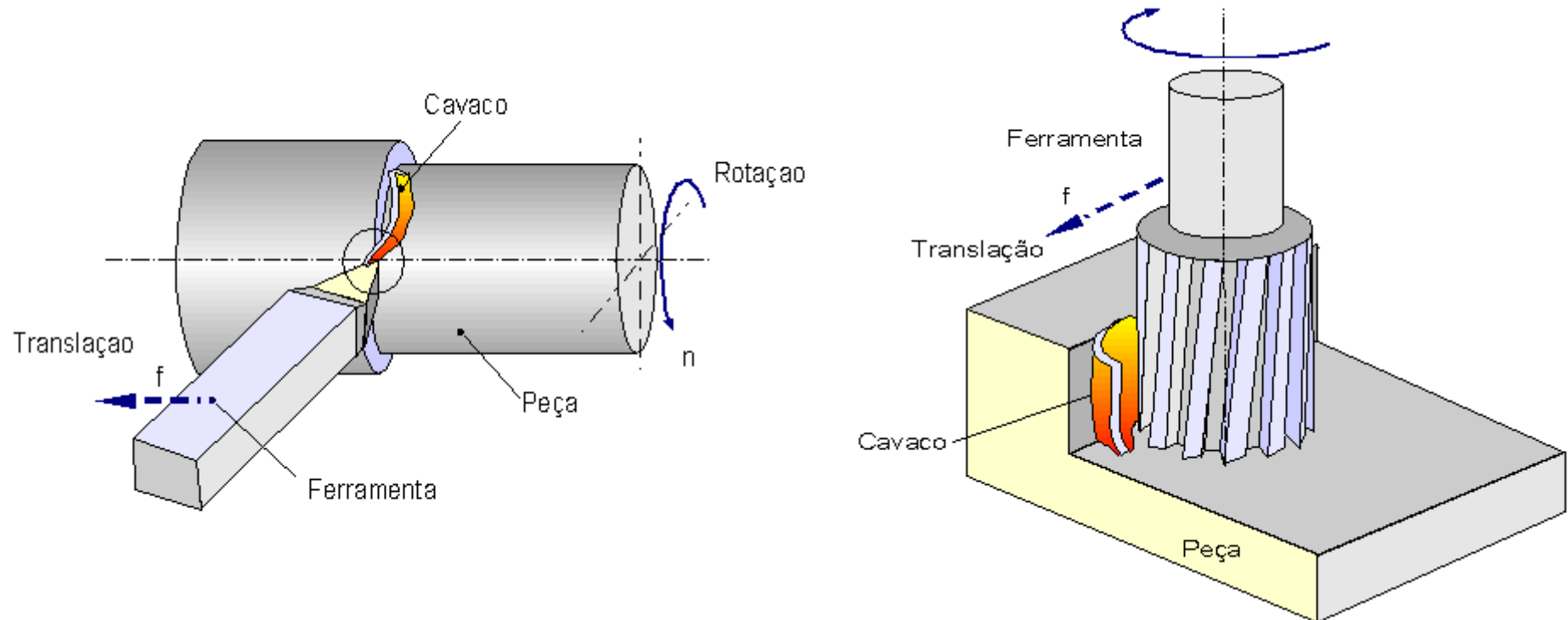
Fresamento



Generalidades do processo de fresamento

O fresamento se diferencia do torneamento pela sua:
cinemática

- torneamento peça rotaciona e ferramenta translada
- fresamento peça translada e ferramenta gira

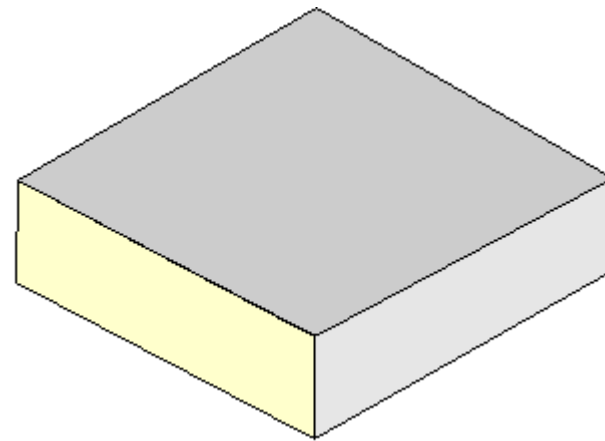
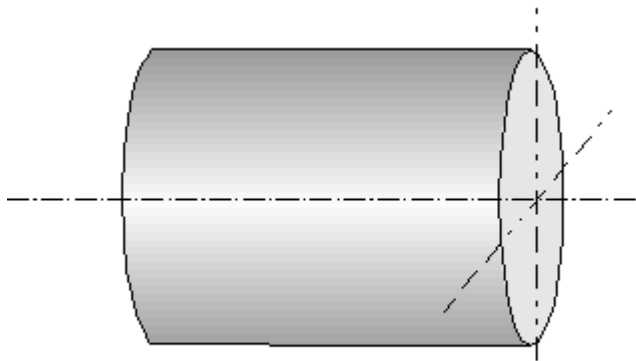


Generalidades do processo de fresamento

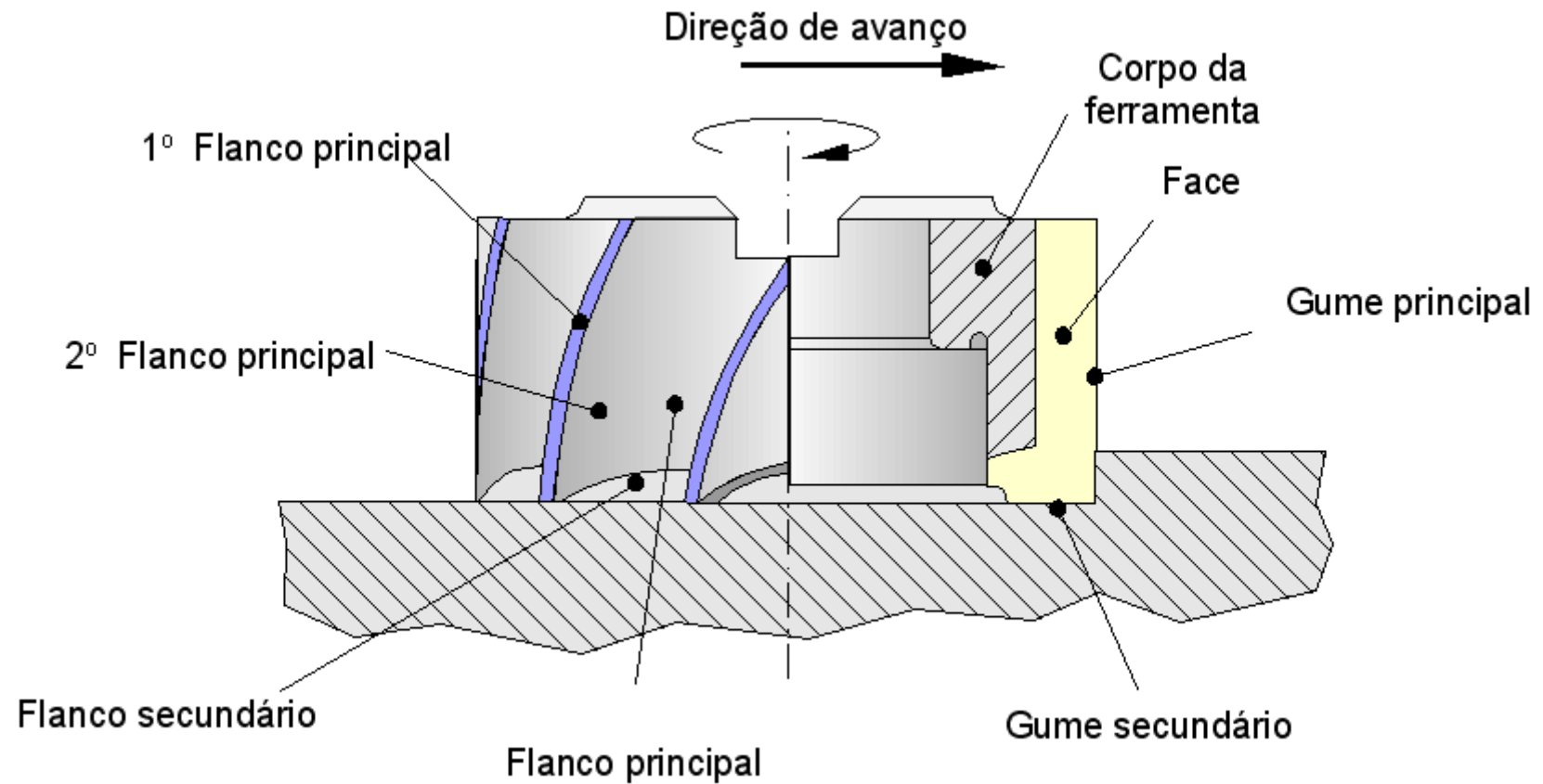
O fresamento se diferencia do torneamento pela sua:

formas geradas

- torneamento ==> peças com simetria de revolução
- fresamento ==> peças prismáticas



Características da fresa

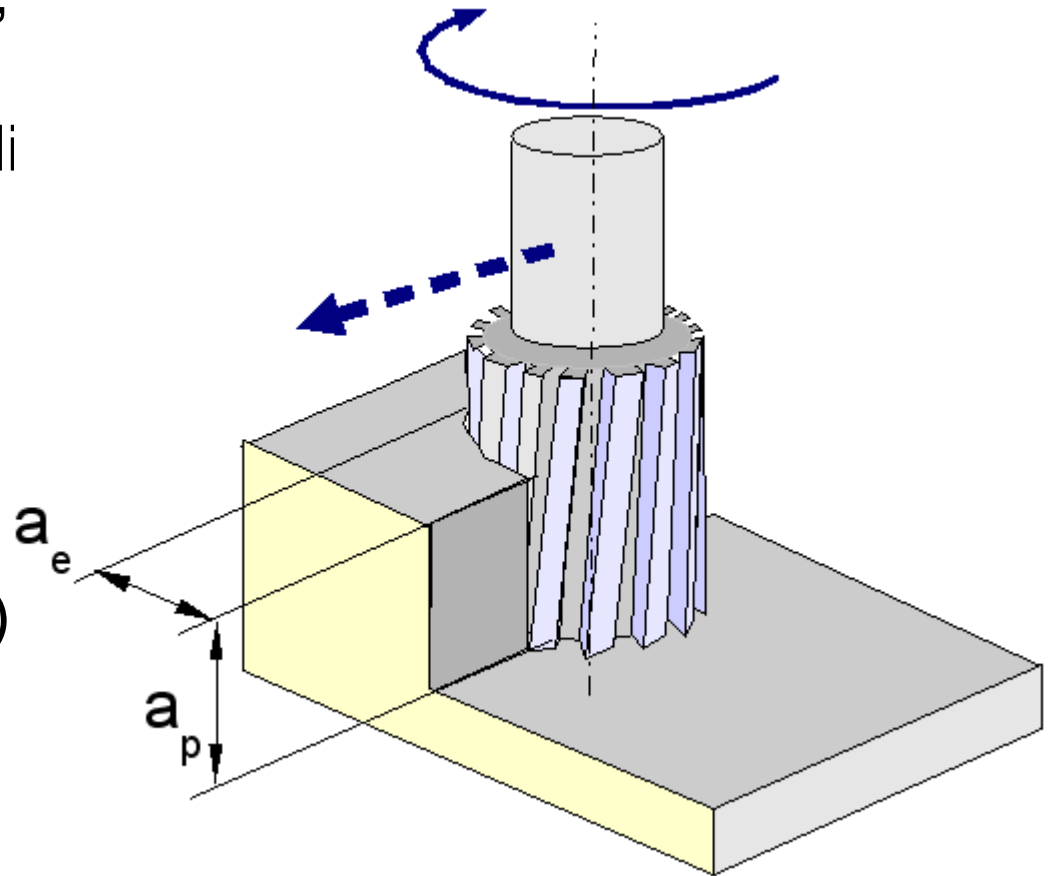


Generalidades do processo de fresamento

- Processo de remoção de cavaco com movimento de corte circular da ferramenta
 - Ferramenta com um ou vários gumes atuando simultaneamente para a geração de superfícies
 - Processo utilizado na geração de superfícies que não são de revolução, como as produzidas no torneamento
 - O movimento de corte transcorre de forma normal ou oblíqua à direção de rotação da ferramenta.
-

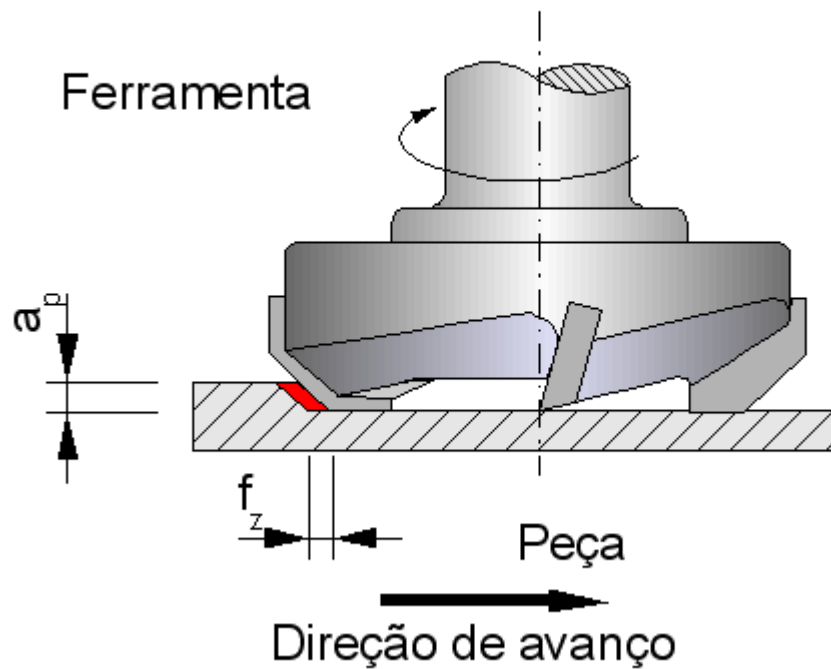
Parâmetros de usinagem no fresamento

- Informações gerais (v_c , f , a_p ,
- Fresamento concordante / di
- Diâmetro da fresa
- Número de dentes (Z)
- Penetração de trabalho (a_e)
- Avanço por dente (f_z)
- Ângulo de engajamento (definido por j_E e j_A)

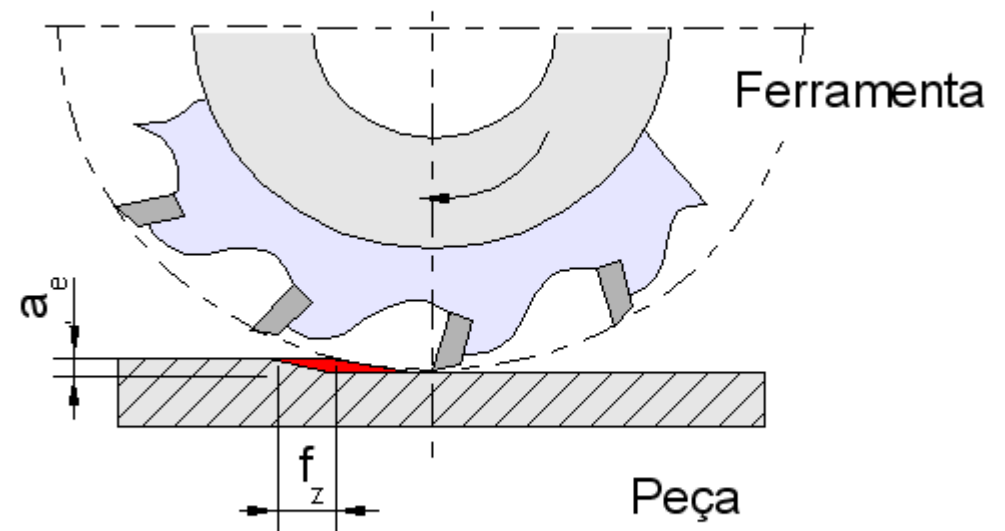


Fresamento segundo a posição da ferramenta

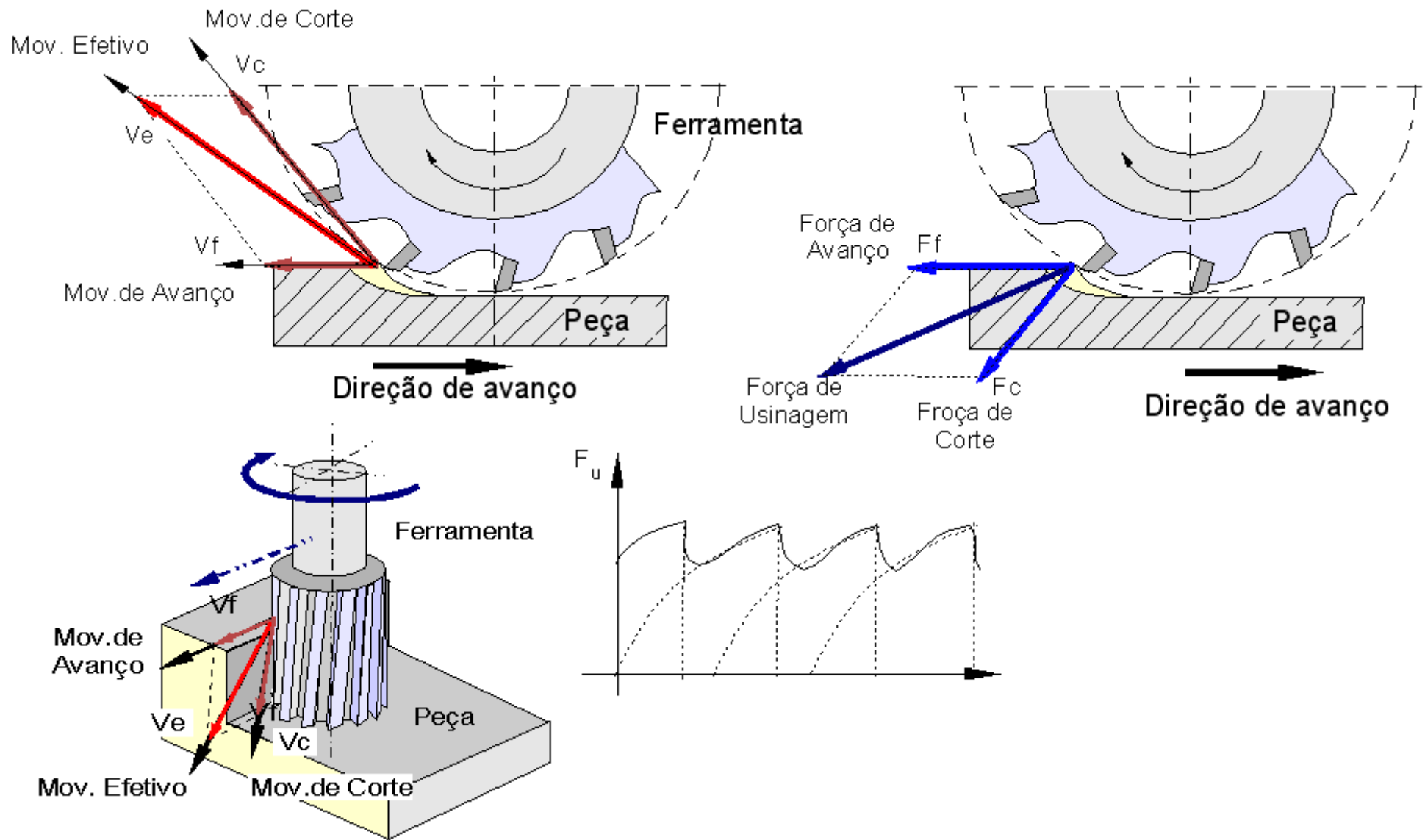
Fresamento Frontal



Fresamento Periférico



Movimentos e Forças no Fresamento



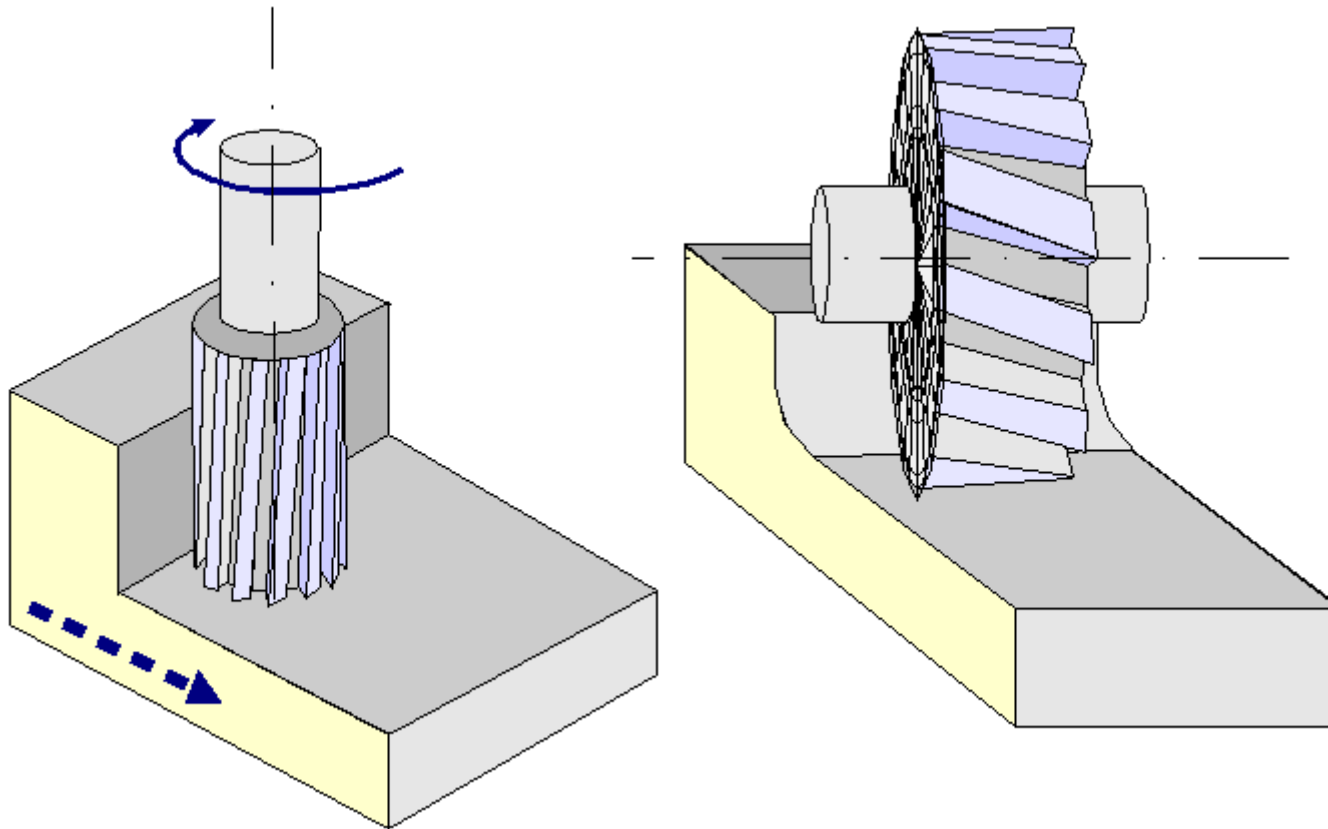
Generalidades do processo de fresamento

Divisão do processo de fresamento - norma DIN 8589

- Fresamento plano
 - Fresamento circular
 - Fresamento de forma
 - Fresamento de geração (engrenagens)
 - Fresamento de perfil
-

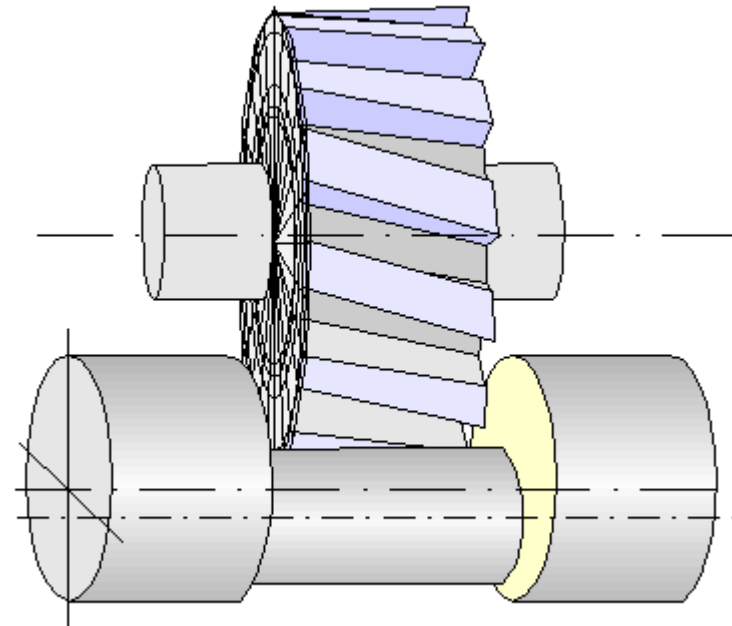
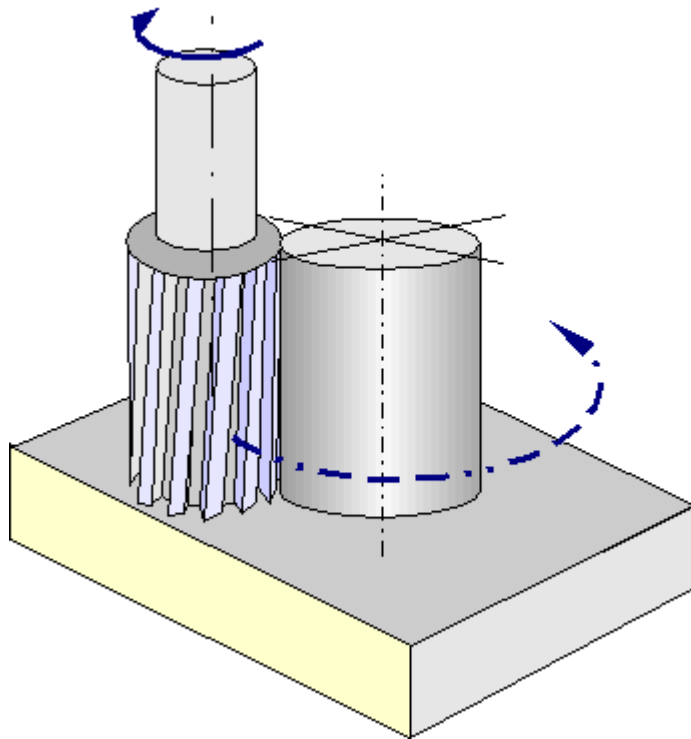
Geometrias obtidas no fresamento

Superfícies planas



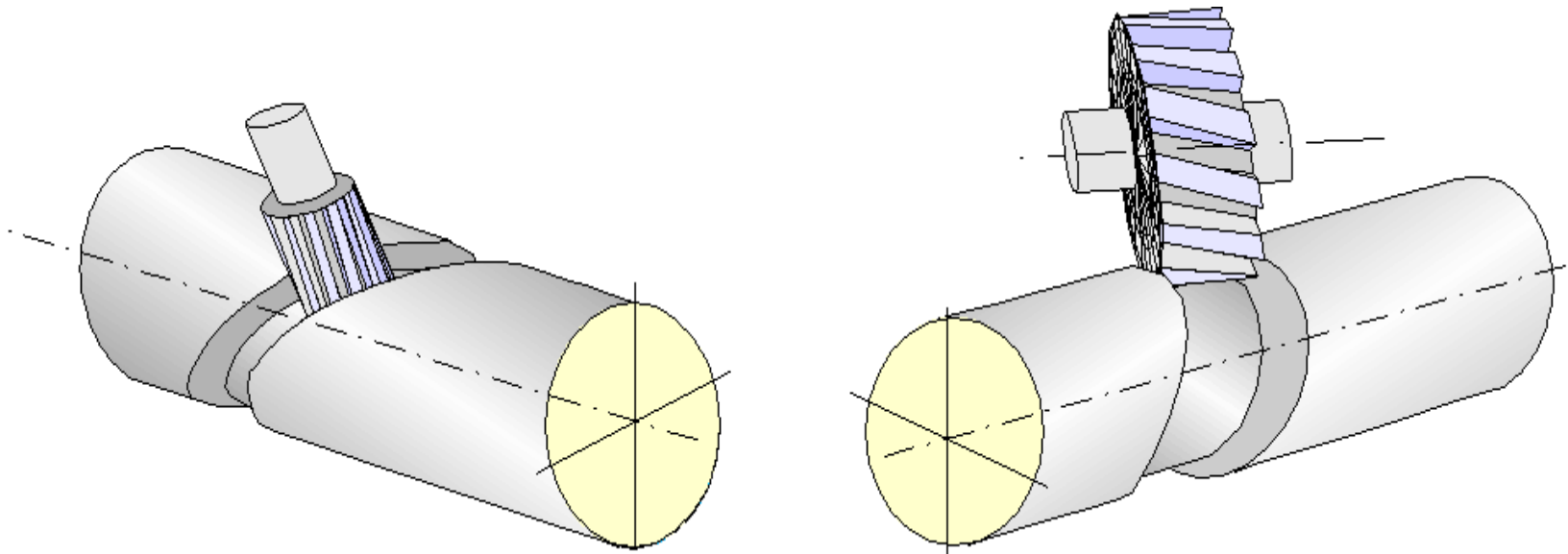
Geometrias obtidas no fresamento

Superfícies circulares



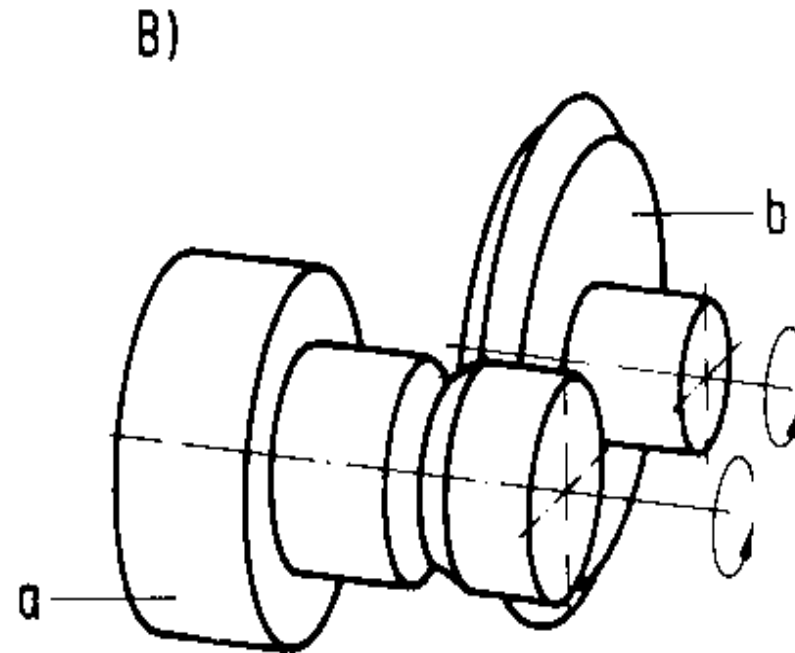
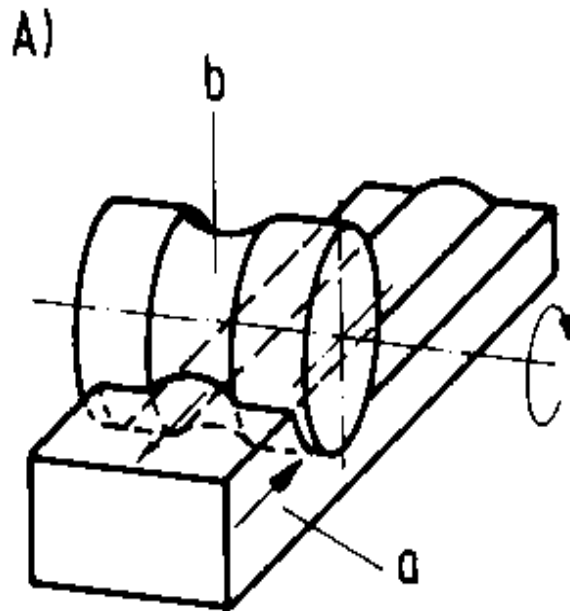
Geometrias obtidas no fresamento

- Obtenção de roscas



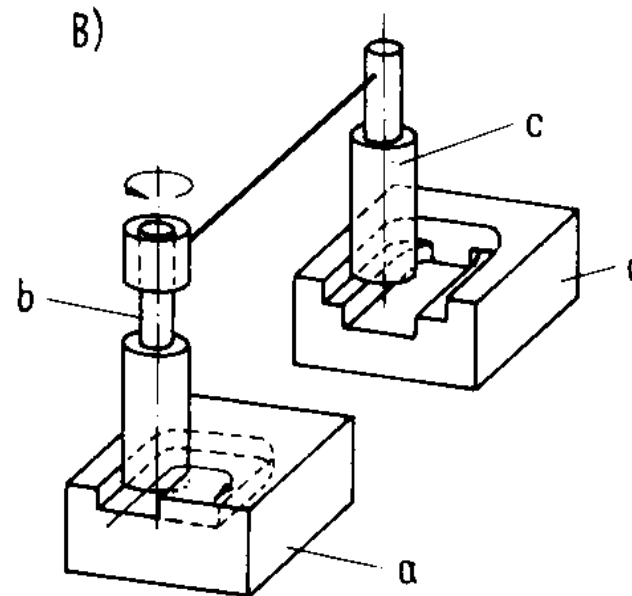
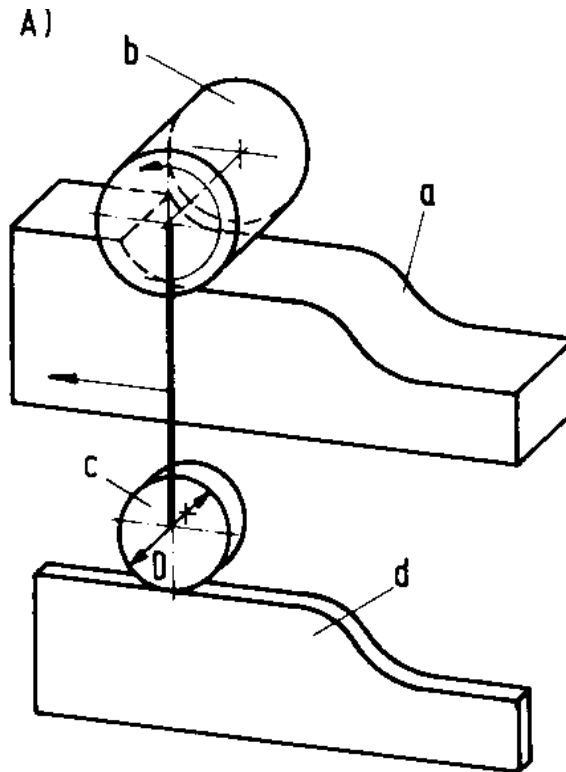
Geometrias obtidas no fresamento

- Obtenção de superfícies perfiladas

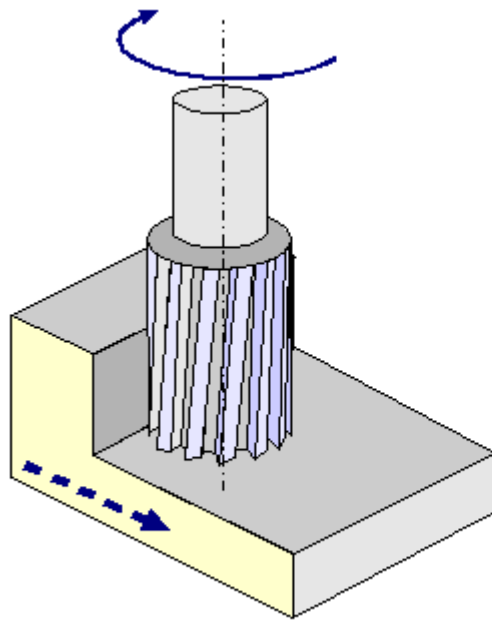


Geometrias obtidas no fresamento

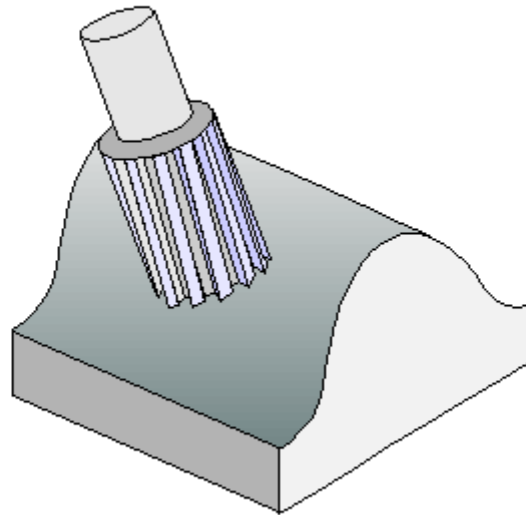
- Obtenção de cópia de superfícies



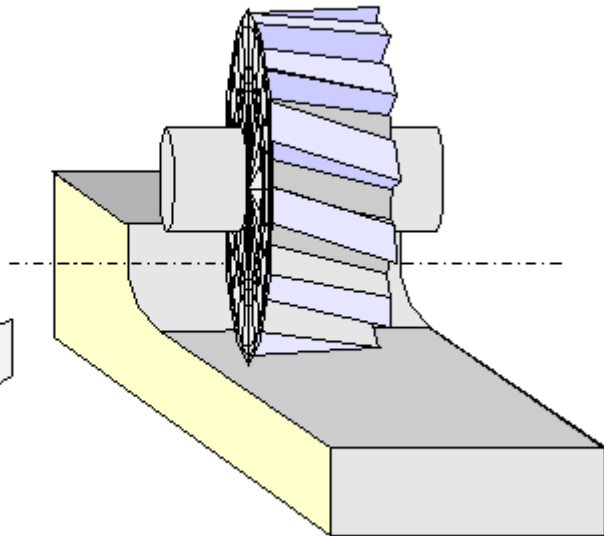
Divisão de acordo com a cinemática do processo



Freamento de Topo

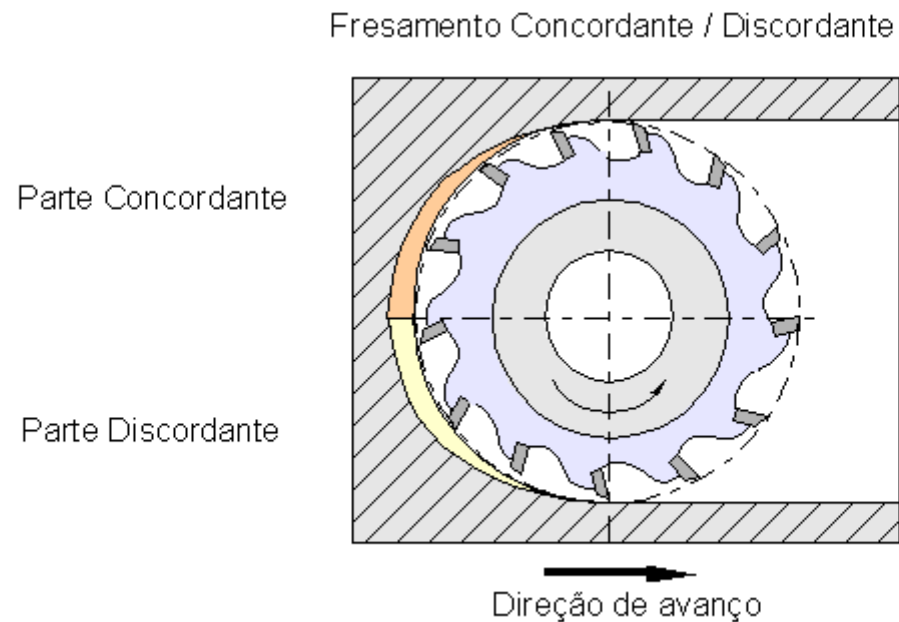
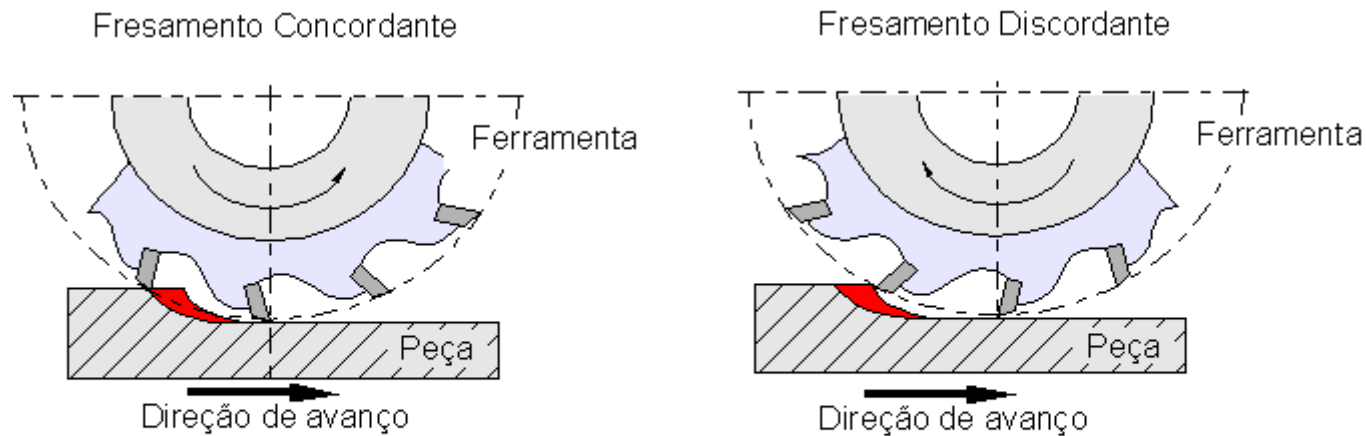


Freamento em 3-D e 5 eixos

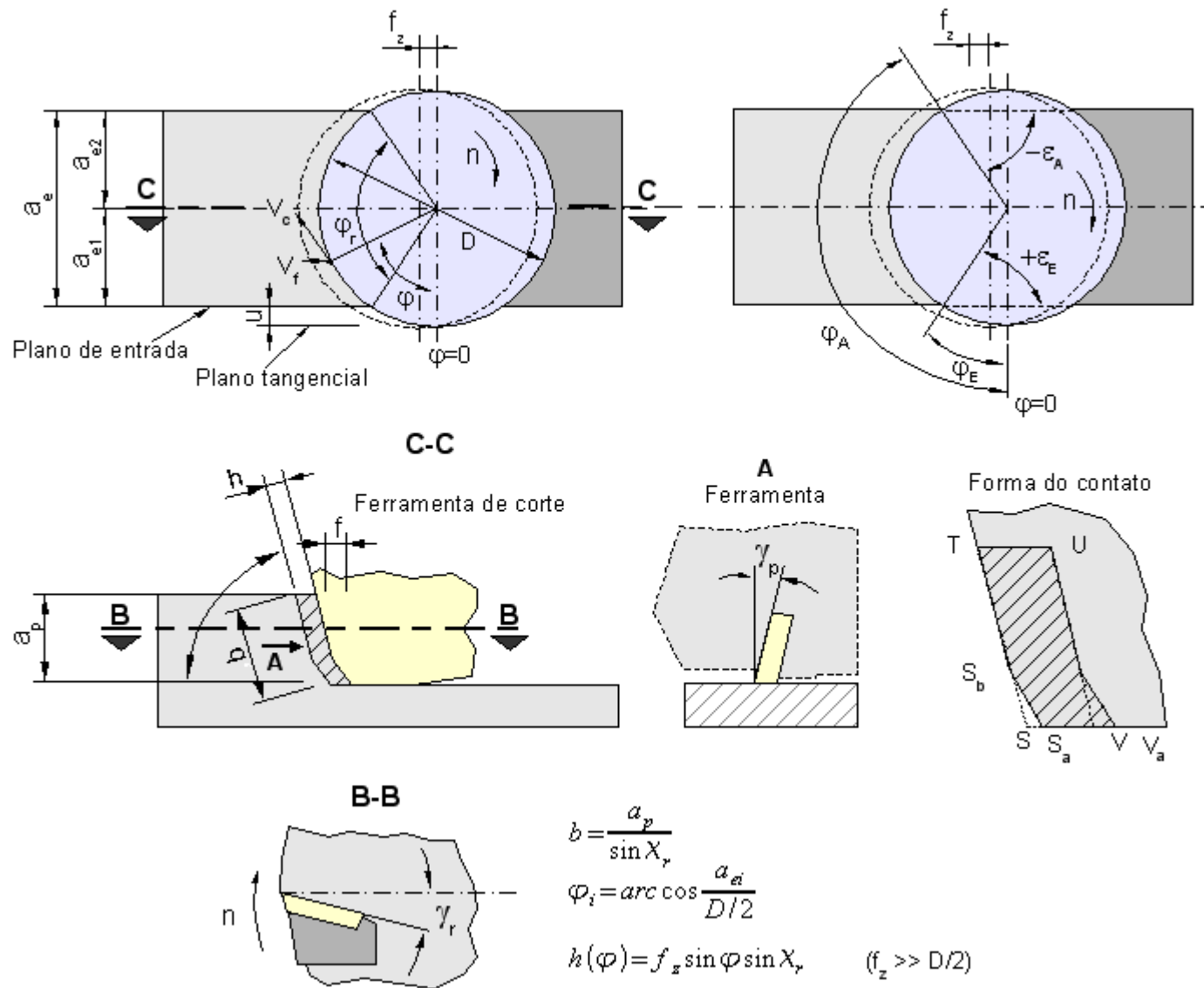


Freamento Frontal

Fresamento concordante / Fresamento discordante



Descrição das condições de usinagem em fresamento



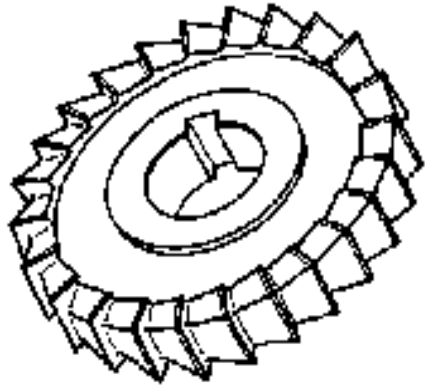
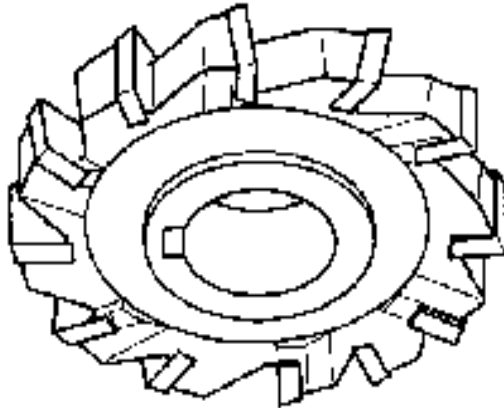
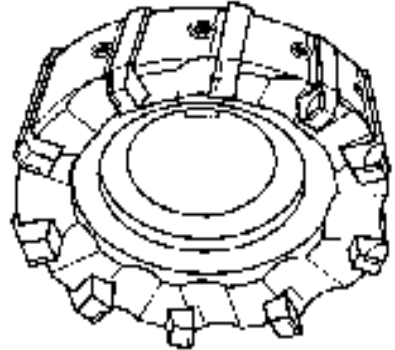
Materiais de ferramenta comumente utilizados em fresamento

- Os materiais empregados para o fresamento não podem ser comparados diretamente com os empregadas no torneamento
 - Foram desenvolvidos especificamente para apresentam resistências térmica e mecânica a esforços alternantes elevados
-

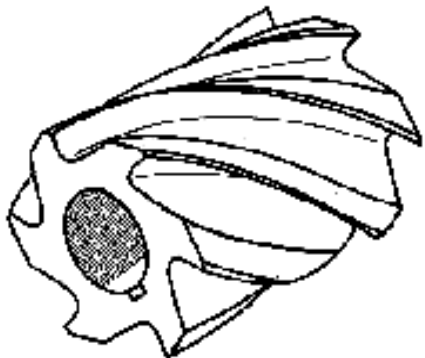
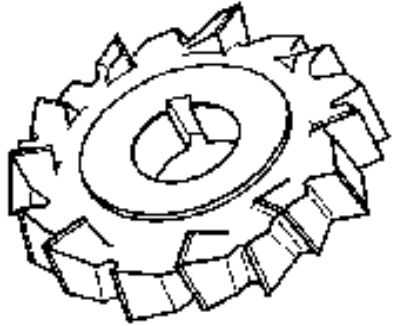

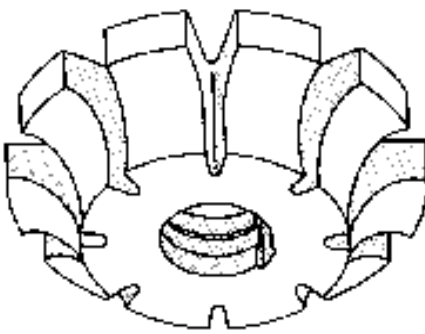
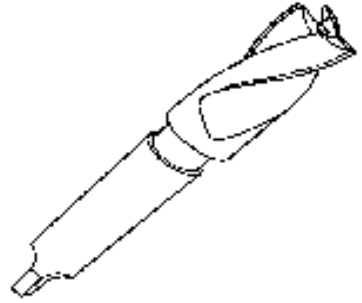
Materiais de ferramenta comumente utilizados em fresamento

<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

Tipo de Fresas

<i>Quanto a estrutura</i>		
		
Fresas inteiriças	Fresas com insertos	Fresas com dentes postiços

Tipo de Fresas

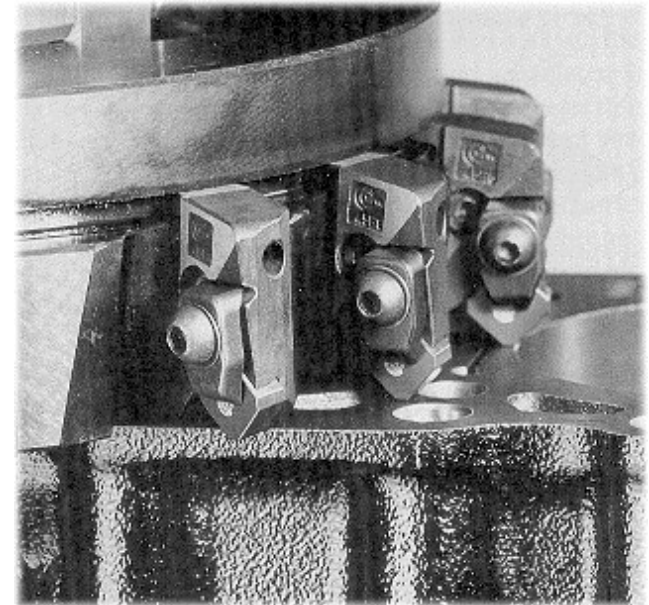
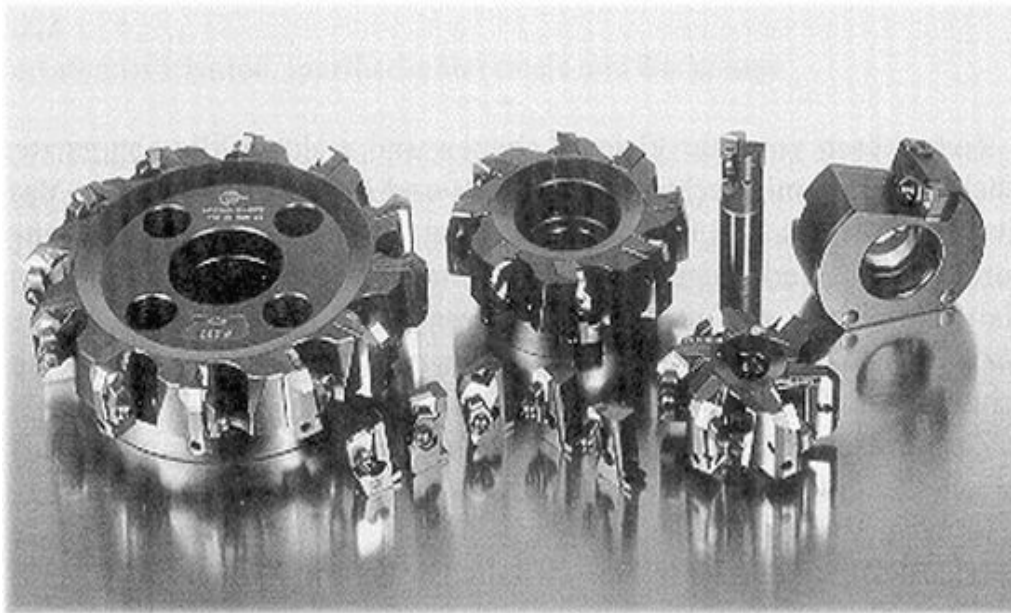
Quanto à forma geométrica		
Fresa cilíndrica	Fresa de disco	Fresa angular
		
Fresa detalonada		Fresa de topo
		

Influências dos principais parâmetros de corte no fresamento

- Influência da velocidade de corte no desgaste da fresa
 - v_c é o parâmetro de maior influência na vida da ferramenta devido principalmente às altas temperaturas geradas
 - Em fresamento de topo reto, com Q cte pode-se aumentar a vida da ferramenta diminuindo-se v_c e aumentando-se f_z
 - Para Q cte a influência da redução de v_c na vida da ferramenta é maior que a devida à redução f_z
 - Os efeitos de a_p , a_e e da aplicação de fluido de corte sobre a qualidade superficial devem ser avaliados
-

Variações do processo e características específicas

Fresamento frontal



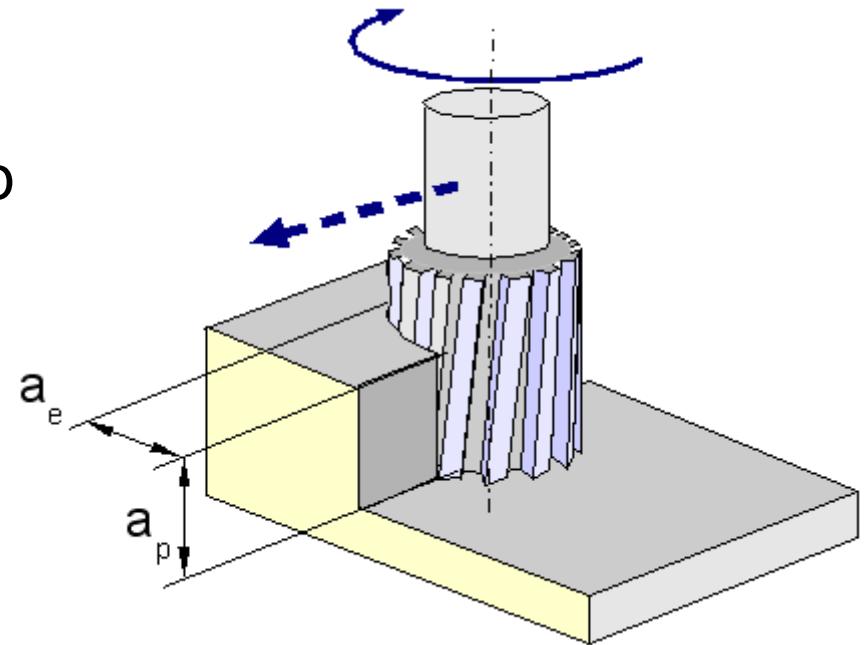
Exemplos de fresas frontais

Fresamento frontal

- É usual inclinar-se o eixo da fresa de $0,5$ a 1° para evitar o contato da parte não ativa do cabeçote de fresar
 - O ângulo de direção do gume tem uma grande influência sobre as forças ativas e passivas e conseqüentemente sobre a estabilidade do processo
 - O fresamento de acabamento tem ganhado importância devido à possibilidade crescente do trabalho completo em apenas uma máquina
-

Fresamento frontal

- Processo utilizado para usinagem de grandes superfícies
- Superfície da peça gerada pelo gume secundário, $c = 90^\circ$ - fresamento de canto - superfície gerada pelos gumes principal e secundário
- a_e consideravelmente maior que a_p



Fresamento frontal

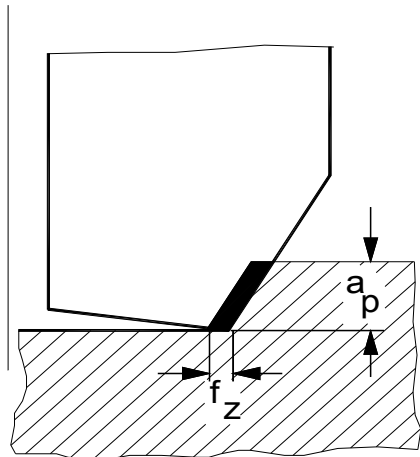
- Usinagem de rasgos de chavetas, seções retangulares e furos longos - fresas maciças de aço rápido, ferramentas com insertos reversíveis ou brasados
 - Usinagem de superfícies grandes e planas - cabeçotes de fresar com insertos reversíveis
 - Tamanho e número de dentes do cabeçote de acordo com dimensões da superfície e da potência de acionamento da máquina
-

Fresamento frontal

- Para evitar vibrações regenerativas do sistema, os cabeçotes são providos de uma divisão não regular dos dentes
 - Cabeçotes de fresar grandes são subdivididos em duas partes para facilitar a troca da ferramenta - troca do anel externo com os insertos
 - Flexibilidade no uso dos cabeçotes - uso de cassetes - insertos de diferentes tamanhos e formas
-

Fresamento frontal

Ferramentas de acabamento

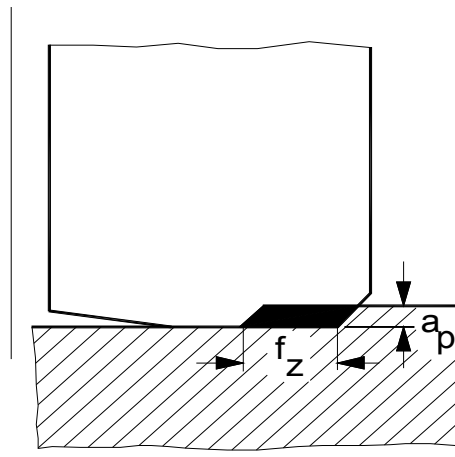


Fresamento de acabamento

Número de dentes 10 a 60

$a_p = 0,3 \text{ a } 1 \text{ mm}$

$f_z = 0,3 \text{ a } 0,5 \text{ mm}$

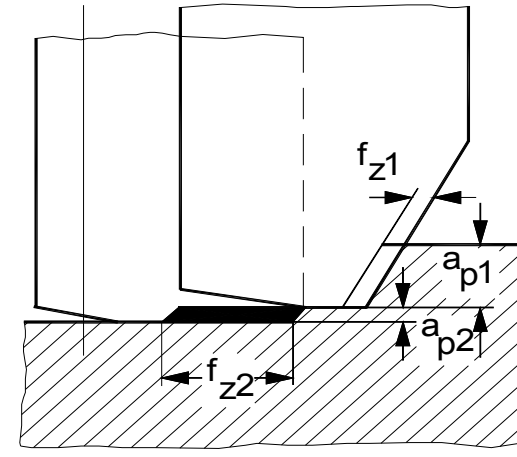


Fresamento de alisamento

Número de dentes 1 a 7

$a_p = 0,05 \text{ a } 0,2 \text{ mm}$

$f_z = 0,5 \text{ a } 6 \text{ mm}$



Fresamento de acabamento
com pastilhas de acabamento
e pastilhas de alisamento

Número de gumes de acabamento 20 a 30

Número de gumes de alisamento 1 a 2

Pastilhas de acabamento $a_{p1} = 0,5 \text{ a } 2 \text{ mm}$

$f_{z1} = 0,1 \text{ a } 0,3 \text{ mm}$

Pastilhas de alisamento $a_{p2} = 0,03 \text{ a } 0,05 \text{ mm}$

$f_{z2} = 2 \text{ a } 5 \text{ mm}$

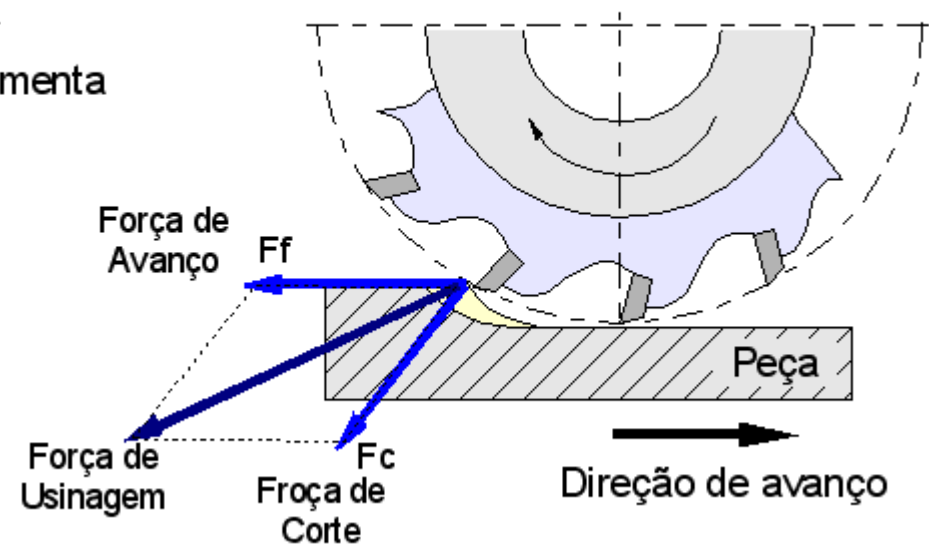
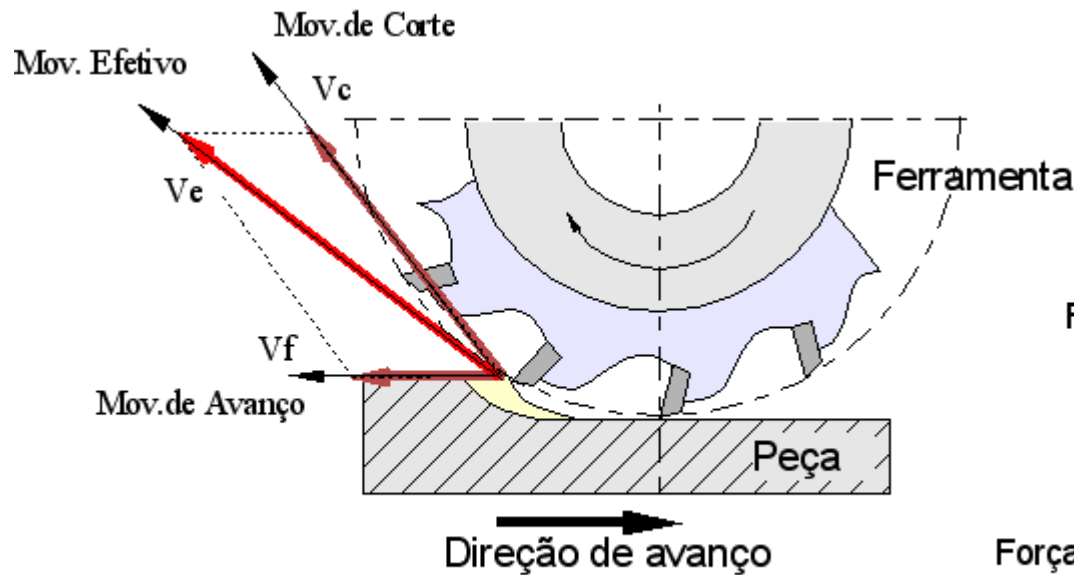
Fresamento frontal

Ferramentas de acabamento

- Fresamento com ferramentas de acabamento com grande número de insertos (a_p e f_z pequenos)
 - Fresamento com ferramentas de acabamento com pequeno número de insertos (a_p pequena e f_z grande)
 - Fresamento combinado - gumes de desgaste de acabamento
-

Variações do processo e características específicas

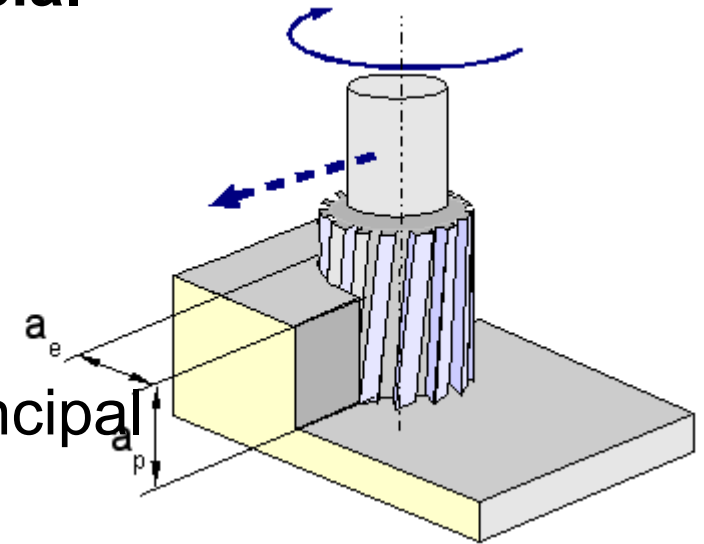
Fresamento tangencial



Variações do processo e características específicas

Fresamento tangencial

- a_p consideravelmente maior que a_e
- Superfície da peça gerada pelo gume principal
- Em geral é empregado fresamento tangencial discordante
- Ferramentas podem ser de aço rápido ou com insertos de metal-duro



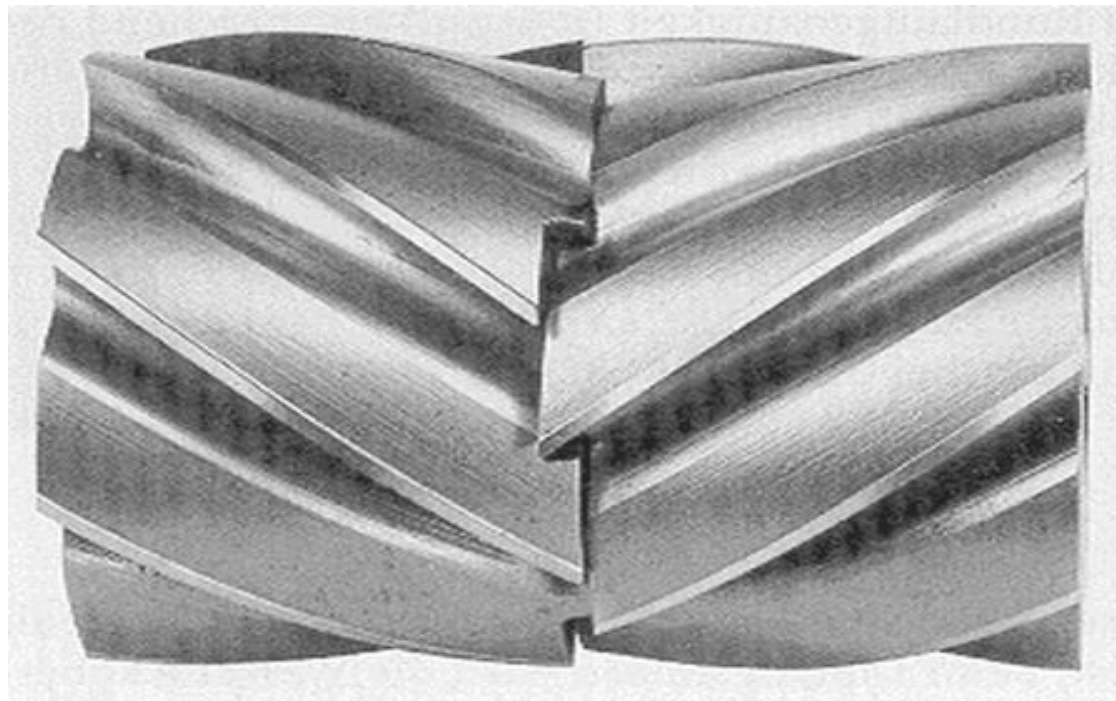
Variações do processo e características específicas

Fresamento tangencial

- Dentes retos - alta solicitação dinâmica
 - Dentes helicoidais
 - Menor solicitação dinâmica
 - Força axial que pode levar ao deslocamento da peça e / ou da ferramenta
-

Fresamento tangencial

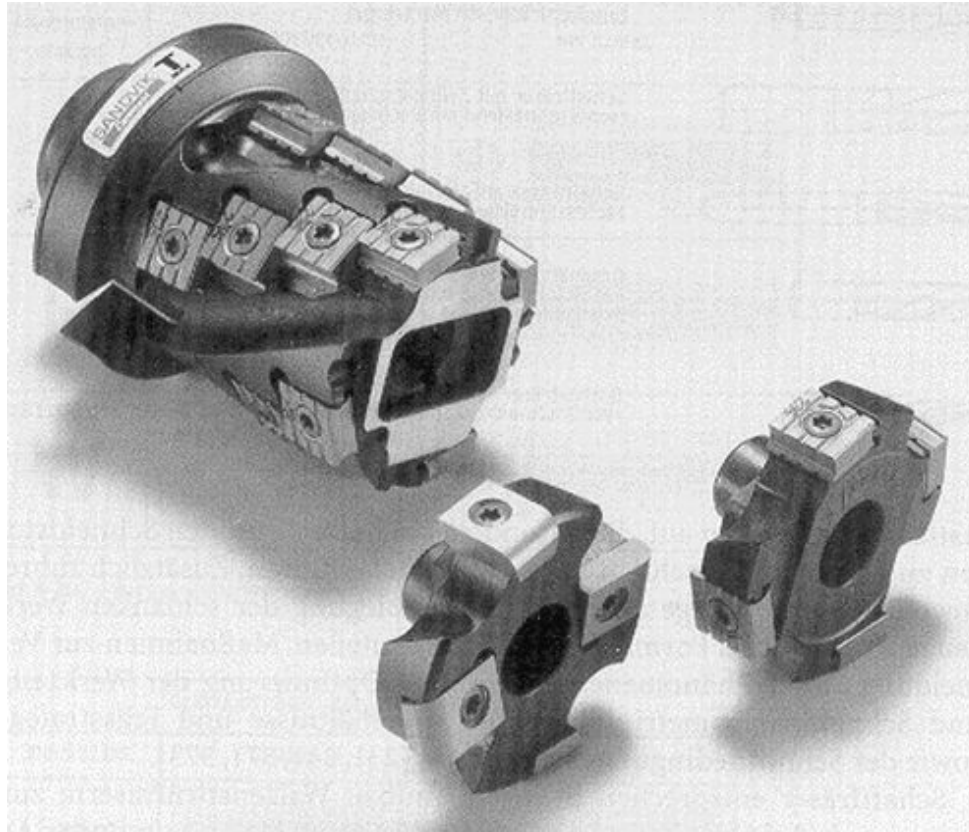
- Fresa espinha de peixe - eliminação das sollicitações axiais



Exemplo de fresa espinha de peixe

Fresamento tangencial

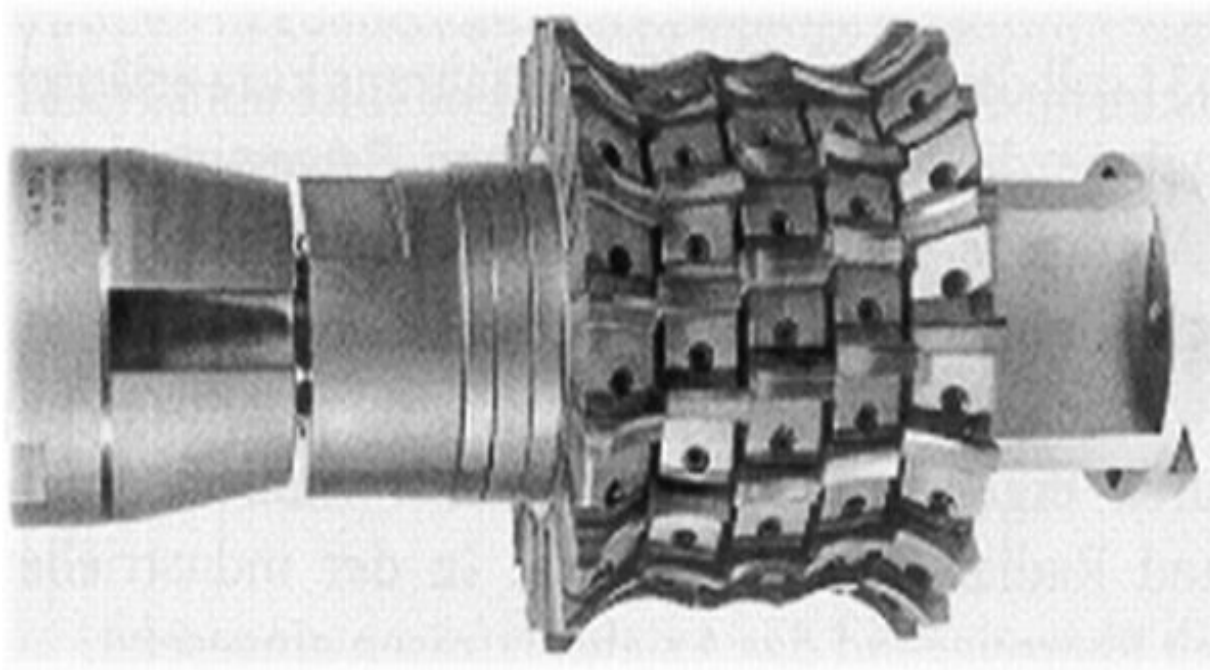
- Obtenção de perfis com cantos vivos - fresas combinadas



Exemplo de fresa combinada – topo+tangencial

Variações do processo e características específicas

Fresamento de perfil



Exemplo de fresa de perfil

Variações do processo e características específicas

Fresamento de perfil

- As ferramentas para fresamento de perfil são adequadas à forma do perfil que deve ser executado
 - Ferramentas maciças (fresa de forma) ou compostas
 - Ferramentas maciças - construídas em aço rápido
 - Usinagem de rasgos, raios, rodas dentadas e cremalheiras, guias de máquinas-ferramentas.
-

Variações do processo e características específicas

Fresamento de topo

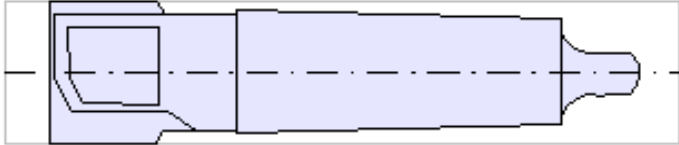
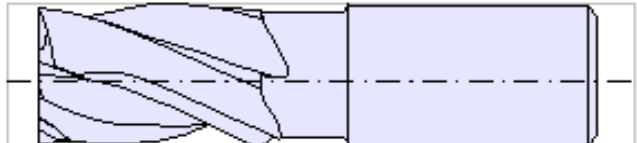
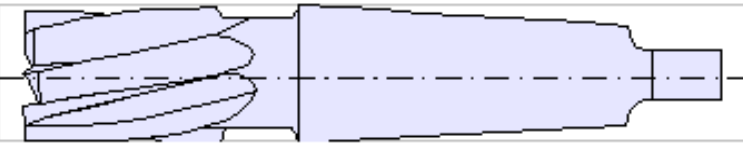




Exemplos de fresas de topo

Fresamento de topo

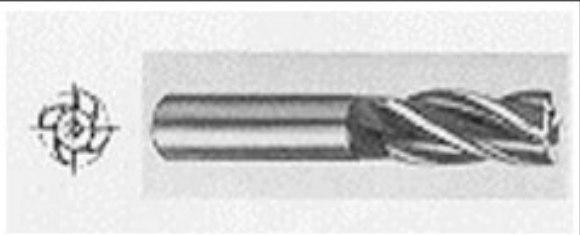
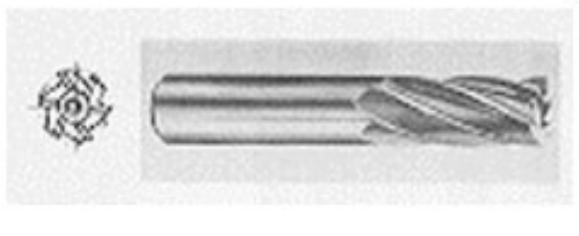
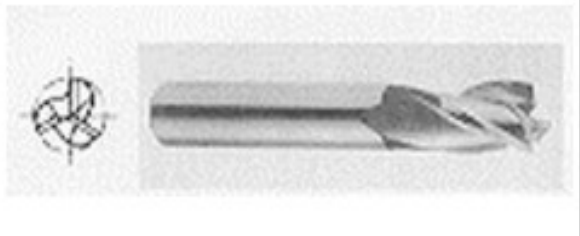
- Processo de fresamento contínuo frontal e periférico
 - Usinagem de formas complexas – ex. matrizes, rasgos etc.
 - Dependendo da aplicação, as ferramentas tem índice de esbeltez elevado ($l/D = 5$ a 10) - problema de vibrações
 - Vibrações implicam desgaste acentuado, lascamentos do gume, erros de forma e dimensionais
 - Ferramentas de aço rápido revestido e com insertos
-

Fresamento de topo

Tipo de Fresa	Aplicação
	Fresa para ranhuras com cone morse
	Fresa de topo com haste cilíndrica Corte à direita com hélice direita
	Fresa de topo com cone morse Corte à direita com hélice esquerda
	Fresa de topo semi-esférico com haste cilíndrica Corte à direita com hélice direita
	Fresa de topo cônica para matrizaria Corte à direita com hélice direita

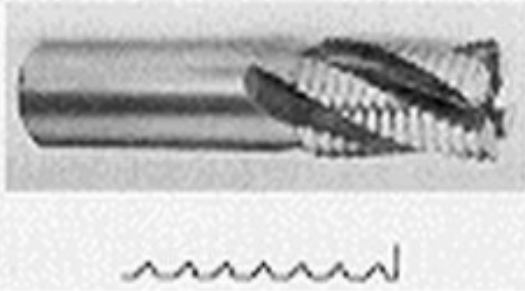
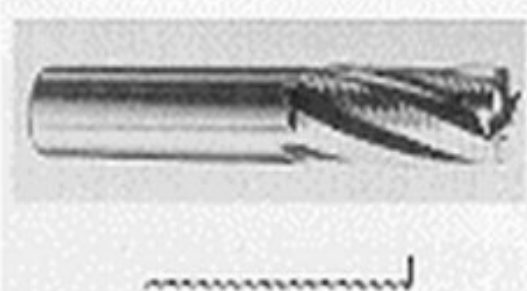
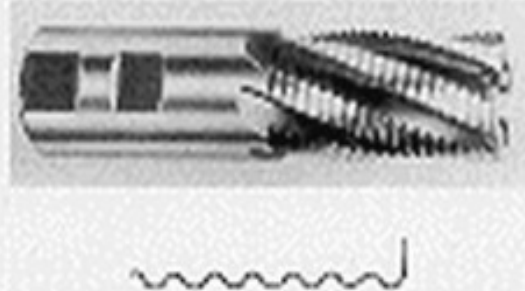
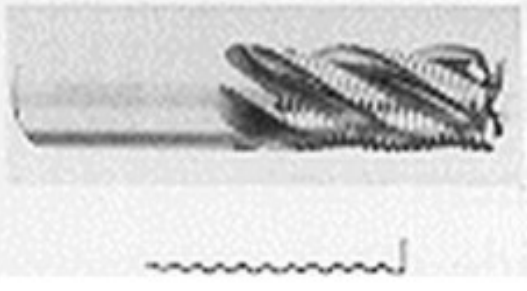
Fresamento de topo

Classificação em grupos segundo o material a usinar

Tipo da Hélice	Campo de aplicação	Ferramenta
N	Usinagem de materiais com resitência e dureza normais	
H	Usinagem de materiais duros, tenazes duros e/ou cavacos curtos	
W	Usinagem de materiais moles, tenazes e/ou de cavacos longos	

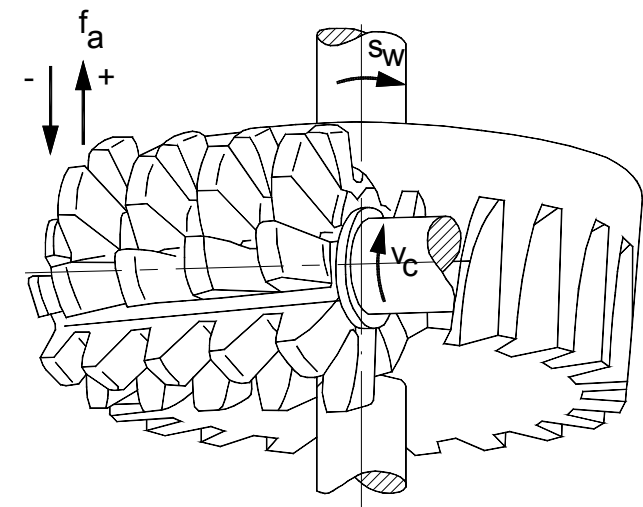
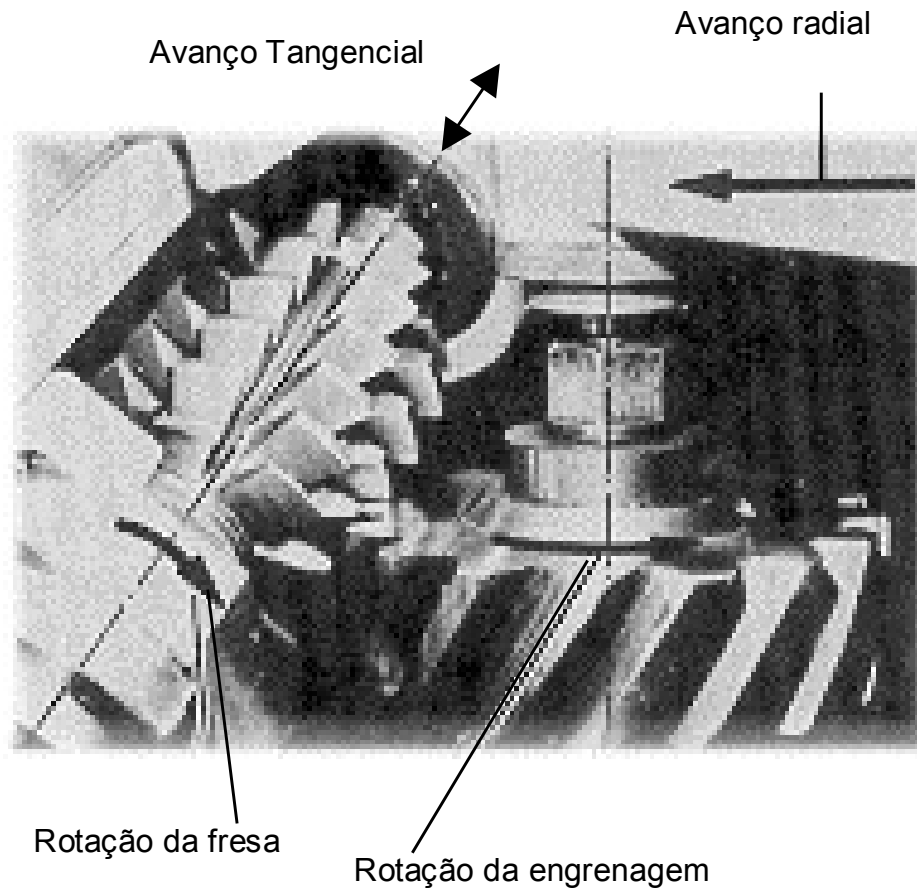
Fresamento de topo

- Perfilamento do gume principal em fresas de desbaste

<i>Fresas de desbaste com perfil da parte cortante</i>		
Quebra cavaco	Grupo N	Grupo H
Perfil plano (F)		
Perfil ondulado (R)		

Variações do processo e características específicas

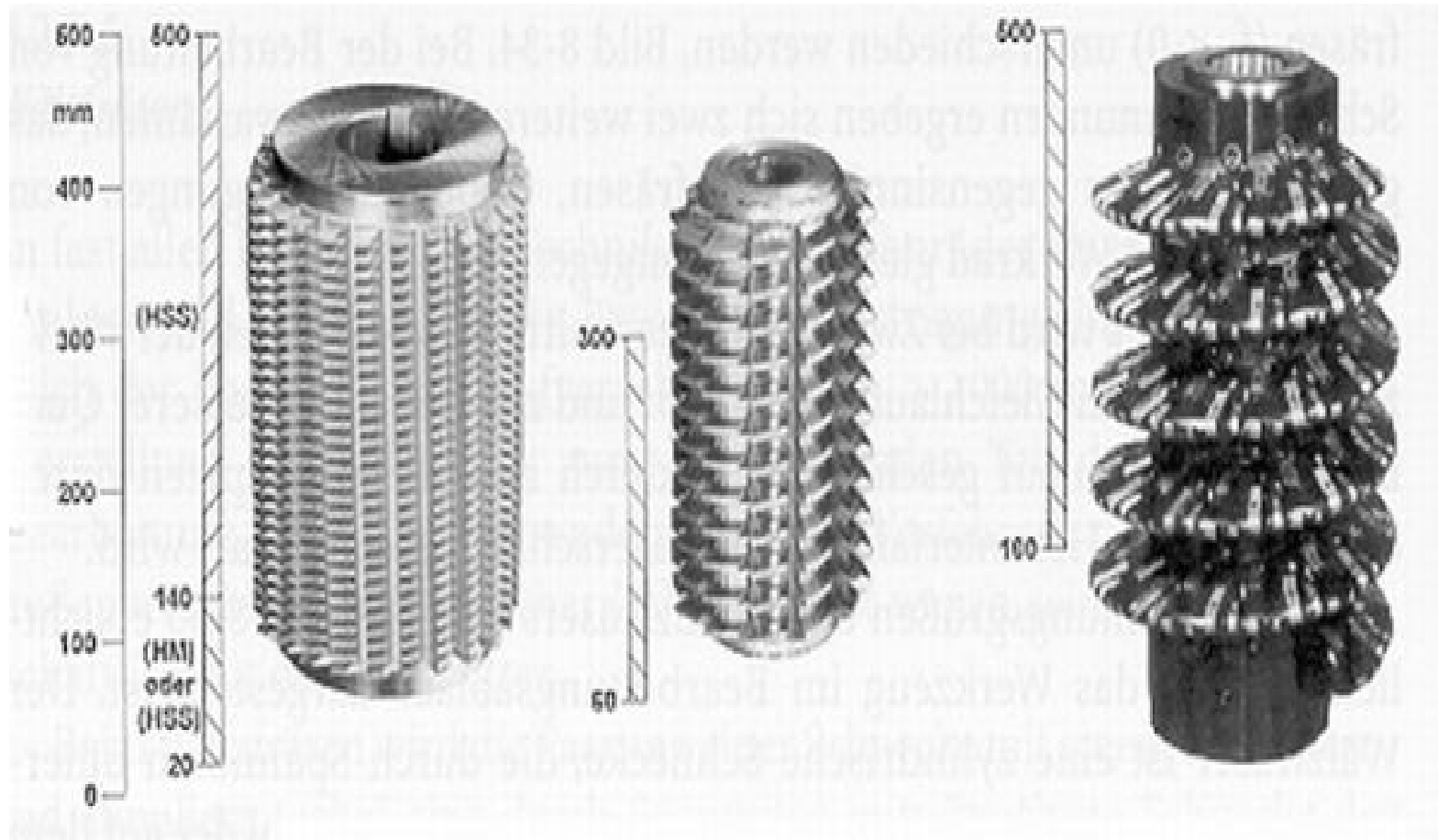
Fresamento de geração



- v_c Velocidade de corte
- f_a Avanço axial
- f_w Avanço da engrenagem

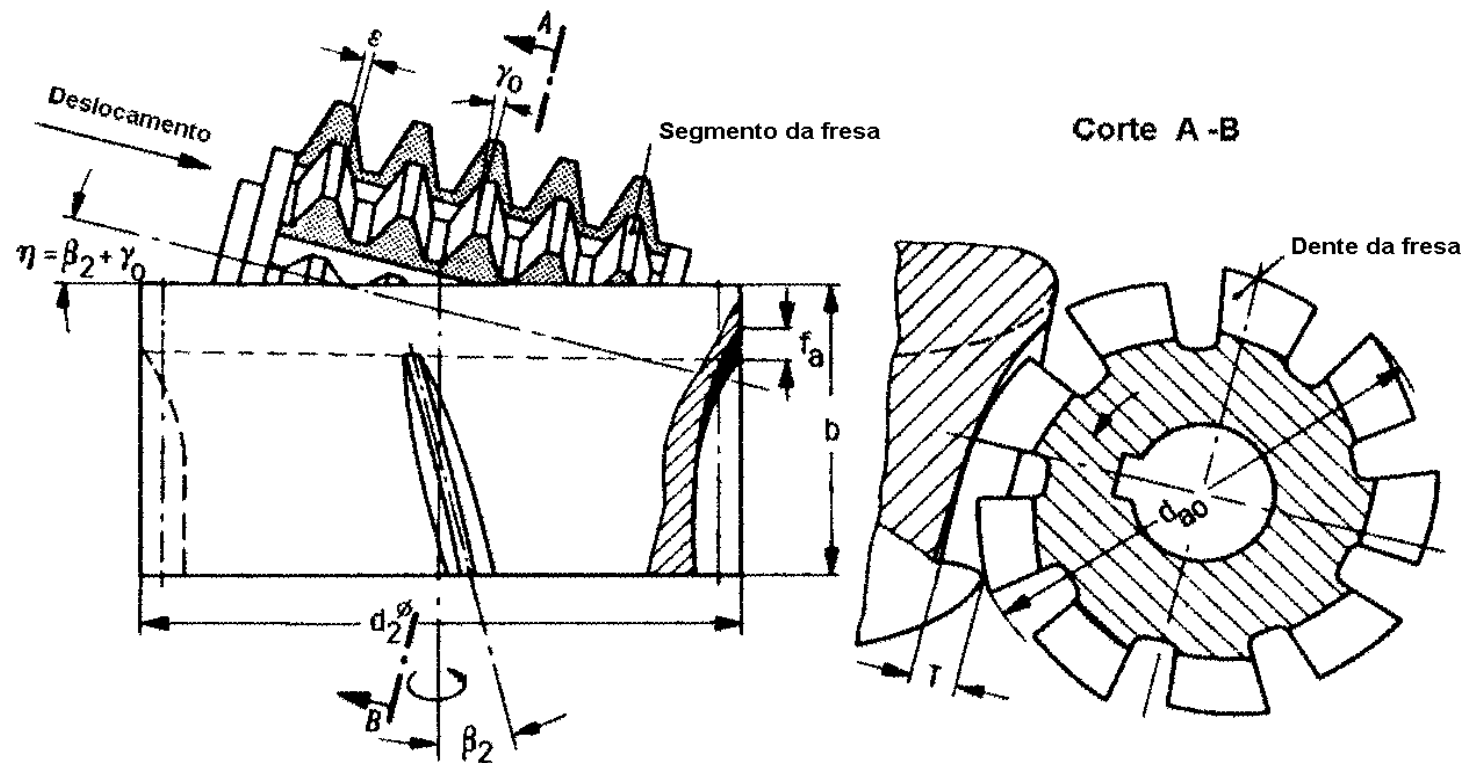
Cinemática na geração por fresamento

Fresamento de geração



Exemplo de fresas de geração

Fresamento de geração



Engrenagem

d_2 Diâmetro
 z_2 Número de dentes
 β_2 Ângulo de inclinação
 b Largura

Fresa

d_{a0} Diâmetro da fresa
 z_0 Número de espiras
 γ_0 Ângulo de inclinação
 ϵ Passo axial
 n_i Número de segmentos

Processo

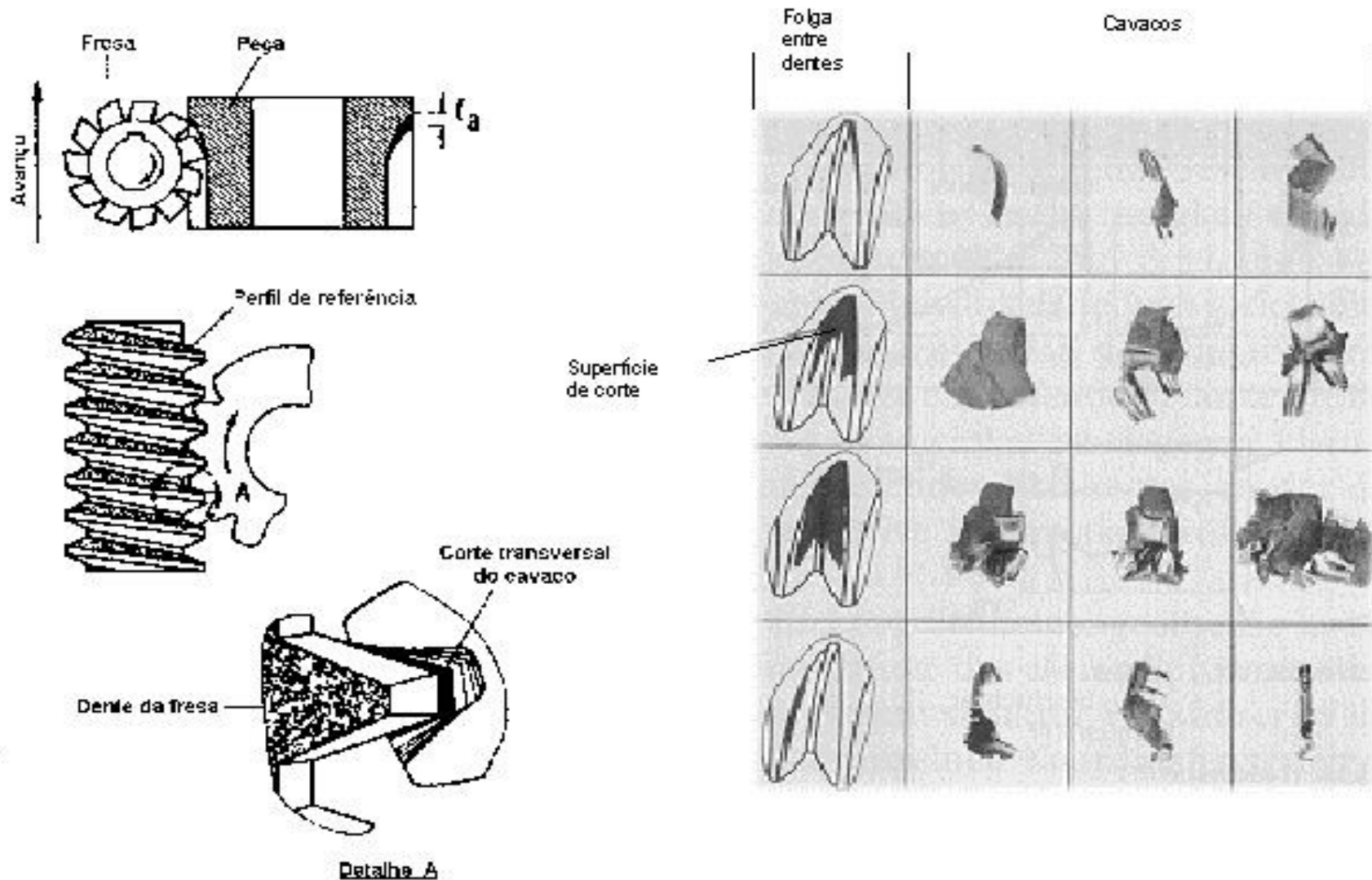
η Ângulo de inclinação
 $\eta = \beta_2 \pm \gamma_0$
 f_a Avanço axial
 T Profundidade de mergulho

Cinemática na geração por fresamento

Fresamento de geração

- A ferramenta é utilizada sem revestimento nas faces
 - O desgaste de cratera substitui o desgaste de flanco na determinação da vida da ferramenta
 - Aumento de até 500% no volume de cavacos usinados, em comparação com ferramentas não-revestidas
-

Fresamento de geração



Formação do cavaco no fresamento de geração

Fresamento de geração

- Uma alternativa para aumentar a vida da fresa geradora é o aumento do número de dentes
 - O volume usinado se distribui por um maior número de dentes
 - Interferência variáveis entre ferramenta e peça - formação de cavacos de espessuras e formas distintas
 - O perfil evolvente do dente é obtido devido ao movimento entre a ferramenta e a peça nos cortes sucessivos
 - Cada dente do caracol retira cavacos sempre com a mesma forma geométrica
-

Fontes de vibrações no fresamento

•Causas

- Força surgida entre ferramenta e peça
 - Frequência de contato do dente da fresa (geralmente entre 200 e 400 Hz)
 - Ressonâncias surgidas no processo
 - Folgas indevidas na fixação da peça
 - Formação inadequada do cavaco
-

Fontes de vibração no fresamento

• Soluções

- Massas adicionais na máquina
 - Alteração de v_c , a_p ou n
 - Mudança de estratégia (concordante/discordante)
 - Melhora na fixação
-

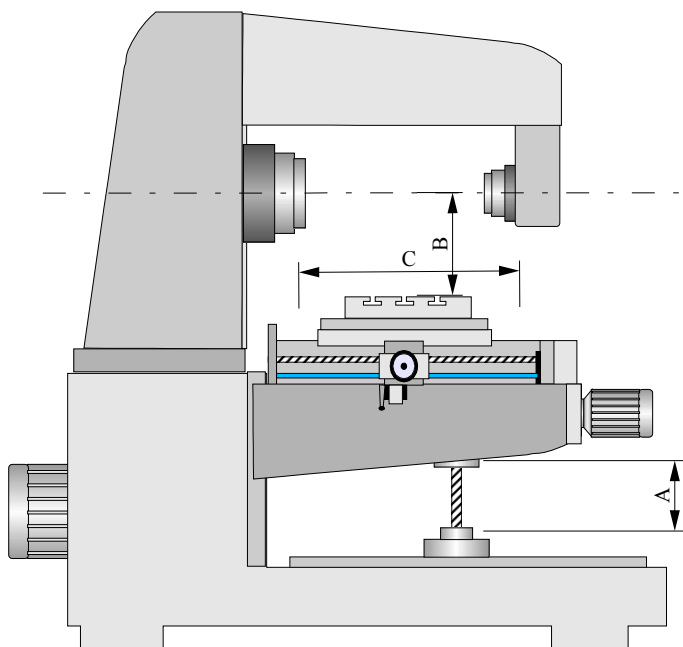
Fresadoras

Requisitos gerais de fresadoras

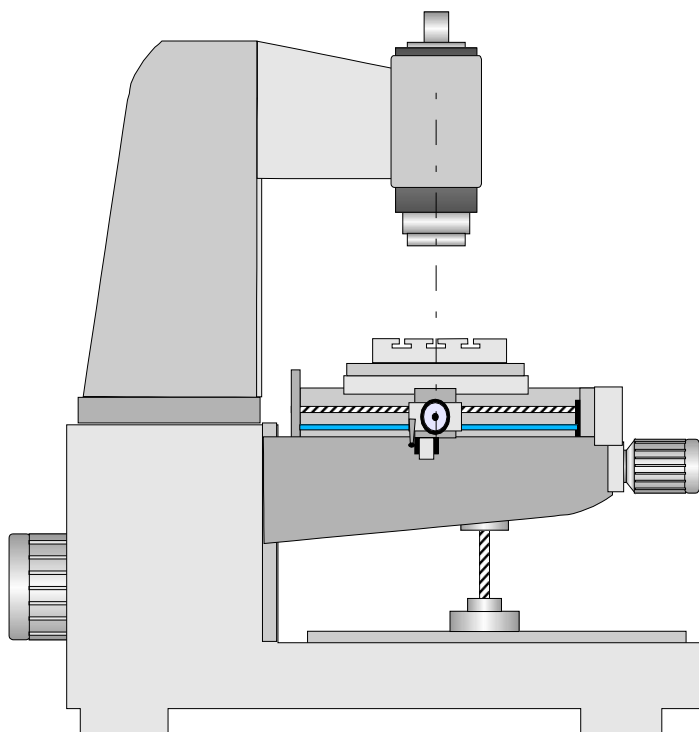
- As máquinas devem ser projetadas para altas solicitações estáticas e dinâmicas
 - O posicionamento da árvore deve ser radial ou axial sem folgas
 - O acionamento da árvore deve ser contínuo e sem folgas para evitar vibrações e permitir altas vidas das ferramentas
 - Fresamento sincronizado necessita de cuidados no acionamento e no avanço da mesa e dos carros
 - Facilidade na operação - visor eletrônico de posicionamento, aplicação de comando numérico
-

Tipos de Fresadoras

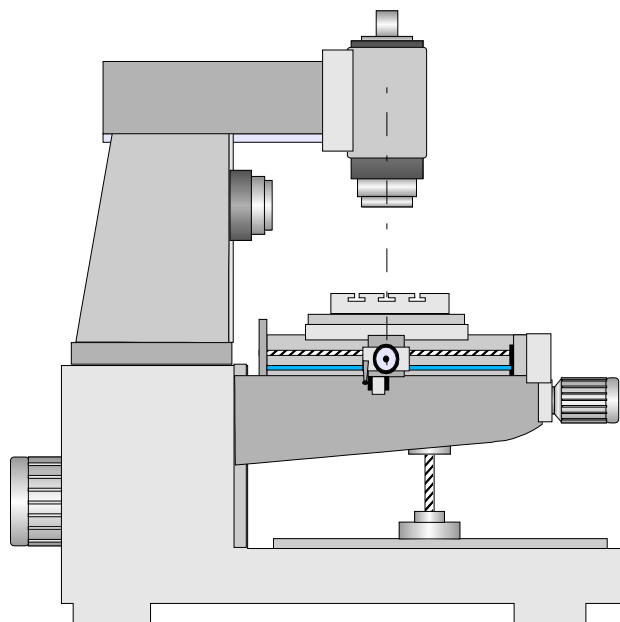
Fresadora horizontal



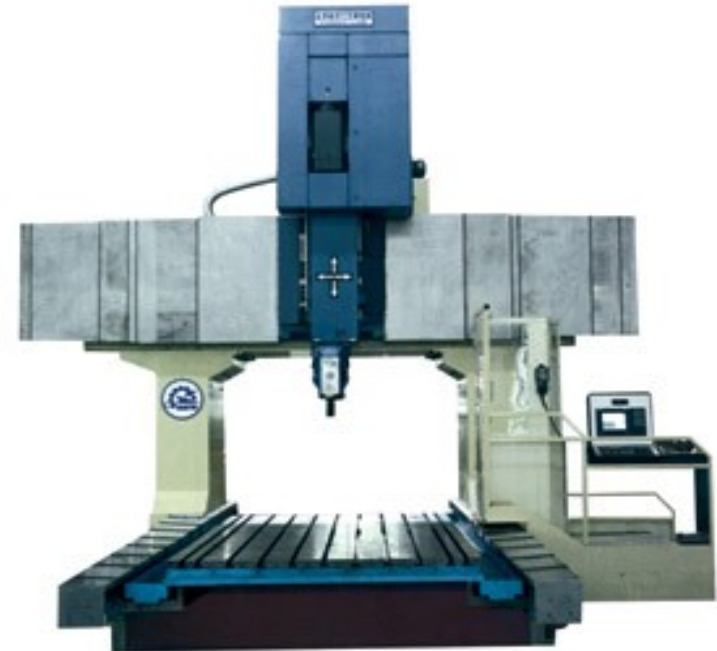
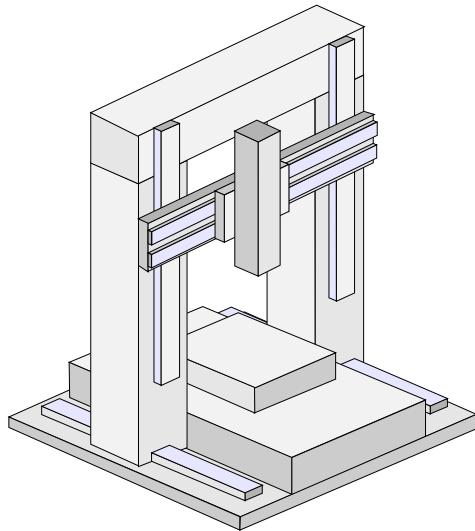
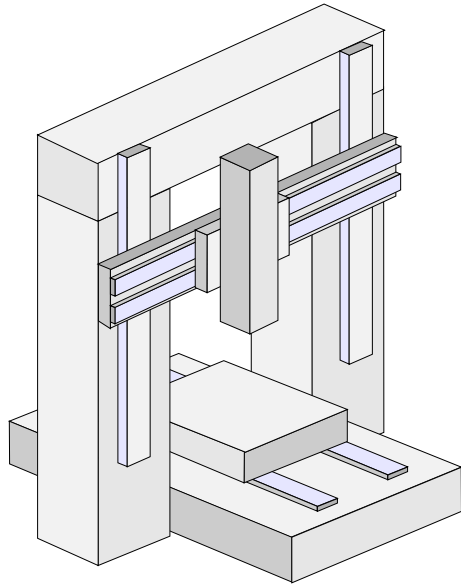
Fresadora vertical



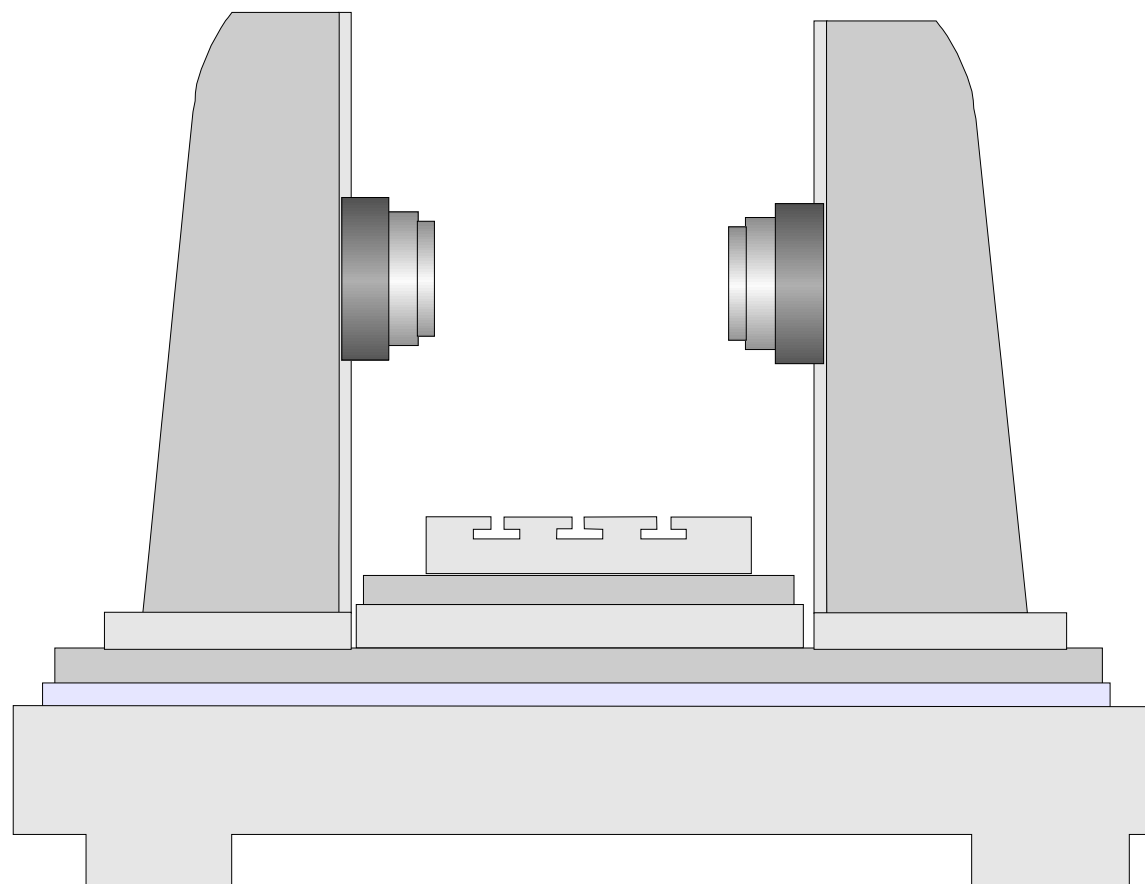
Fresadoras Universal



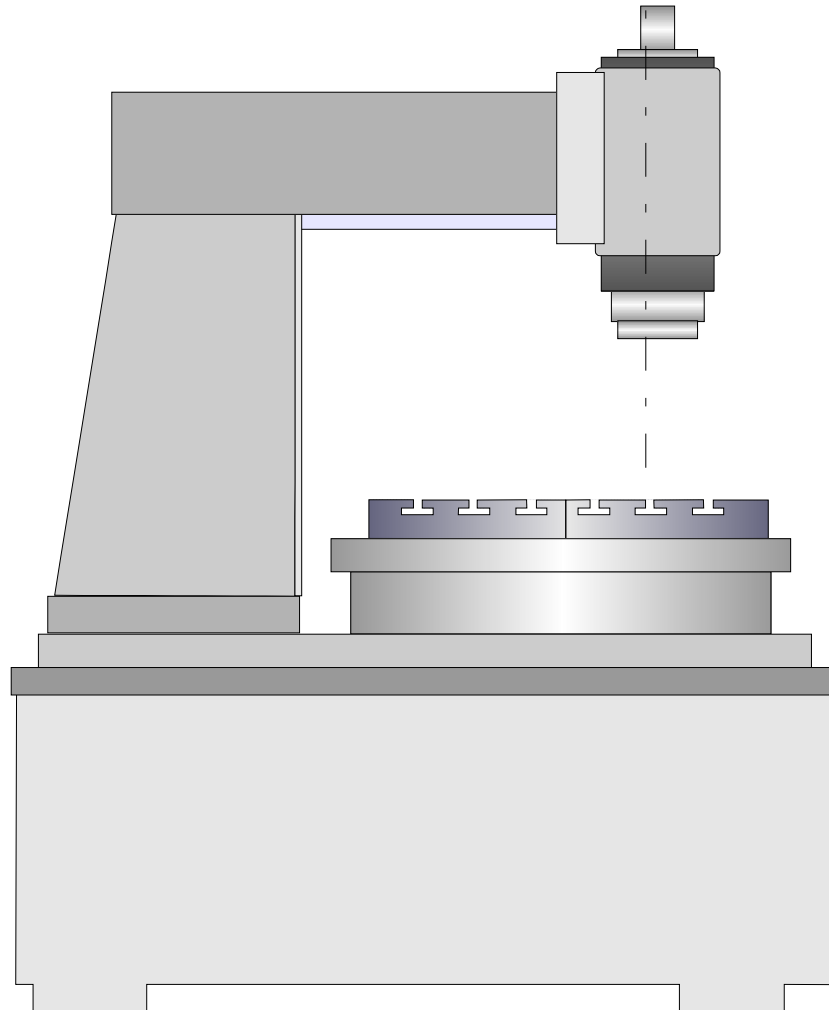
Fresadora de portal ou Gantry



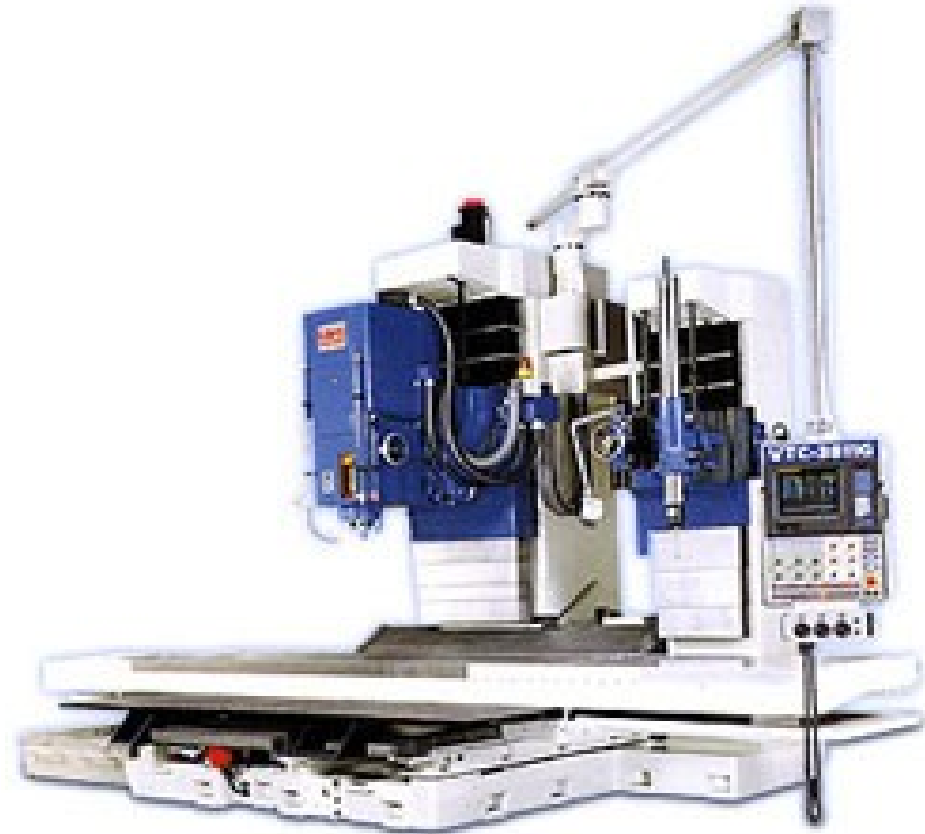
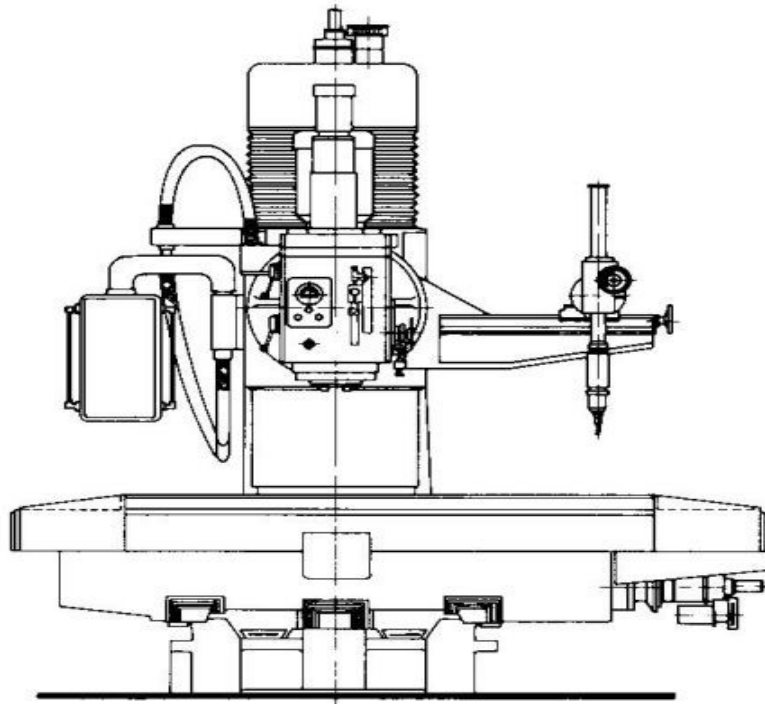
Fresadoras paralelas



Fresadora de mesa circular



Fresadora copiadora



Fresadoras Hexapod

