

**Princípios de processos de
produção**

Resende, Marino de Oliveira

DEDALUS - Acervo - EESC



31100106850

APRESENTAÇÃO

O presente texto aborda os principais processos de fabricação de peças envolvendo tecnologia mecânica, com o objetivo de subsidiar os cursos de Processos de Produção da habilitação de Engenharia de Produção Mecânica da EESC-USP.

Mesmo sendo abrangente, o tratamento desenvolvido permanece a nível introdutório, exigindo, portanto, leitura extensiva adicional, acompanhada de estudos de caso, assim como trabalhos práticos.

A natureza do texto exigiu a utilização de obras de vários autores constantes na bibliografia que serve, também, como guia para as necessárias leituras complementares.



R 433 P
e. 3

SUMÁRIO

	páginas
2.5. Processo de Fresamento	175
2.5.1. Tipos fundamentais de fresamento	176
2.5.2. Fresadoras	178
2.5.3. Fresas	188
2.5.3.1. Formas construtivas	188
2.5.4. Seleção da velocidade de corte e do avanço	201
2.5.5. Força e potência de corte no fresamento com fresas cilíndricas de dentes retos	203
2.5.1. Cálculo da potência média de corte através do volume de cavaco removido	207
2.6. Processo de Serramento	209
2.6.1. Serra alternativa	209
2.6.2. Serra de Disco	210
2.6.3. Serra de Fita	213
2.6.4. Serras	214
2.6.4.1. Serras Circulares	214
2.6.4.2. Serras de Fita	217
2.7. Processo de Brochamento	219
2.7.1. Brochadeira hidráulica horizontal para interiores	221
2.7.2. Brochadeira hidráulica vertical para interiores	222
2.7.3. Brochadeira de exteriores	225
2.7.4. Ferramentas para brochar	227
2.7.4.1. Procedimento de definição de uma brocha	229
2.8. Processo de Aplainamento	234
2.8.1. Plaina limadora	234
2.8.2. Plaina de mesa	238
2.8.3. Plaina Vertical	244
2.8.4. Ferramentas para aplainar	247
2.8.5. O aplainamento frente outros processos	249
2.9. Processo de Denteamento	250
2.9.1. Métodos de corte de engrenagens	252
2.9.2. Denteadoras para engrenagens	252

	páginas
2.10. Processo de Roscamento	270
2.10.1. Roscamento externo	270
2.10.2. Roscamento interno	277
2.11. Processo de Retificação e Brunimento	282
2.11.1. Introdução: Qualidade de Trabalho (IT)	282
2.11.2. Retificadoras	285
2.11.3. Brunimento	298
2.11.4. Rebôlos	301
2.12. Processo de Afição de Ferramentas	309
2.12.1. Generalidades	309
2.12.2. Afição de Ferramentas Monocortantes	309
2.12.3. Afição de Ferramentas Multicortantes	310

2.5. Processo de Fresamento

O fresamento é a operação de usinagem com formação de cavaco que se caracteriza por:

- a ferramenta multicortante (fresa) é provida de arestas cortantes dispostas simetricamente ao redor de seu eixo;
- a ferramenta para executar a sua função, é provida de um movimento de rotação em torno de seu eixo, permitindo que cada uma das arestas cortantes (**dentes da fresa**) retire a parte do material que lhe cabe fazê-lo.
- o movimento de avanço é feito, geralmente, pela peça que está fixada a uma mesa da máquina (fresadora) sendo que, raramente, o movimento de avanço é feito pela própria ferramenta (fresadora gantry). O movimento de avanço da peça é vinculado ao movimento rotatório da fresa.
- o movimento de avanço obriga a peça passar sob a ferramenta que lhe dá forma e dimensão desejadas.

A figura a seguir mostra os principais tipos de operações de fresamento.

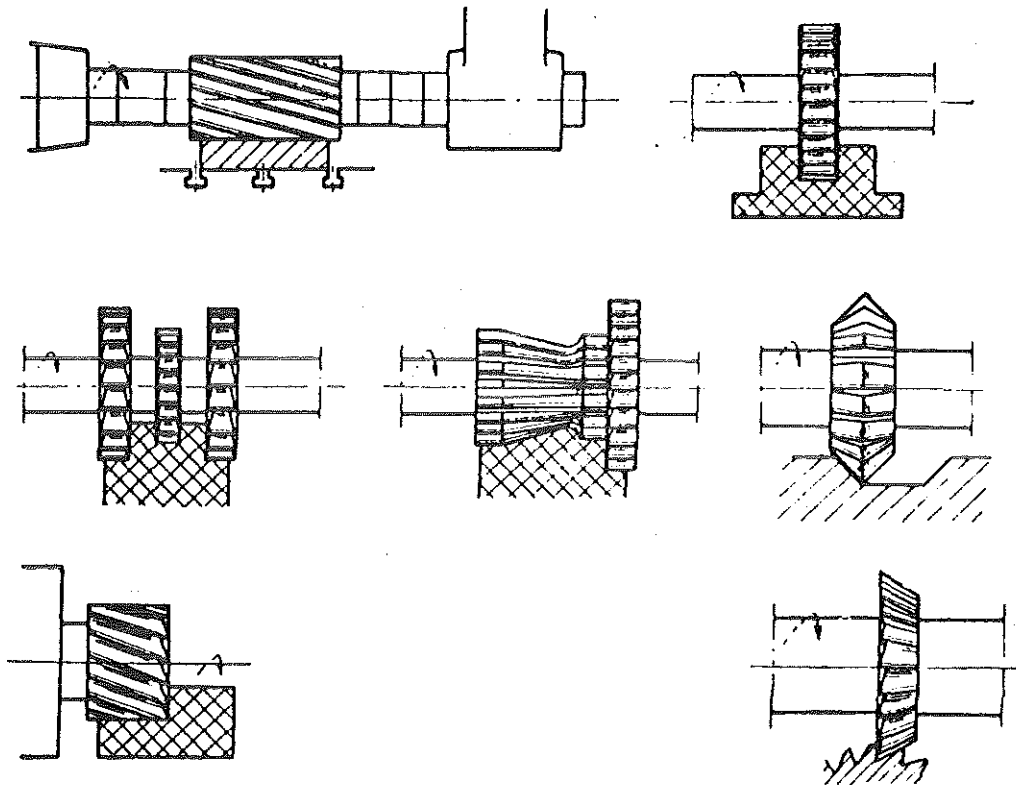


Figura 179 - Fresamento horizontal.

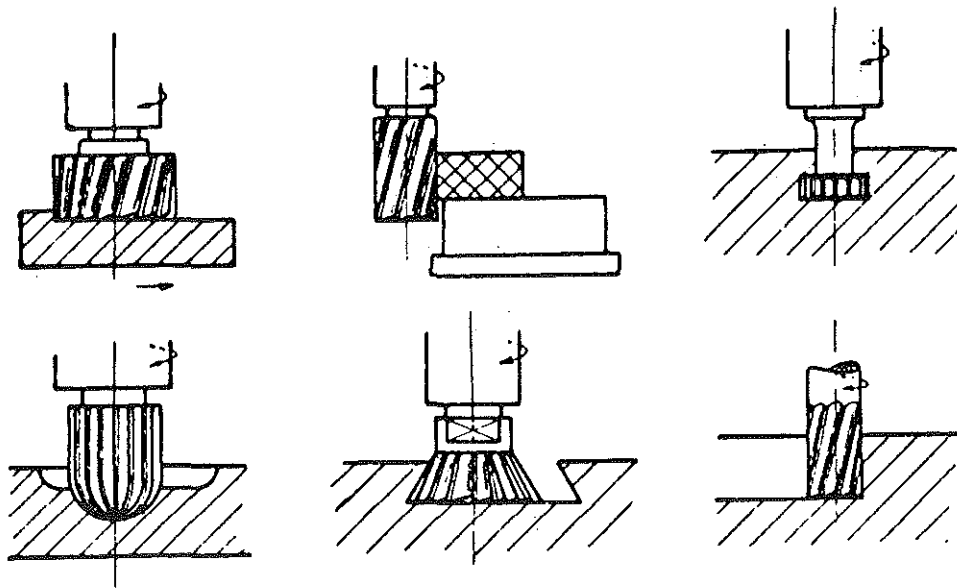


Figura 180 - Fresamento vertical.

2.5.1. Tipos fundamentais de fresamento

Segundo a disposição da parte ativa dos dentes da fresa, as operações se classificam em:

- **fresamento tangencial** - a operação na qual as arestas cortantes estão na superfície cilíndrica da ferramenta. O eixo de fresa é paralelo à superfície gerada.
- **fresamento frontal** - operação na qual as arestas cortantes estão na superfície frontal da ferramenta. O eixo da fresa é perpendicular à superfície gerada.

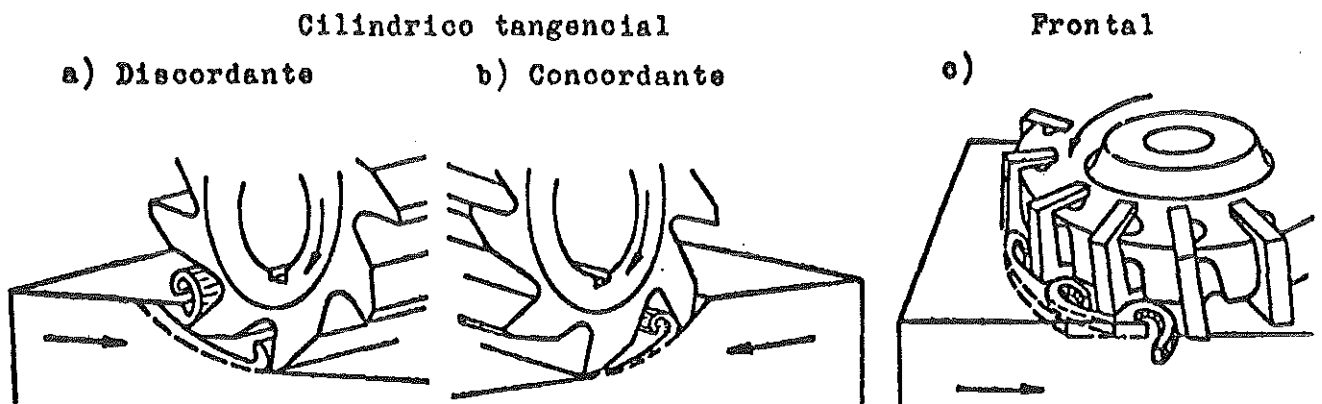


Figura 181 - Tipos de fresamento cilíndrico tangencial e frontal.

No fresamento tangencial as fresas são ditas **fresas cilíndricas ou tangenciais**; no fresamento frontal são ditas **fresas frontais ou de topo**.

No fresamento tangencial as fresas podem operar segundo o **fresamento concordante ou discordante**.

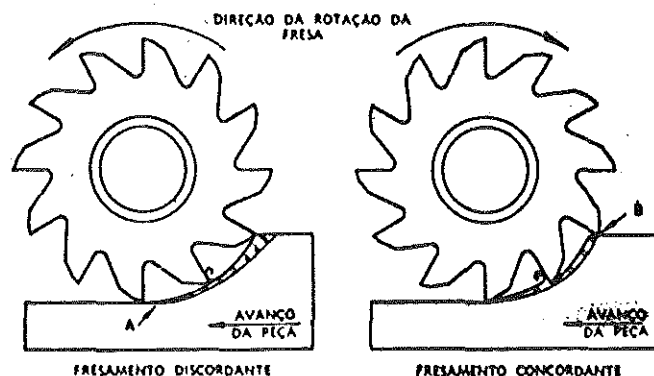


Figura 182 - Fresamento discordante e concordante.

FRESAMENTO DISCORDANTE

O sentido de movimento de avanço é contrário ao movimento rotatório da fresa. A espessura de corte " h " aumenta progressivamente de zero a um valor " $h_{máx}$ ". Inicialmente há um notável atrito entre a ferramenta e a peça. Quando a pressão da aresta cortante atinge a um valor capaz de vencer a elasticidade do material a mesma penetra na peça, e com a composição dos movimentos de corte e avanço, a aresta cortante tira um cavaco em forma de vírgula. Assim, no início da operação de cada dente, uma força vertical tende a afastar o eixo porta-fresa da mesa da fresadora (fresadora horizontal) enquanto que no fim da operação a aresta cortante tende a arrancar a peça da mesa, surgindo uma variação da componente vertical da força de corte. Isto é causa de vibrações que pode afetar o acabamento superficial e a tolerância dimensional da superfície fresada.

FRESAMENTO CONCORDANTE

O sentido de avanço coincide com o movimento rotatório da fresa. Os defeitos apontados anteriormente são sanados nesta situação, pois a componente vertical da força de usinagem tende sempre a comprimir a peça sobre a mesa, não existindo, também, o problema de grande atrito inicial da aresta cortante com a peça. Entretanto propicia outros inconvenientes:

- entrada do dente na peça em condições desfavoráveis no caso de usinagem de peças com camada externa endurecida, crosta de fundição, etc..

- a componente horizontal da força de corte possui o mesmo sentido da força de avanço da mesa, e é de módulo variável, o que pode resultar em um movimento vibratório de mesa, quando esta componente é maior que a força de atrito entre a mesa da fresadora e suas guias. Este inconveniente pode ser corrigido desde que seja eliminada a folga entre o fuso e a porca do sistema de translação da mesa. A figura a seguir mostra a variação do sentido da componente da força de usinagem na direção do avanço e a força resultante que atua no fuso de comando do avanço da mesa da fresadora em ambos os tipos de fresamento.

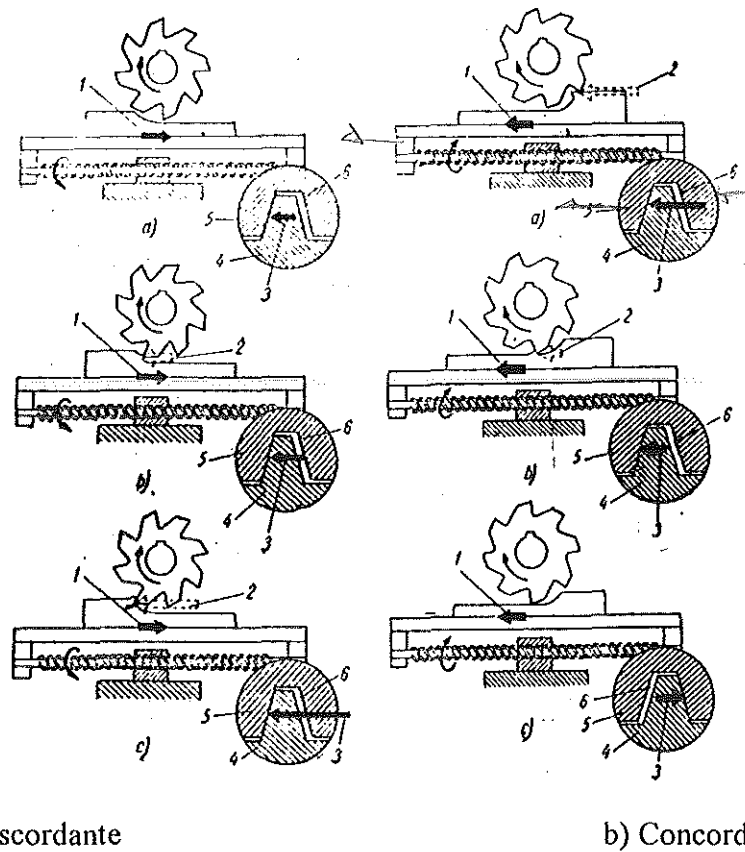


Figura 183 - Forças desenvolvidas no fresamento discordante e concordante.

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 os filetes da rosca da porca e do fuso.

2.5.2. Fresadoras

As fresadoras classificam-se em:

- Fresadora horizontal;
- Fresadora vertical

- Fresadora universal
- Fresadora de mesa.

FRESADORA HORIZONTAL

A figura a seguir mostra a construção de uma fresadora horizontal constituída de um acionamento mecânico para o mandril porta-fresa e acionamento hidráulico/mecânico para os diversos movimentos da mesa (vertical, longitudinal e transversal).

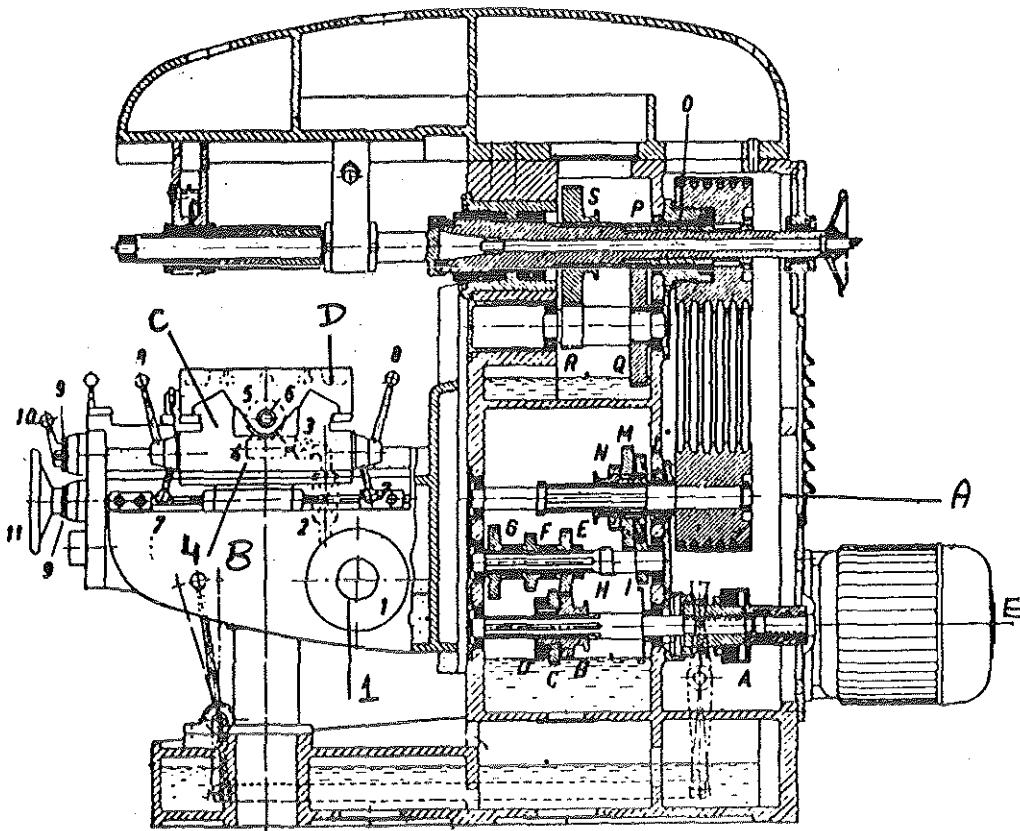


Figura 184 - Seção de uma fresadora horizontal.

A - Estrutura, B - Mesa, C - Carro, D - Mesa porta-peça, E - Motor principal, 1 - Motor para acionamento da bomba hidráulica, 2 - Distribuidor hidráulico, 3 - Motor hidráulico, 4 - Parafuso sem fim, 5 - Corôa helicoidal, 6 - Fuso da mesa.

Os motores hidráulicos 3, um para cada movimento, acionam os respectivos fusos dos carros nos três sentidos um independentemente do outro. Os carros podem, também, serem acionados manualmente.

A figura a seguir ilustra o cinematismo de uma fresadora horizontal cujos movimentos de trabalho originam-se de um único motor, tendo um motor auxiliar aplicado em O para os movimentos rápidos.

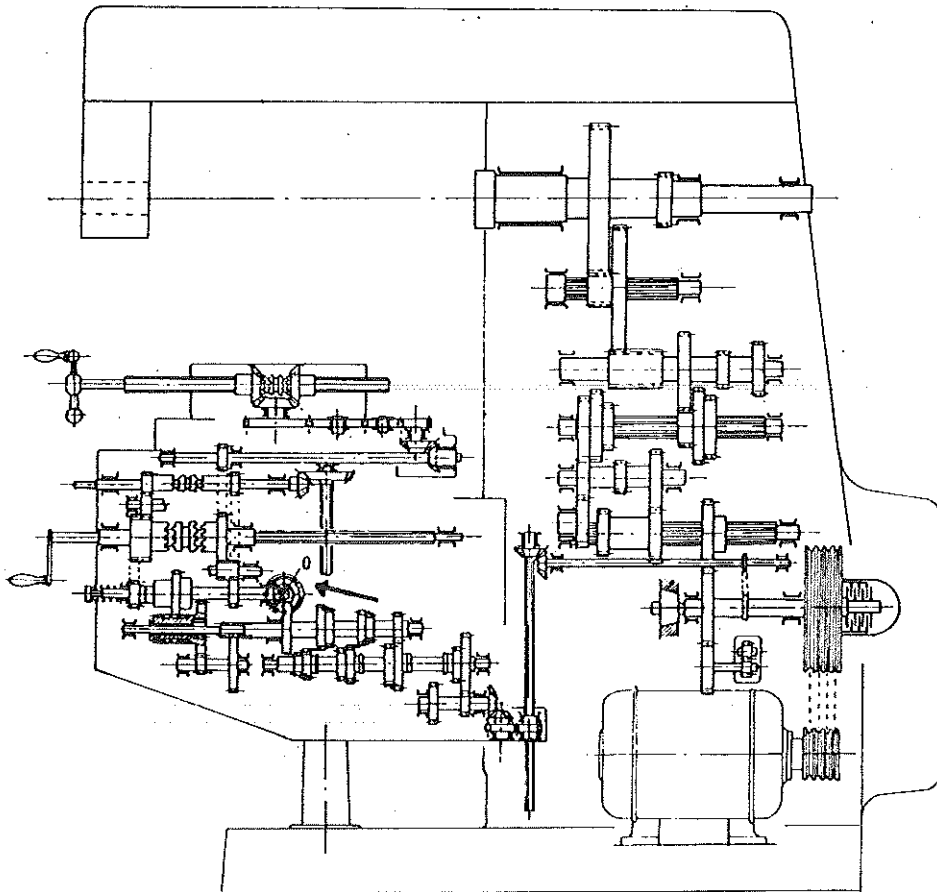


Figura 185 - Esquema cinemático de uma fresadora horizontal.

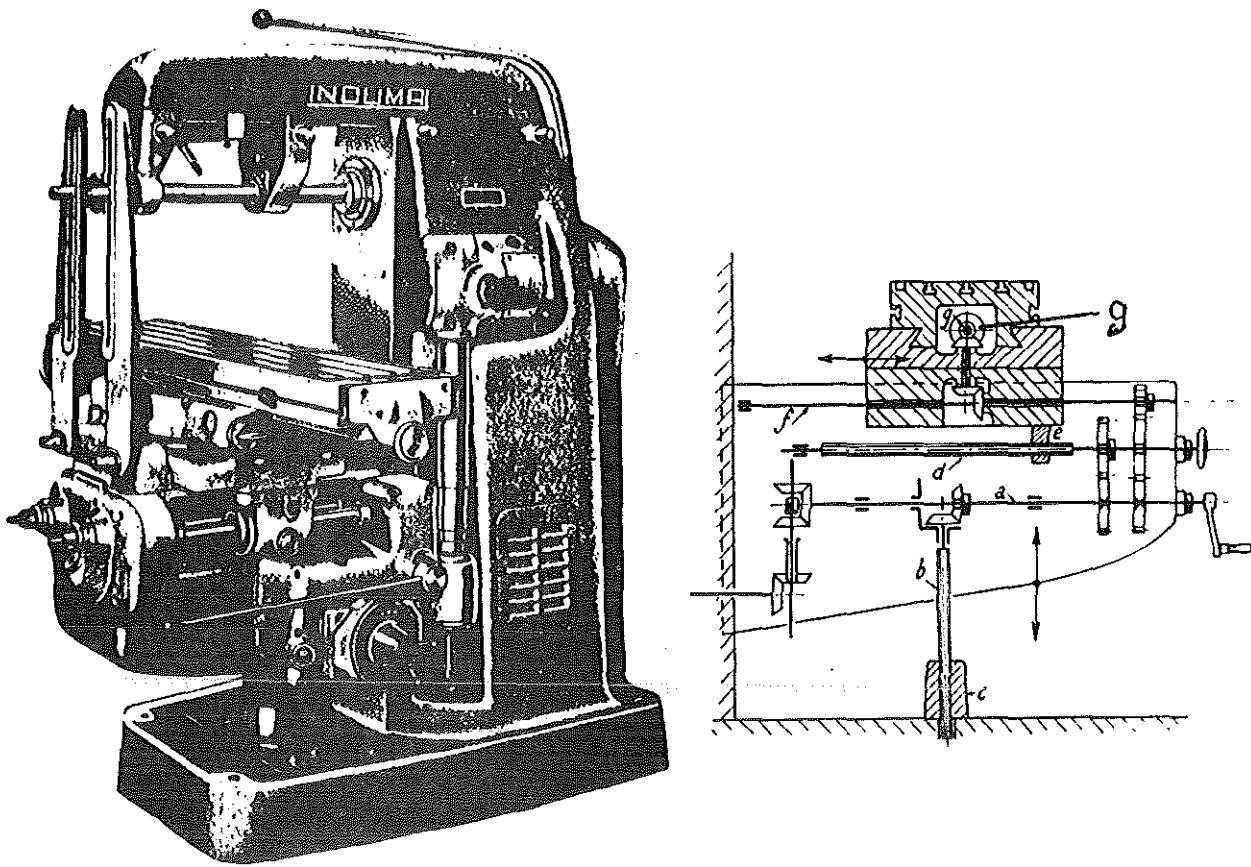


Figura 186 - Vista uma fresadora horizontal e esquema dos acionamentos da mesa.

a - Eixo de transmissão, b - Fuso de levantamento de mesa, c - Porca fixada à base, d - Fuso de comando do avanço transversal, e - Porca fixada à mesa, f - Eixo de transmissão para o comando do avanço longitudinal, g - Fuso longitudinal para o movimento de avanço.

FRESADORA VERTICAL

As fresadoras verticais têm características e movimentos praticamente idênticos aos das fresadoras horizontais. A diferença consiste, especialmente, no cabeçote.

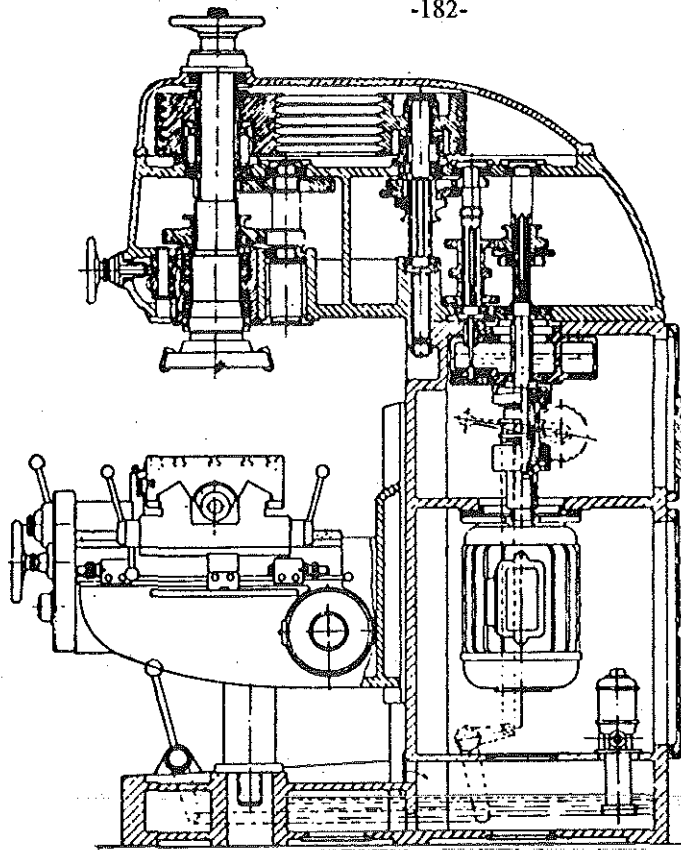


Figura 187 - Fresadora vertical de cabeçote fixo.

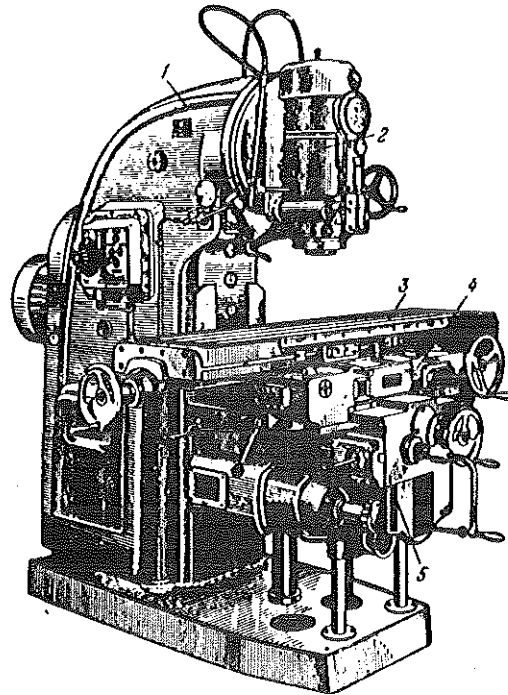


Figura 188 - Fresadora vertical de cabeçote orientável.

- 1 - Estrutura, 2 - Cabeçote móvel orientável, 3 - Mesa porta-peça, 4 - Carro, 5 - Mesa, 6 - Motor de avancos, 7 - Motor principal.

Um modelo especial de fresadora vertical é a Fresadora Copiadora que serve para usinar peças de forma de duas ou três dimensões, como cames, estampos, etc.. O princípio de funcionamento é o de comandar o movimento de avanço através de um modelo, reproduzindo-o com precisão na peça a usinar, através de um dispositivo hidrocopiador.

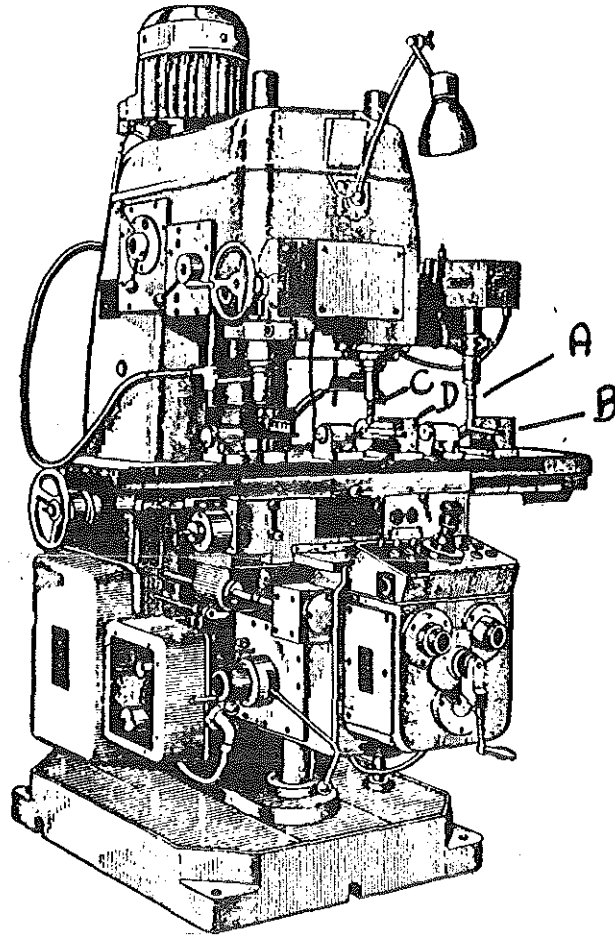


Figura 189 - Fresadora vertical copiadora de dois mandris.
A - Apalpador, B - Modelo, C - Fresa, D - Peça.

O apalpador capta a forma do modelo e através do circuito hidráulico transmite o contorno para a fresa com precisão.

FRESADORA UNIVERSAL

As fresadoras universais caracterizam-se por possuir o eixo árvore horizontal e possibilitar o acoplamento de um cabeçote vertical orientável; caracteriza-se, ainda, pela possibilidade da mesa poder girar sobre o carro transversal, até certo ponto, segundo uma escala graduada.

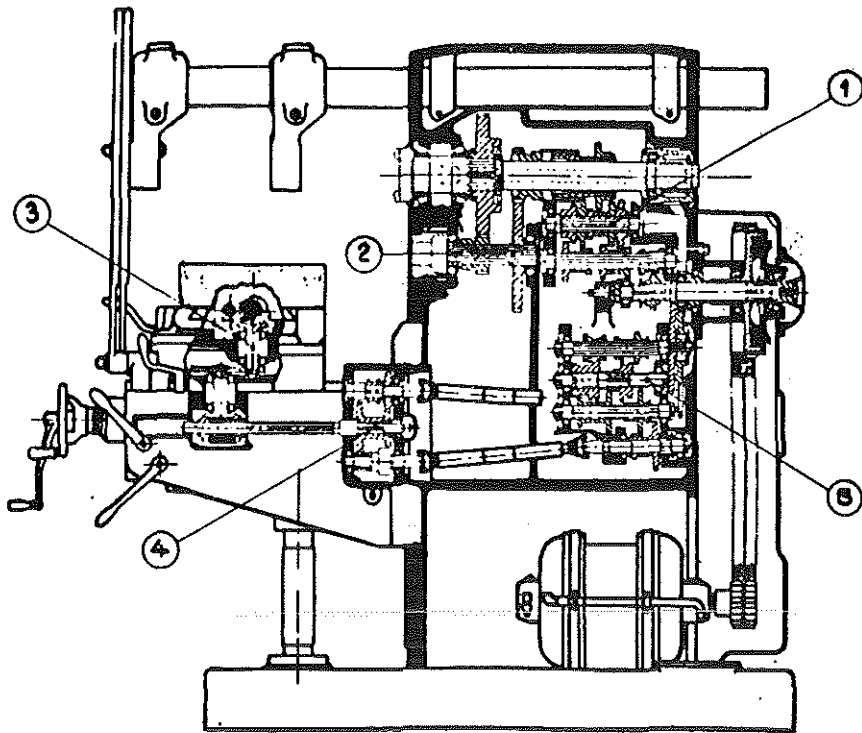


Figura 190 - Fresadora universal de mesa giratória.
1 - Caixa de velocidade, 2 - Eixo, 3 - Eixo de giro de mesa, 4 - Seletor de avanço lento e rápido, 5 - Caixa de avanços.

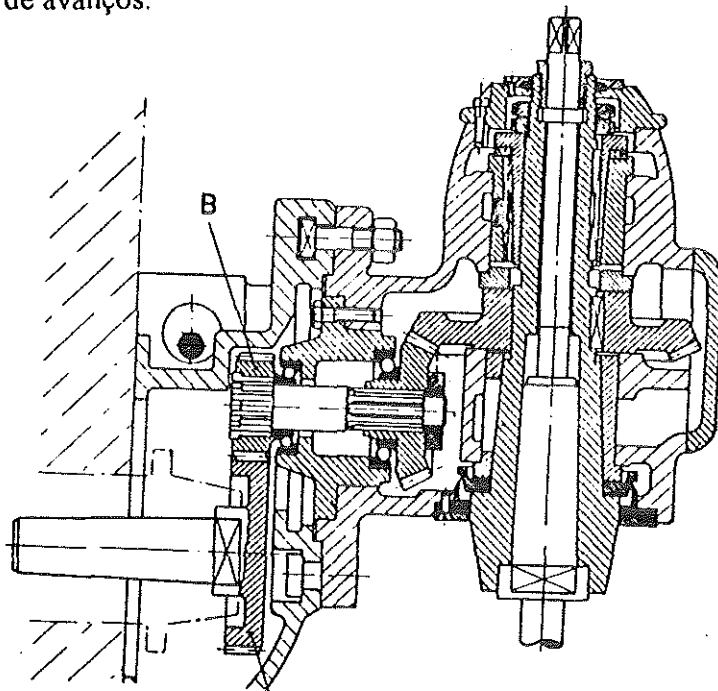


Figura 191 - Cabeçote vertical orientável para fresadora universal.

Um acessório bastante usual em fresadoras universais é o DIVISOR UNIVERSAL que serve para os seguintes objetivos:

- Sustentar a peça durante o tempo da operação;
- Permitir realizar um determinado número de superfícies fresadas ou ranhuradas equiangu lares ao redor de uma circunferência;
- Permitir executar ranhuras helicoidais ao longo de uma superfície cilíndrica.

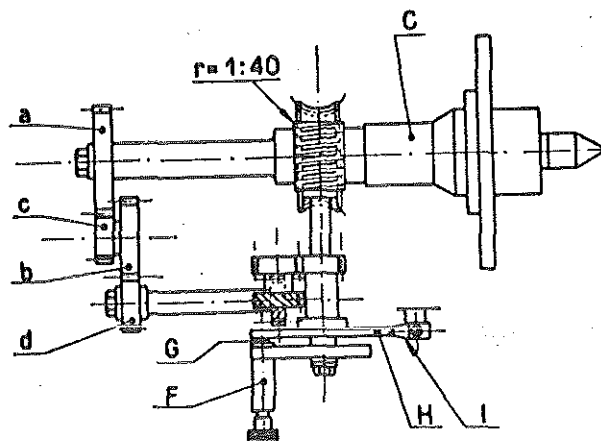


Figura 192 - Divisor para fresadoras e cadeia cinemática.

A - Corpo, C - Eixo para fixação da peça, F - Manivela, G - Pino obturador que encaixa nos furos, H - Prato divisor.

Um determinado número de voltas completas de manivela F e o encaixe do pino obturador G em furos pertencente a uma das carreiras de furos circunferenciais do prato divisor H, corresponderá a um bem determinado ângulo de giro do eixo C.

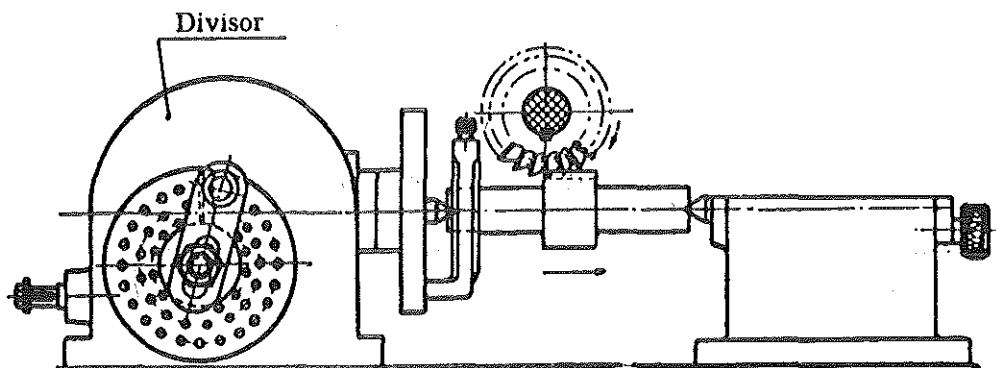


Figura 193 - Montagem do divisor para fresar engrenagem reta.

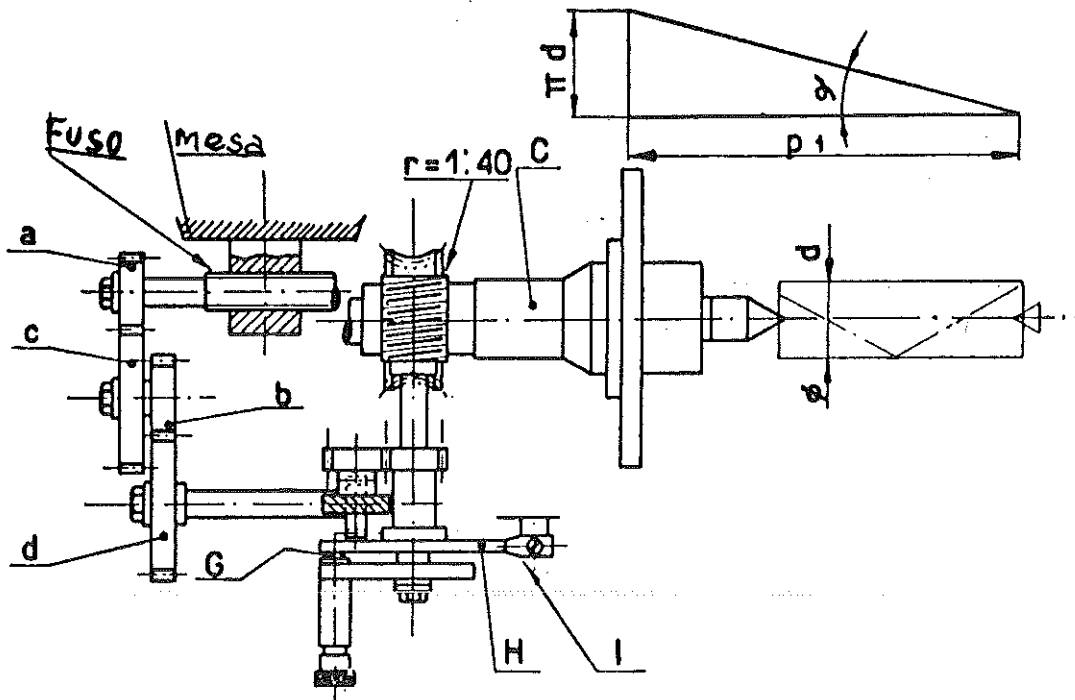


Figura 194 - Montagem do divisor para fresar rasgo helicoidal.

a, b, c, d - Engrenagens para transmissão do movimento do fuso da mesa para o divisor. Há uma combinação do movimento de translação de mesa com o de rotação da peça produzida pelo divisor resultando uma hélice de ângulo α bem determinado.

FRESADORA DE MESA

São máquinas que possuem fixas as bases que comportam as mesas porta-peça, de forma que estas podem fazer apenas o movimento longitudinal. Todos os movimentos vertical e transversal são realizados pelo cabeçote fresador ou seu eixo árvore. Existem construções para a fabricação em série (mesas de 1.000 a 2.500 mm) e modelos para usinagem de peças diversificadas de médio e grande porte (mesas de 3.000 a 12.000 mm). A mesa é acionada por fusos ou cilindros hidráulicos com velocidade variável de 10 a 1.000 mm/min. As figuras a seguir ilustram alguns modelos.

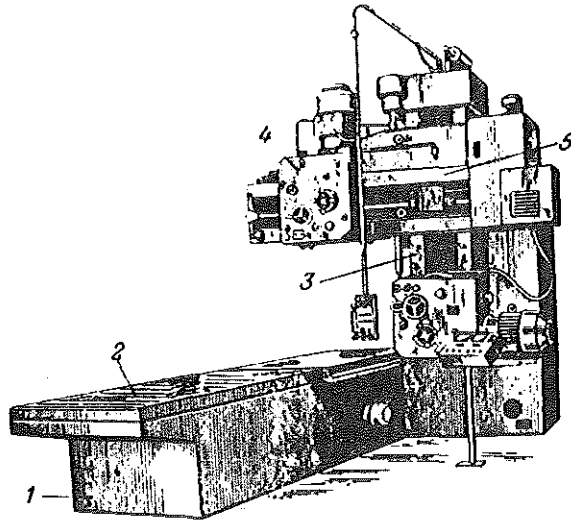


Figura 195 - Fresadora de mesa de um montante.
1 - Base, 2 - Mesa, 3 - Montante, 4 - Cabeçote, 5 - Travessa.

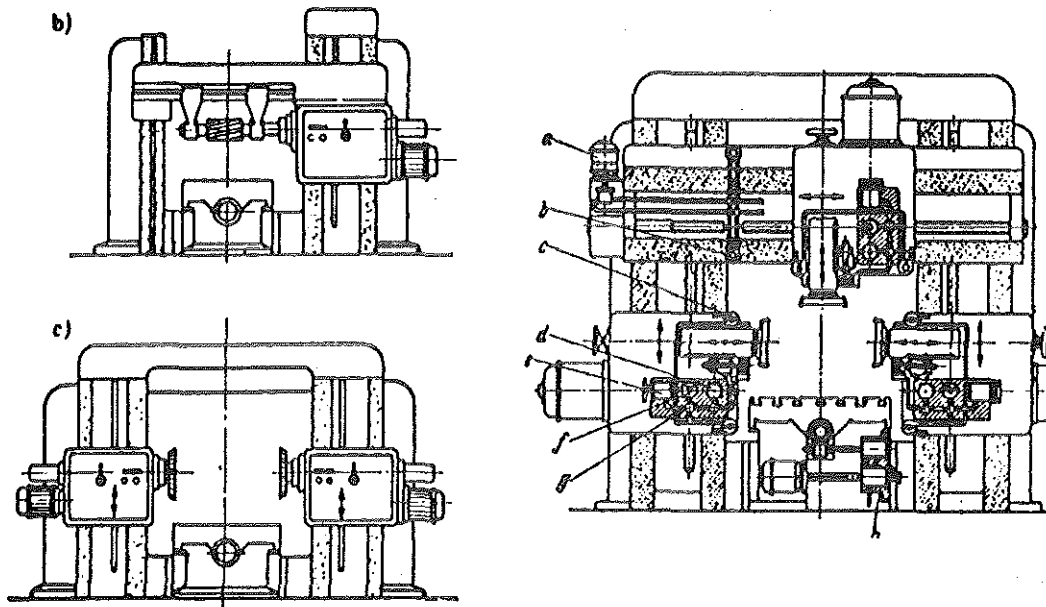


Figura 196 - Fresadoras de mesa de dois montantes.

2.5.3. Fresas

O aspecto teral de uma fresa se apresenta na figura a seguir. O perfil de cada dente é comparável ao de uma ferramenta de torno onde:

α - ângulo de fola (6°)

γ - ângulo de saída (5 a 10°)

β - ângulo de cunha, sendo

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

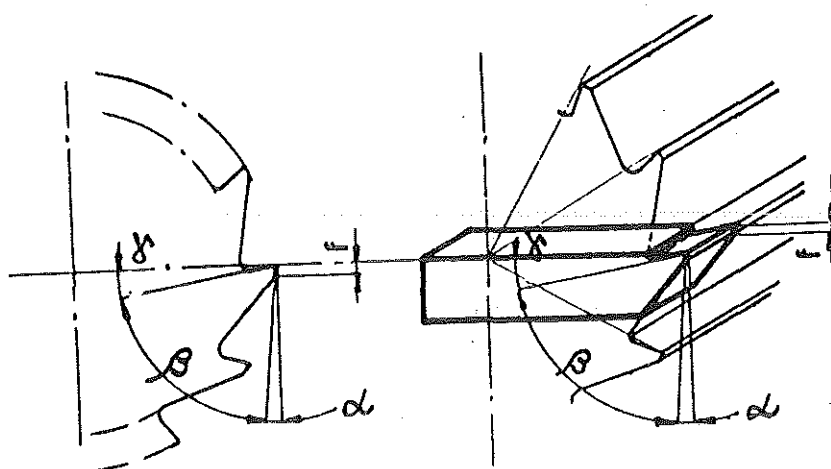


Figura 197 - Aspecto geral de uma fresa.

2.5.3.1. Formas construtivas

A qualidade da superfície fresada depende do emprêgo da ferramenta correta, estado das arestas cortantes, centragem da fresa, número de dentes adequado para cada diâmetro da fresa e material a ser usinado, assim como dos ângulos de corte (α , β , γ , λ ...). É conveniente, para minimizar o número de fresas, dividir os materiais a usar em três grupos e para tais são fixadas as dimensões das fresas.

Os grupos são:

- 1 - aços e ferros fundidos comuns de construção mecânica ($\sigma_R < 70 \text{ kg/mm}^2$)
- 2 - materiais tenazes e duros ($\sigma_R > 70 \text{ kg/mm}^2$)
- 3 - materiais leves e moles.

FORMA DOS DENTES

Os dentes podem ser fresados (ou agudos), detalonados e postiços

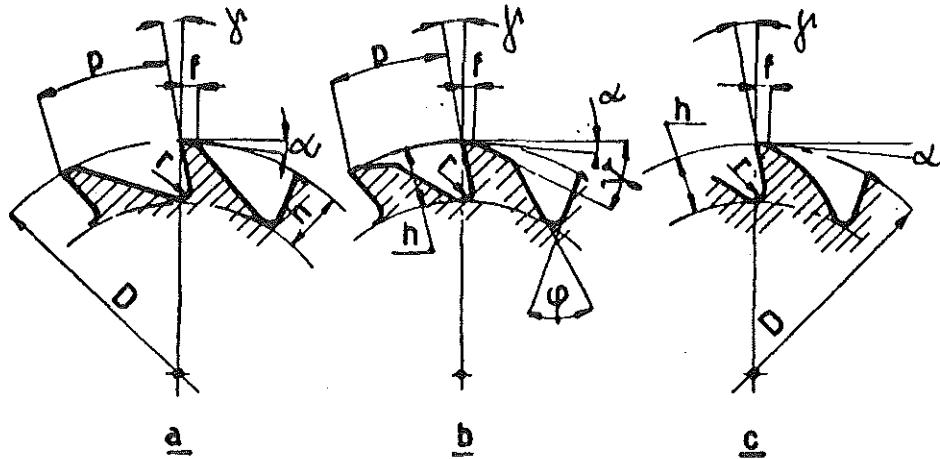


Figura 198 - Formas de dentes.

a - Agudo ou dente de serra, b - Fresado reforçado, c - Detalonado.

Os dentes fresados são os mais simples de ser feito. O tipo de dente de serra apresenta as desvantagens de ser pouco resistente e de vida mais curta devido às afiações sucessivas na superfície de folga.

O dente detalonado é a forma empregada nas fresas de perfil constante que mantém o perfil original após cada afiação na superfície de saída.

O dente postiço é a solução mais econômica para fresas de grande diâmetro. O corpo da fresa é feito de aço ao carbono e os dentes, geralmente, são de metal duro e fixado mecanicamente.

FORMAS DAS FRESAS INTEGRAIS

De uma maneira geral, quanto à forma, as fresas podem se classificar em:

- Fresas cilíndricas
- Fresas cônicas; e
- Fresas de perfil constante.

São feitas geralmente aço rápido de alta qualidade, podendo, em alguns casos, ter os dentes de metal duro soldado.

Fresas Cilíndricas

Estas ferramentas são de diversas construções, tais como:

- Fresas cilíndricas de corte tangencial com dentes retos e helicoidais;
- Fresas cilíndricas de corte tangencial e de topo;
- Fresas de disco.

• FRESAS CILÍNDRICAS DE CORTE TANGENCIAL HELICOIDAIS

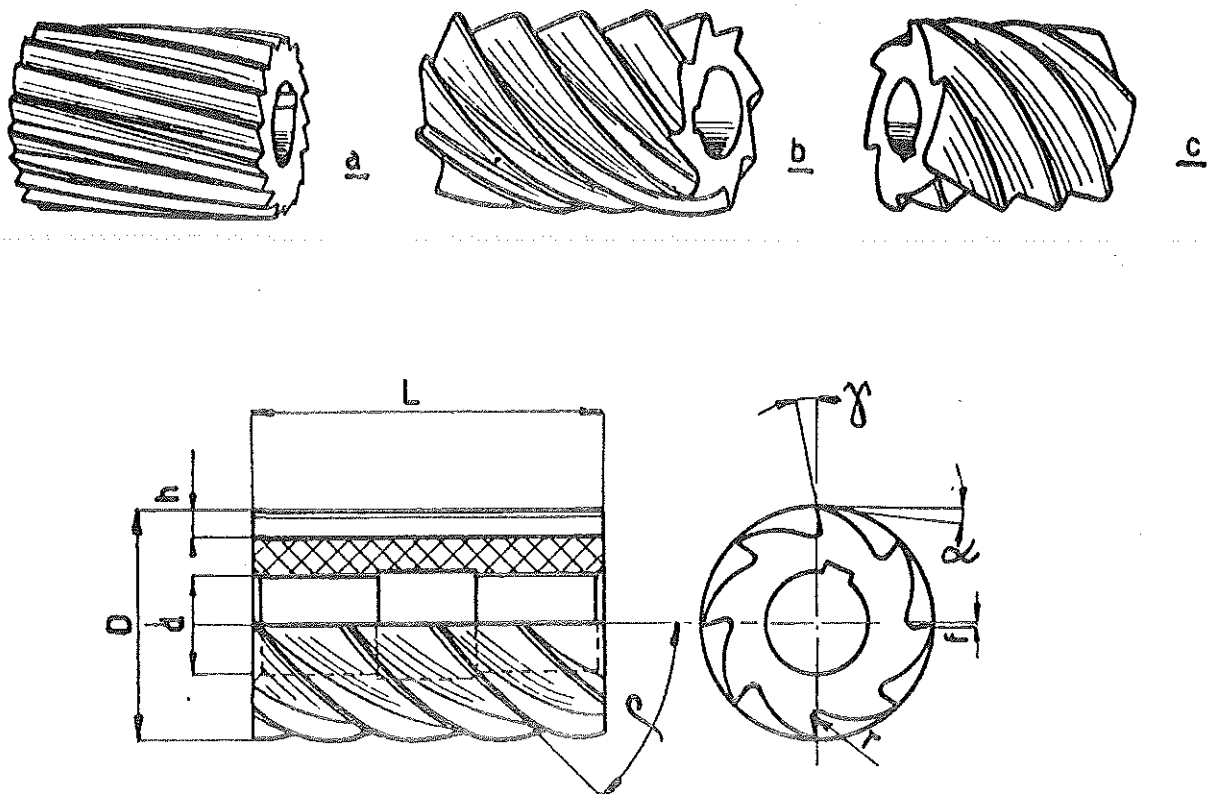


Figura 199 - Fresas cilíndricas de corte tangencial com corte à esquerda e hélice à direita.
a - para serviços gerais, b - para aços e ferro fundido, c - para metais leves.

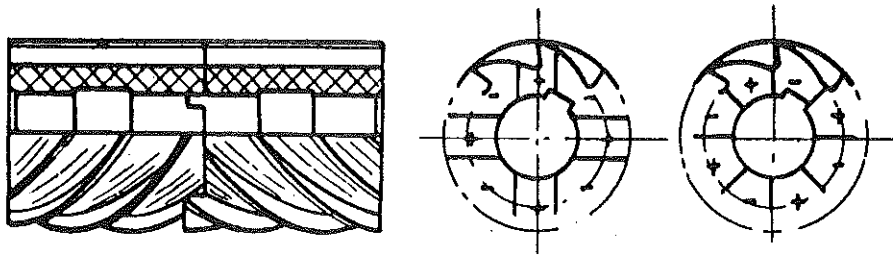


Figura 200 - Fresas cilíndricas de corte tangencial acopladas combinando hélices contrárias.

As fresas helicoidais produzem um esforço axial que pode sobrecarregar o mancal da máquina. Entretanto tem a vantagem de produzir uma usinagem suave graças a forma do dente e atuação simultânea de vários dentes.

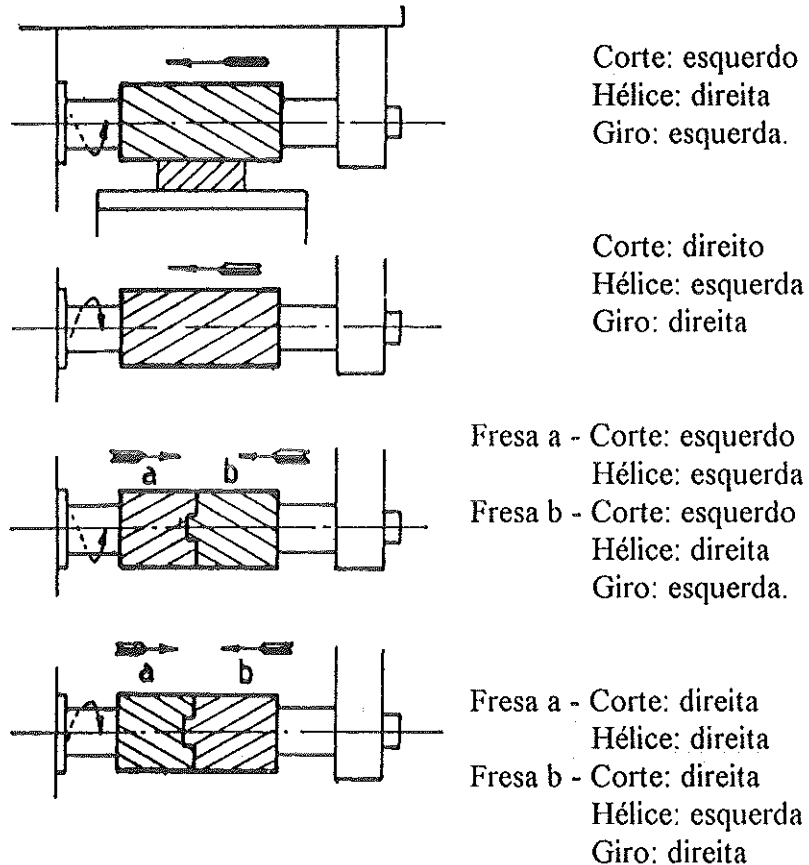


Figura 201 - Fresas cilíndricas helicoidais e os esforços axiais produzidos.

• FRESAS CILÍNDRICAS DE CORTE TANGENCIAL E FRONTAL HELI-
COIDAIS



Figura 202 - Fresa: tangencial e frontal com cabo cilíndrico, hélice à esquerda - diâmetro até 20 mm.

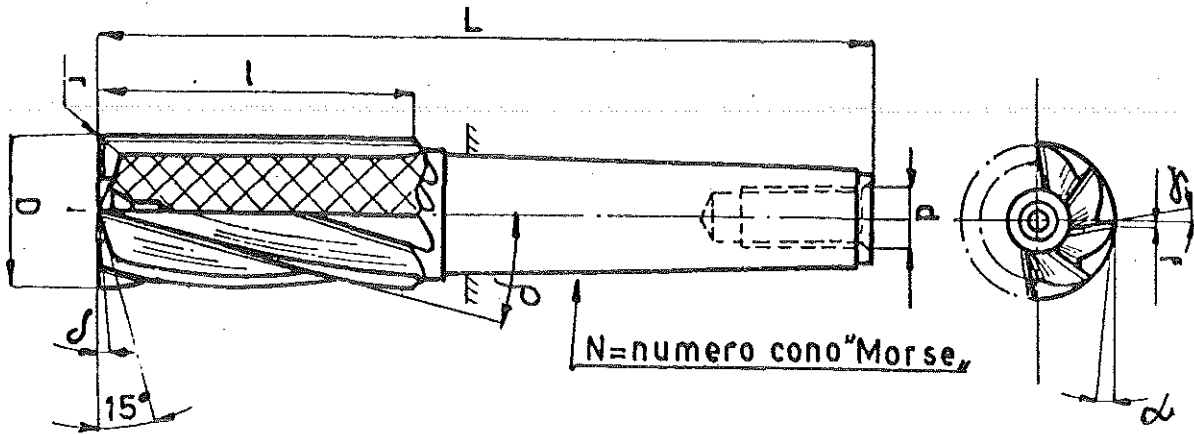


Figura 203 - Fresa tangencial e frontal com cabo cônico hélice direita - diâmetro até 40 mm.

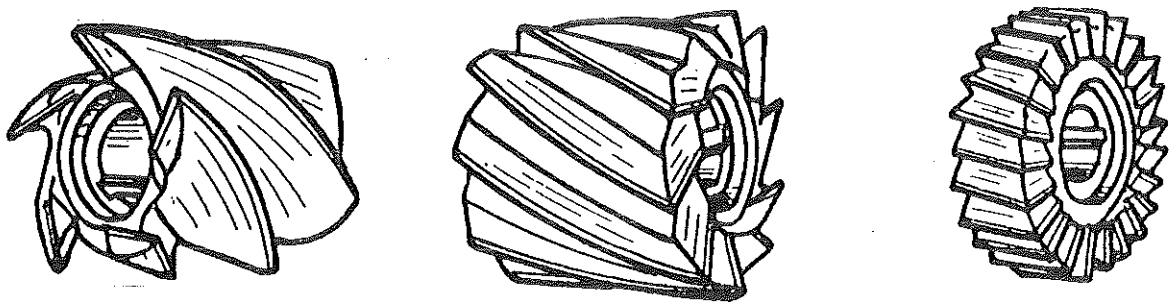


Figura 204 - Fresas tangenciais e frontais ôcas - diâmetro de 30 a 150 mm.

• FRESAS CILÍNDRICAS DE DISCO

Recebem este nome por terem a espessura muito menor que o diâmetro externo. Podem ser:

- a) Fresas de dois cortes, e
- b) Fresas de três cortes.

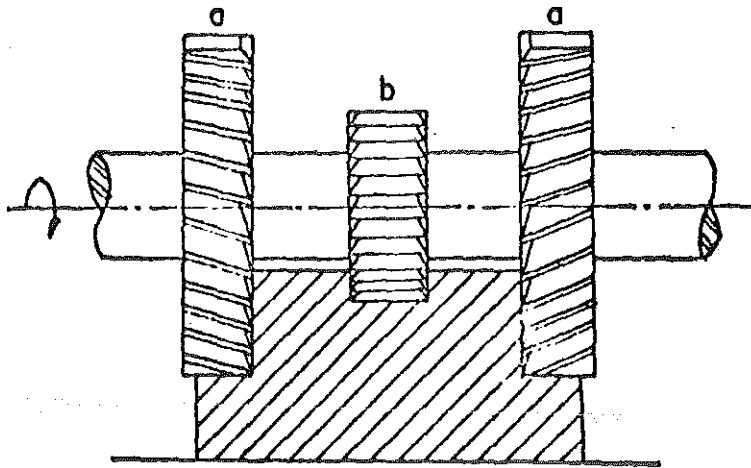


Figura 205 - Fresas de disco.
a - de dois cortes, b - de três cortes.

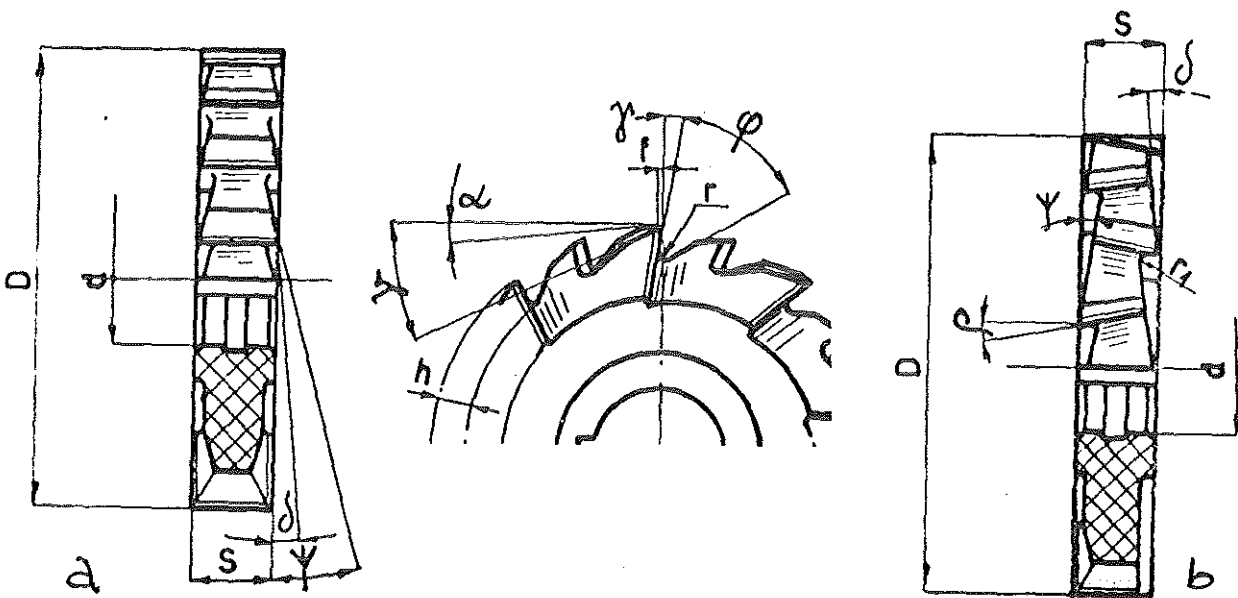


Figura 206 - Fresas de disco de 3 cortes.
a - reta, b - bihelicoidal.

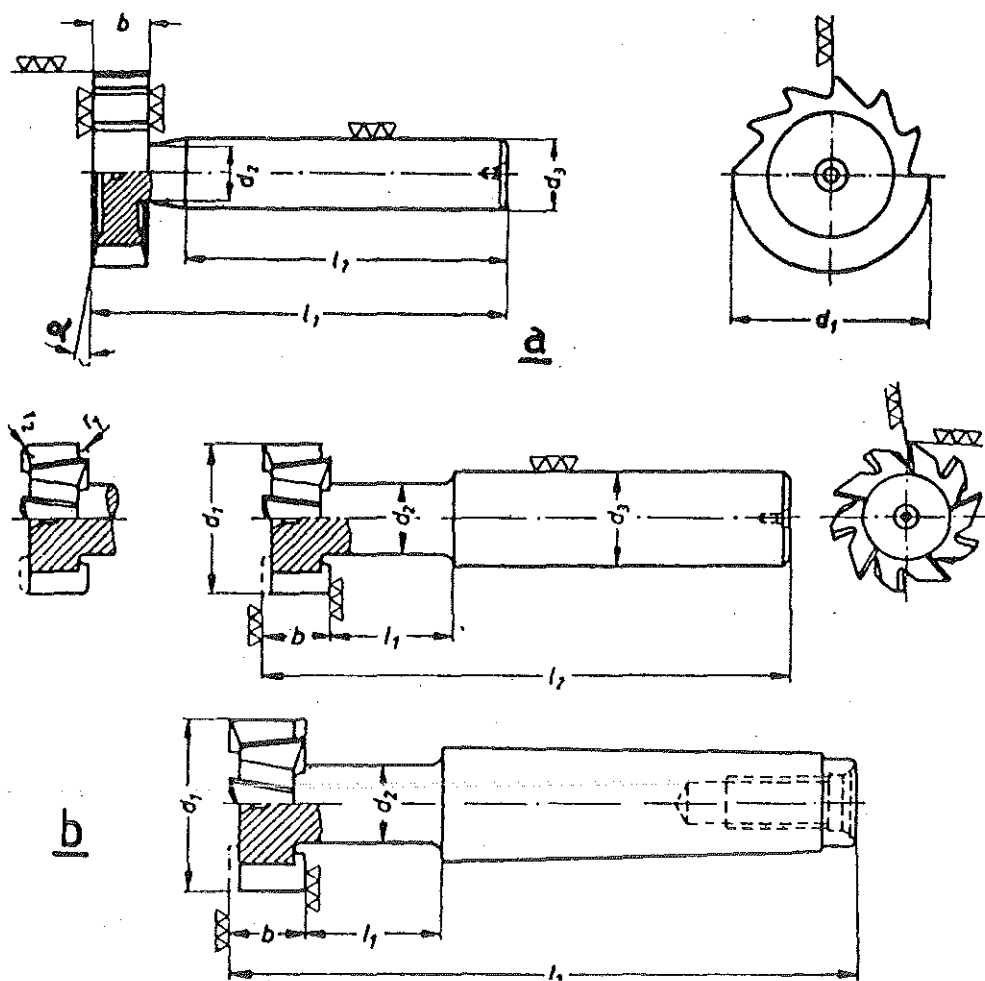


Figura 207—Fresas de cabo para ranhurar
a-retas, b-helicoidais

FRESAS CÔNICAS

São ferramentas que se prestam para usinar superfícies que formam ângulos. Podem ser:

- Fresas angulares simétricas; (figura 208a)
- Fresas frontais de ângulo; (figura 208b)
- Fresas angulares plano-cônicas; (figura 208c)
- Fresas bicônicas; (figura 208d)
- Fresas angulares para usinar fresas de perfil constante; (figura 208e)
- fresas com cabo. (figura 208f)

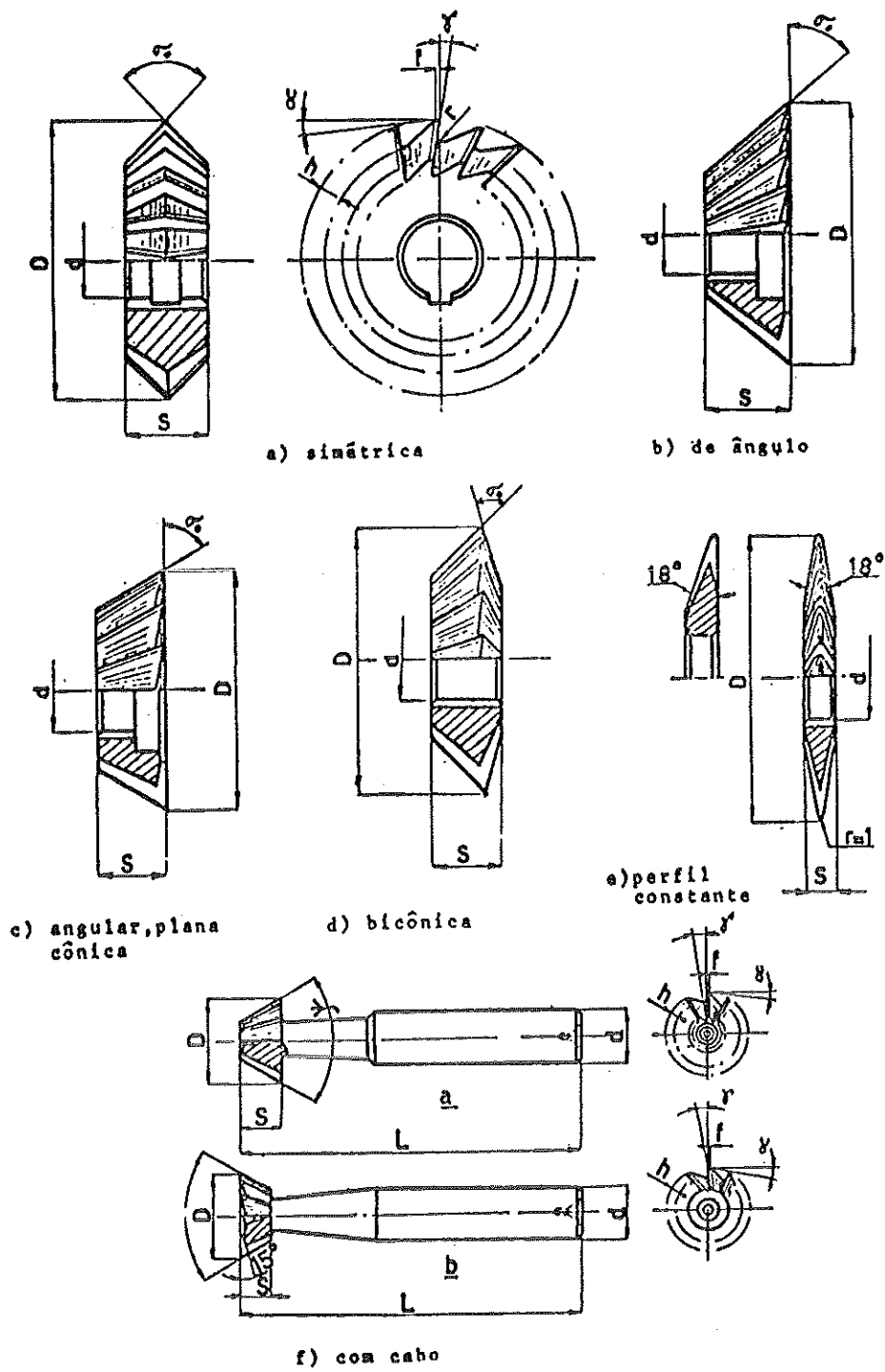


Figura 208 - Tipos de fresas angulares.

Fresas de Perfil Constante

As fresas de perfil constante ou de forma devem reproduzir sobre a peça trabalhada o perfil característico da ferramenta, que deve permanecer inalterado após sucessivas afiações. Estas condições são satisfeitas através do detalonamento do dorso do dente (superfície de folga) segundo uma espiral logarítmica ou, com boa aproximação, uma espiral de Arquimedes.

Para facilitar o controle do perfil, assim como a afiação dos dentes, faz-se coincidir o plano de forma com o plano radial, resultando geralmente, um ângulo de saída nulo, como mostra a figura.

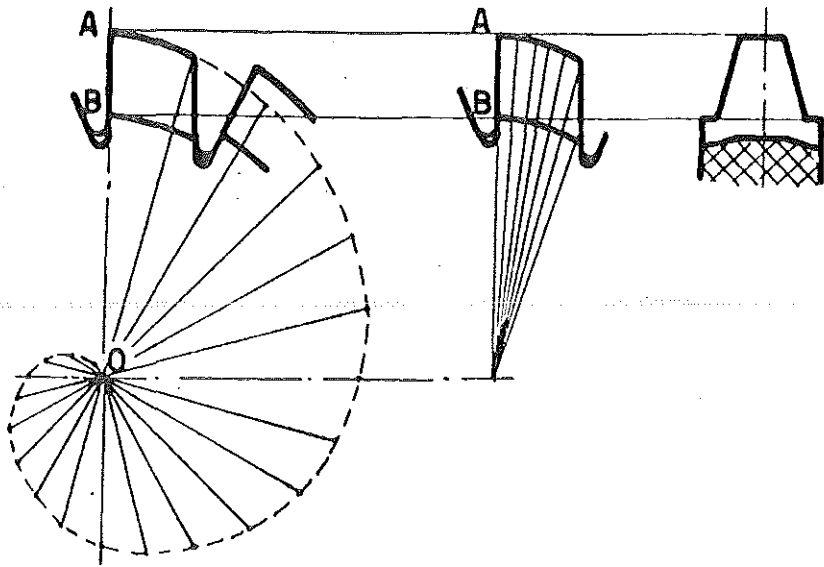


Figura 209 - Dente de perfil constante.

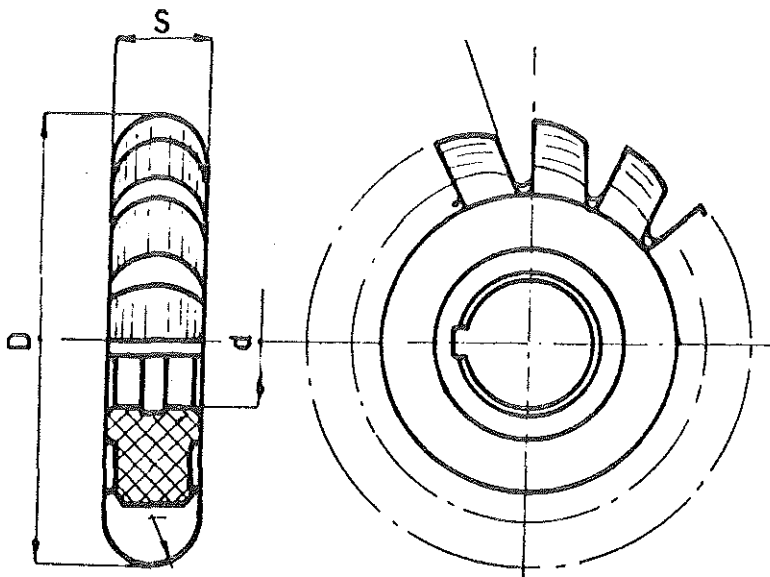


Figura 210 - Fresa para rasgo circular.

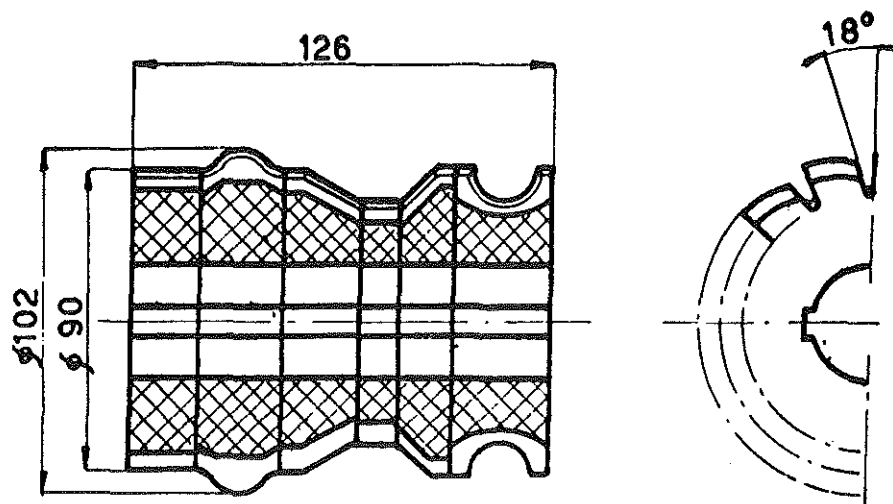


Figura 211 - Tem de seis fresas para perfilar.

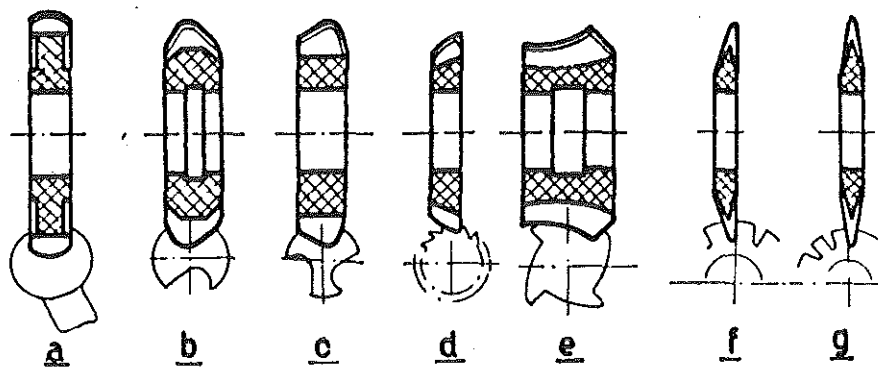


Figura 212 - Fresas de disco de perfil constante para fabricação de ferramentas.
a - Chave, b - Broca, c- Machos, d - Fresas, e - Alargadores, f,g - Fresas de perfil constante.

FORMAS DAS FRESAS DE DENTE POSTIÇO

São fresas constituídas por um corpo de aço ao carbono e as facas de material apropriado para ferramenta de usinagem, principalmente aço rápido e metal duro soldado. A fixação das faces geralmente é feito por meio de cunha, como mostra a figura a seguir.

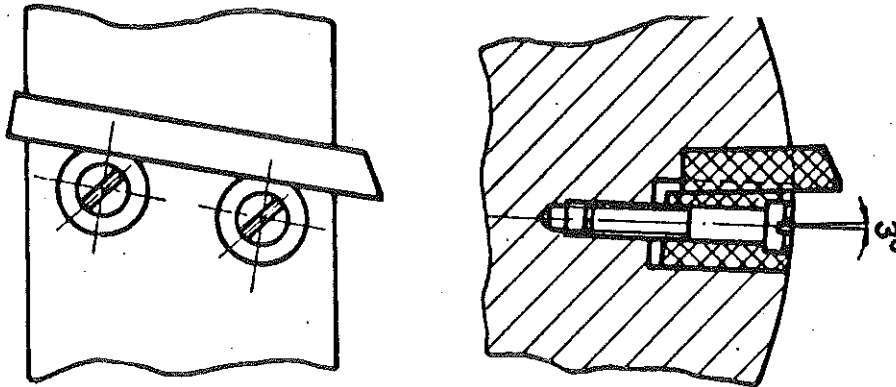


Figura 213 - Fixação de dentes postiços por meio de cunha.

Os tipos mais comuns são:

- Fresas com três arestas cortantes, dentes paralelos;
- Fresas com três arestas cortantes, dentes inclinados;
- Fresas frontais;
- Fresas de forma (obtidas por combinação de fresas simples);
- Fresas de inserto reversível para facear;
- Fresas de inserto reversível tipo disco.

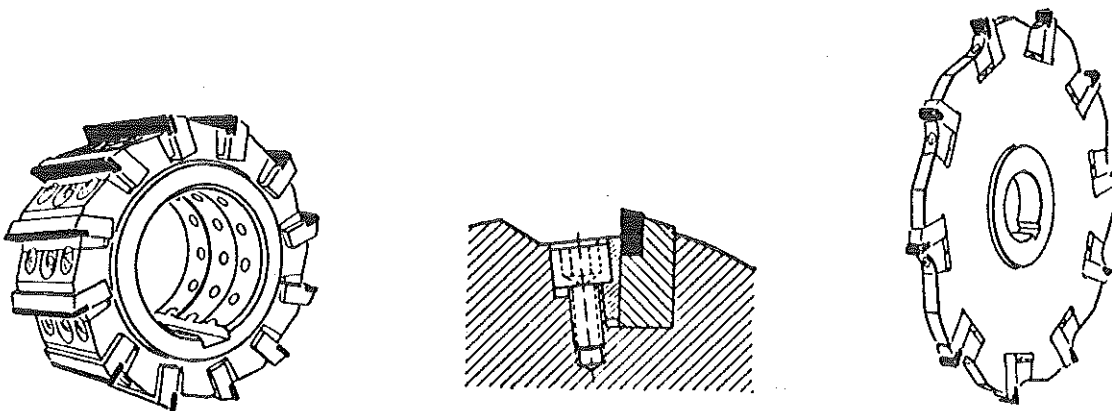


Figura 214 - Fresas com dentes postiços paralelos e três arestas cortantes.

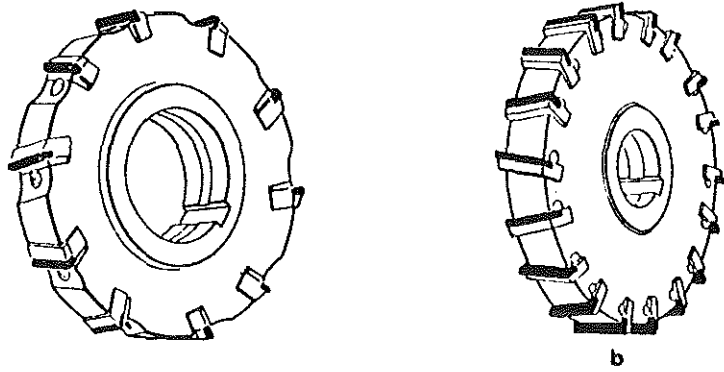


Figura 215 - Fresas com dentes posições inclinados e três arestas cortantes.

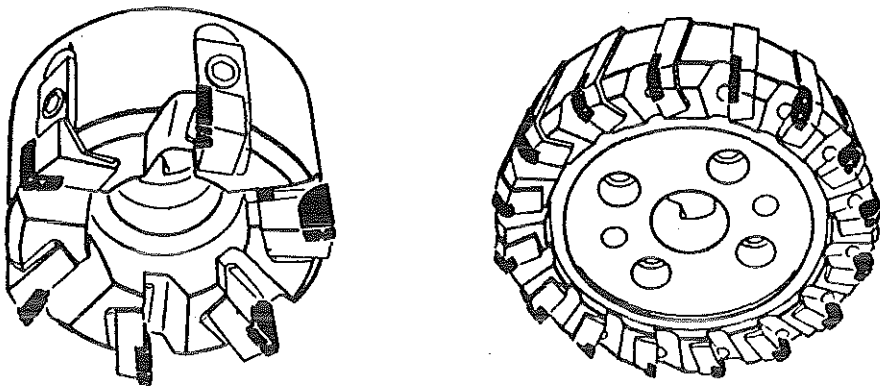


Figura 216 - Fresas com pastilhas de metal soldada em uma face.

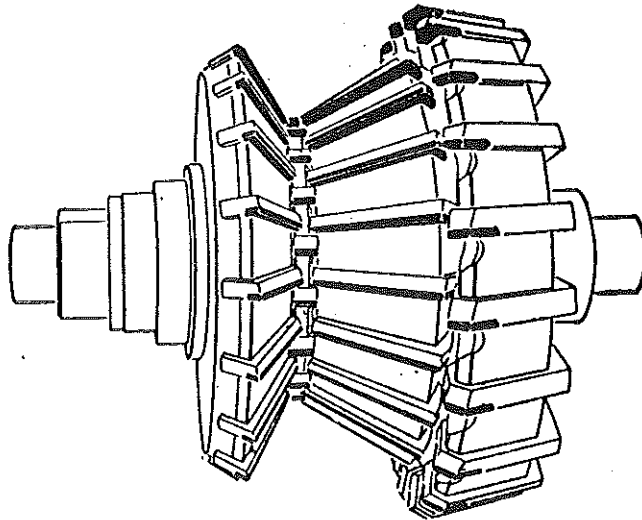
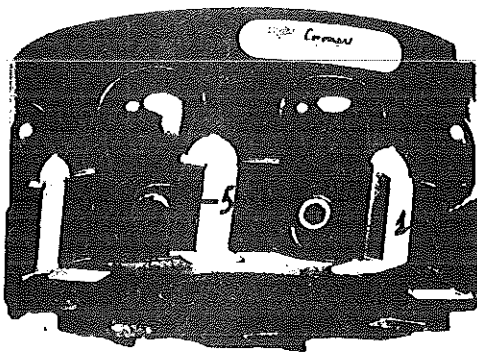


Figura 217 - Fresa de forma com facas insertadas.



1. Calço
2. Parafuso para calço "1." (fresas com diâmetro de 50 e 63 mm, usam um rebite elástico no lugar do parafuso).
3. Parafuso da cunha
4. Cunha
5. Inserto

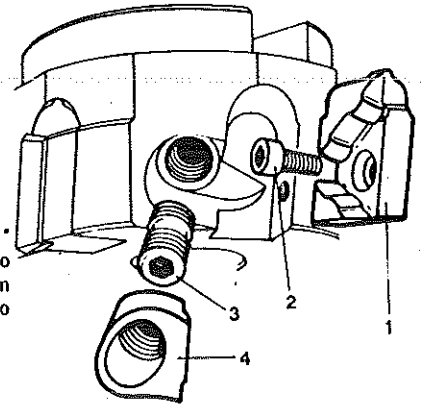


Figura 218 - Fresa de inserto reversível para facear.

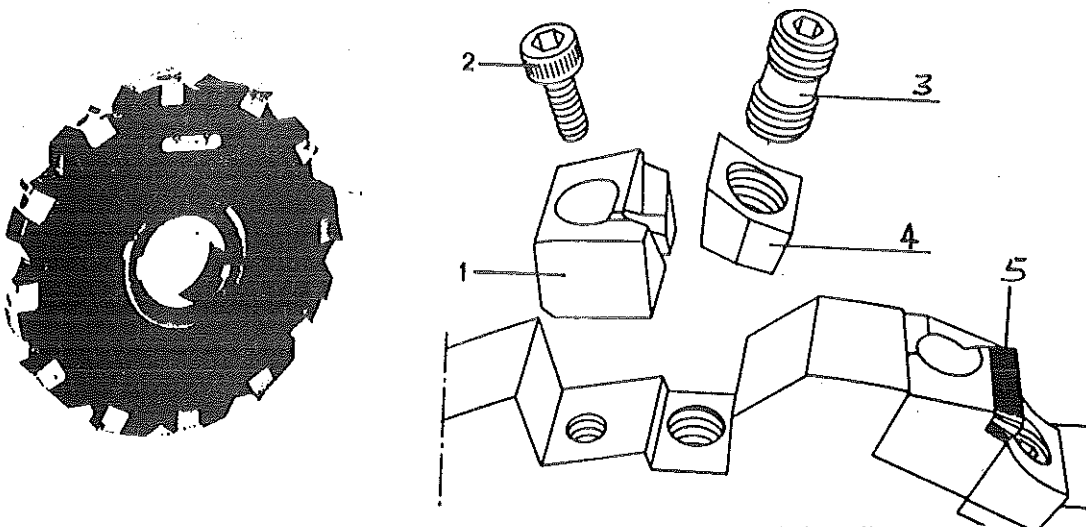


Figura 219 - Fresa de inserto reversível tipo disco.

2.5.4. Seleção da velocidade de corte e do avanço

Desde que a precisão dimensional, acabamento superficial e produtividade estão intimamente relacionados com a velocidade de corte e o avanço por dente, é conveniente um cuidadoso estudo destes dois parâmetros, em função do material da peça, tipo de fresa e demais condições de usinagem.

Os valores das tabelas a seguir fornecem os valores normais indicados para uma primeira aproximação das condições ótimas de usinagem.

MATERIAL	Resistência σ_t [kg/mm ²] ou dureza HB	Tangen - ciais		Tang. Frontais		Disco		Topo c/ haste		Forma		Frontais (com insertos)	
		AR	MD	AR	MD	AR	MD	AR	MD	AR	MD	AR	MD
Aço Carbono	até 50	0,20	0,25	0,25	0,28	0,07	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	0,15 - 0,25	0,10 - 0,25
	50 - 70	0,15	0,20	0,20	0,25	0,06	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,15 - 0,20	0,10 - 0,25
	70 - 90	0,10	0,15	0,15	0,22	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,12 - 0,15	0,08 - 0,20
	90 - 110	0,08	0,15	0,10	0,22	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,12 - 0,15	0,08 - 0,20
Aço liga	-	0,08	0,15	0,10	0,22	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,10 - 0,12	0,10 - 0,20
Aço Fundido	38 - 52	0,15	0,15	0,15	0,22	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,12 - 0,20	0,10 - 0,30
FoFo Cinzento	< 200 HB	0,20	0,20	0,20	0,25	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,10 - 0,30	0,10 - 0,35
	> 200 HB	0,10	0,20	0,15	0,22	0,05	0,07	0,03	0,05	0,02	0,04	0,10 - 0,20	0,10 - 0,30
FoFo modular	-	0,20	0,20	0,20	0,22	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	-	-
FoFo maleável	-	0,20	0,20	0,20	0,25	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,10 - 0,30	0,15 - 0,30
Ligas de Al.	-	0,15	0,10	0,10	0,15	0,07	0,07	0,04	0,05	0,03	0,04	0,10 - 0,20	0,10 - 0,25
Latão	-	0,20	0,25	0,20	0,30	0,07	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,10 - 0,25	0,10 - 0,30
Bronze	-	0,15	0,25	0,15	0,30	0,06	0,07	0,04	0,05	0,03	0,04	0,10 - 0,25	0,10 - 0,25
Plásticos	-	0,15	0,25	0,20	0,30	0,10	0,10	0,06	0,07	0,04	0,06	0,10 - 0,20	0,10 - 0,20

CÓDIGO:
 AR - AÇO RÁPIDO
 MD - METAL DURO

OBSERVAÇÃO:
 a) Os valores indicados correspondem a uma espessura de penetração de 3,0 a 5,0 mm, no fresamento cilíndrico tangencial e a uma profundidade de corte de 3,0 a 5,0 no fresamento frontal.
 b) Entende-se como fresas frontais aquelas utilizadas para o faceamento.

Figura 220 - Valores recomendados de avanço por dente em mm. no fresamento.

MATERIAL	Resistência σ_t [kg/mm ²] ou dureza HB	Fresas de tópo (para facear)		Demais tipos de fresas	
		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
Aço liga	-	12 - 20	45 - 80	13 - 17	60 - 100
Aço Fundido	38 - 52	15 - 25	50 - 90	13 - 19	40 - 70
FoFo Cinzento	< 200 HB	19 - 26	65 - 100	14 - 19	50 - 80
	> 200 HB	14 - 25	40 - 70	10 - 16	40 - 60
FoFo nodular	-	-	-	10 - 20	50 - 100
FoFo maleável	-	18 - 28	80 - 120	16 - 22	50 - 80
Ligas de Alumínio	-	180 - 270	300 - 1000	200 - 300	200 - 600
Latão	-	50 - 70	120 - 240	34 - 48	80 - 120
Bronze	-	40 - 65	100 - 200	30 - 40	80 - 120
Plásticos	-	60 - 80	80 - 120	30 - 50	80 - 100
CÓDIGO:		OBSERVAÇÃO:			
AR - AÇO RÁPIDO		- Quando existir crosta de fundição e laminação ou outros defeitos superficiais a velocidade de corte deve ser reduzida.			
MD - METAL DURO					

Figura 221 - Valores recomendados da velocidade de corte em m/min. no fresamento.

2.5.5. Força e potência de corte no fresamento com fresas cilíndricas de dentes retos

FRESAMENTO TANGENCIAL

Partindo do critério de Kienzle para torneamento, a componente tangencial de força de corte é:

$$P_c = k_s \cdot h \cdot b$$

onde a pressão específica k_s pode ser dada através da espessura h do cavaco. No fresamento a espessura do cavaco varia em cada instante, de maneira que a força de corte P_c variará não só em direção como também em grandeza. A figura a seguir mostra os parâmetros envolvidos no fresamento tangencial.

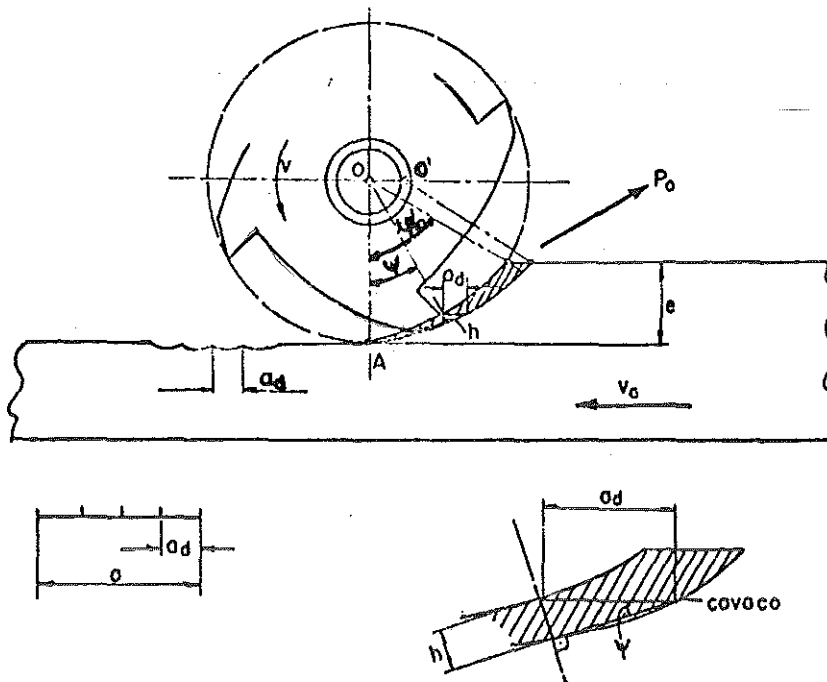


Figura 222 - Grandezas geométricas no processo de formação do cavaco.

Aproximadamente, tanto no fresamento discordante quanto no concordante, tem-se a relação:

$$h = a_d \operatorname{sen} \Psi \quad \text{ou} \quad h = \frac{V_a}{n \cdot z} \cdot \operatorname{sen} \Psi \quad \text{onde:}$$

b = largura do corte, mm;

a_d = avanço da peça por dente da fresa e por volta, em mm;

V_a = velocidade de avanço, em mm/min;

n = rotação da fresa em rpm;

z = número de dentes da fresa;

h = espessura instantânea do cavaco, em mm;

Ψ = ângulo central correspondente a h .

Substituindo o valor de h na expressão de P_c :

$$P_c = k_s \cdot V_a \cdot b$$

como $h = f(\Psi)$ então $k_s = f(\Psi)$ através de h .

Segundo Kienzle:

$$k_s = k_{s1} \cdot h^{-z}$$

$$P_c = k_s \cdot h \cdot b = k_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$$

$$P_c = k_{s1} \cdot b \left(\frac{V_a}{n \cdot z} \right)^{1-z} \cdot (\operatorname{sen} \Psi)^{1-z}$$

Definindo o valor médio da pressão específica de corte, k_m , correspondente a espessura média h_m do cavaco:

$$k_m = k_s(h_m), \quad h_m \equiv h(\Psi)_m, \quad \Psi_m = \frac{1}{2} \Psi_0$$

A expressão aproximada de força de corte é:

$$P'_c = k_m \cdot \frac{V_a \cdot b}{z \cdot n} \cdot \operatorname{sen} \Psi$$

O trabalho elementar por dente e por volta da ferramenta é:

$$dT = P'_c \cdot \frac{D}{2} \cdot d\Psi \cdot \frac{1}{1000} \text{ kgf} \cdot \text{m.}$$

Integrando-se entre os limites 0 e Ψ_0 e levando em conta que:

$$\cos \Psi_0 = \frac{\frac{D}{2} - e}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2e}{D}, \text{ tem}$$

$$T = k_m \cdot \frac{V_a \cdot b \cdot e}{1000 \cdot z \cdot n} \text{ kgf} \cdot \text{m.}$$

A potência média total de corte para fresamento tangencial é:

$$N_c = \frac{T \cdot z \cdot n}{60 \cdot 75} = 2.22 \times 10^{-7} \cdot k_m \cdot b \cdot e \cdot V_a \text{ CV}$$

O valor de k_m encontra-se na figura a seguir em função de h_m que pode ser calculada pela expressão abaixo para fresamento tangencial:

$$h_m = a_d \cdot \text{sen} \frac{\Psi_0}{2} = \frac{V_a}{z \cdot n} \sqrt{\frac{e}{D}}$$

FRESAMENTO FRONTAL

Para fresamento frontal as grandezas geométricas envolvidas estão mostradas na figura a seguir.

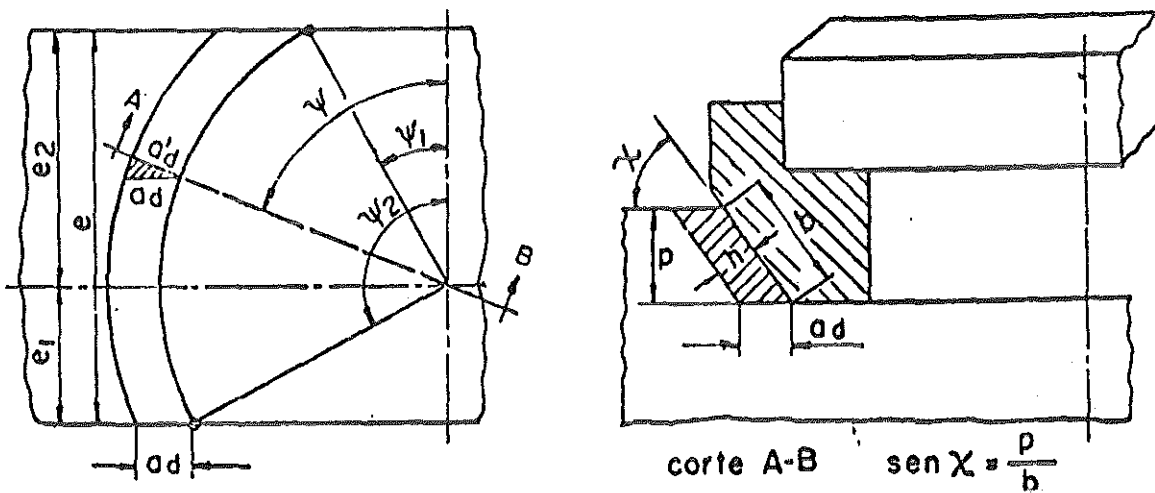


Figura 223 - Espessura do cavaco em função do ângulo de posicionamento do dente e do ângulo de posição.

Deduz-se que:

$$h_m = \frac{1}{\Psi_2 - \Psi_1} a_d \cdot \text{sen } \chi (\cos \Psi_1 - \cos \Psi_2)$$

$$N_c = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot k_m \cdot e \cdot p \cdot V_a \text{ CV}$$

Sendo, portanto, idêntica a do fresamento tangencial com a diferença que k_m será definido pela expressão de h_m correspondente ao fresamento de topo.

Nº	Material Especificação	Resistência σ_c [Kg/mm ²] ou Dureza HB	Ângulo de Saída γ_c/γ°	Expoente ^{*)} 1 - z	Pressão espec. de corte ^{**)} k_{al}	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	-79/120	0,74	199	535	475	425	375	330	295	260	230	205
2	C35	58	-79/120	0,80	195	405	370	340	310	280	255	235	215	195
3	St60.11	62	-79/120	0,83	211	415	380	350	325	300	280	260	240	220
4	St70.11	75	-79/120	0,80	226	460	420	380	350	320	290	265	240	220
5	CK45	67	-79/120	0,86	222	385	360	340	320	300	280	260	245	230
6	CK60	77	-79/120	0,82	213	425	390	360	330	305	280	260	240	220
7	(aço fundido)	50 70	-79/120	0,82	180	350	320	295	270	250	235	220	200	180
8	16MnCr5	77	-79/120	0,74	220	570	510	455	400	355	315	280	250	220
9	18CrNi6	63	-79/120	0,70	230	695	605	525	460	400	350	300	265	230
10	37MnSi5	72	-79/120	0,80	235	490	450	405	370	340	310	280	255	235
11	42CrMo4	73	-79/120	0,74	260	675	600	535	475	420	370	330	290	260
12	34CrMo4	60	-79/120	0,79	230	495	455	415	375	340	310	280	255	230
13	50CrNiMo8	76	-79/120	0,80	270	565	515	470	425	390	355	325	295	270
14	50CrV4	60	-79/120	0,74	230	600	530	475	420	370	330	290	260	230
15	55NiCrMoV6	94	-79/120	0,76	180	440	390	350	315	280	250	225	200	180
16	55NiCrMoV6	HB=352	-79/120	0,76	200	490	435	385	350	310	280	250	225	200
17	EGHo	59	-79/120	0,83	240	450	415	380	355	330	305	280	260	240
18	Meqhanite 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.

Figura 224 - Valores de pressão específica de corte para fresamento.

2.5.5.1. Cálculo da potência média de corte através do volume de cavaco removido

Para todos os tipos de fresamento é válida a expressão a seguir para cálculo do volume de cavaco removido por minuto.

$$V = b \cdot e \cdot a_d \cdot n \cdot z = b \cdot e \cdot V_a \cdot \text{mm}^3/\text{min.}$$

V = volume do cavaco removido, em mm^3/min ;

b = largura de corte, em mm;

e = espessura de corte, em mm;

a_d = avanço por dente, mm;

n = rotação da fresa, rpm;

z = número de dentes da fresa;

V_a = velocidade de avanço da peça, mm/min.

Chamando-se V' o volume de cavaco removido (mm^3) por unidade de potência (KW, HP ou CV) em um minuto de trabalho, que pode ser medido experimentalmente, tem-se por definição:

$$N_c = \frac{V}{V'}$$

O valor de V' é apresentado na figura a seguir segundo diversas fontes.

A potência a ser fornecida pelo motor de acionamento de fresadora será:

$$N_m = \frac{N_c}{\eta_t}$$

onde η_t é o rendimento total de transmissão apresentados a seguir.

Potencia do Motor	3	5	7,5	10	15	20	25	30
Rendimento	40	48	52	52	55	60	65	70

TOOL ENGINEERS HANDBOOK	V' $\left \frac{10^3 \text{ mm}^3}{\text{HP, min.}} \right $	KEARNEY AND TRECKER	V' $\left \frac{10^3 \text{ mm}^3}{\text{HP, min.}} \right $	CINCINNATI MILLING	V' $\left \frac{10^3 \text{ mm}^3}{\text{HP, min.}} \right $
Alumínio e Magnésio	41,0-65,5	Alumínio	37,4	Alumínio fundido	32,8
Bronze e latão, mole	27,9-41,0	Latão, mole	32,8	Magnésio	41,0
Bronze e latão, médio	16,4-22,9	Bronze, duro	22,9	Latão	29,5
Bronze e latão, duro	9,8-16,4	Bronze, muito duro	10,6	Ferro fundido	20,5
Ferro fundido, mole	24,6	FoFo, mole	22,1	Ferro Fundido mal.	20,5
Ferro fundido, médio	13,1-16,4	FoFo, duro	13,9	Aço 100 HB	13,1
Ferro fundido, duro	9,8-13,1	FoFo, coquilhado	10,6	Aço 150 HB	11,5
Fofo mal. e Aço Tref. SAE 6140	14,7	FoFo, maleável	14,7	Aço 200 HB	10,6
Aço Tref. SAE 1112, 1120 e 1315	16,4	Aço, mole	13,2	Aço 250 HB	9,8
Forjados e aços liga SAE 3120, 1020, 2320 e 2345, c/150-300 HB	10,3-14,3	Aço, médio	10,6	Aço 300 HB	9,0
Aços liga 300-400 HB	8,2	Aço, duro	7,9	Aço 400 HB	8,2
Aço inox. de corte livre AISI 416	18,0				
Aço inox. austenítico de corte livre AISI 303	13,8				
Aço inox. austenítico, AISI 304	11,8				
Metal monel	9,0				
Cobre, recozido	13,8				
Aço ferramentas	8,3				
Níquel	8,6				
Titânio	12,3				

Figura 225 - Fator de remoção de cavaco V' segundo várias fontes.

2.6. Processo de Serramento

O corte dos metais para a preparação dos tarugos a partir de barras, constitui-se em uma operação importante porque, na maior parte das vezes, é uma operação preliminar obrigatória.

As serras devido a sua forma construtiva, são consideradas muito similares às fresas, pois se caracterizam por possuir uma sucessão ordenada de dentes de corte. As máquinas a serem apresentadas cortam o metal a frio e recebem a denominação conforme a forma de ferramenta. Tem-se as seguinte máquinas:

- 1 - Serra alternativa;
 - 2 - Serra de disco (circular); e
 - 3 - Serra de fita,
- que trabalham com baixas velocidades de corte (30 a 60 m/min. para aços).

Outro processo usual é o corte com disco abrasivo que trabalha com altas velocidades de corte (cerca de 2.000 m/min.) e disco de atrito (cerca de 7.200 m/min.).

2.6.1. Serra Alternativa

A serra alternativa emprega uma lâmina dentada fixada pelas extremidades em um arco que é movimentado alternativamente através de um mecanismo biela-manivela. Este arco tem seu movimento em guias usinadas em um braço que desce a medida que o material é cortado. Uma base que sustenta um dispositivo de fixação e a peça completa a máquina. Durante o curso de trabalho, a serra é comprimida contra a barra a ser cortada pelo peso do braço superior (arco). Durante o curso de retorno, a lâmina é erguida através de um dispositivo, a fim de evitar o arrastamento dos dentes sobre o material.

Estas máquinas possuem um dispositivo de desligamento automático ao terminar do corte, porque em corte de barras muito grossas a operação é muito demorada.

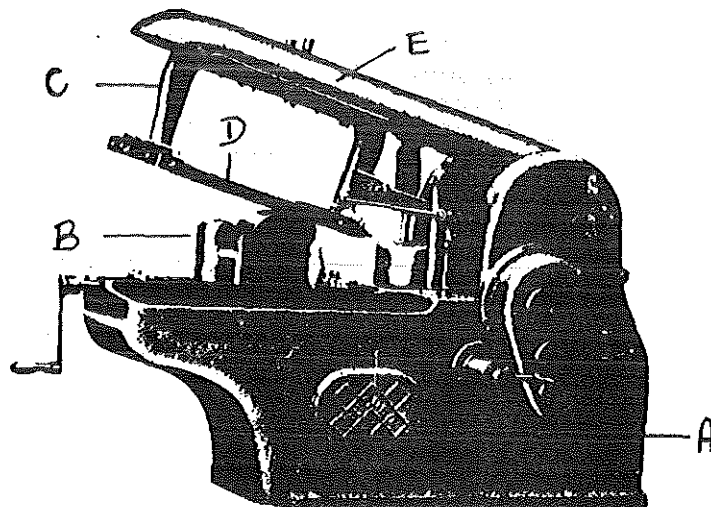


Figura 226 - Serra Alternativa

A-Base, B-Morsa. C-Arco, D-Serra, E-Braço articulado

A ferramenta usada - serra de barra - possui os dentes com trava, que consiste no desalinhamento dos dentes, alternadamente, um para a direita e outro para a esquerda, de modo que a espessura de corte seja superior a espessura da lâmina, evitando-se assim a possibilidade da serra enrustir no material. O número de dentes por polegada é de 8 a 12 para corte de seções plenas, de 18 a 22 dentes por polegada para corte de tubo de aço ou ferro fundido. Para tubos de parede fina usam-se serras de 28 a 32 dentes por polegada.

A velocidade de corte é de cerca de 20 a 40 m/min. para aços de 40 a 90 m/min. para metais leves.

Este tipo de serra é considerado o de menor produtividade, exigindo, entretanto, baixa potencia (1,5 a 3 CV).

2.6.2. Serra de Disco

Cortam barras metálicas mediante serras circulares. O movimento fundamental e de alimentação são dados à ferramenta que gira e avança transversalmente contra a barra a cortar, podendo este movimento ser vertical ou horizontal, como mostram as figuras.

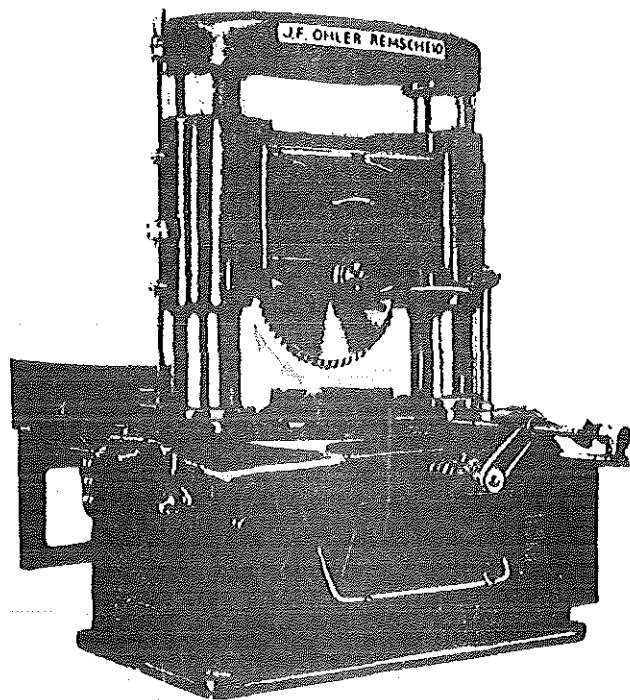


Figura 227 - Serra de disco com avanco vertical.

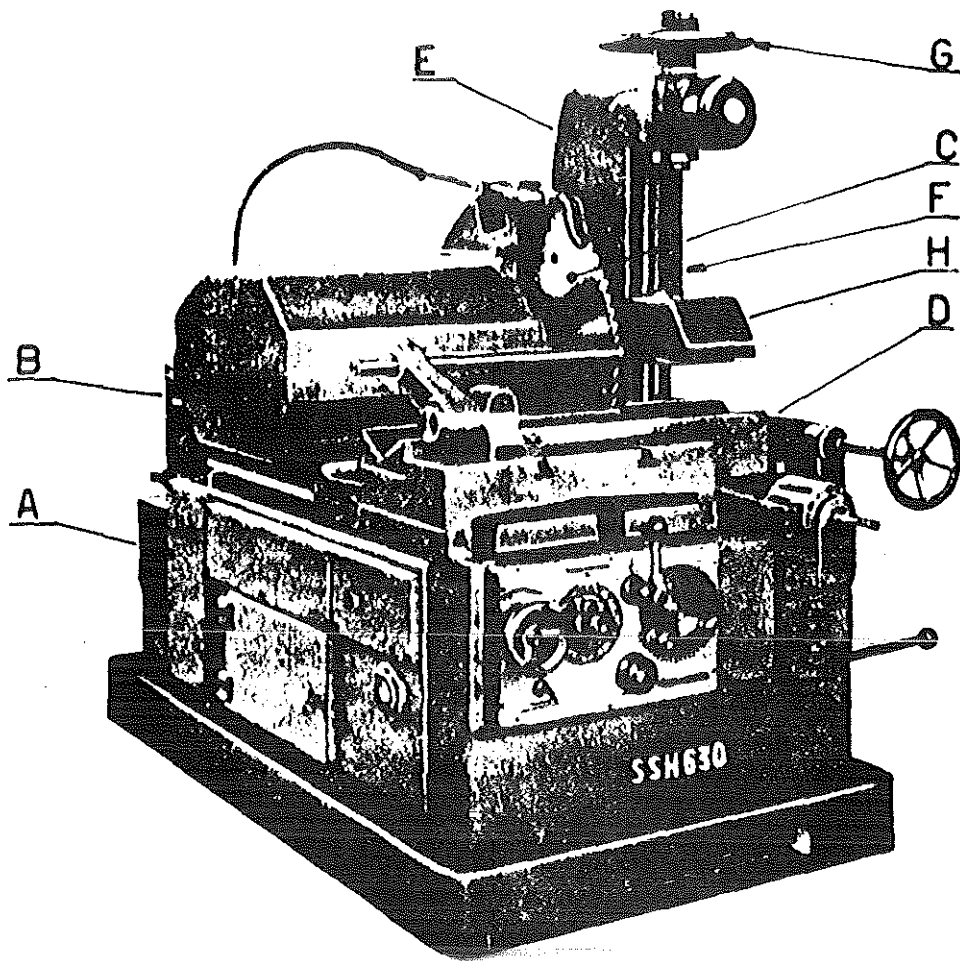


Figura 228 - Serra de disco com avanço horizontal.

A- Base, B - Cabeçote, C - Serra, D - Dispositivo de apoio de barra, E - Montante da morsa, F - Fuso da morsa, G - Volante da morsa, H - Mordente da morsa.

O movimento de avanço do cabeçote da serra é comandado por um grupo hidráulico instalado no interior da máquina onde, também, está instalado o motor de acionamento do eixo da serra e o cinematismo de mudança de rotação da mesma. À frente da máquina está o quadrado de comandos para a variação de avanços, a variação do número de revoluções do eixo porta-serra, a aproximação e afastamento rápido da ferramenta, e para o bloqueio da barra.

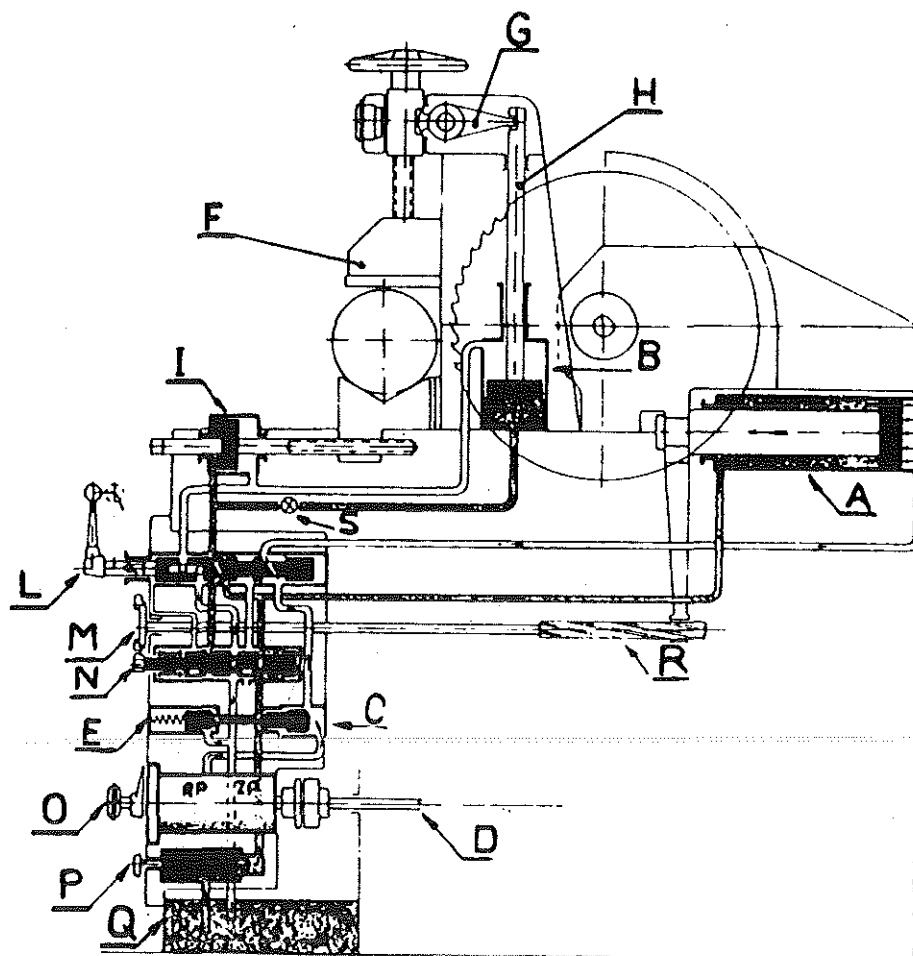


Figura 229 - Esquema do Circuito hidráulico

A - Cilindro para comandar o cabeçote porta-serra, B - Cilindro para comandar a sujeição da barra mediante o mordente F e o braço G, C - Válvula, D - Eixo da bomba, E - Válvula de segurança, H - Haste do pistão, I - Cilindro para regular a garra em V, L - Manipulador da válvula principal de envio de óleo aos cilindros, N - Válvula de inversão, O - Bomba (RP e ZP), R - Eixo.

O funcionamento se dá segundo um ciclo automático na seguinte ordem:

- a) bloqueio da barra;
- b) avanço rápido do cabeçote;
- c) avanço normal de corte;
- d) recuo rápido do cabeçote;
- e) parada do cabeçote;
- f) desbloqueio do cabeçote.

Estas máquinas podem, ainda, serem equipadas com dispositivos de alimentação automática da barra a cortar que a translada até o comprimento a cortar desejado, acionando, a seguir, os comandos necessários para operar o ciclo de corte.

A potência deste tipo de máquina varia de 10 a 30 CV.

2.6.3. Serras de Fita

O corte de metais se efetua também com uma fita em movimento em circuito fechado. Esta serra de fita vai tensionada entre dois volantes e guiada por roletes. Apesar de sua pouca espessura (0,8 a 1,0 mm) esta permanece perfeitamente rígida na zona de corte.

As máquinas mais usuais para corte de barras são horizontais, existindo construções para corte de barras redondas de até cerca de 1.000 mm, sendo bastante difundidos para uso em barras de até 300 mm de diâmetro.

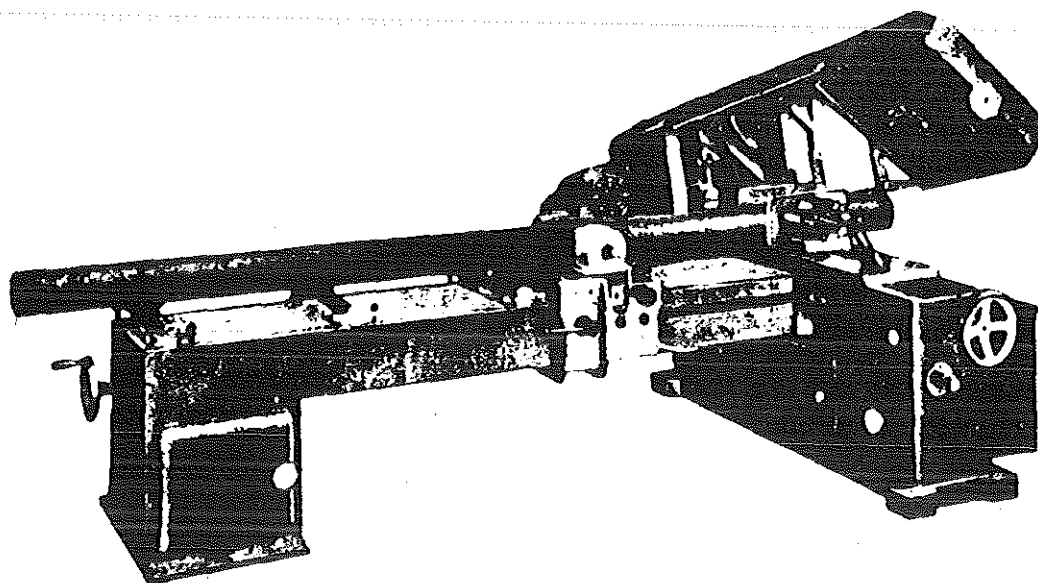


Figura 230 - Serra de fita horizontal.

A máquina da ilustração se compõe fundamentalmente de uma bancada que suporta a barra a ser cortada. Na caixa da extremidade direita vão montadas as instalações para os distintos comandos, assim com vai articulado, em um extremo, o arco porta-serra. Este tipo de máquina pode ter um ciclo automático de corte, bem como é possível automatização da alimentação.

A serra de fita tem várias vantagens sobre a serra alternativa, sobressaindo:

- 1 - eliminação do tempo de recuo;
- 2 - eliminação do desgaste devido a temperatura de corte, porque o espaço de tempo entre dois cortes do mesmo dente é muito maior para a serra de fita devido o seu comprimento ser 13 vezes maior, em média;
- 3 - Redução da perda de material, pois sua espessura é menor;
- 4 - facilidade de descarga de cavaco.

A serra de disco apresenta a desvantagem de ter maior espessura do disco, porém apresenta a vantagem de ter alta capacidade de corte, permitindo grandes avanços de corte e também permite ser totalmente automatizada, inclusive a troca de disco, sendo ideal para equipar células de fabricação automatizadas.

2.6.4. Serras

2.6.4.1. Serra Circulares

As serras circulares podem ser integrais ou de setores insertados.

SERRAS CIRCULARES INTEGRAIS

A serra integral é fabricada em peça única de diâmetro que varia de 20 a 315 mm. e espessura de 0,2 a 6 mm.

Para serras comuns, finas e de pequeno diâmetro é suficiente a forma do dente agudo; para as serras de grande rendimento é preferível o dente reforçado e convenientemente perfilado, como mostra a figura.

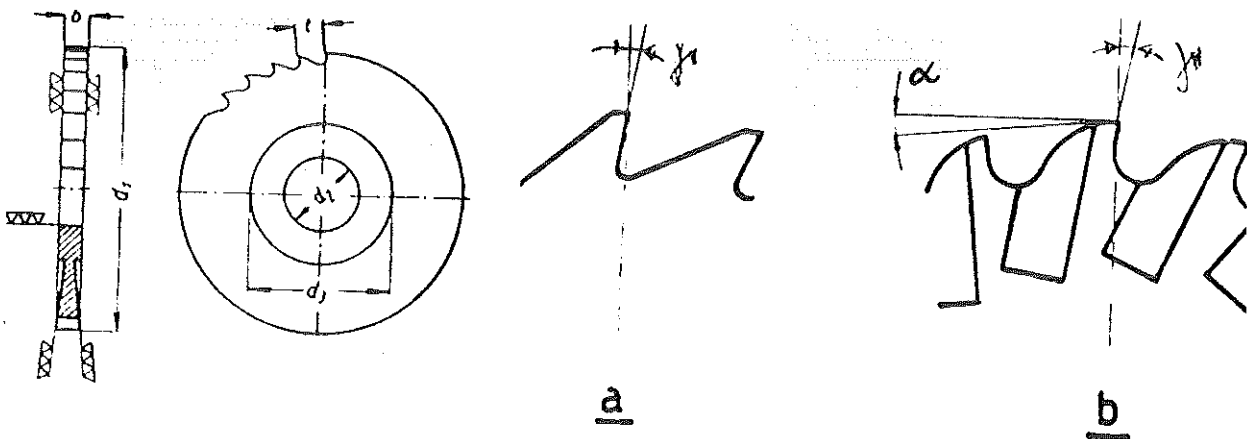


Figura 231 - Serras circulares e perfis dos dentes.

As diversas classes de materiais a cortar e as formas particulares que podem apresentar, requerem um denteado com passo adequado. Normalmente, adotam-se quatro graduações, ilustradas na figura a seguir.

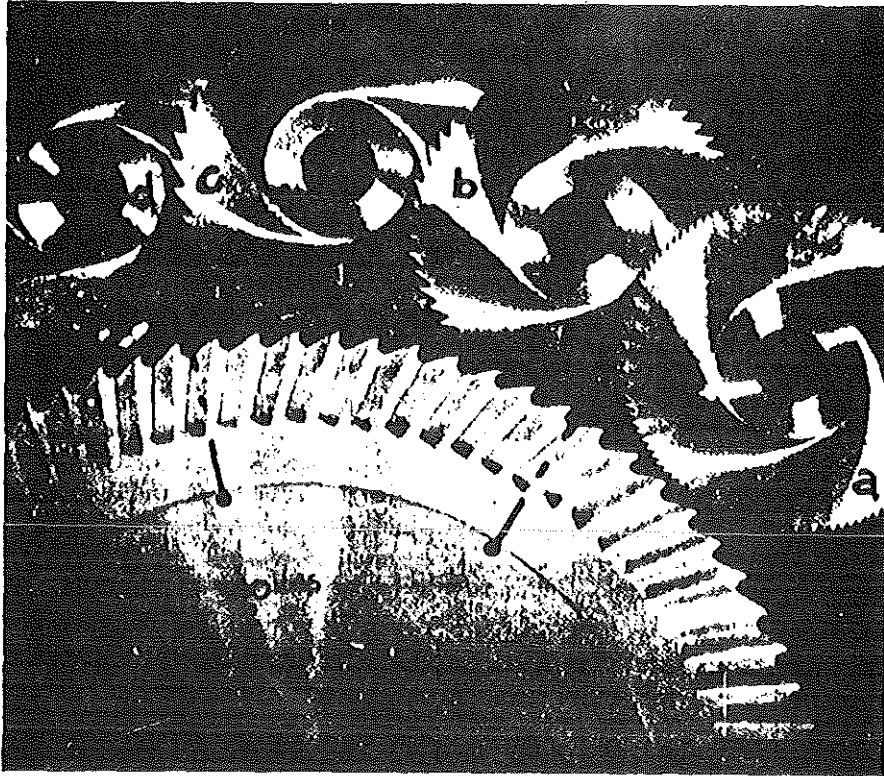


Figura 232 - Vários tipos de serras circulares.

Seguindo indicações de figura, tem-se da direita para a esquerda:

- a - Denteado fino - indicado para cortar chapas finas e fazer entalhes pouco profundos.
- b - Denteado médio - indicado para trabalhos diversificados.
- c - Denteado grosso - para execução de cortes profundos, também sobre materiais duros e tenazes; para entalhes pouco profundos sobre materiais de baixa dureza.
- d - Denteado penetrante - destinado especialmente para usinar ligas de alumínio e magnésio.

Estas serras são, geralmente, fabricadas de aço extra-rápido e tem dimensões normalizadas.

SERRAS DE SETORES

Estas serras, geralmente, são constituídas de um disco de chapa (aço especial tratado), em cuja periferia são montados uma série de setores denteados (de aço-extra rápido), através de rebites remachados, podendo, cada setor, ter 3 a 12 dentes.

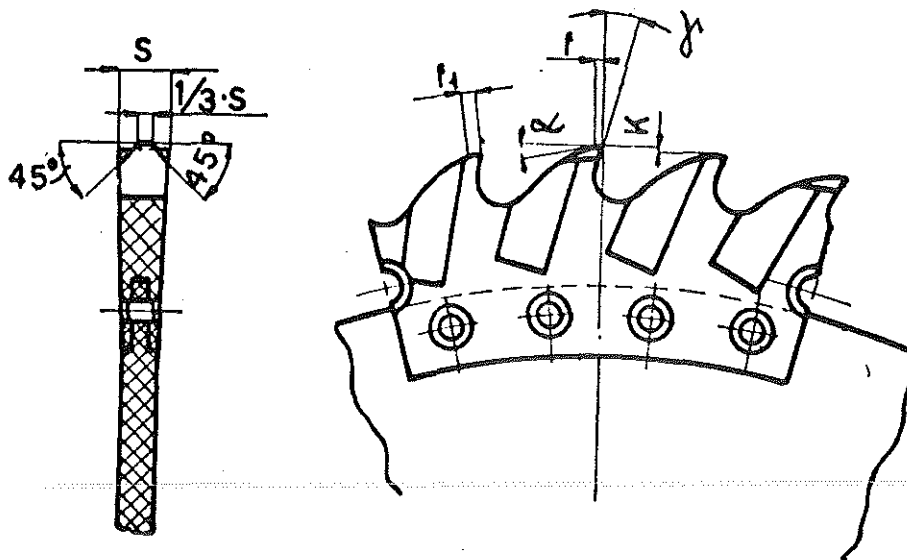


Figura 233 - Setor de uma serra de disco de grande diâmetro.

Os dentes se apresentam em duas séries alternadas entre si: uma série de dentes de desbaste, 0,2 mm mais altos, chanfrados lateralmente a 45° e uma série de dentes de acabamento de forma plana, colocados no diâmetro menor. Assim, enquanto a primeira série inicia o corte sobre uma espessura reduzida e sem produzir atrito nos flancos, a segunda o completa, destacando dois cavacos laterais distintos.

A tabela a seguir apresenta alguns ângulos recomendados para diferentes materiais.

MATERIAL	α	γ
Aço - $\sigma_R = 90$ a 100 Kg/mm^2	5°	15°
Aço - $\sigma_R = 70$ a 90 Kg/mm^2	6°	18°
Aço - $\sigma_R = 50$ a 70 Kg/mm^2	6°	20°
Aço - $\sigma_R = 35$ a 50 Kg/mm^2	7 a 8°	22°
Aluminio	15°	28°
Bronze	8°	20°
Ferro fundido	6°	15°
Latão	10°	22°

Figura 234 - Ângulos de corte de serras circulares

A serras circulares permitem afiação que é feita sobre o dorso de cada dente através do emprego de máquinas especiais.

2.6.4.2. Serra de Fita

A serra de fita é identificada pelo tipo de dente, espessura e quantidade de dentes por unidade de comprimento. Por exemplo:

- A largura varia de 3/16" até 1";
- A espessura de 0,025" até 0,035";
- O número de dentes por polegada, varia de:
 - trava regular: 4 a 24 dentes/pol.
 - Trava ondulada: 18 a 32 dentes/pol.
 - trava SK: 4 a 6 dentes/pol.

A figura a seguir ilustra estas formas de dentes.



Figura 235 - Dentes de trava regular.

Um dente para a direita, um para a esquerda, seguido de um dente reto, que limpa o cavaco.



Figura 236 - Dente de trava ondulada.

Recomendada para tubos e materiais sólidos; reduz o risco de quebra.



Figura 237 - Dente com trava SK.

São de garganta larga e desenhos especial para corte a alta velocidade de metais não ferrosos, plásticos, madeira, e tc..

As fitas mais usuais e de melhor qualidade são de aço rápido e bimetálicos de fio soldado. Geralmente, não são recuperadas por afiação.

O número de dentes recomendado está relacionado com a dimensão de seção a se cortada, com o tipo de dente e com a qualidade do material.

A velocidade de corte pode ser baseada nos níveis:

MATERIAL	VELOCIDADE (m/min.)
Aço doce	60
Aço médio carbono	30
Aço rápido	20
Cobre	80
Latão	100
Metal leve	400 a 1200
Plástico	300 a 900

2.7. Processo de Brochamento

A operação de **brochamento** consiste em arrancar linearmente e progressivamente o cavaco de uma superfície de um corpo mediante a sucessão de arestas cortantes; a ferramenta que realiza a operação chama-se **brocha** e a máquina **brochadeira**.

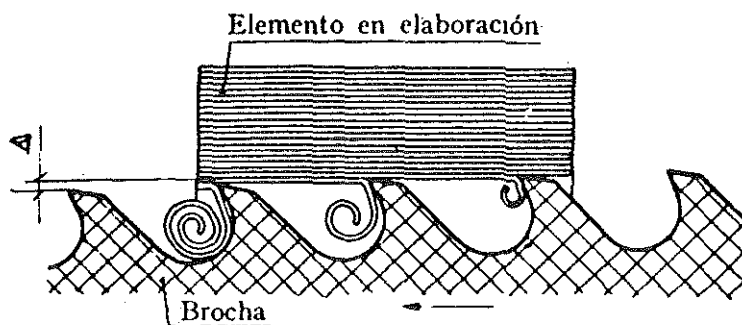


Figura 238 - Procedimento de brochamento.

O brochamento pode ser interno, se a ferramenta opera dentro de um furo passante (para transformar o perfil); ou externo se a ferramenta opera sobre uma superfície aberta.

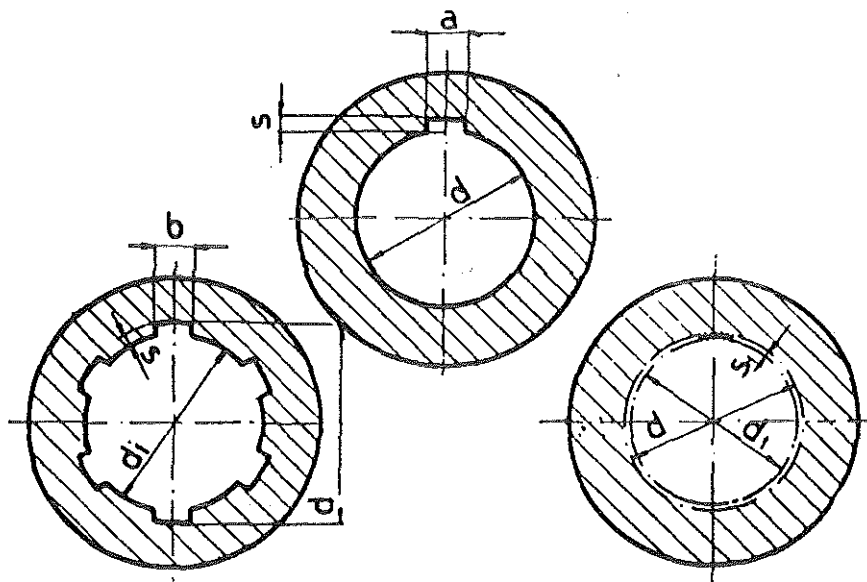


Figura 239 - Seções de furos ranhurados.

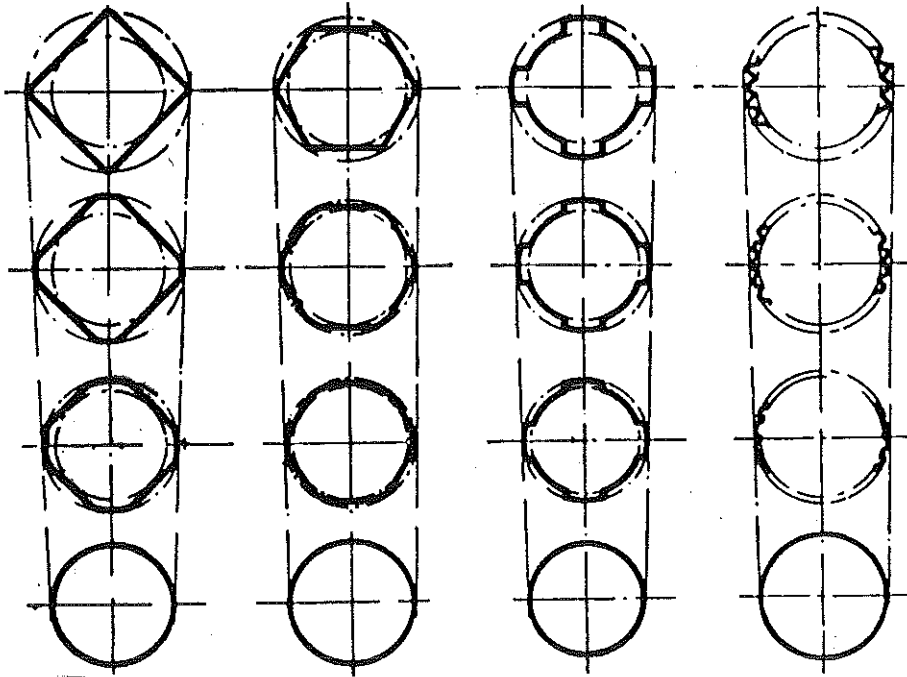


Figura 240 - Variação de um furo durante o brochamento.

Com o brochamento interno pode-se fazer uma grande variedade de entalhados ou transformar o perfil de um furo redondo para quadrado, hexagonal, etc. (figura 240). Para transformar um furo circular em quadrado, por exemplo, o comprimento do cavaco a produzir diminui gradualmente da periferia do furo para os cantos do quadrado.

A figura a seguir ilustra a colocação de uma peça em uma brochadura horizontal. O mandril da brochadeira que sujeita a brocha se move linearmente, obrigando a ferramenta a passar pelo furo previamente feito na peça. A força devido o arrancamento do cavaco é suportado pela mesa montada solidariamente à bancada da máquina.

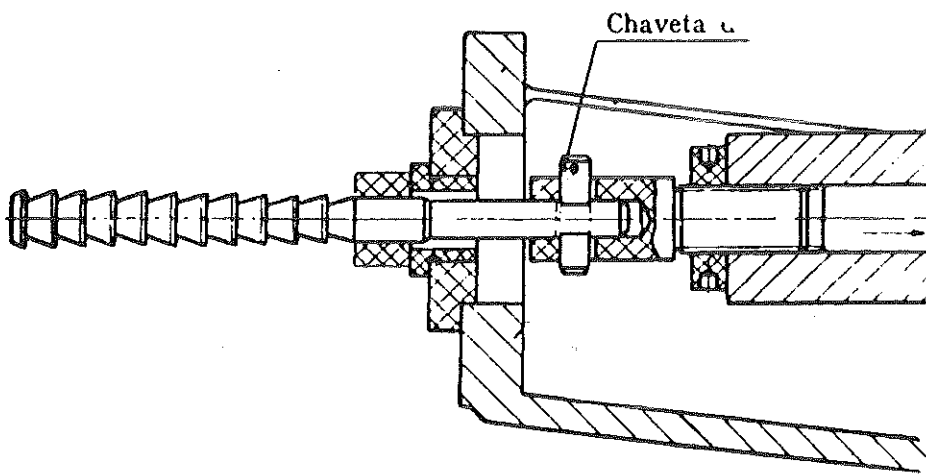


Figura 241 - Montagem da brocha e da peça a usar.

A passagem da brocha pelo furo pode ser feita solicitando-a a compressão ou a tração. A primeira construção é usual para brochas curtas como, por exemplo, para calibrar furos em que a quantidade de cavaco a tirar é pequena.

Brochas à tração são destinadas, indispensavelmente, nos casos em que a quantidade de material a usinar é grande, obrigando a construção de brochas longas que, se solicitadas à compressão, se romperiam rapidamente devido a sua esbeltez.

Atualmente, predomina o uso de brochadeiras hidráulicas que possuem as seguintes vantagens sobre as máquinas acionadas mecanicamente:

- possibilidade de variação contínua de velocidade;
- possibilidade de variação da potência;
- maior elasticidade do comando hidráulico;
- possibilidade de regular o esforço que age sobre a brocha, através de válvulas.

2.7.1. Brochadeira hidráulica horizontal para interiores

As figuras mostram os elementos essenciais de uma brochadeira hidráulica horizontal para interiores.

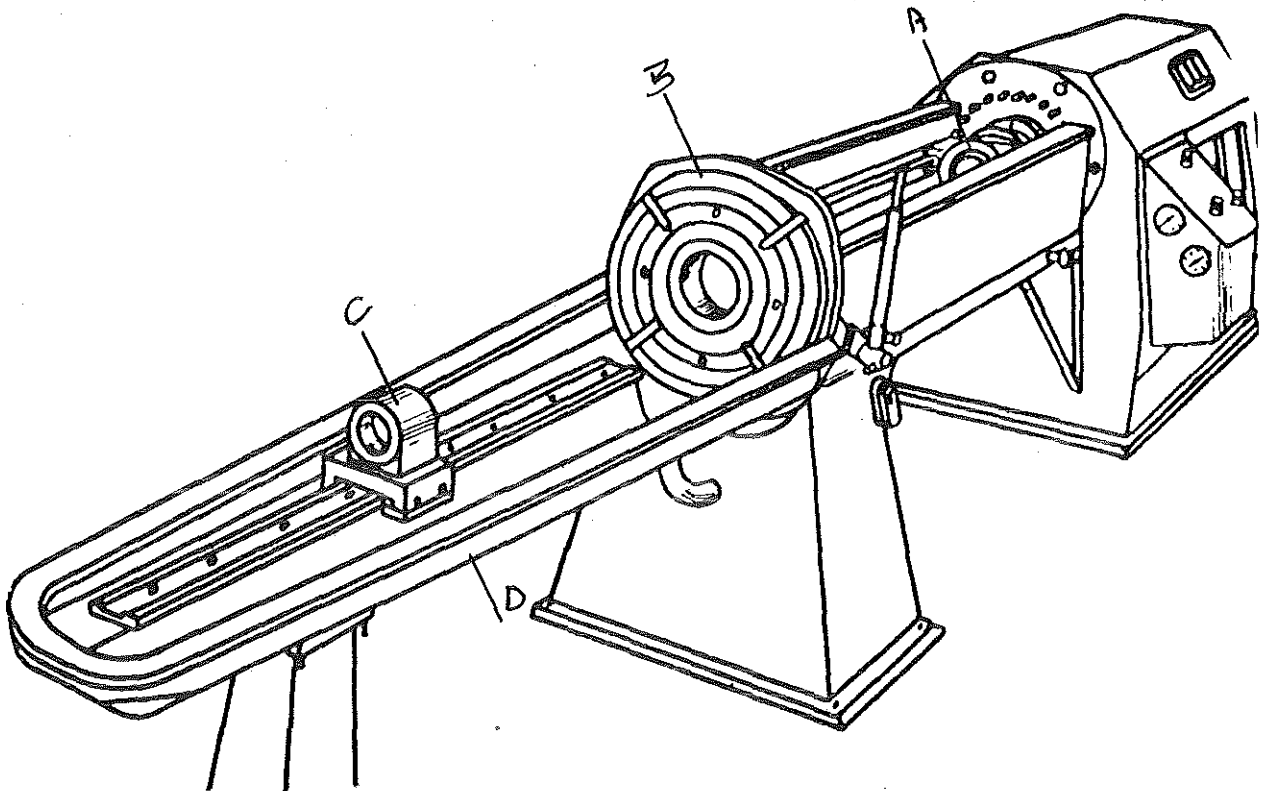


Figura 242 - Brochadeira horizontal hidráulica.

A - Cilindro, B - Suporte de fixação da peça, C - Suporte deslizante para apoio de brochas longas e pesadas, D - Bancada.

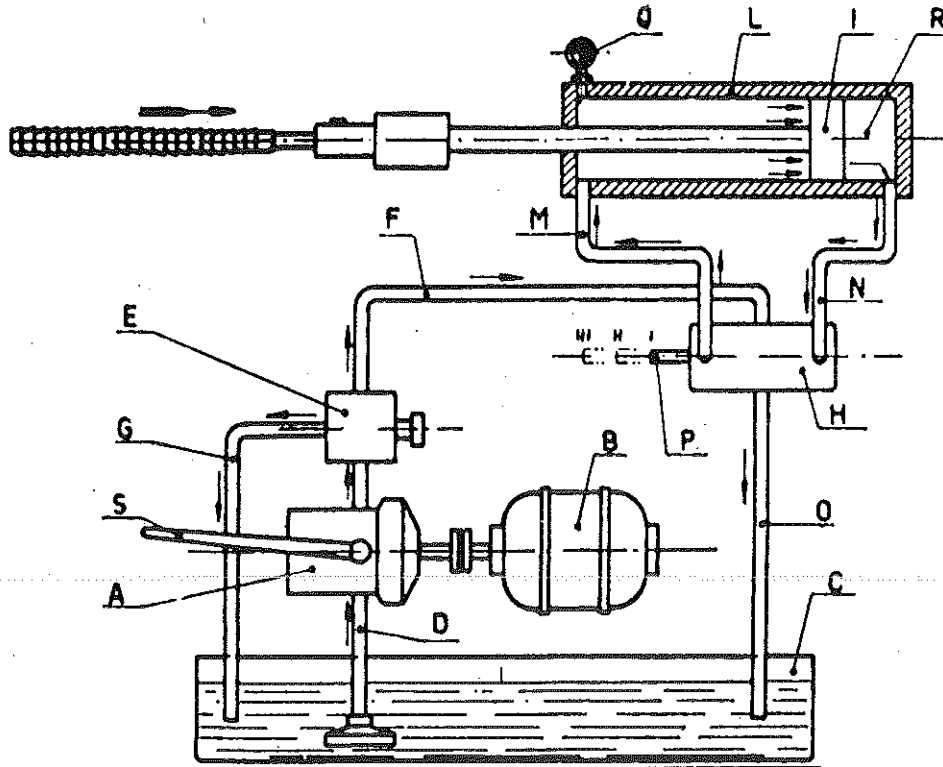


Figura 243 - Esquema do acionamento hidráulico.

A - Bomba, B - Motor, C - Reservatório, D - Tubo de aspiração, E - Válvula de segurança, H - Válvula de comando, I - Pistão, L - Cilindro, Q - Manômetro, S - Alavanca para regulação de velocidade.

Este tipo de brochadeira é construído com capacidade de 6 a 40 t, com cursos de 900 a 1500 mm e velocidade de corte até 4 m/min.

2.7.2. Brochadeira hidráulica vertical para interiores

Tem a mesma finalidade das horizontais, porém com a vantagem que o peso de brocha não influi durante a operação. A figura a seguir representa uma brochadeira vertical e o esquema de sua parte hidráulica.

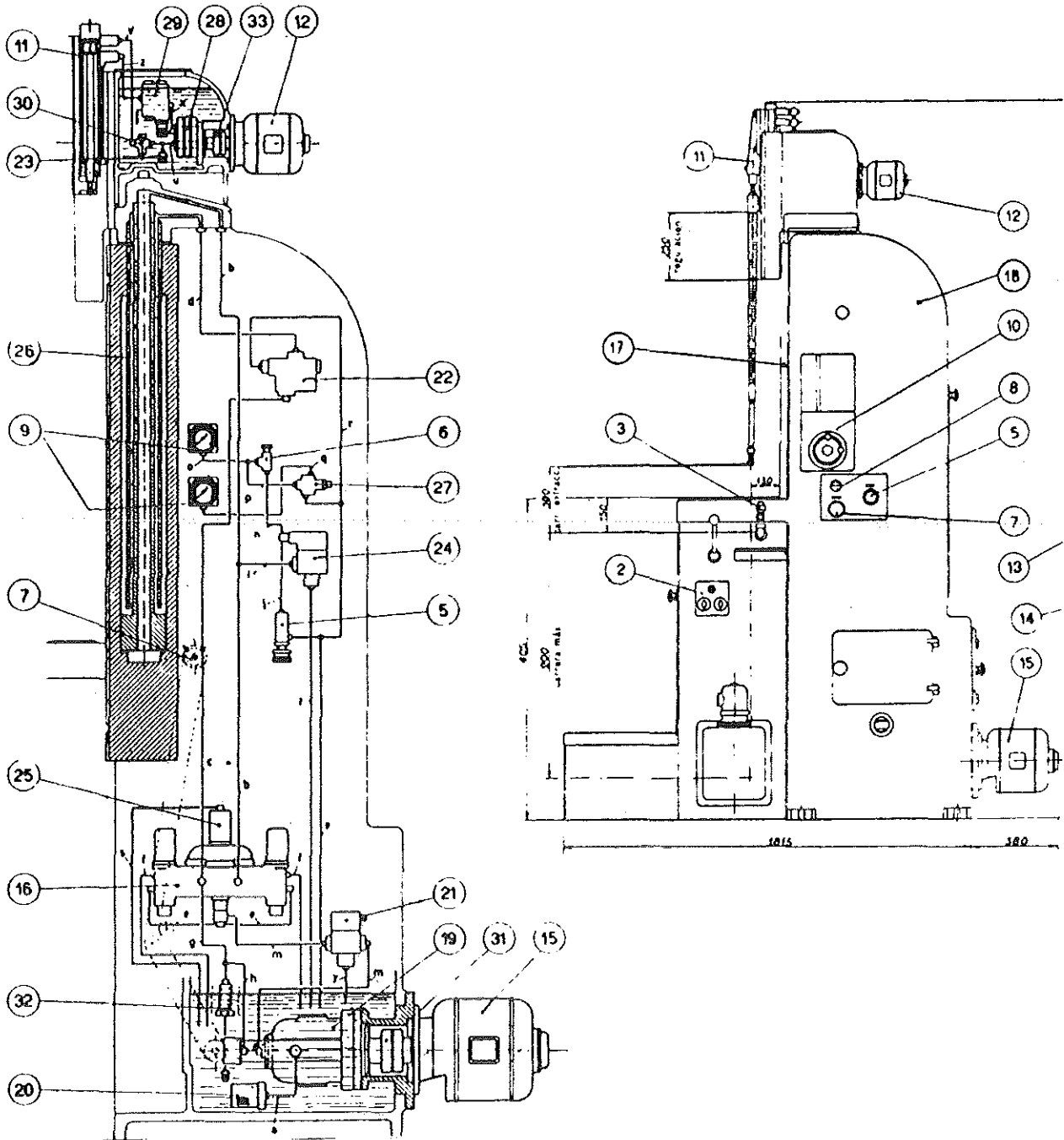


Figura 244 - Vista e esquema hidráulico.

11 - Carro superior para manejo da brocha, 17 - Carro de acionamento da brocha, 18 - Montante, 19 - Bomba de vazão variável, 26 - Cilindro externo, 28 - Bomba de comando do carro secundário 11.

A operação da máquina exemplificada se faz sem que o operador tenha que interferir manualmente. A figura a seguir mostra o funcionamento em quatro fases:

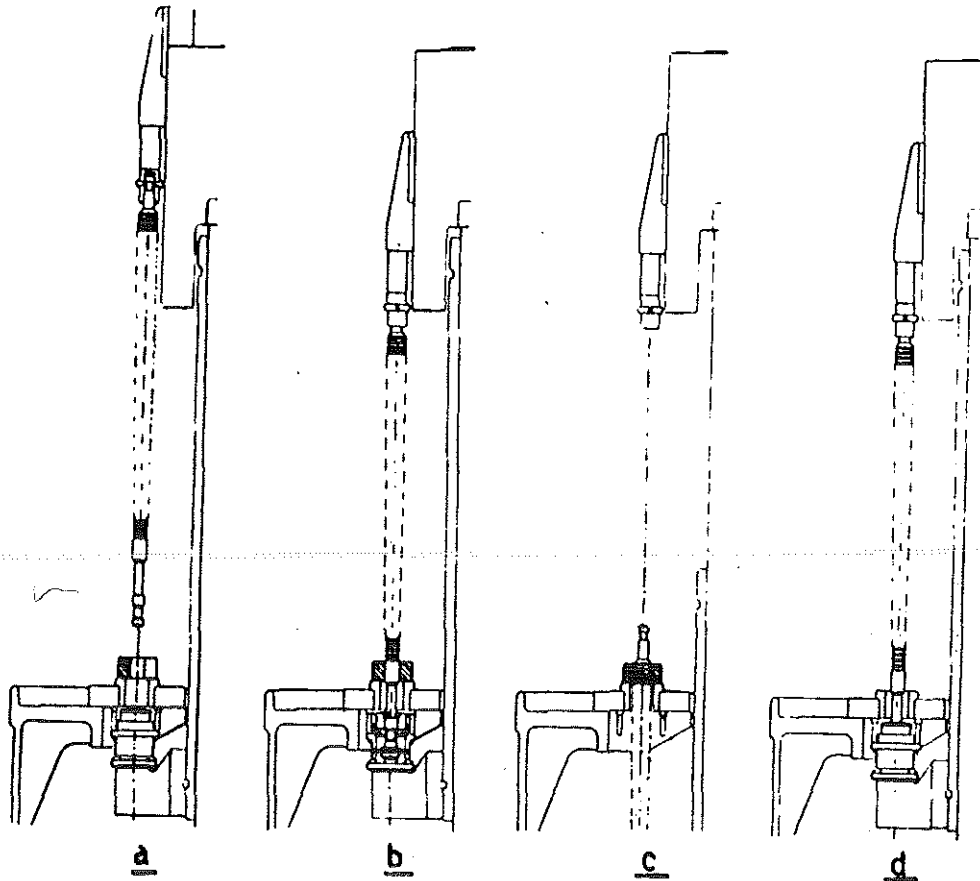


Figura 245 - Fases de operação.

Fase a: a brocha é fixada no encaixe do carro superior; a peça é apoiada na mesa e fixada.

Fase b: aciona-se a descida do carro 11; o extremo da brocha passa pela peça e acopla em dispositivo colocado por baixo da mesa.

Fase c: soltura da brocha do carro 11 e acionamento do carro 17 para realizar a operação de corte.

Fase d: retirada da peça e acionamento do carro 17 até acoplar a brocha novamente no carro 11.

A seguir outras formas de operações.

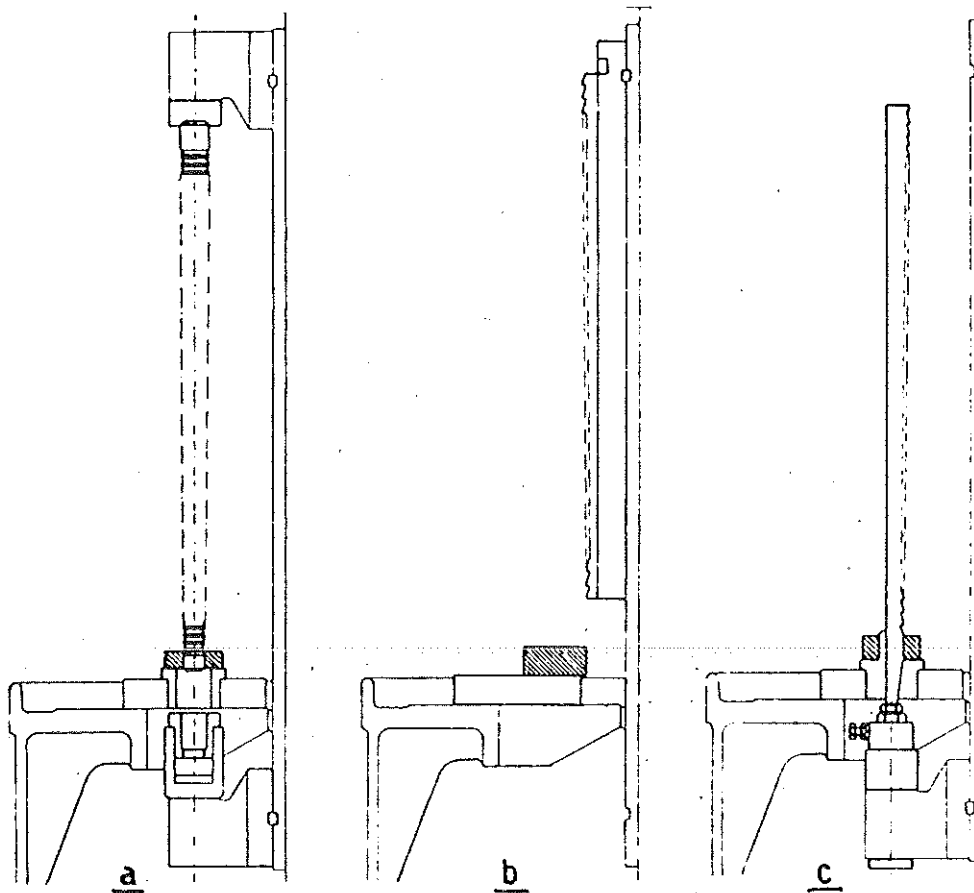


Figura 246 - Empregos diversos de uma brochadeira vertical.

a) Brochamento à compressão, b) Brochamento externo, c) Brochamento de rasgo de chaveta

2.7.3. Brochadeira de Exteriores

Estas máquinas também podem ser construídas com disposição horizontal e vertical. Serve para gerar superfícies externas com boa qualidade superficial, precisão e alta produtividade, em condições de disputar com o fresamento na produção em série. O procedimento básico esta mostrado na figura a seguir.

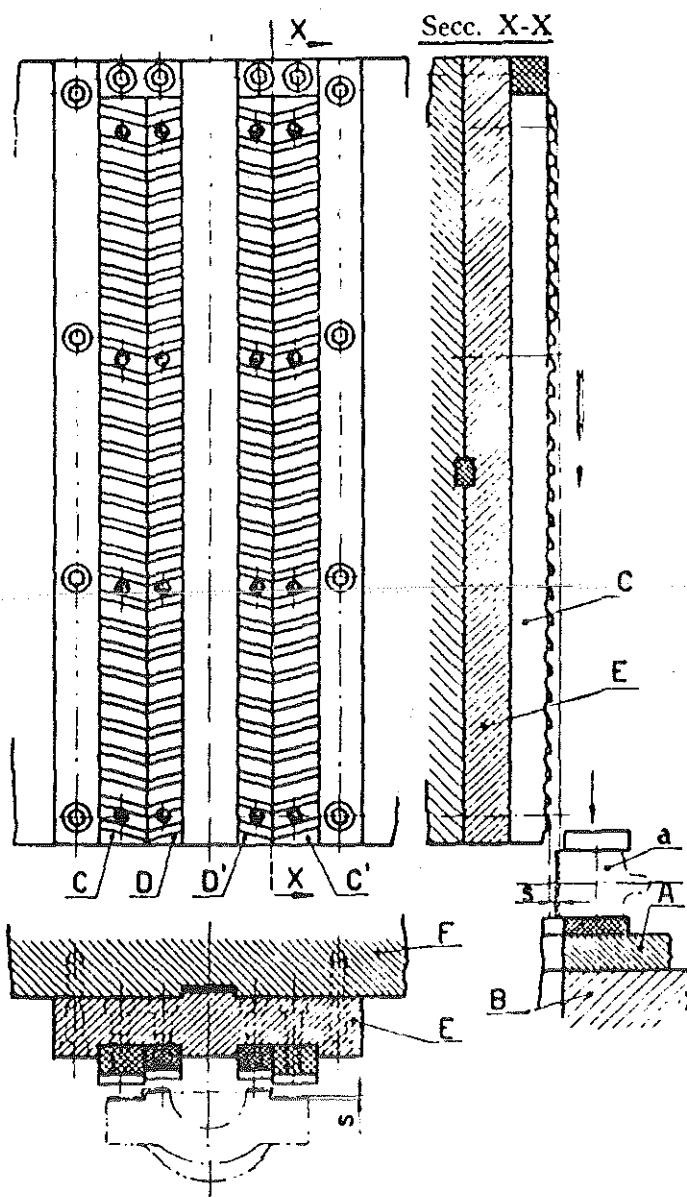


Figura 247 - Disposição da peça, das brochas e do carro porta-brochas.

a - Peça, A - Suporte da peça, B - Mesa, C - C', D,D' Brochas, E - Porta-brochas, F - Carro.

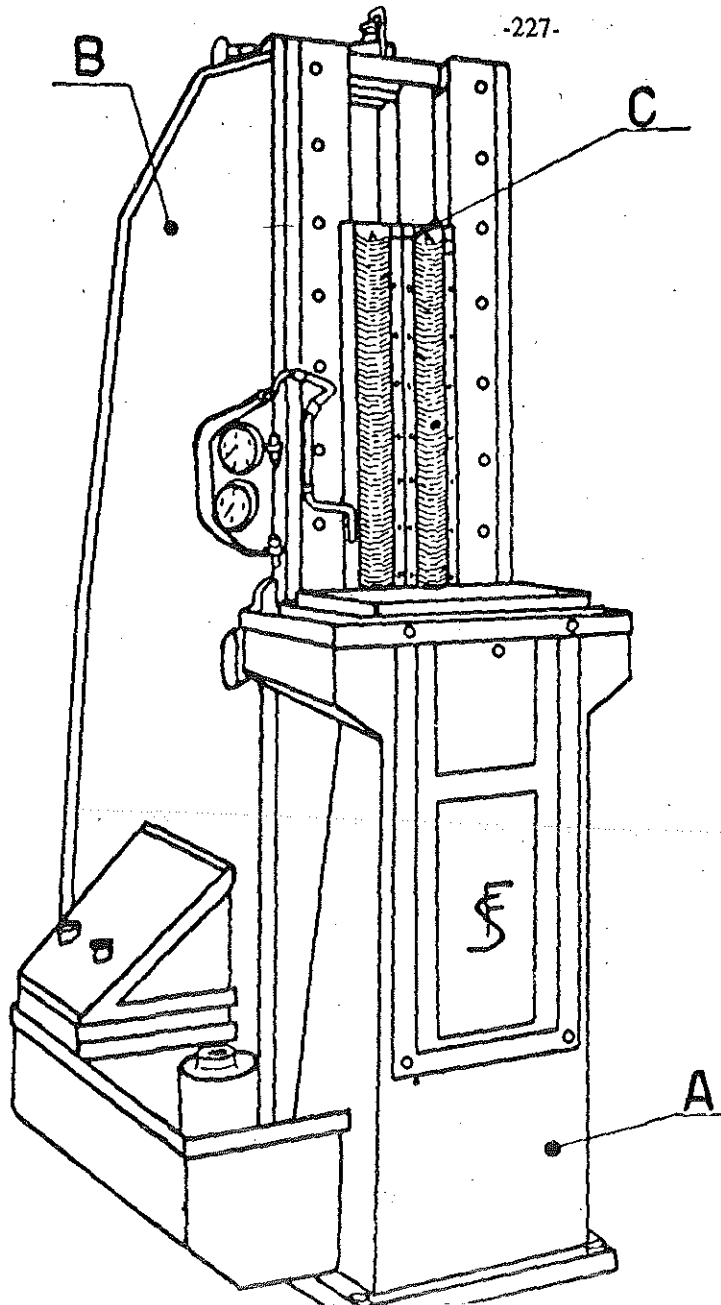


Figura 248 - Brochadeira vertical para exteriores e interiores.

A - Bancada, B - Montante, C - Carro.

2.7.4. Ferramentas para brochar

A brocha constitui-se de uma barra de aço rápido que possui uma sucessão longitudinal de dentes dispostos geometricamente em relação a um eixo ou a um plano e diametralmente variável segundo uma progressão aritmética (um dente tem um determinado acréscimo na altura em relação ao anterior).

2.7.4.1. Procedimento para definição de uma brocha

A definição de uma brocha para interiores se desenvolve determinando ordenadamente os seguintes elementos:

1 - Diâmetro do furo inicial

Geralmente, o perfil inicial tem a forma de círculo, cujo diâmetro depende das dimensões mínimas do furo a obter. Deve ser de precisão, pois tem a função de guiar a brocha.

2 - Espessura total do material a usinar

É um dado do problema, pois tendo o furo inicial e o perfil a obter, calcula-se a espessura total.

3 - Incremento dos dentes (Δ)

O incremento deve ser tanto menor quanto maior for a dureza do material a trabalhar e tanto maior quanto maior for o diâmetro da ferramenta. A figura a seguir permite a definição do incremento através de um gráfico.

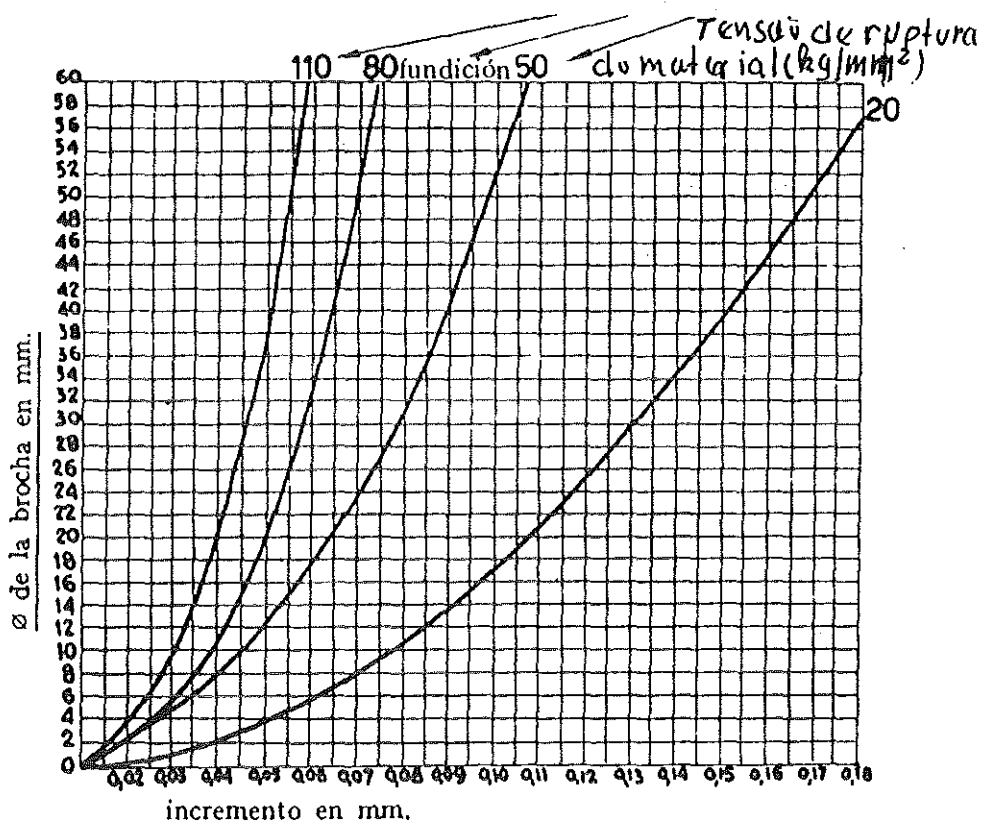


Figura 250 - Diagrama para definição de incrementos.

4 - Passo dos dentes

Para furos lisos:

$$p = 1.75 \sqrt{l}$$

sendo l = comprimento do furo.

Para ranhurados:

$$p = 1.35 \sqrt{l}$$

sendo l = comprimento de ranhura

O número obtido no cálculo deve ser convenientemente arredondado.

5 - Perfil dos dentes

Sendo:

d = diâmetro maior;

h = profundidade do dente, e

p = passo.

Valem as seguintes relações tomando como referência a Figura 249.

$$\frac{d}{p} \cong 3, \quad \frac{d}{h} \cong 7$$

ou com mais precisão:

$h = 0,5p$ para alumínio;

$h = 0,45p$ para aço doce, bronze e latão,

$h = 0,40p$ para aços em geral,

$h = 0,36p$ para aço duro,

$r_2 = (0,15 \text{ a } 0,20)p$,

$r_3 = p$,

$f = (0,2 \text{ a } 0,3)p$.

Os ângulos da cunha de corte valem:

$\gamma = 4^\circ$; $\alpha = 3^\circ$ para bronze;

$\gamma = 6^\circ$; $\alpha = 3^\circ$ para fofo;

$\gamma = 8^\circ$; $\alpha = 3^\circ$ para aços $\sigma_R > 90 \text{ kg/mm}^2$

$\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 3^\circ$ para aços $\sigma_R = 50 \text{ kg/mm}^2$

$\gamma = 12^\circ$; $\alpha = 4^\circ$ para aços $\sigma_R < 50 \text{ kg/mm}^2$

$\gamma = 2^\circ$; $\alpha = 5^\circ$ para metais leves.

Para brochas de seção retangular ou quadrada ou de uma única ranhura valem os ângulos acima e as relações:

$$h_1 = \frac{8 \cdot l \cdot \Delta}{p}, \quad h_2 = \frac{20 \cdot l \cdot \Delta}{p} \quad \text{sendo}$$

l o comprimento do furo.

6 - Número total de dentes

$$N = \frac{\text{diâm. final} - \text{diâm. inicial}}{\Delta}$$

A parte denteada da brocha é composta por:

$$L_1 = N \times p \text{ (parte cônica)}$$

$$L_2 = 4 \times p \text{ (parte cilíndrica para calibrar composta com cerca de 5 dentes).}$$

A figura a seguir mostra as diversas partes que compõem uma brocha cilíndrica.

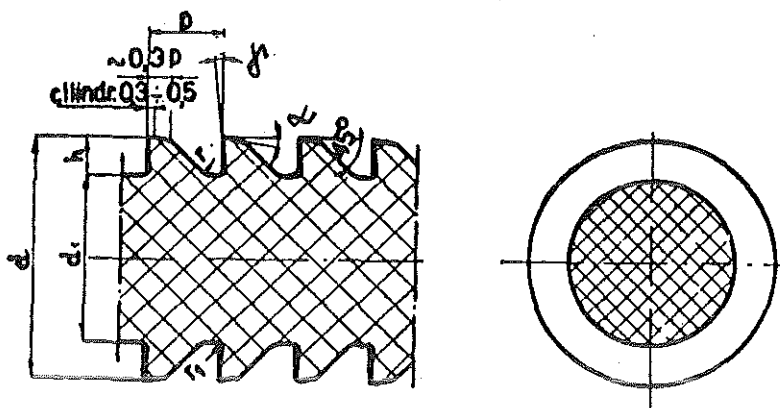


Figura 251 - Brocha para furos cilíndricos.

7 - Número de brochas

Caso o curso de brochadeira seja menor que o comprimento denteado L , deve-se dividir o número de dentes total em duas ou mais brochas de comprimento admissível, de maneira que uma seja a continuação da outra.

8 - Verificação à tração da menor seção da brocha

Deve-se comparar a tensão surgida na seção mínima da brocha devido a força de corte (P_c), com a resistência que a brocha oferece na mesma seção devido à qualidade do seu material (Q). É preciso que:

$$Q \geq P$$

9 - Escolha do tipo de engate

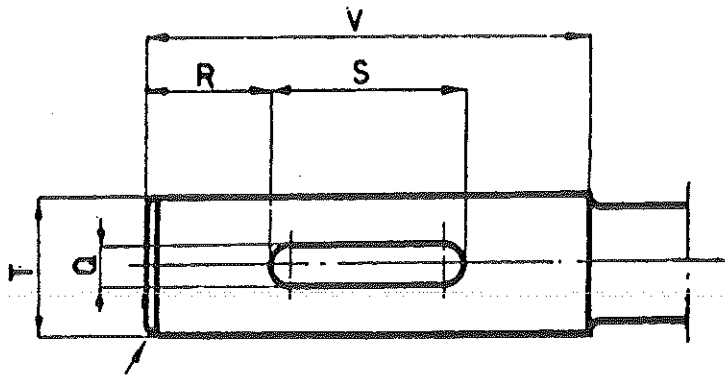


Figura 252 - Engate com olhal para brochas com corpo cilíndrico.

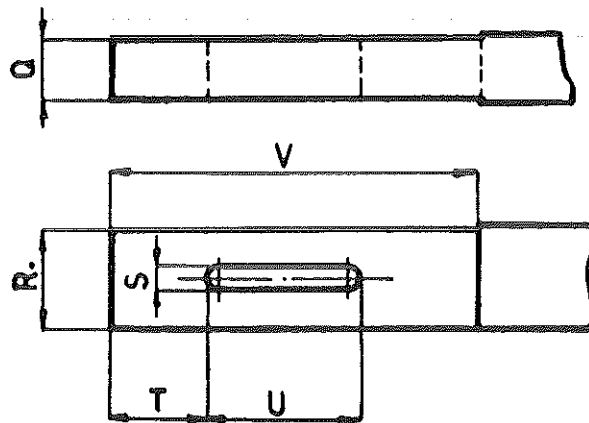


Figura 253 - Engate com olhal para brochas planas.

As medidas dos diversos tipos de engates podem ser encontradas em tabelas.

A potência absorvida pelo corte e da máquina são calculados pelas expressões:

$$N_c = \frac{P_c \times V}{60 \cdot 75}$$

$$N_{máq} = \frac{N_c}{\eta}, \text{ sendo } \eta = 0,7 \text{ a } 0,8$$

e V a velocidade de corte, cujos valores são:

Aços de $\sigma_R = 90$ a 120 kg/mm^2	2,5 m/min
Aços de $\sigma_R = 65$ a 90 kg/mm^2	3,0 a 3,5 m/min
Aços de $\sigma_R = 35$ a 65 kg/mm^2	4,0 m/min
Fofo cinzento	1,5 m/min
Fofo maleável	2,0 m/min

O tempo de corte se expressa por:

$$T = \frac{C}{V}$$

C = comprimento da parte dentada da brocha + largura da peça.

V = velocidade de avanço da brocha.

Sendo:

n = número de dentes em trabalho;

k_{s1} = Pressão específica de corte do material em kgf/mm^2 ;

P_c = força total de corte em kgf;

P_r = perímetro em contato, em mm;

Δ = incremento sobre o diâmetro, em mm;

A = área de seção menor da brocha, em mm^2 ;

$\bar{\sigma}_t$ = tensão admissível à tração do material da brocha, em kgf/mm^2 ;

Q = resistência da menor seção da brocha, em kgf.

tem-se:

$$P_c = P_r \cdot \frac{\Delta}{2} \times k_{s1} \times n \quad e$$

$$Q = A \times \bar{\sigma}_t$$

Considera-se que:

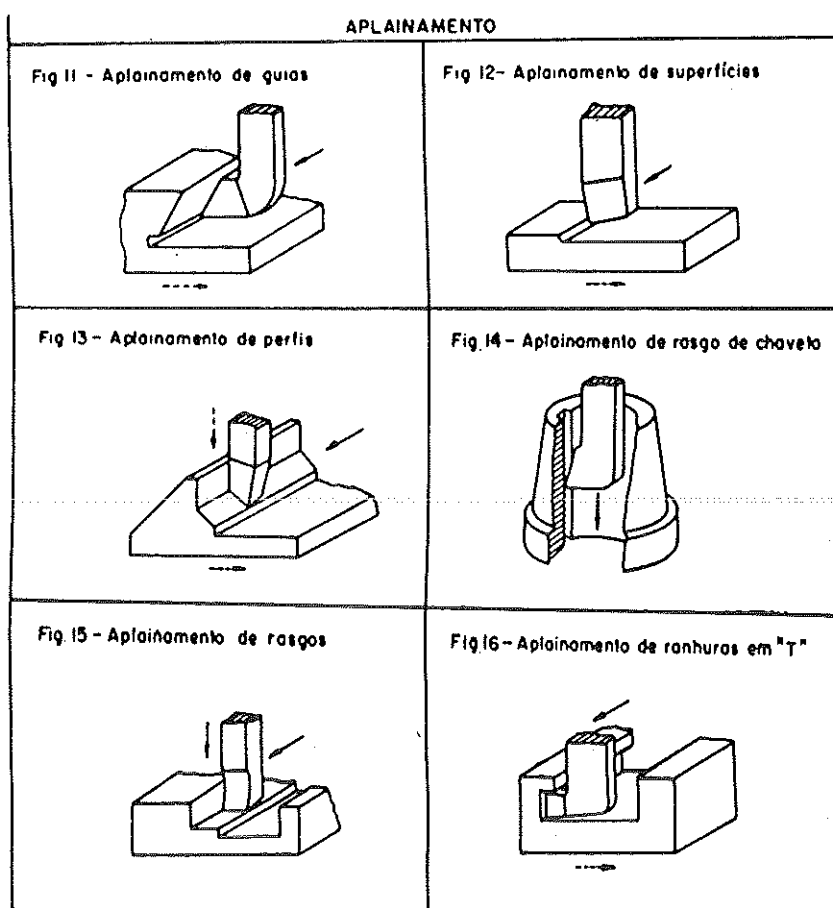
$\bar{\sigma}_t = 16 \text{ kg/mm}^2$ para aço rápido temperado.

A pressão específica de corte é apresentada a seguir.

Aço - $\sigma_R = 90$ a 115 Kg/mm^2	500 kgf/mm^2
Aço - $\sigma_R = 70$ a 90 Kg/mm^2	400
Aço - $\sigma_R = 50$ a 70 Kg/mm^2	315
Aço - $\sigma_R = \text{até } 50 \text{ Kg/mm}^2$	250
Aço doce	200
Ferro fundido, bronze	125
Latão	80

2.8. Processo de Aplainamento

Nas operações de aplainamento o arrancamento de cavaco é produzido mediante a ação de uma ferramenta monocortante, produzindo superfícies regradadas, geradas por um movimento retilíneo alternativo da ferramenta ou da peça.



O processo pode ser realizado em três tipos muito distintos de máquinas, a saber:

- Plaina limadora;
- Plaina de mesa; e
- Plaina vertical.

2.8.1. Plaina limadora

Este tipo pode ter acionamento mecânico ou hidráulico.

PLAINA LIMADORA MECÂNICA

É o modelo mais comum. A figura a seguir ilustra esta construção.

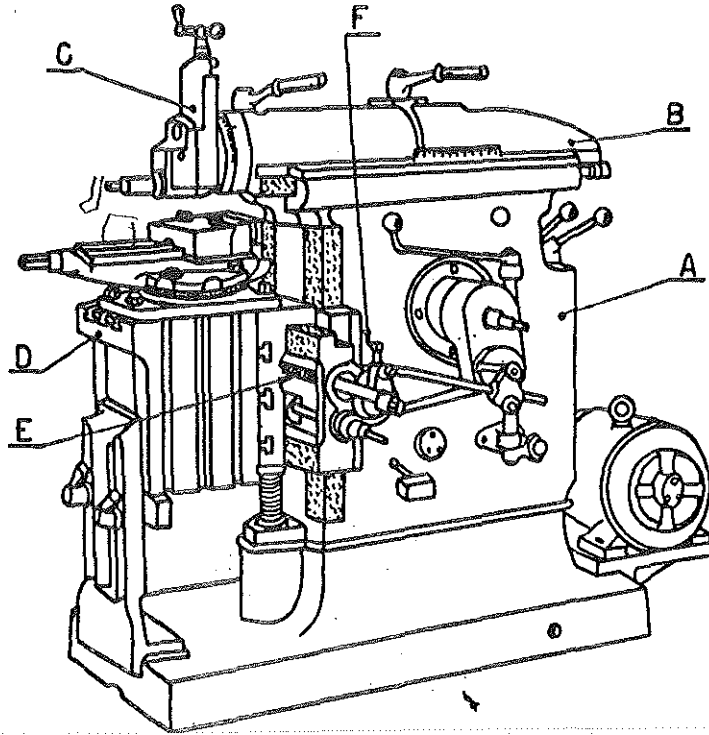


Figura 255 - Plaina limadora.

A - Carcaça, B - Torpedo, C - Carro porta-ferramenta, D - Mesa porta-peça, E - Fuso, F - Trinqueta de acionamento automático da mesa.

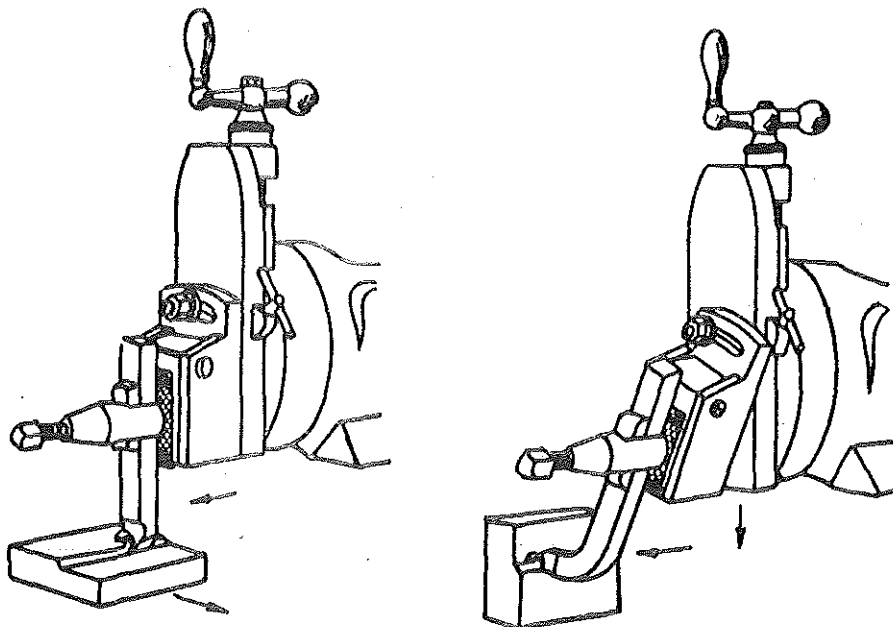


Figura 256 - Movimentos para operação.

Geralmente, nas operações de aplainamento, o corte é feito em um único sentido. O curso de retorno da ferramenta é um tempo perdido e o movimento de avanço se dá pouco antes do início do curso.

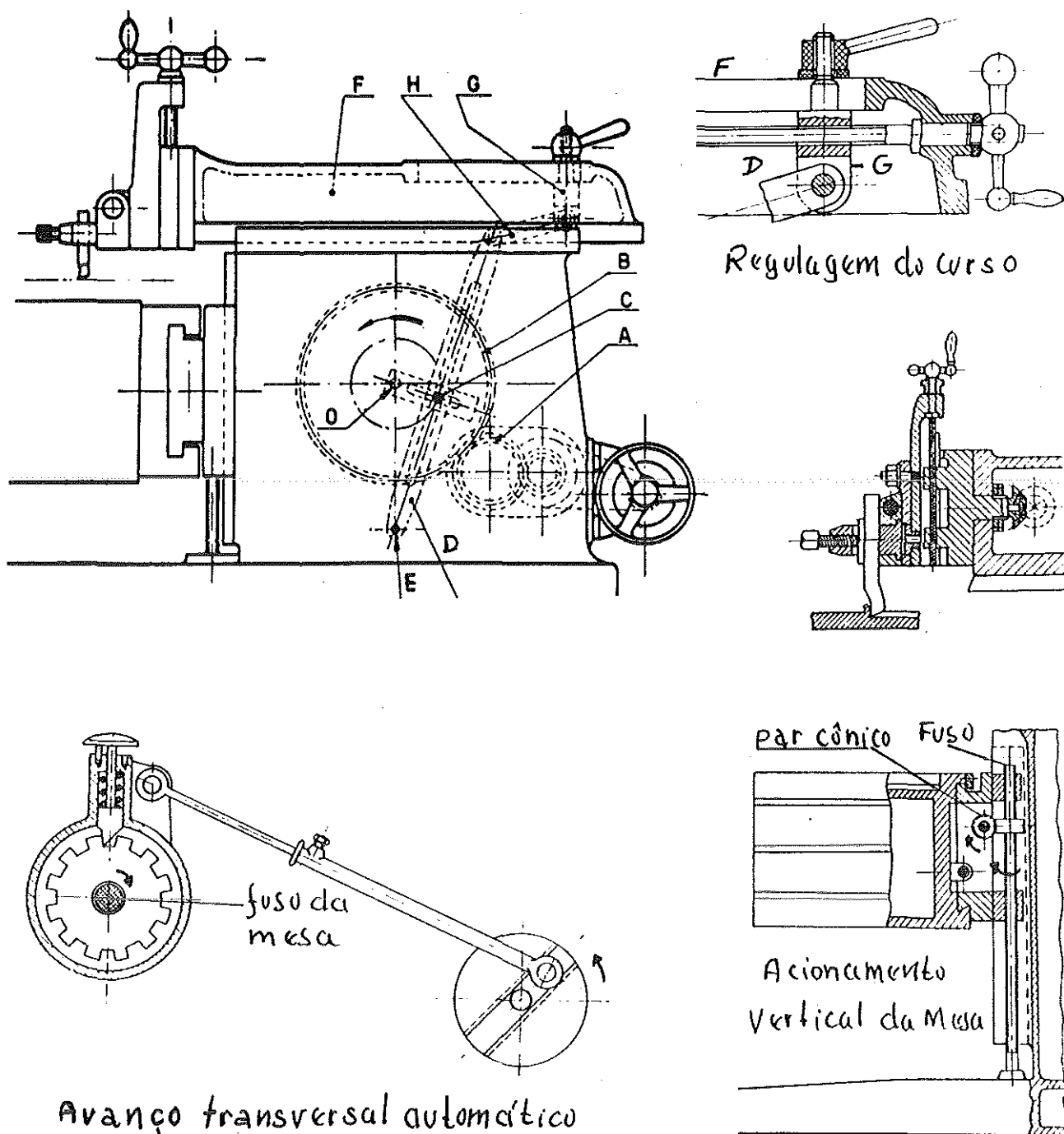


Figura 257 - Detalhes de plaina limadora mecânica.

A - Engrenagem, B - Volante da coroa denteada, C - Manivela, D - Barra ranhurada oscilante articulada em E, F - Torpedo, G - Suporte de regulagem do curso do torpedo.

PLAINA LIMADORA HIDRAÚLICA

Os sistema de acionamento hidráulico têm uma excelente aplicação em plainas limadoras, obtendo-se mais suavidade nos movimentos e regulagem contínua de velocidade do torpedo. Consiste basicamente de um circuito hidráulico que contém um cilindro de duplo efeito fixado a carcaça da máquina e cuja haste está conectada ao torpedo, como mostra a figura.

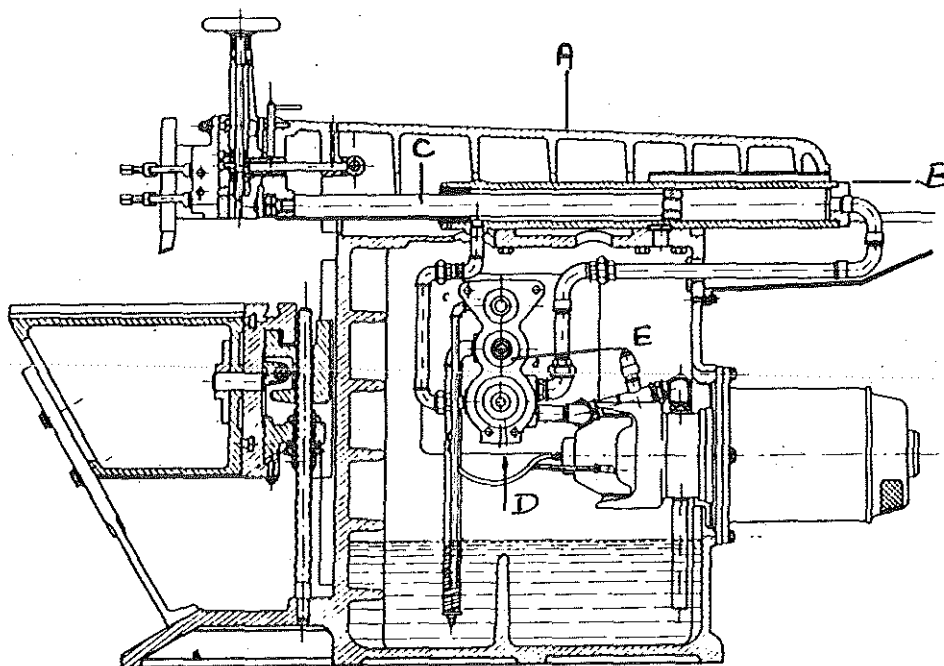


Figura 258 - Plaina limadora hidráulica.

A - Torpedo, B - Cilindro, C - Haste, D - Válvula distribuição, E - Válvula reguladora de vazão.

As limadoras são máquinas de pequeno porte, existindo máquinas de cursos variando entre 400 a 1000 mm.

As velocidades de corte situam-se no intervalo 2 m/min a 30 m/min.

Os avanços por curso podem variar de 0,2 a 2,0 mm/curso.

Além de superfícies planas as limadoras podem realizar trabalhos especiais com o uso de dispositivos, como mostra a figura.

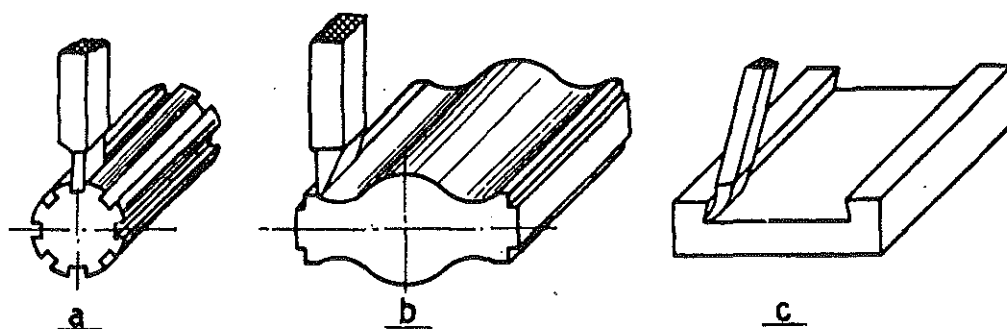


Figura 259 - Perfis realizáveis em plaina limadora.

- a) fixação entre duas contrapontas de um divisor, b) utilização de um dispositivo copiador, c) fixação direta na mesa.

2.8.2. Plaina de mesa

A operação de aplainamento feita em plainas de mesa admite o trabalho de peças grandes, graças ao seu princípio de funcionamento que consiste na fixação da peça em uma mesa móvel que passa alternativamente debaixo da ferramenta. Nas plainas limadoras, a ferramenta é fixada no torpedo que se desloca sobre a carcaça ficando grande parte em balanço, de tal forma que, pela ação do pêso e das folgas das guias, tende a inclinar-se a medida que chega ao final de seu curso, gerando uma trajetória não retilínea para o bico da ferramenta.

As plainas de mesa podem ser classificadas conforme a sua estrutura em: plaina de dois montantes ou portal e plaina de um montante.

PLAINA DE MESA DE DOIS MONTANTES

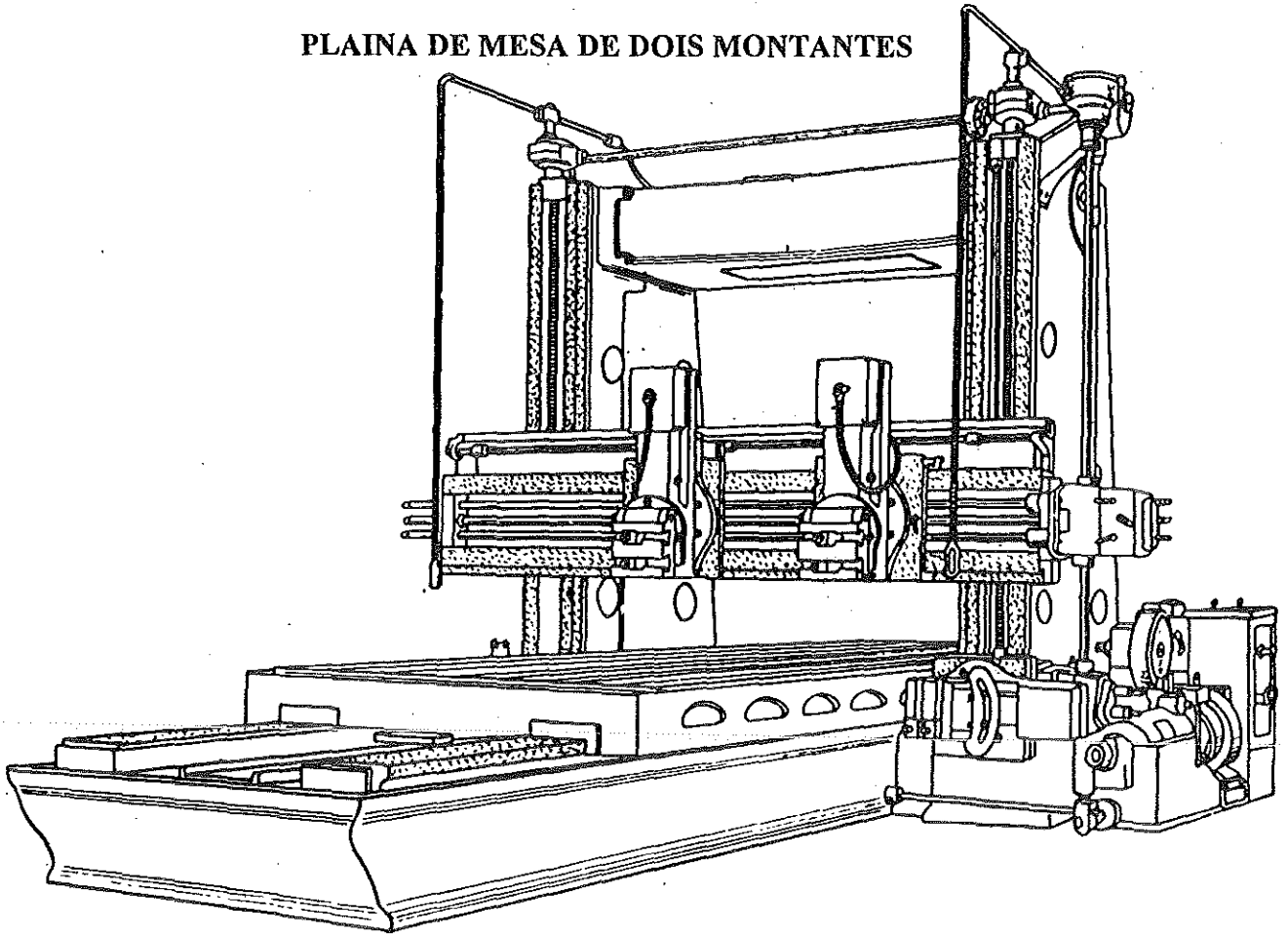


Figura 260 - Plaina de dois montantes.

A - Barramento, B - Mesa, C - Montante, D - Travessa, E - Porta-ferramenta, F - Fuso, G - Mecanismo de acionamento de travessa através de fuso, H - Mecanismo de translação do porta-ferramenta.

Este tipo de máquina admite construções com as seguintes características:

• Peça { Comprimento: 2000 a 12.000 mm.
Largura: 800 a 5.000 mm
Altura: 700 a 4.500 mm.

- Velocidade de corte: 10 a 70 m/min.
- Avanço de corte: 0,02 a 6 mm/curso

A plaina sustenta a peça em usinagem sobre a mesa que é totalmente suportada por um robusto barramento capaz de suportar cargas pesadas. As peças são fixadas à mesa através de rasgos em T e furos na face superior da mesa de modo a se poder fixar a peça através de parafusos, travas e pinos.

Uma variedade deste modelo é a construção tipo Gantry em que o portal se desloca sobre guias e a peça é fixada em uma base fixada sobre o solo, geralmente usada para peças extremamente pesadas.

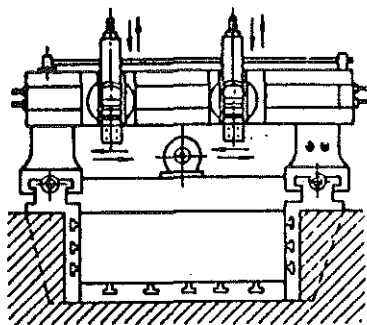


Figura 261 - Plaina tipo Gantry.

PLAINA DE MESA DE UM MONTANTE

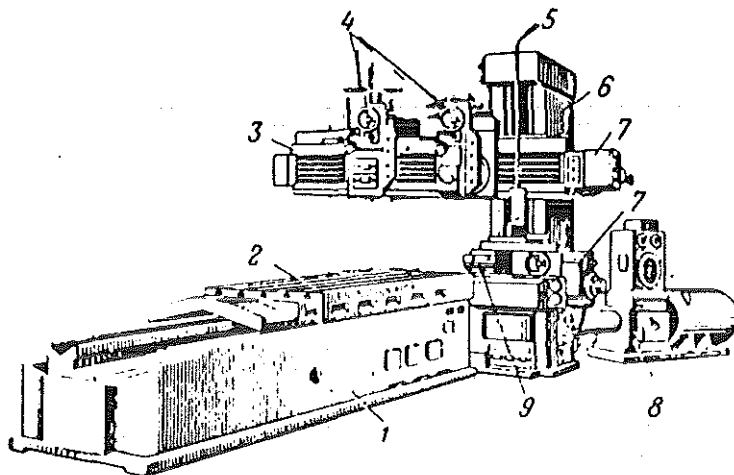


Figura 262 - Plaina de mesa de um montante.

1 - Barramento, 2 - Mesa, 3 - Travessa, 4 - Porta-ferramenta vertical, 5 - Comandos, 6 - Montante 8- Mecanismo de acionamento de mesa, 9 - Porta-ferramenta lateral.

Este tipo de máquina é mais flexível para colocação de peças que uma outra de mesmo porte em forma de portal, porque, estando aberto de um lado, a máquina admite excesso lateral, deixando fora da mesa partes que não requerem usinagem.

São comuns construções com as seguintes características:

- Peça

{	Comprimento: 2500 a 6.000 mm.
}	Largura: 800 a 1.600 mm
{	Altura: 700 a 1.250 mm.
- Velocidade de corte: 10 a 70 m/mm.
- Avanço de corte: 0,02 a 6,0 mm/curso.

É bastante comum construções de um ou dois montantes equipados com cabeçote fresador e, devido a isto, velocidades de avanço da mesa mais lentos, na ordem 300mm/min.

ACIONAMENTO DA PLAINA DE MESA

- **Acionamento mecânico**

O movimento de corte é realizado pela mesa através dos seguintes componentes:

- 1 - Motor elétrico de corrente alternada;
- 2 - Acoplamento elástico;
- 3 - Caixa para mudança de velocidade de trabalho e retorno;
- 4 - Acoplamento eletro-magnético usado como grupo de inversão;
- 5 - Acoplamento elástico;
- 6 - Redutor de velocidade;
- 7 - Roda dentada - Cremalheira fixada na mesa.

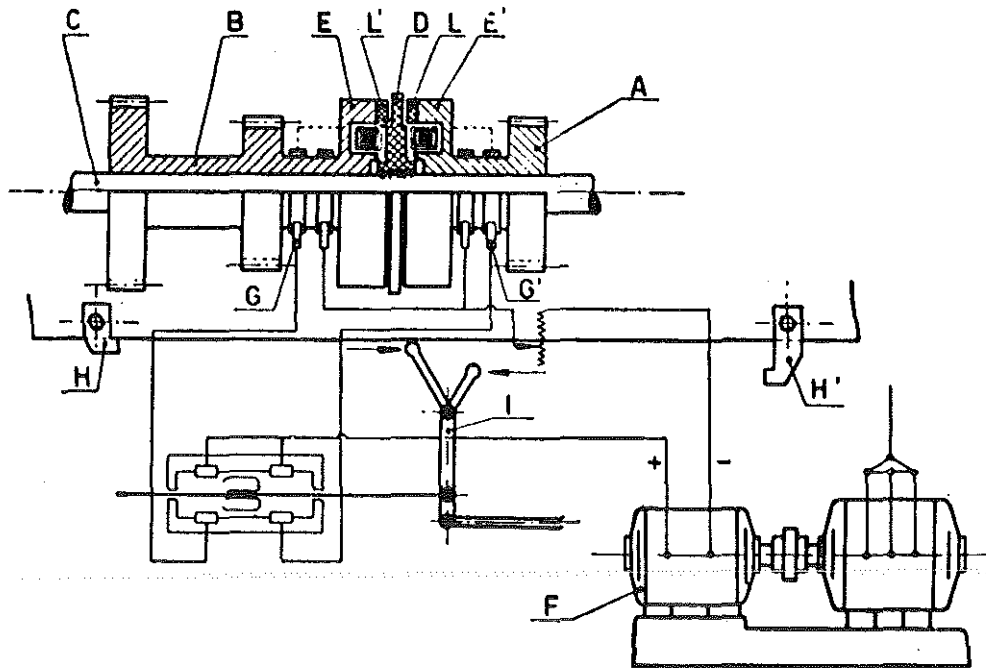


Figura 263 - Acoplamento eletro-magnético de inversão.

A - Engrenagem para retrocesso, B - Engrenagem para avanço de trabalho, D - Disco solidário ao eixo C, E-E' - Volantes bobinados, F - Dínamo, G-G' - Contatos elétricos de escovas, I - Braço, H - H' Batentes, L-L' - Disco de fricção.

Os batentes H e H' fixados na mesa acionam o braço I, em direções opostas, ligando a passagem de corrente ora em E, ora em E'.

Os batentes H e H' são fixados ao lado da mesa e determinam o comprimento do curso. H aciona o braço I para a direita e H' para a esquerda, invertendo a indução nas bobinas de E e E'. O campo magnético que se cria atrai este disco ora para a direita ora para a esquerda, pondo-se em contato com os disco L e L'; deste modo o disco se põe a girar com o eixo C em um ou outro sentido, pois A e B giram loucos sobre o eixo C, uma ao contrário da outra.

Outras alternativas para alterar a velocidade de mesa são: Comando Elétrico Ward-Leonard e Motor de Corrente Contínua que permitem variação contínua de velocidade.

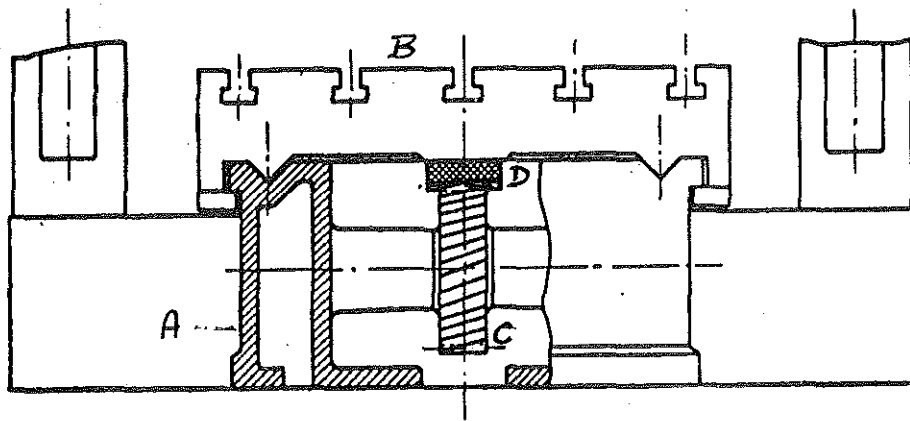


Figura 264- Acionamento de mesa com um par engrenagem - cremalheira.
A - Barramento, B - Mesa, C - Engrenagem, D - Cremalheira solidária à mesa.

Os movimentos dos carros porta-ferramenta que se deslocam sobre a travessa ou no montante podem ter o movimento de avanço independente mediante um dispositivo que alimenta, intermitentemente, os fusos horizontais e verticais que movem tais carros.

• Acionamento Hidráulico

É viável para máquinas de menor comprimento devido dificuldades no projeto do sistema hidráulico.

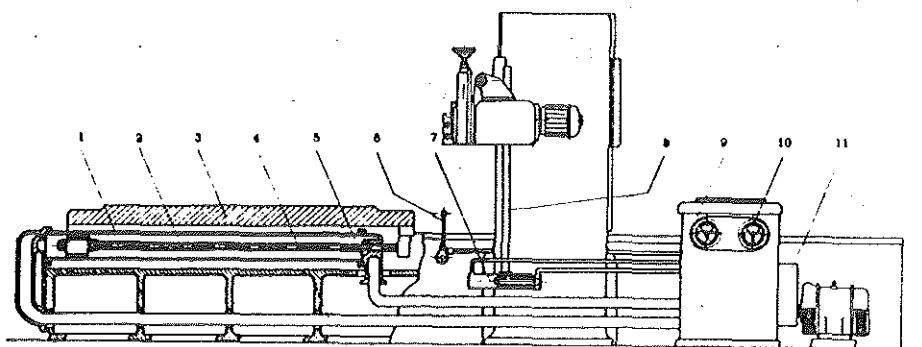


Figura 265 - Plaina com acionamento hidráulico.

1- Cilindro solidário ao barramento, 2 - Haste com extremidade externa ligada à mesa porta-peça 3.

A inversão do movimento da mesa se faz através de uma válvula de distribuição que inverte a entrada de flúido no cilindro, quando acionada no final do curso da mesa.

O avanço de corte também pode ser hidráulico ou mecânico.

A variação de velocidade da mesa é obtida com a utilização de uma bomba de fluxo variável.

2.8.3. Plana Vertical

São máquinas cujo movimento de corte retilíneo se dá segundo uma direção vertical; o movimento de avanço é intermitente e dado à peça; pode ser dado na direção longitudinal, transversal e, também, pode ser constituído por uma rotação da mesa porta-peça em torno de seu eixo vertical.

É apropriado para fazer rasgos de chaveta, entalhes internos e externos, alargamento e transformação de furos, como mostra a figura.

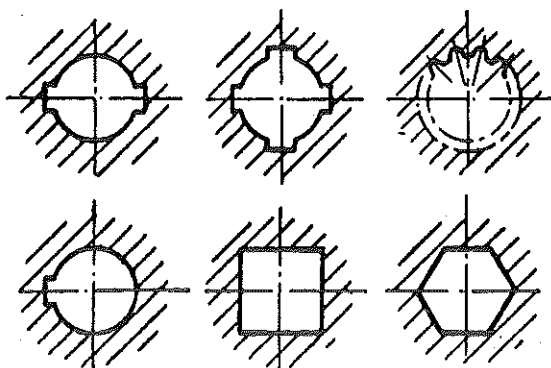


Figura 266 - Seção de furos realizáveis em plana vertical.

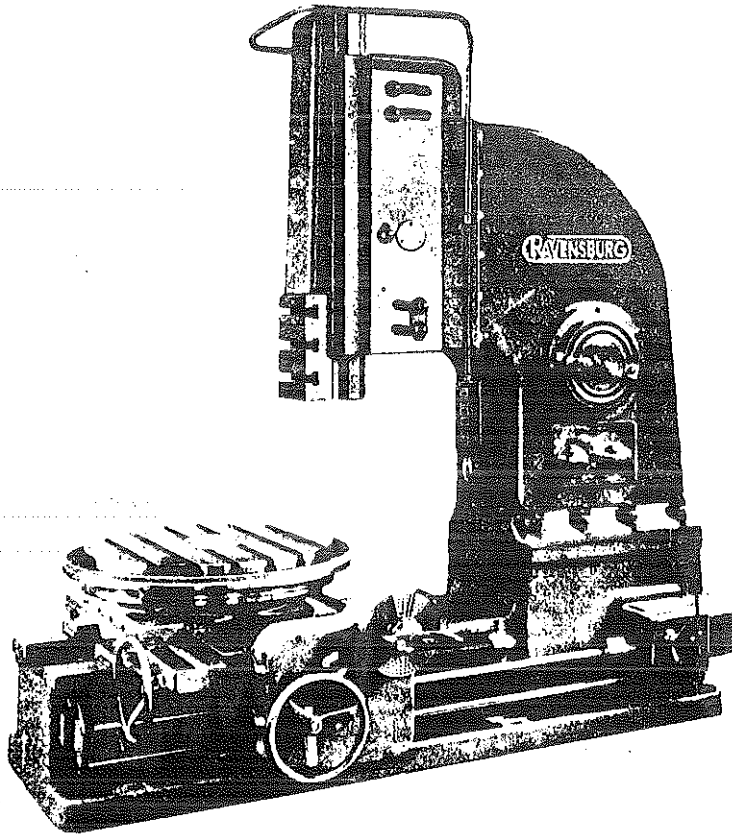


Figura 267 - Plaina vertical.

O acionamento do carro porta-ferramenta pode ser hidráulico ou mecânico através de um conjunto biela-manivela.

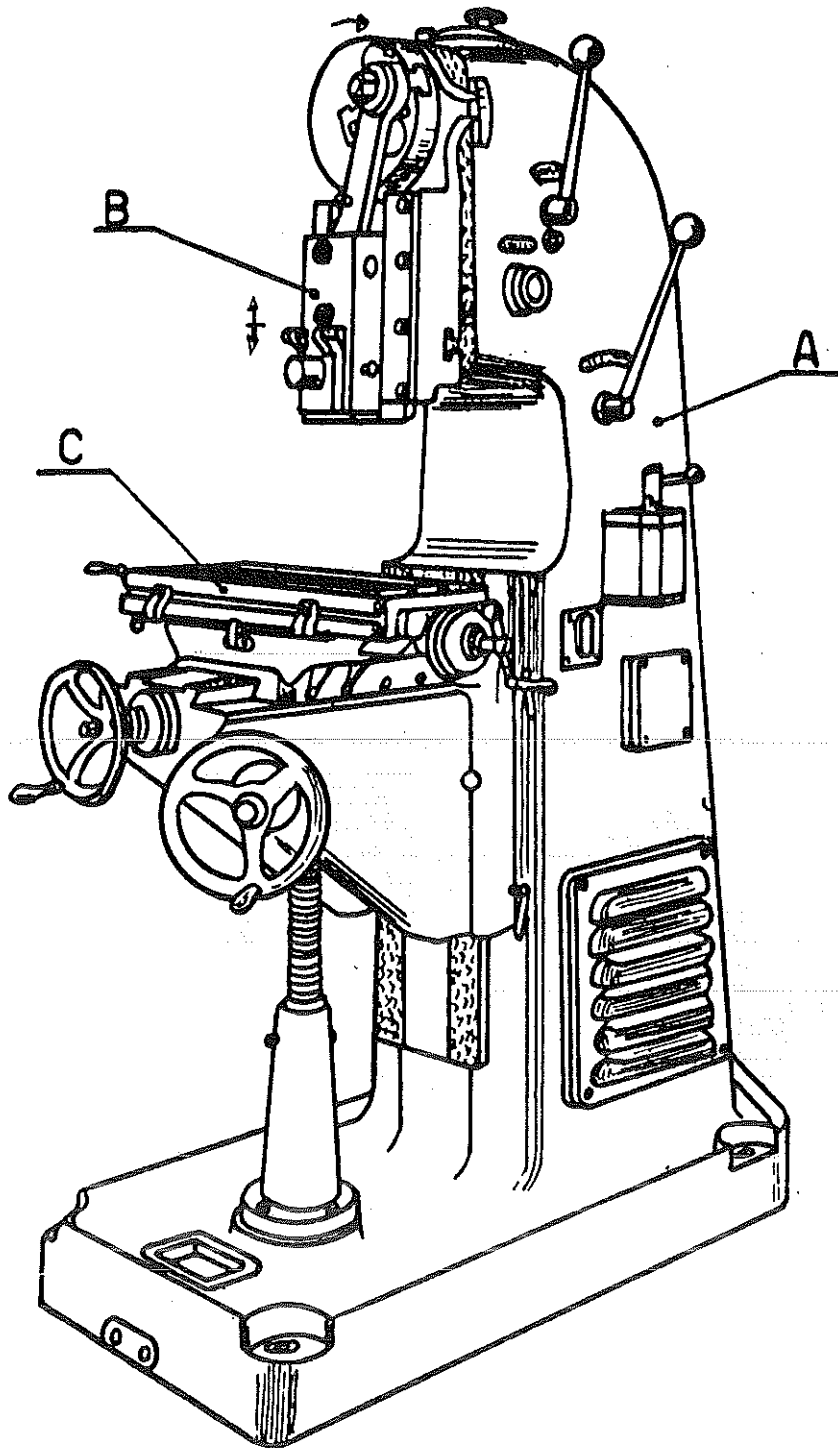
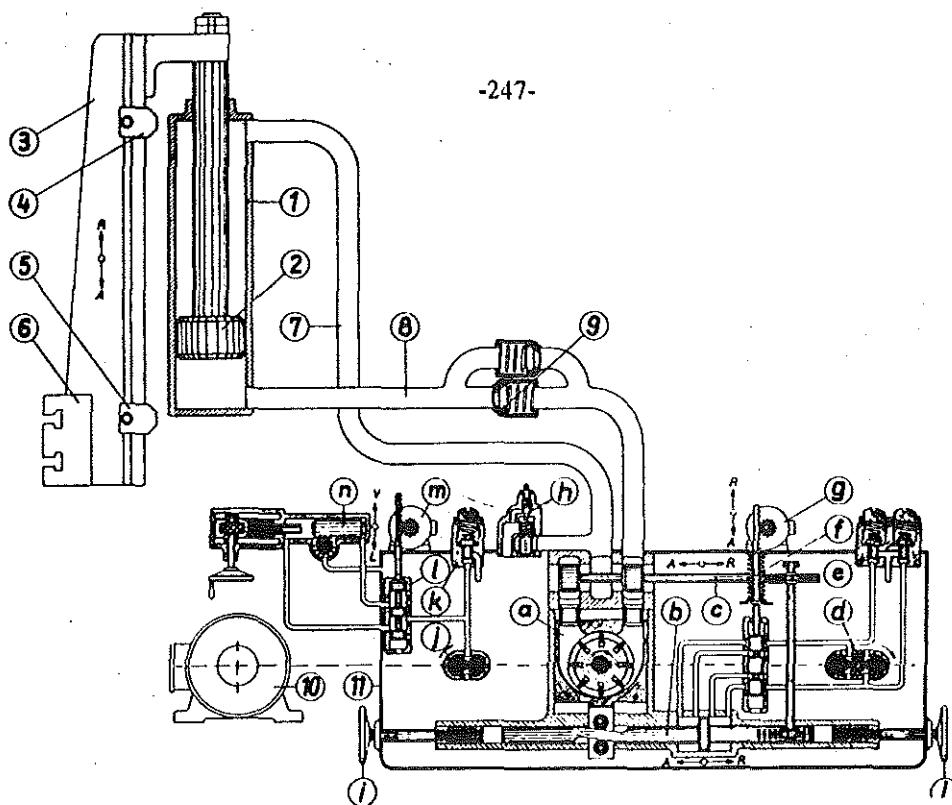


Figura 268 - Plaina vertical mecânica

A-Montante, B-Carro, C-Mesa



1 - Cilindro de trabalho, 2 - Pistão com haste, 3 - Carro, 4 - Fim de curso de retorno, 5 - Fim de curso de trabalho, 6 - Porta-ferramenta, 7,8 - Tubulação, 9 - Válvula, 10 - Motor, 11 - Grupo hidráulico.

Figura 269 - Acionamento hidráulico

2.8.4. Ferramentas para aplainar

São ferramentas de uma única aresta cortante, tendo ângulo de saída positivo, geralmente, cerca de 10° .

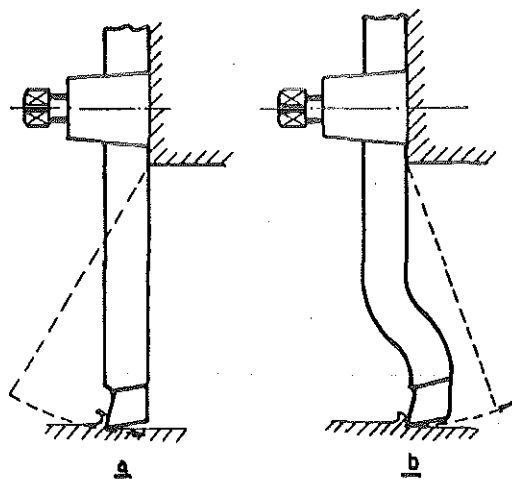


Figura 270 - Ferramentas para plainas com movimento horizontal.
a - reta, b- arqueada.

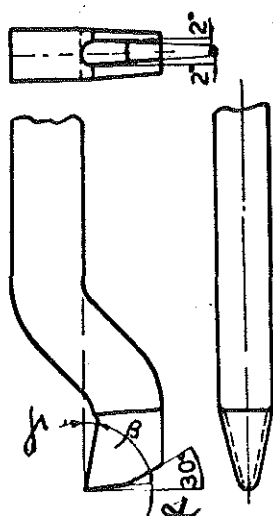


Figura 271 - Geometria das ferramentas para plainas horizontais

A haste arqueada evita que a ferramenta "tropece" e conseqüentemente, se rompa, devido ao momento fletor originado pela reação às forças de corte.

O material da ponta da ferramenta pode ser aço rápido ou metal duro soldado, escolhido conforme as orientações estabelecidos para torneamento.

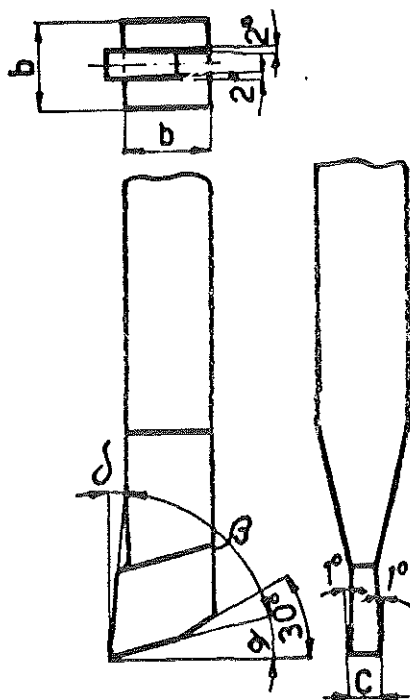


Figura 272 - Ferramenta para plaina vertical para entalhe.

2.8.5. O aplainamento frente outros processos

Superfícies planas em geral podem ser obtidas tanto por fresamento como por aplainamento. Assim, peças de menor porte podem ser alocadas em fresadoras ou em plaina limadora.

As operações de aplainamento feitas com ferramentas de uma única aresta cortante são bem mais lentas do que o fresamento que utiliza ferramentas com várias arestas cortantes e a máquina não tem o tempo de retorno inútil. Pode-se afirmar que a produtividade de uma fresadora em termos de volume de cavaco produzido é bastante superior ao de uma plaina limadora, podendo considerar que ambas possuem a mesma qualidade expressa em precisão e rugosidade superficial.

O tempo de montagem para muitos trabalhos é menor em plaina limadora e praticamente todos os trabalhos podem ser feitos com ferramentas simples e baratas, portanto, de preço inicial pequeno e baixo custo de afiação, o que não é o caso das fresas.

Concluindo:

- 1 - As plainas limadoras têm um lugar definido na usinagem dos metais, porque, ambas máquina e ferramenta são relativamente mais baratas, tanto no custo inicial de investimento como de operação.
- 2 - Para produção em grande quantidade e grande volume de cavaco a remover, o fresamento é bastante vantajoso.

2.9. Processo de Denteamento

2.91. Métodos de corte de engrenagens

Existe dois métodos de corte de engrenagens: corte direto e geração do perfil envolvente.

PRÍNCÍPIO DO CORTE DIRETO

A usinagem dos dentes é feita por uma fresa de perfil constante, sendo a peça montada entre um divisor e uma contra-ponta.

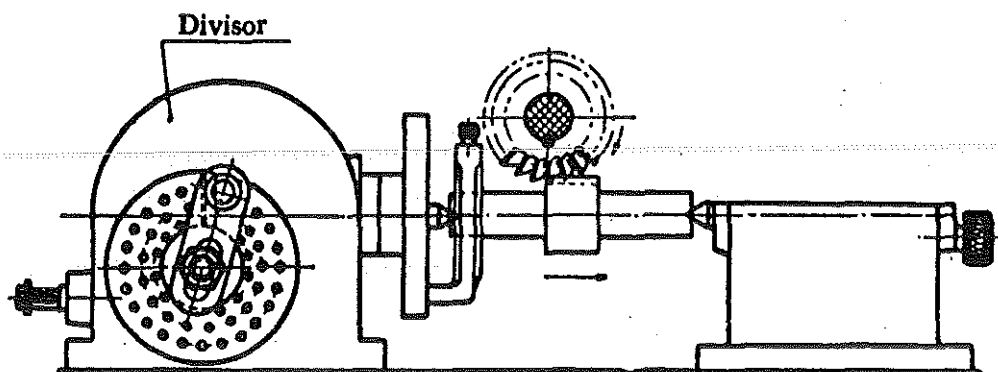


Figura 273 - Corte de uma engrenagem por uma fresa de forma.

PRÍNCÍPIO DE GERAÇÃO DO PERFIL ENVOLVENTE

A **envolvente** é a curva gerada por um ponto de uma reta que se move, sem resvalar, tangencialmente a um círculo chamado círculo base. Com base neste princípio, imagina-se que uma roda denteada em aço com um perfil de envolvente e determinadas características, gire em contato com um disco liso formado de um material plástico, porém firme; se a distância entre eixos for oportuna e colocada a engrenagem em rotação, este imprime sobre o disco de material plástico a forma do seu dente, vindo a ter, também, um perfil de envolvente de igual módulo.

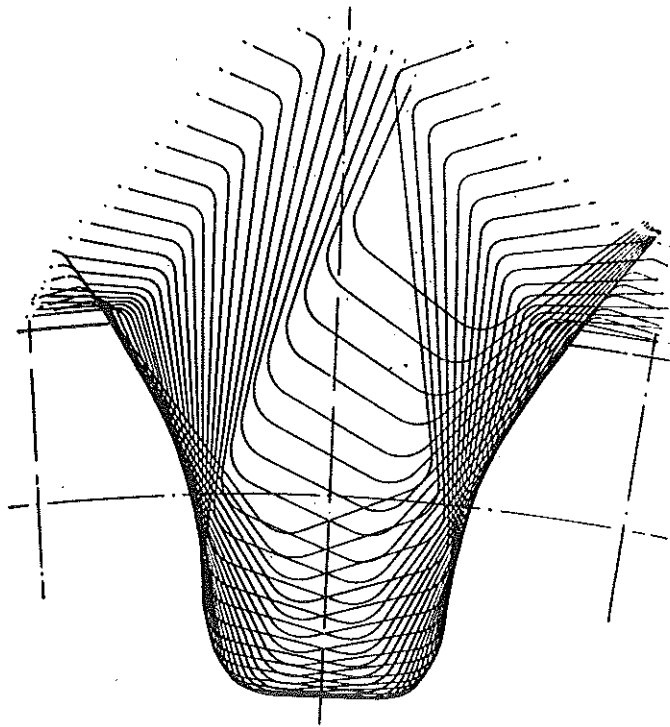


Figura 274 - Geração do perfil envolvente.

Seguindo este princípio de geração pode ser construída uma roda denteada, mesmo em material que não é facilmente deformável, através de uma ação de corte.

A figura a seguir ilustra o princípio do contato de dois dentes com perfil de envolvente.

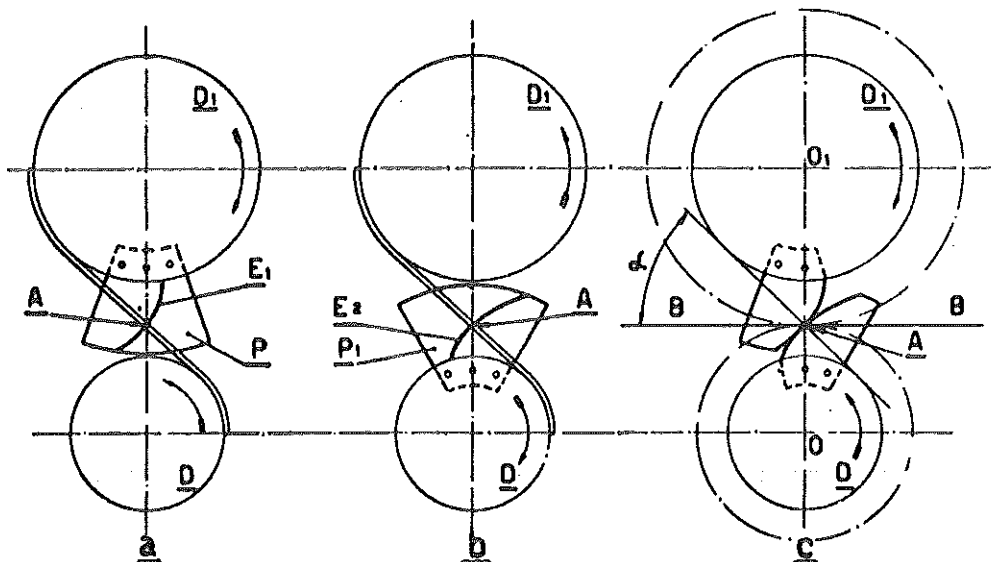


Figura 275 - Traçamento de dois perfis de dentes.

As seguintes condições são satisfeitas para transmissão de potência e movimento:

- 1 - Os flancos dos dentes mantêm-se recipricamente tangenciais durante o tempo que eles atuam.
- 2 - O contato estende-se de uma para outra extremidade do perfil durante o movimento.
- 3 - A tangente conduzida pelo ponto de contato é, em qualquer caso, perpendicular à tangente comum aos dois círculos de base D_1 e D_2 .
- 4 - Os dois perfis conduzem-se reciprocamente segundo uma relação das velocidades angulares.

O princípio de geração permite que um mesmo cortador seja usado para usinar engrenagens de qualquer número de dentes de mesmo módulo. As fresas de forma são usadas para uma determinada gama de número de dentes de mesmo módulo, sendo que, a rigor, somente para um determinado número de dentes a fresa gera uma envolvente perfeita, afetando os demais com um erro inerente ao processo. Isto é aceitável para engrenagens cujo funcionamento dispensa maiores exigências.

Os tipos de engrenagens, são:

- a) Engrenagem cilíndrica de dente reto;
- b) Engrenagem cilíndrica de dente helicoidal;
- c) Corôa helicoidal para rosca sem fim;
- d) Engrenagem cônica com dente reto;
- e) Engrenagem cônica com dente helicoidal;
- f) Engrenagem cônica com dente hipoide;
- g) Engrenagem cilíndrica interna com dentes retos e helicoidais;
- h) Engrenagem cilíndrica com dentes bi-helicoidais.

Para realizar os diferentes tipos de denteamento, é necessário imprimir à ferramenta e a à peça movimentos combinados usando máquina denteadoras construídas exclusivamente para este fim.

2.9.2. Denteadoras para engrenagens

São máquinas que envolvem processos de fresamento e aplainamento, como será visto a seguir.

DENTEADORA A CRIADOR OU CARACOL (Processo Phauter)

A geração do dente processa-se por meio de uma ferramenta especial, CRIADOR ou CORACOL, aplicado ao mandril de uma denteadora que trabalha com movimento rotativo contínuo.

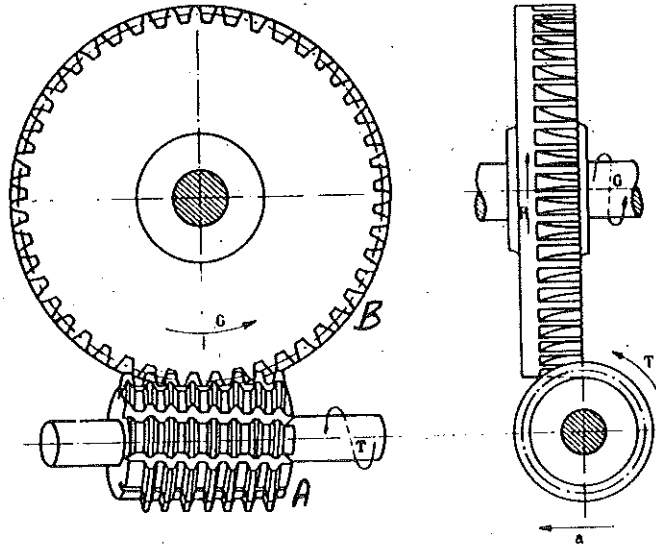


Figura 276 - Corte com criador.
A - Criador, B - Peça.

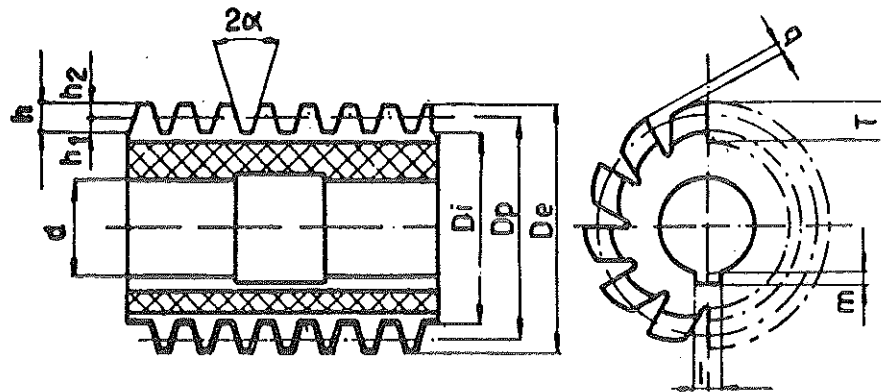


Figura 277 - Características de um criador.

O criador tem o formato de um cilindro que possui um filete em forma de sulco helicoidal com seção trapezoidal em sua superfície externa. Este filete é interrompido por entalhes axiais, formando dentes ao longo do criador, de forma que uma seção longitudinal passando pelo seu eixo de rotação, corresponde a um pente (cremalheira de dente trapezoidal) e são estes que, executando uma ação combinada com o movimento da peça, formam a roda denteada.

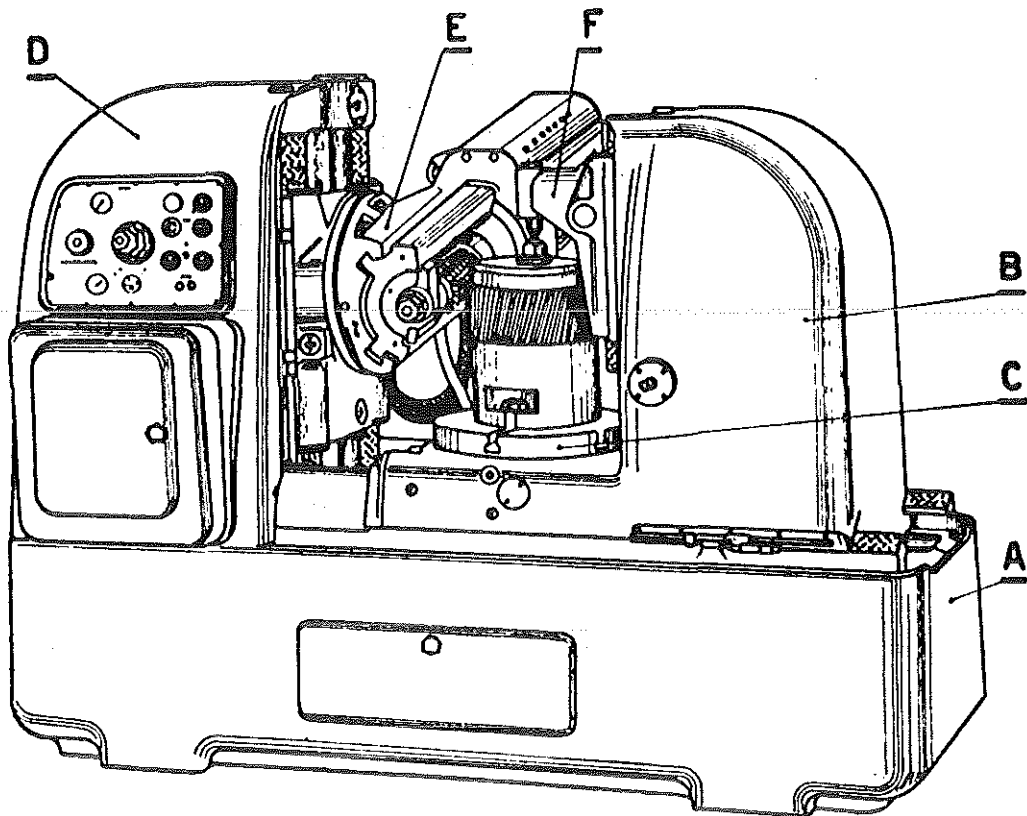


Figura 278 - Denteadora a criador.

A - Base, B - Montante móvel, C - Mesa porta peça, D - Montante fixo, E - Cabeçote orientável porta-ferramenta, F - Contra-ponta, G - Haste para fixação de peças.

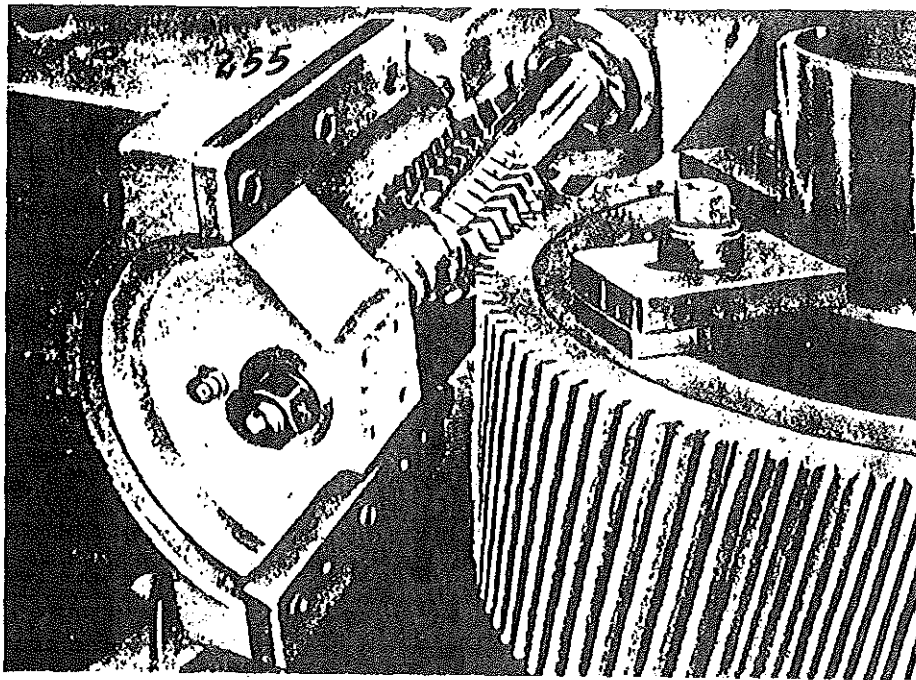


Figura 279 - Corte de uma engrenagem cilíndrica.

O cinematismo da máquina combina o movimento rotativo de corte do criador com o movimento circular de geração do material, imprimido através da mesa D obtendo o número de dentes desejado; o avanço de corte é dado ao cabeçote F, e a profundidade de corte dada pelo montante B que contém a mesa C.

Com as denteadoras a criador podem se obter:

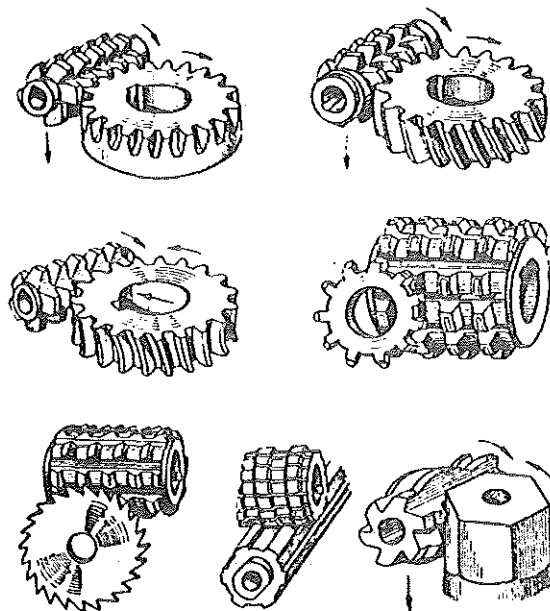


Figura 280 - Peças típicas.

1 - Engrenagem cilíndrica de dente reto, 2 - Engrenagem cilíndrica de dente helicoidal, 3 - Corôas para rosca sem fim,, 4 - Engrenagem de corrente, 5 - Serras, 6 - Eixos entalhados, 7 - Eixos com seções poliédricas.

DENTEADORA COM CURTADOR CIRCULAR (Processo Fellows)

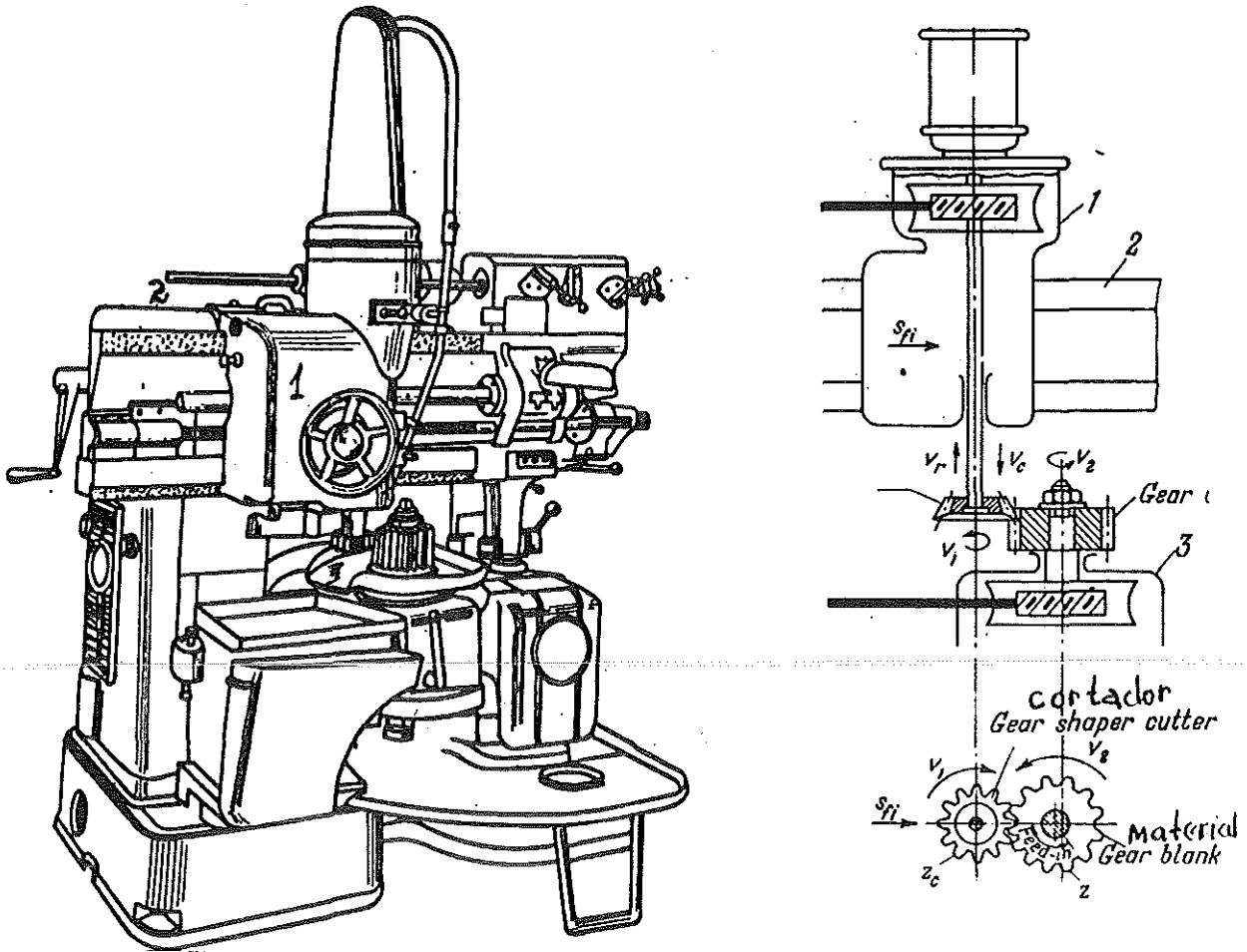


Figura 281 - Denteadora tipo Fellows.

O processo de denteamento realizado por estas máquinas é baseado no princípio de fazer rolar, sem escorregamento, um cortador em forma de uma engrenagem capaz de remover o cavaco em torno do disco a dentear.

Isto é possível através da combinação de vários movimentos da peça e da ferramenta:

- 1 - movimento linear de corte V_c e de retorno V_r realizado pelo cortador;
- 2 - rotação contínua do cortador V_1 e do material V_2 propiciando o movimento de alimentação circular e divisão do número de dentes, coordenado por meio de engrenagens recambiáveis;
- 3 - movimento de alimentação radial S_{fi} obtido pelo avanço do eixo do cortador em direção ao eixo do material em trabalho. Quando o cortador atinge a profundidade de corte desejado este movimento cessa automaticamente enquanto que o movimento circular da peça e o movimento de corte continuam até o material da engrenagem completar uma revolução.
- 4 - recuo da mesa da peça em relação ao cortador durante cada curso de recuo.

Denteadoras Fellows podem usar os seguintes tipos de engrenagens:

- a) Engrenagens cilíndricas de dentes retos internos e externos;
- b) Engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais internos e externos.

Graças ao seu movimento de corte alternativo, permite a usinagem de dentes bem próximos a ressaltos, como mostra a figura.

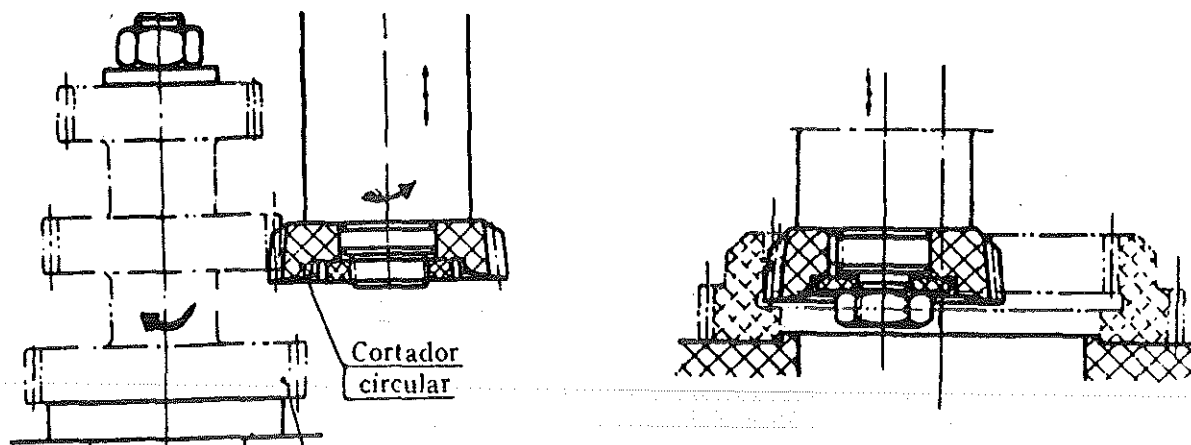


Figura 282 - Corte externo e interno.

DENTEADORA COM FERRAMENTA LINEAR (Processo Maag)

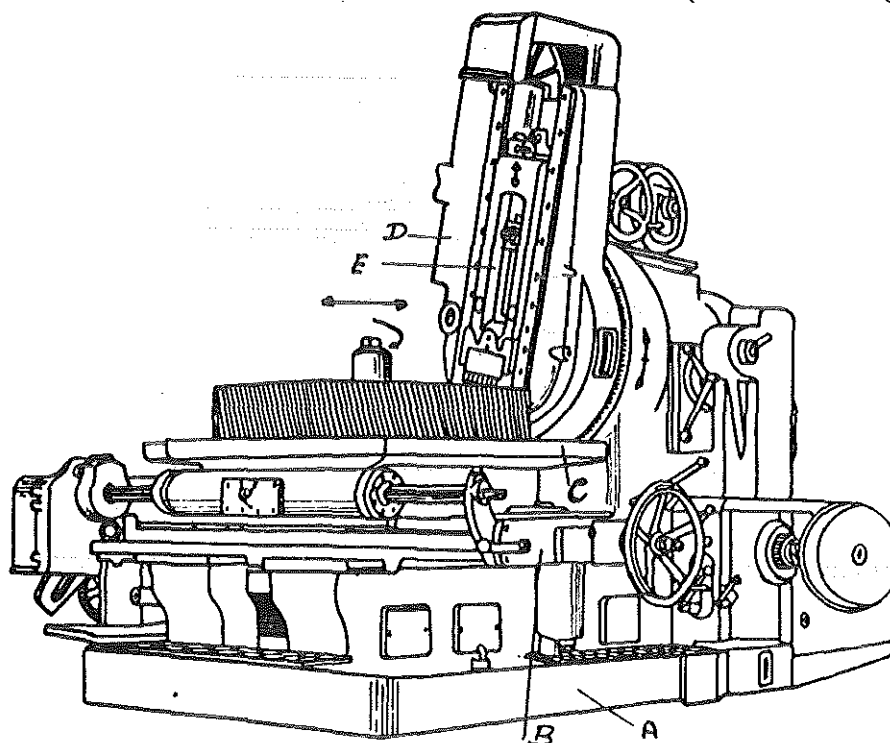


Figura 283 - Denteadora MAAG

A estrutura da máquina é semelhante a de uma plaina vertical, possuindo uma base com montante A, sobre a qual existe a plataforma B que pode se deslocar transversalmente levando a mesa porta-peça C. O cabeçote D, inclinável para usinar engrenagens helicoidais, possui o carro porta-ferramenta E que faz um movimento alternado.

O movimentos que devem ser realizados para a geração dos dentes são:

- 1 - movimento de corte alternado, vertical ou oblíquo, para dentes retos e helicoidais respectivamente; no retorno deverá haver um afastamento da ferramenta em relação ao dente para evitar danos.
- 2 - movimento de geração: consiste é uma rotação da peça em torno de seu eixo e de uma translação conjugada da roda no plano horizontal e na direção da linha do primitivo do pente. Cada vez que a peça está a ponto de sair do pente, porque terminou o seu curso, verifica-se o movimento de retorno da mesa porta-peça a fim de conduzir de novo a peça para a sua posição inicial de entrada em relação ao pente.

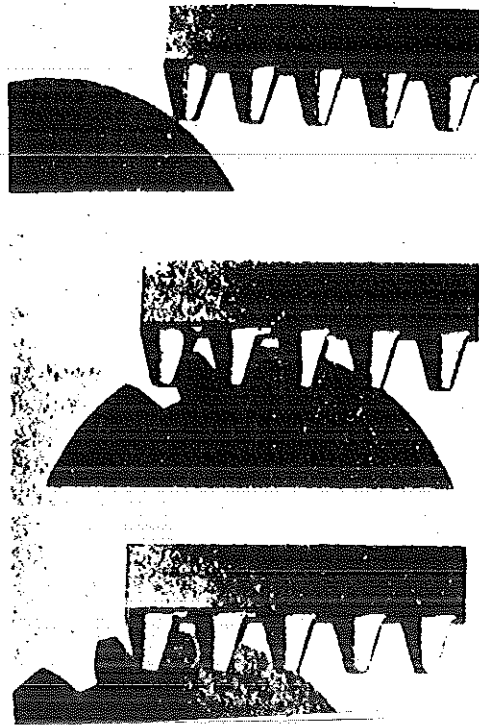


Figura 284 - Fases de geração dos dentes.

1 - início, 2 - final do curso de corte, 3 - final do retorno.

Durante o retorno o pente deve ficar parado na posição superior de princípio de ciclo. Dado o limitado comprimento do pente, é necessário um certo número de repetição do ciclo; para isto, a mesa porta-peça deve retornar um certo número de passos (de 1 a 10), enquanto o carro porta-ferramenta pára na sua posição superior de início. Assim a peça retorna para a posição inicial sem sofrer nenhuma rotação após o corte.

Este tipo de máquina produz engrenagens cilíndricas externas retas e helicoidais de diâmetro até 5.000 mm, usinando toda a profundidade do dente em um único passe.

DENTEADORA PARA ENGRENAGEM CÔNICA DE DENTES RETOS (Processo Bilgram)

Dentes cônicos podem ser usinados em fresadora universal, porém os dentes obtidos não têm o perfil de envolvente perfeito, porque o módulo ao longo de um dente é constantemente variável. Sendo cortado por uma fresa de forma para um determinado módulo e adotando um procedimento adequado, pode-se obter uma aproximação aceitável para emprego que não exija maior qualidade e boa produtividade na fabricação.

As exigências de produção em série e funcionamento perfeito tornaram necessário o desenvolvimento de denteadores para produzir o perfil do dente segundo a curva exata de uma envolvente de círculo. Estas máquinas estão baseadas no princípio da composição de movimentos ao redor de um eixo, do rolamento de uma superfície cônica sobre um plano e da revolução ao redor de um ponto, que pode ser observado na figura a seguir, aplicado pela primeira vez por Bilgram.

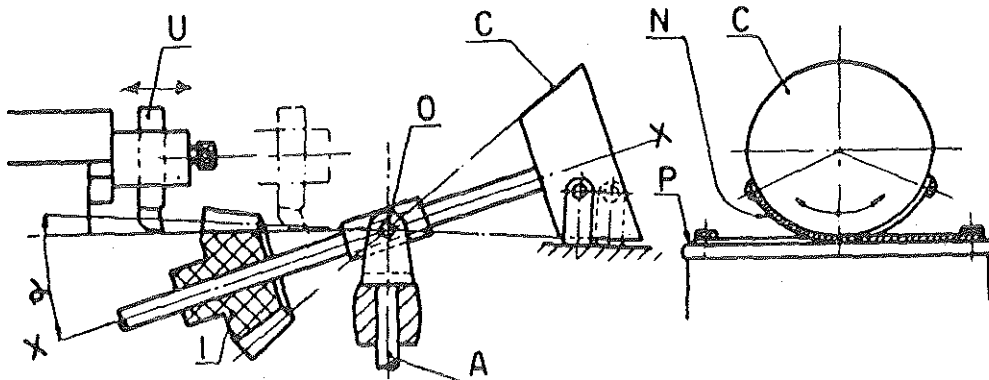


Figura 285 -Superfície cônica.

XX - Eixo de rotação, O - Centro de revolução, P - Plano de rolamento, C - Superfície cônica, N - Cinta, I - Engrenagem, U - Ferramenta, O eixo vertical A imprime a peça o movimento de rolamento.

A peça I é fixada no mandril oscilante de eixo X-X; a oscilação se produz ao redor do centro O, vértice comum dos cones primitivos da peça I e do cone C que tem a finalidade de gerar a envolvente. As duas cintas de aço N, com as extremidades fixadas sobre o plano P servem para impedir que o cone resvale sobre o plano de contato, garantindo o rolamento. A ferramenta U tem somente o movimento alternado retilíneo, como em uma plaina limadora, enquanto que a peça I tem o movimento de avanço, girando no momento que a ferramenta está livre, ou seja, fora da peça. Um divisor contínuo incorporado à máquina é que permite girar a peça em trabalho um passo para cada curso ativo da ferramenta.

Geralmente o corte de uma engrenagem é feito em três fases: a) desbaste, b) acabamento do lado esquerdo, c) acabamento do lado direito.

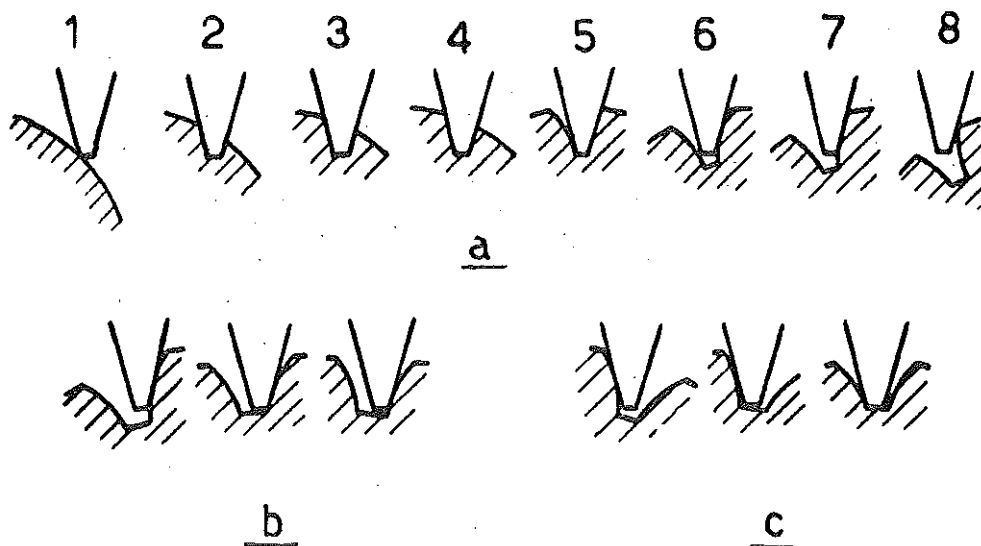


Figura 286 - Corte de uma engrenagem em três fases.

DENTEADORA DE DENTES CÔNICOS

1 - Processos para corte de dentes retos com cortador circular rotativo

É usado para fabricação em série e de engrenagem de largura dos dentes pequena e altura máxima do dente até 11 mm. Uma fresa em forma de disco de grande diâmetro, corta completamente em uma única volta, os flancos de um vão do material em forma de tronco de cone.

Esta fresa tem dentes postiços, perfilados lateralmente segundo uma forma côncava, podem ser afiados como dentes de fresa de forma na sua face frontal e são divididos em dentes de desbaste (A) e dentes de acabamento (A'), conforme indicado na figura.

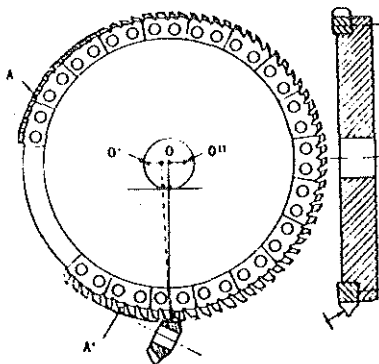


Figura 287 - Corte com cortador rotativo em final de operação.

A fresa tem um movimento de rotação contínuo e o corte se inicia quando o centro O de fresa se situa em O' e os dentes desbastadores A começam a cortar sobre a geratriz externa do dente. A fresa vai sendo deslocada, mediante um cone, na direção da parte mais larga do vão da denteadura. A profundidade completa é atingida quando o centro da fresa chega ao ponto O que se deslocada automaticamente para posição oposta O'' . Inicia-se então o movimento de retorno combinado com a rotação de fresa executando o fresamento de acabamento com os dentes A' (18 a 20 dentes).

Terminando um corte, um mecanismo de divisão faz o giro da peça segundo um passo determinado conforme o módulo e número de dente. Durante este intervalo de tempo o centro da fresa retorna para o ponto de partida O' e o ciclo pode recomeçar, gerando um novo rasgo e formando um dente após o outro.

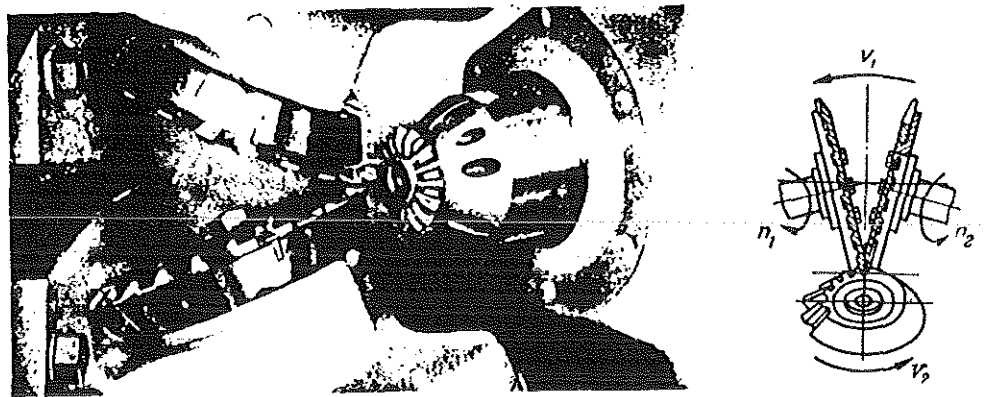


Figura 288 - Corte de engrenagens cônicas retos com dois cortadores rotativos circulares.

2. Processo para corte de dentes retos com duas ferramentas retas

Este tipo de máquina utiliza duas ferramentas que se movem alternadamente e se comportam cinematicamente como o flanco de um dente pertencente a uma coroa dentada imaginária.

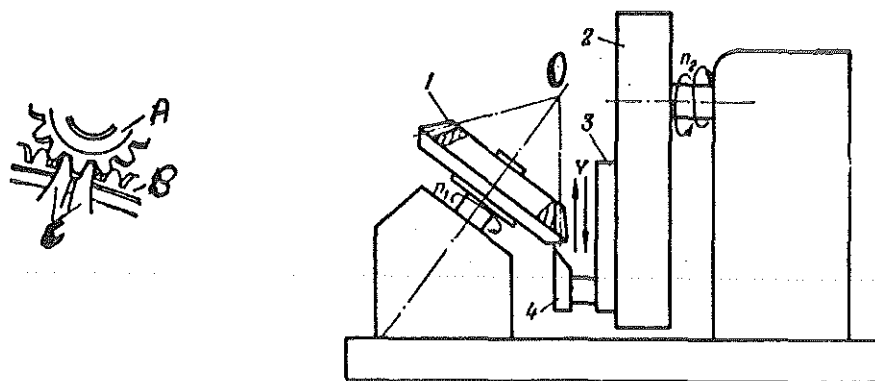


Figura 289 - Princípio da geração de dentes cônicos retos.

A - Engrenagem, B - Coroa imaginária, C - Ferramentas. 1 - Engrenagem cônica, 2 - Berço, 3 - Carro porta-ferramenta, 4 - Ferramenta.

A peça 1 tem um movimento rotativo (n_1 rpm). Também gira o braço 2 (n_2 rpm) com ferramentas que se movem alternadamente num percurso retilíneo representando cinematicamente o flanco de um dente pertencente a uma corôa imaginária. O carro porta-ferramenta 3 com as ferramentas 4 desloca-se alternadamente ao longo de guias usinadas no berço 2. A ferramenta corta em seu movimento em direção ao centro do cone formado pelos primitivos dos dentes O, debaixo para cima.

A figura mostra as posições sucessivas das ferramentas e da peça durante a geração.

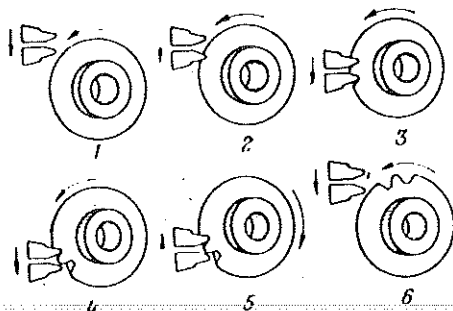


Figura 290 - Posições sucessivas das ferramentas.

Inicialmente, uma ferramenta avança para cortar a peça (posição 1 e 2). Então, a segunda ferramenta designada para gerar o outro flanco do dente, começa a cortar a engrenagem (posições 3 e 4). Neste ponto, o primeiro dente foi completamente gerado.

Depois da formação do dente a posição relativa entre o berço e a peça fica invertida. O cabeçote afasta-se e ao término do movimento de rotação do berço para a posição inicial, a peça sobre um giro segundo um determinado ângulo através de um divisor incorporado ao cinematismo da máquina, colocando a peça na posição para reiniciar o ciclo e gerar mais um dente (posições 5 e 6). Geralmente a usinagem é feita em duas etapas: desbaste e acabamento após trocas de ferramentas.

3. Processo de corte de dentes cônicos-helicoidais (Processo Gleason)

Os dentes das engrenagens cônicas podem ser obtidas segundo vários tipos de curvas: espiral logarítmica, aspiral de Arquimedes, desenvolvimento de círculo, arco de círculo, arco de hélice, epicloide alargada, cicloide cônica. Cada tipo requer um método e uma máquina especial. O processo Gleason foi o primeiro a ser desenvolvido (existem outros) para dentear engrenagens cônicas de espiral, podendo ser espiral com ângulo zero, espiral oblíqua e Hypoid.

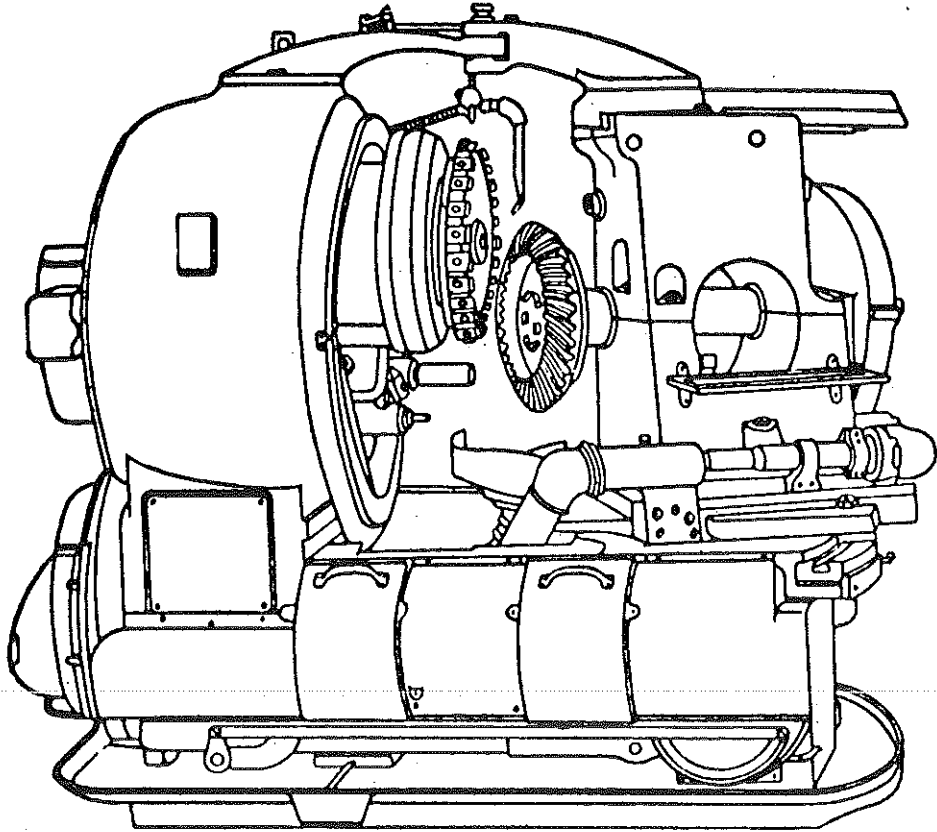


Figura 291 - Denteadora Gleason para engrenagens cônicas.

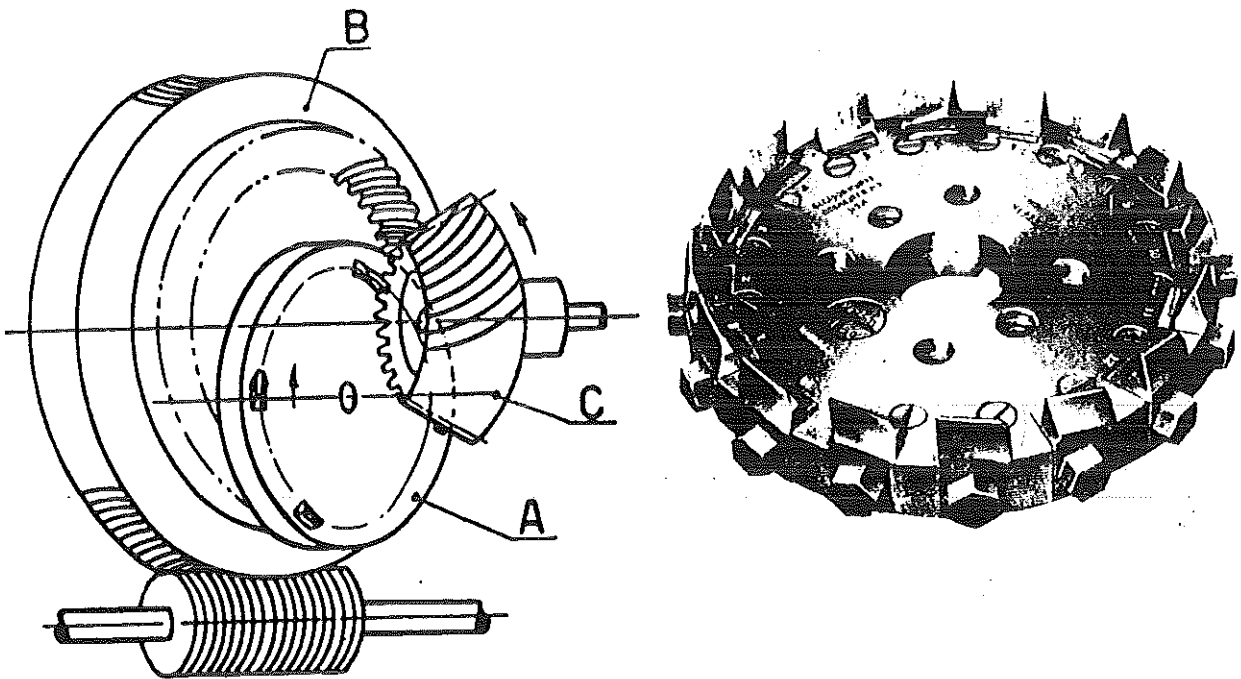


Figura 292 - Ferramenta e esquema dos movimentos básicos.

A fresa A está disposta excêntrica sobre o disco B, de forma que os dentes da ferramenta, no momento que tiram cavaco, vão ocupar a posição que tenderiam os dentes de uma engrenagem a acoplar. Este é o movimento de corte.

Ao mesmo tempo que a roda mestre B, com a engrenagem imaginária, gira com movimento pendular periódico, a fresa A está se movimentando segundo um movimento planetário resultante dos movimentos de A e B. Deste modo os dentes da fresa se aproximam progressivamente do pinhão C e cortam pouco a pouco um sulco com uma volta completa da fresa; continuando, a peça afasta-se da ferramenta e sofre uma rotação de um ângulo correspondente ao seu passo circunferencial, executado por um divisor incorporado ao cinematiso da máquina; ao mesmo tempo a fresa A e disco B voltam para a posição inicial que inciarão outro corte após a aproximação da engrenagem.

2.9.2.1. Condições de usinagem

Os fatores dos quais dependem a velocidade de corte são: o módulo da engrenagem, a dureza do material, a forma e a condição da usinagem, a qualidade da ferramenta, a rigidez da peça quando é montada sobre a máquina para ser usinada, a precisão desejada e fluido de corte.

Para ferramentas de aço super-rápido os valores básicos são:

Ferro fundido: 18 a 25 m/min.

Aço: 14 a 17 m/min.

2.9.3. Acabamento de dentes de engrenagens

A superfície de um dente de engrenagem cortada por ferramenta de arrancamento de cavaco é constituída de minúsculos planos. A superfície assim constituída é satisfatória para algumas finalidades mas não é suficientemente boa onde exige-se alto grau de precisão, resistência e baixo nível de ruído. A solução é cortar a engrenagem deixando sobremetal para acabamento a fim de obter exatidão, dimensão, concentricidade, espaçamento e perfil envolvente dos dentes com tolerâncias apertadas, conforme a necessidade. Além disso, as engrenagens sofrem tratamento térmico para adquirir dureza e resistência adquirindo deformações e formação de carepas na superfície do dente. Uma operação de acabamento após o tratamento térmico corrige estas discrepâncias.

São mais usuais os seguintes processos: "Shaving", Retificação e Lapidação.

"SHAVING" DE ENGRENAGENS

No acabamento pelo "shaving" a engrenagem é girada com uma velocidade periférica de cerca de 120 m/min. e pressionada contra um cortador em forma de engrenagem ou cremalheira que contém sulcos na superfície do dente, formando arestas cortantes que tiram cavacos muito finos em materiais moles ou meio duros.

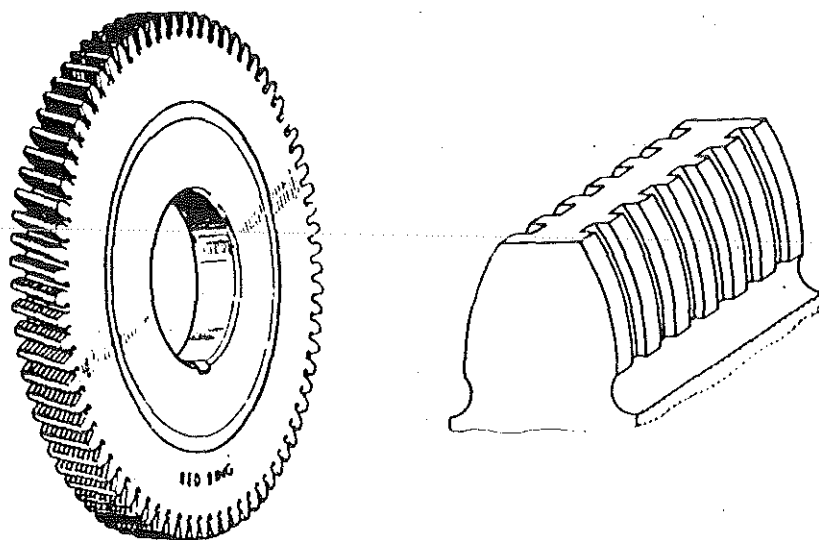


Figura 293 - Cortador "Shaver" e detalhe do dente.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DAS ACABADORAS POR "SHAVING"

Existem máquinas para "Shaving" externo, interno e universal; todos se baseiam no mesmo princípio: movimento motriz no cortador que faz girar a engrenagem louca sobre o seu eixo. A ferramenta é acionada em sua rotação pelo cinematismo contido em uma caixa de engrenagens que permite a escolha de uma gama de velocidades. A alimentação pode ser feita segundo eixos da ferramenta e da peça paralelos ou segundo eixos oblíquos (para dente reto ou helicoidal).

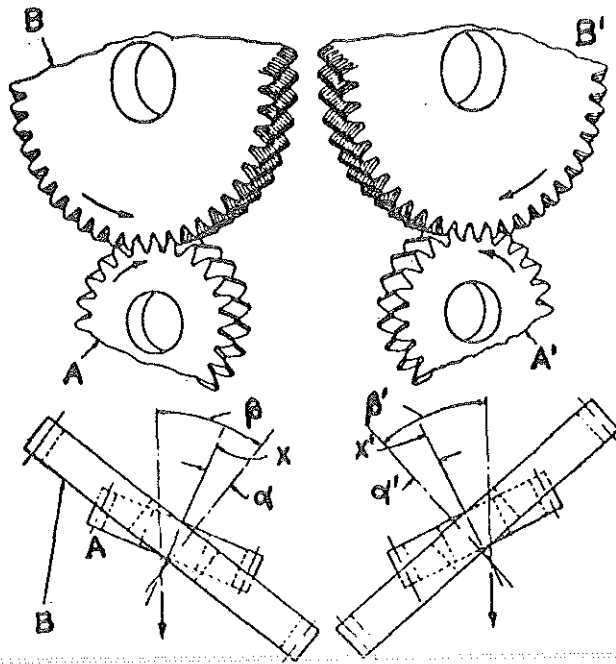


Figura 294 - Sentido de rotação e alimentação da ferramenta "Shaver" e da engrenagem

A, A' - Engrenagem; B, B' - Ferramentas; X-X' - Eixo das engrenagens; α , α' - Ângulos formados pelo eixo de engrenagem e da ferramenta, β , β' - Ângulo da ferramenta.

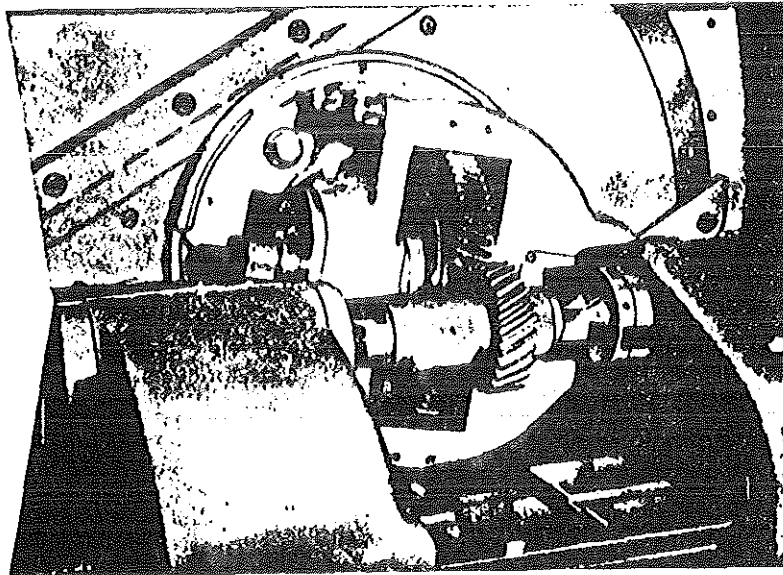


Figura - 295 - Operação de "Shaving" externo.

Cada cortador é fabricado para determinado módulo e forma do dente. Sendo uma ferramenta de alto custo, justifica-se seu emprego apenas em fabricação de grandes quantidades.

O acabamento por "Shaving" produz bons resultados por um custo sensivelmente menor que a retificação. Para obter o máximo de resultado é aconselhável empregar como matéria-prima para as engrenagens os aços próprios para nitretação. A sequência de fabricação deve ser: torneamento, denteamento, tratamento térmico de estabilização (normalização), "Shaving", nitretação. Engrenagens temperadas podem ser fabricadas com resultados razoáveis com a seguinte sequência, usando material normalizado: torneamento, denteamento, "Shaving", têmpera por chama ou indução, retoque final de lapidação.

RETIFICAÇÃO DE ENGRENAGENS

As engrenagens de precisão que devem transmitir esforços importantes com velocidade tangencial elevada, necessitam para sua fabricação de aços ligados cromo-níquel. A carga sobre os flancos dos dentes provoca um forte atrito nas superfícies de contato que provoca um rápido desgaste, principalmente em materiais moles. Isto torna necessário o tratamento térmico de cementação e têmpera, que pode deformar sensivelmente toda a massa metálica até alguns décimos de milímetros. Assim, impõe-se a retificação como meio de correção das irregularidades e rugosidades superficiais, deixando o dente polido. Este processo permite a produção de engrenagens precisas e capazes de transmitir silenciosamente o movimento propiciando longa duração.

A retificação pode ser realizada de duas formas:

- a) com rebôlo de forma;
- b) por geração.

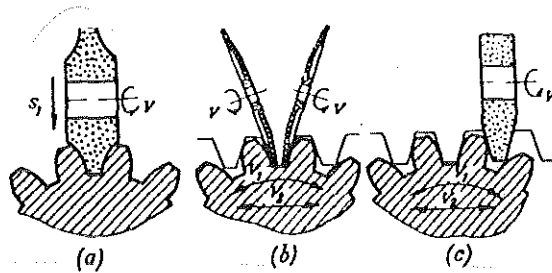


Figura 296 - Métodos de retificação de dentes.
a) Rebôlo de forma; b-c) Processos de geração.

A retificação com rebôlo de forma necessita de um dispositivo composto de um mecanismo pantográfico que acompanhando uma chapelona do dente, reproduz, o seu perfil no rebôlo através de diamantes retificadores. A peça, montada entre centros, é movimentada alternadamente sob o rebôlo que avança para cada curso até alcançar a medida desejada. Então, a peça afasta-se do rebolo e sofre divisão para o dente seguinte. Este processo é viável para engrenagens cilíndricas externas e internas, entalhados e peças similares.

O retificação por geração o rebôlo ou os rebôlos, dependendo do processo, são retificados para simular uma cremalheira conjugada de forma que o processo é baseado nos movimentos relativos entre os discos abrasivos que, em rotação no momento da operação, simulam os dentes de uma cremalheira engrenada com a engrenagem em trabalho que possui um movimento de translação lateral, translação axial, rotação alternada. Os discos não possuem movimento alternado.

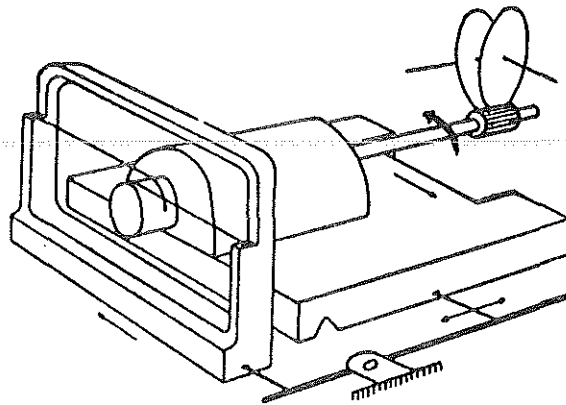


Figura 297 - Princípio de retificação por geração de dentes retos com dois discos.

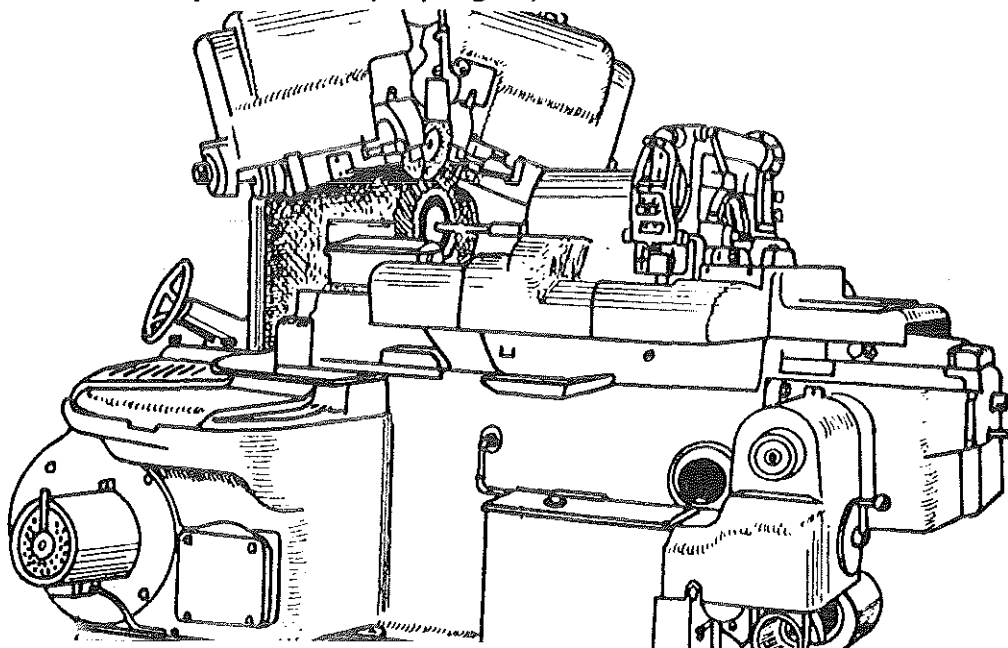


Figura 298 - Retificadora de dois discos para denteado reto e helicoidal.

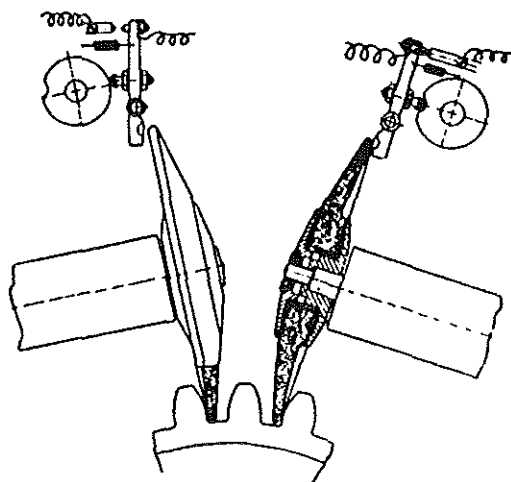


Figura 299 - Disco e dispositivo para compensação de desgaste dos discos.

Engrenagens cônicas helicoidais são retificadas por um rebôlo tipo copo perfilado que, a semelhança da fresa frontal para cortar, representa um dente de uma corôa imaginária que, no momento da operação, estaria engrenada com a peça em trabalho.

2.10. Processo de Roscamento

Rosca é uma espiral de passo uniforme e regular de material em relevo, que se desenvolve ao redor de um cilindro. Podem ser geradas em superfícies externas e internas.

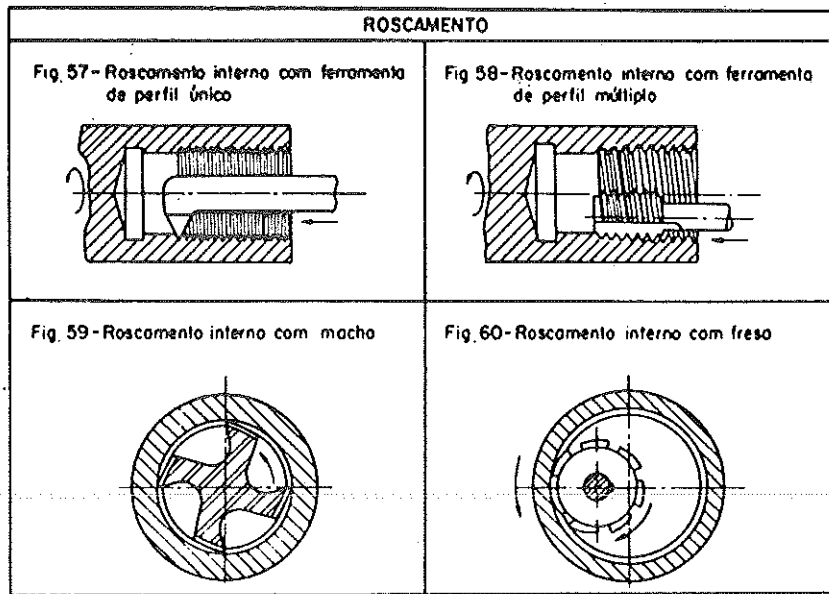


Figura 300 - Operações de roscamento/

2.10.1. Roscamento externo

É um processo em que se utiliza um torno paralelo, selecionando como avanço automático do carro porta-ferramenta um valor igual ao passo da rosca.

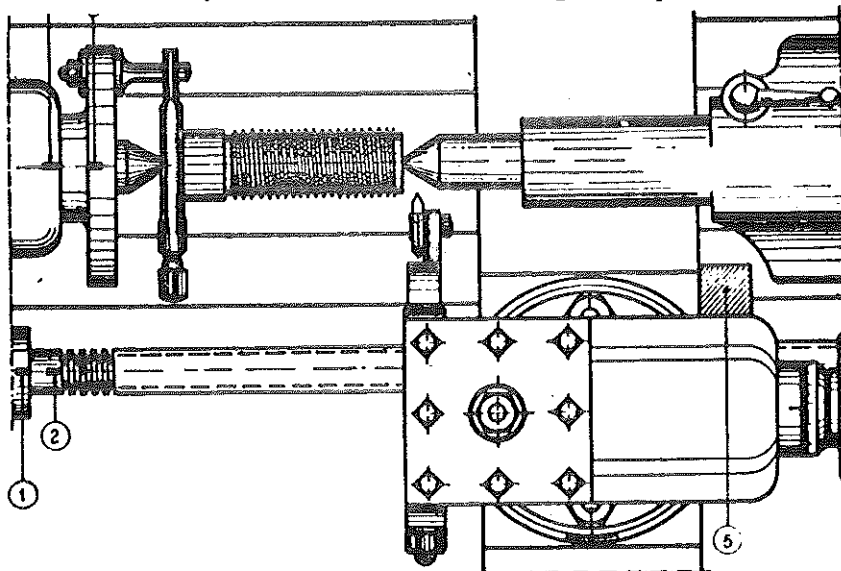


Figura 301 - Roscamento em torno.

ROSCAMENTO EM PENTES RADIAIS EM CABEÇOTES E TARRACHAS

Podem ser montados no cabeçote móvel de um torno paralelo ou no castelo giratório de tornos revólver e automático e máquinas especiais para rosçar.

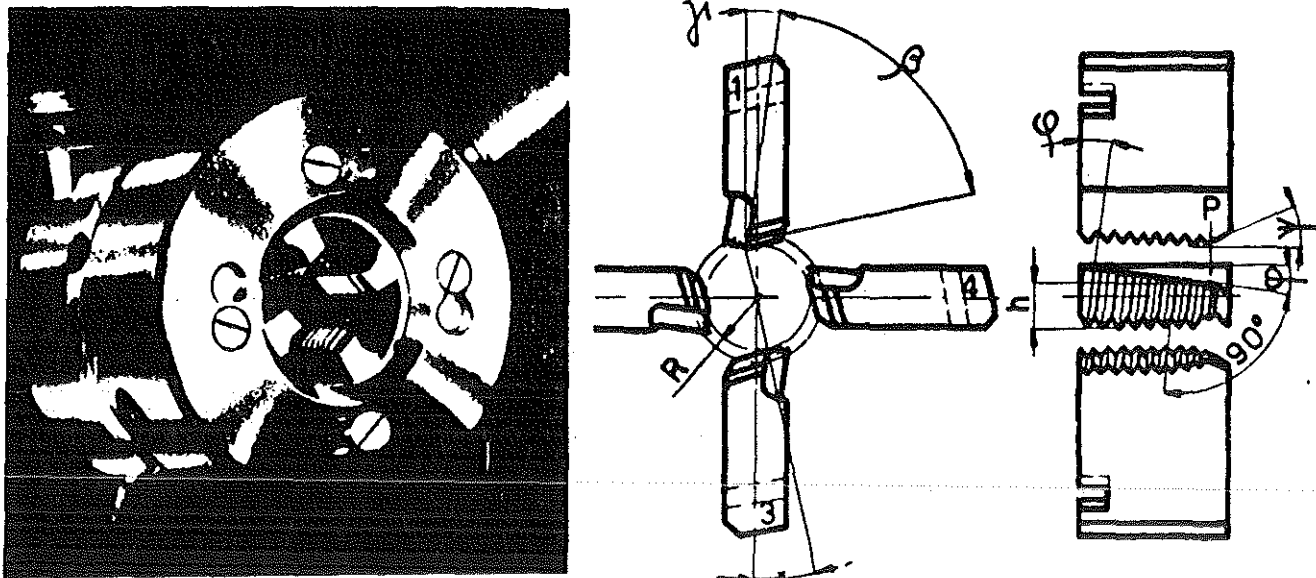


Figura 302 - Cabeçote e ponte de rosquear radiais.

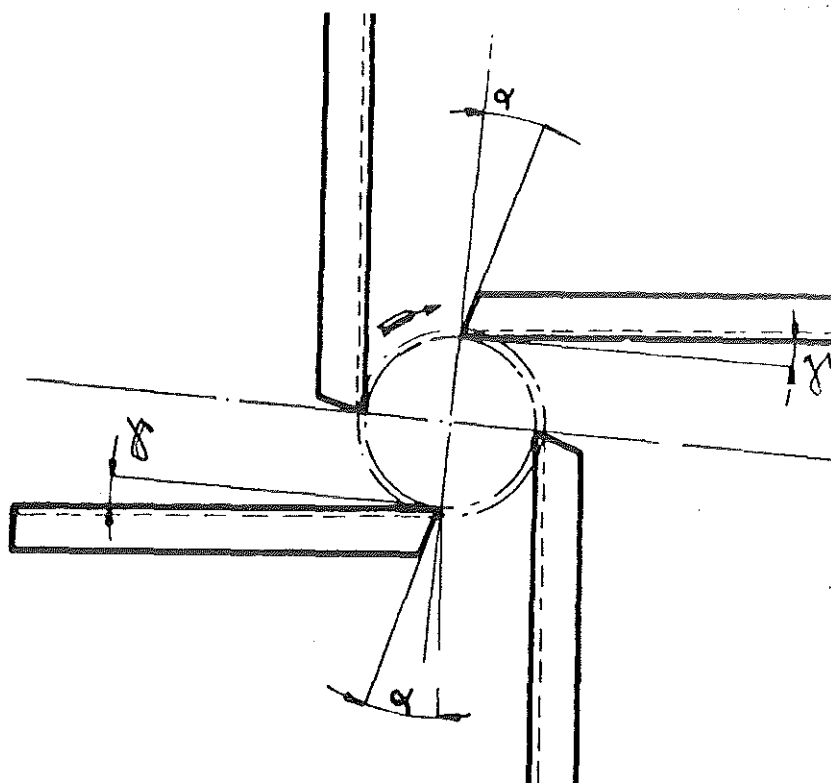


Figura 303 - Pente de rosquear tangencial.



Uma tarracha possui uma rosca interna como a de uma porca, porém possui alguns rasgos longitudinais, os quais propiciam um conto vivo para cortar a rosca.

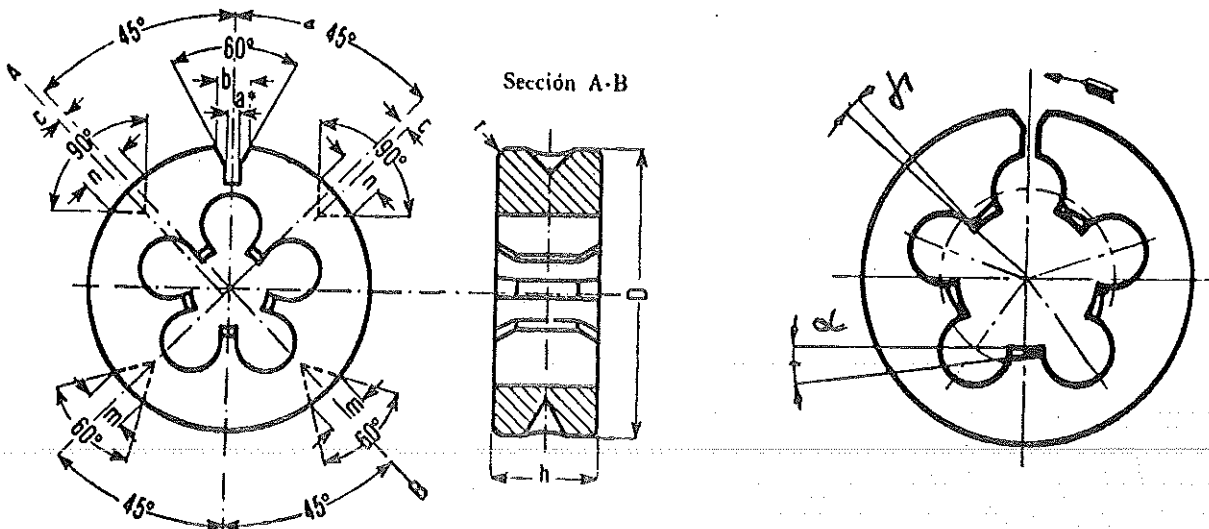


Figura 304 - Tarracha inteiriça e ajustável.

A tarracha ajustável possui um corte que possibilite a regulagem de diâmetro interno através de um parafuso.

O uso das tarrachas pode ser em máquinas ou manual através de sua montagem em um suporte.

As melhores tarrachas e pentes são feitos de aço rápido.

ROSCAMENTO EXTERNO POR FRESA

Este princípio consiste em fazer girar uma fresa de roscar (ferramenta circular com uma série de ranhuras e ressaltos cilíndricos que não são helicoidais) que ataca tangencialmente a peça cilíndrica em rotação e arranca o cavaco, ranhurando helicoidalmente o cilindro em toda extensão da fresa. A ferramenta, enquanto gira arrancando o cavaco, avança axialmente uma medida igual ao passo entre os filetes da fresa em cada volta da peça.

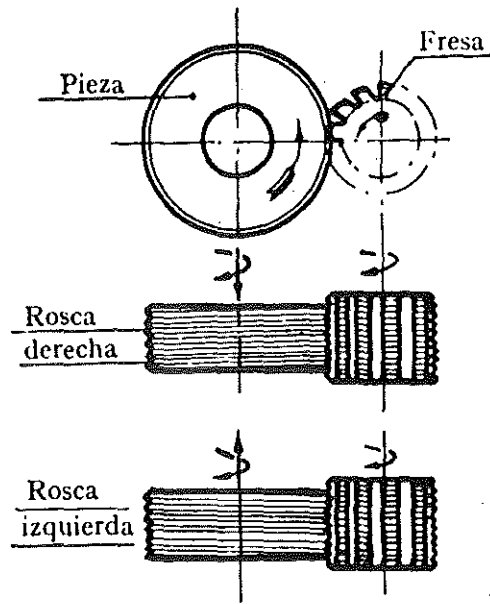


Figura 305 - Roscamento com fresa.

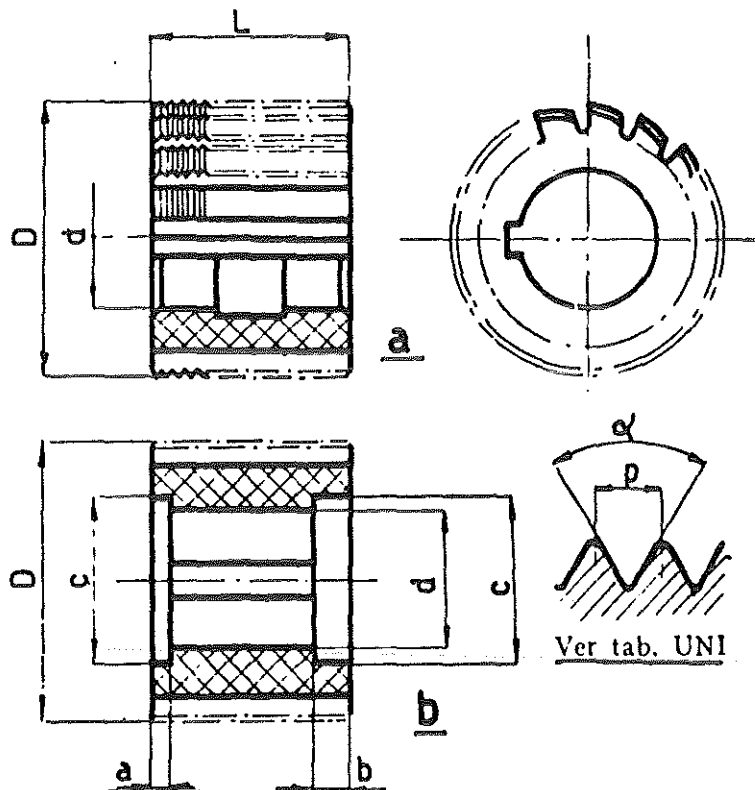


Figura 306 - Fresa de roscar.

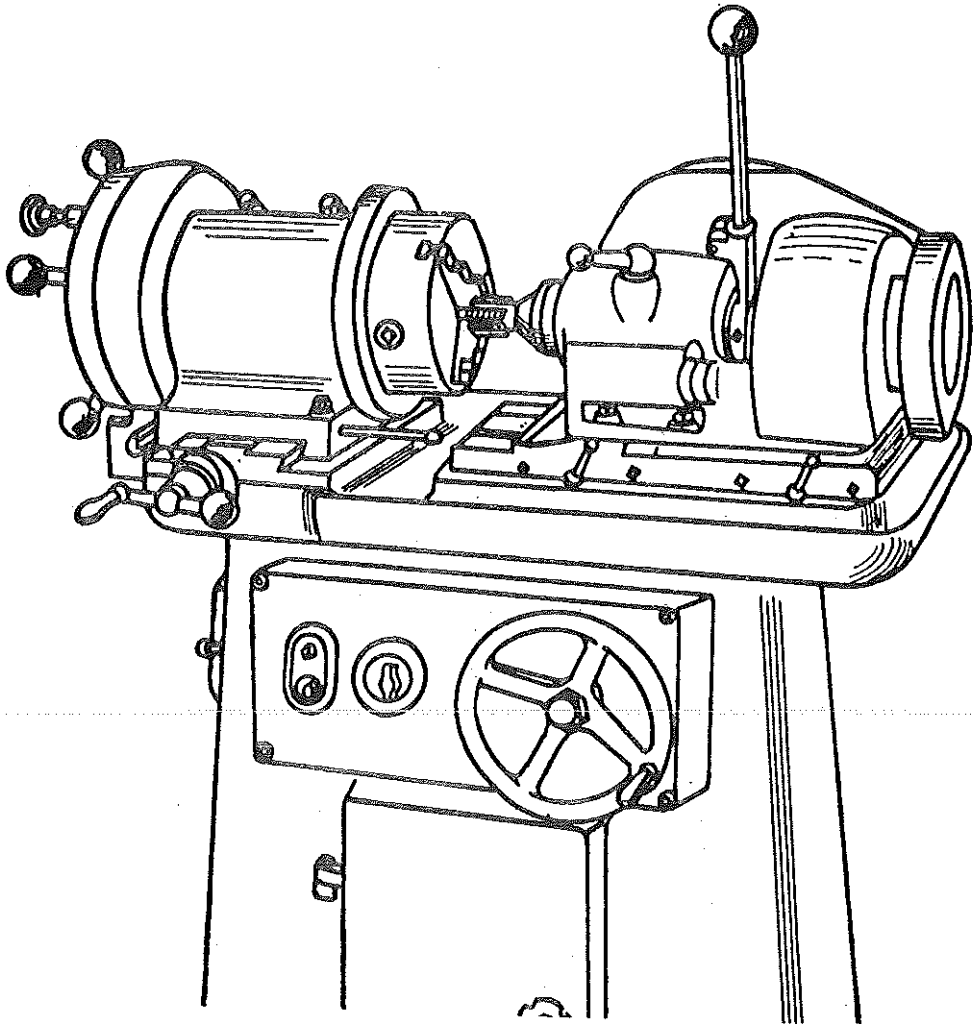


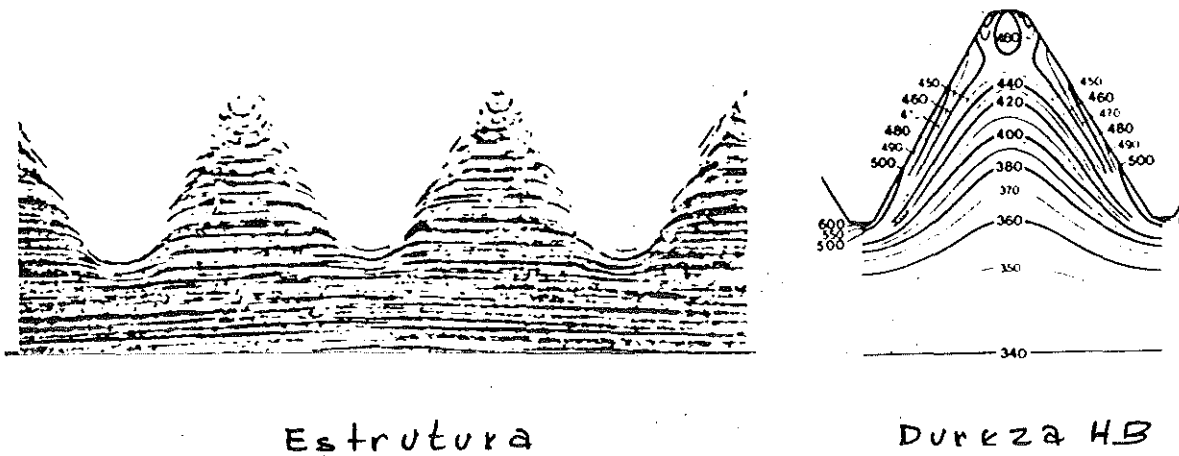
Figura 307 - Fresadora de rosca.

ROSCAMENTO POR LAMINAÇÃO

Nos processos mostrados anteriormente, as operações são feitas com a manufatura de cavacos. Nestes casos as superfícies a serem roscadas já devem ter as medidas externas das roscas.

A laminação de rosca ocorre com o recalque do material. Neste caso, o diâmetro inicial da matéria-prima deve ter uma medida tal que, após a laminação, a superfície atinja a medida final. Por exemplo, para uma rosca de 12,7 mm de diâmetro o material deve ter 11,5 mm, aproximadamente o diâmetro médio da rosca.

Com este processo obtém-se roscas mais resistentes, pois além de um aumento de dureza, não há interrupção da rede cristalina do material, mas a deformação segundo o perfil da rosca, diminuindo consideravelmente a concentração de tensão devido a entalhe. A operação é feita a frio e o acabamento dos flancos é de boa qualidade.



Estrutura

Dureza HB

Figura 308 - Estrutura do material após laminação.

A laminação de roscas pode ser feita por vários processos, sendo os mais importantes a laminação com matrizes planas e a laminação com cilindros.

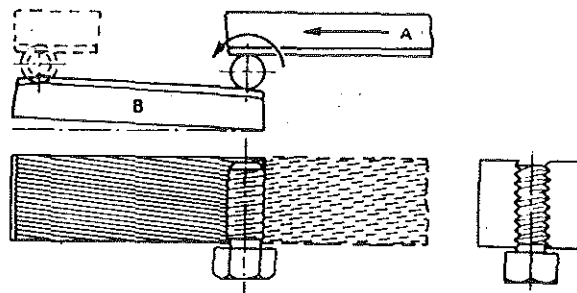


Figura 309 - Laminação com matriz plana.

A - Matriz móvel, B - Matriz fixa

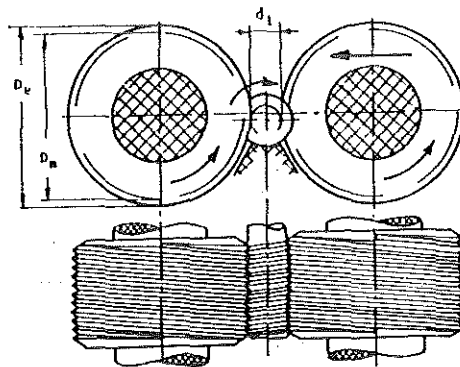


Figura 310 - Laminação com rolos.

As ranhuras das ferramentas que produzirão o salco das roscas são inclinadas segundo o ângulo de hélice da mesma, distanciadas de uma medida igual ao passo da rosca e orientadas na direção contrária.

A produção é elevada fazendo uma peça em cada ciclo da ferramenta. A laminação com matriz plana é mais indicada para diâmetros menores (até 20 mm) e o segundo para peças de maior diâmetro (até 75 mm).

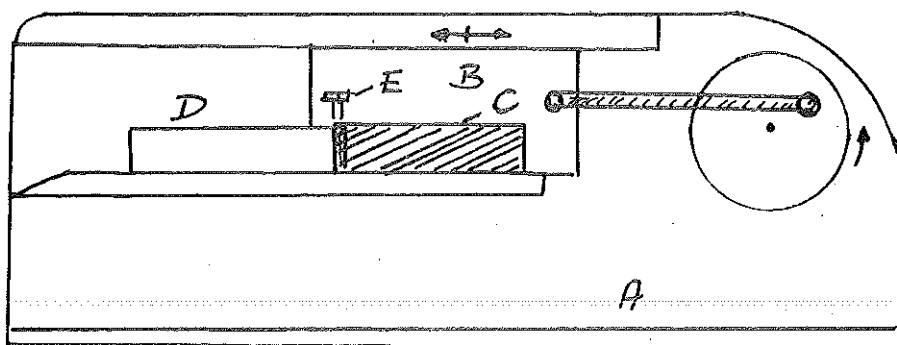


Figura 311 - Laminação com matrizes planas.

A - Estrutura, B - Carro, C - Matriz móvel, D - Matriz móvel
E - Peça

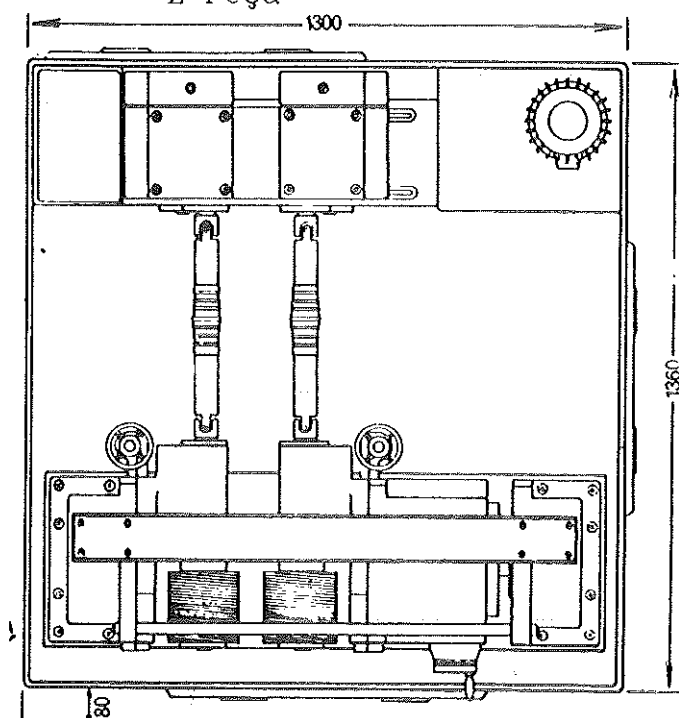


Figura 312 - Laminador de rolos (vista superior).

A - Redutor, B - Junta universal, C - Mancais reguláveis, D - Rolos de laminar.

2.10.2. Roscamento interno

ROSCAMENTO COM BICO DE FERRAMENTA

Neste processo utiliza-se um torno paralelo, selecionando como avanço automático do carro porta-ferramenta um valor igual ao passo da rosca.

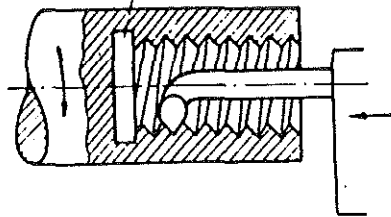


Figura 313 - Roscamento interno em torno.

ROSCAMENTO INTERNO POR FRESA

É a mesma técnica descrita anteriormente, porém aplicada para rosquear furos. É usada geralmente, para grandes diâmetros.

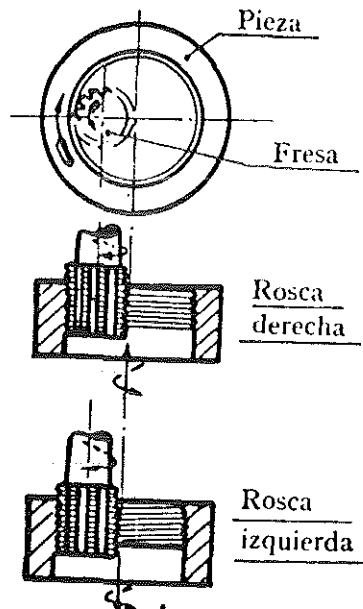


Figura 314 - Roscamento interno por fresa.

ROSCAMENTO POR MACHOS

Os machos são ferramentas constituídas essencialmente, por um cilindro de aço (preferivelmente aço rápido) em cuja superfície é feito um canal helicoidal de passo constante similar à rosca desejada, cujos filetes são interrompidos longitudinalmente por ranhuras retilíneas, ou helicoidais, a fim de constituir as arestas cortantes. Os dentes formados devem ter perfil constante, devendo portanto, serem detalonados.

Um macho, visto segundo uma seção transversa parece com uma fresa. Assim, o macho ataca simultaneamente com suas arestas cortantes toda a superfície do furo, gira e avança axialmente para determinar uma superfície cilíndrica roscada que é igual, em sua dimensões e perfil, ao próprio macho. Para obtenção da rosca, parte-se, evidentemente, de um furo menor que depende da altura da rosca.

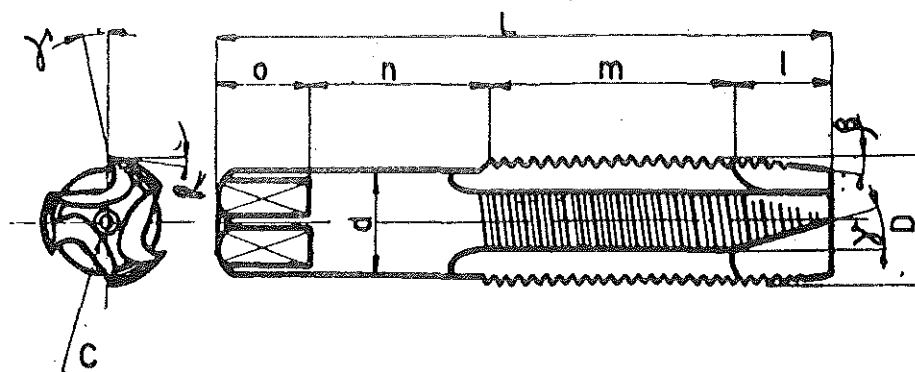


Figura 315 - Macho de três cortes.

α - Ângulo de folga, γ - Ângulo de saída, Φ - Ângulo de entrada, χ - Ângulo de posição da aresta de entrada, D - Diâmetro externo, d - Diâmetro da haste, C - Centro, m - Parte calibradora, n - Haste, o - Quadrado para o arrasto.

Nota-se na figura que a forma das ranhuras feitas longitudinalmente varia conforme o material. O número de sulcos tem igual importância sobre a descarga do cavaco. Teóricamente, o macho de três ranhuras é o ideal, porque assegura um contato simultâneo dos fios cortantes sobre a circunferência do furo. Entretanto, grande parte dos machos são de quatro ranhuras porque proporcionam um torque de giro menor durante a operação, propiciando menor risco de ruptura e, ainda, melhor retirada de cavaco. Esta

regra é quebrada para roscas finas (passo 0,2 a 0,35 mm) em que os machos podem ter duas ou três rasgos e para roscas muito grossas (passo 3 a 6 mm) em que os machos podem ter quatro ou seis.

Os machos podem ser usados por arrastos manual ou por máquina.

MACHO PARA TRABALHO MANUAL

Para acionamento manual é conveniente dividir a operação em três partes, constituindo um jogo de macho de três unidades, sendo:

- 1 - desbaste inicial;
- 2 - desbaste;
- 3 - acabamento.

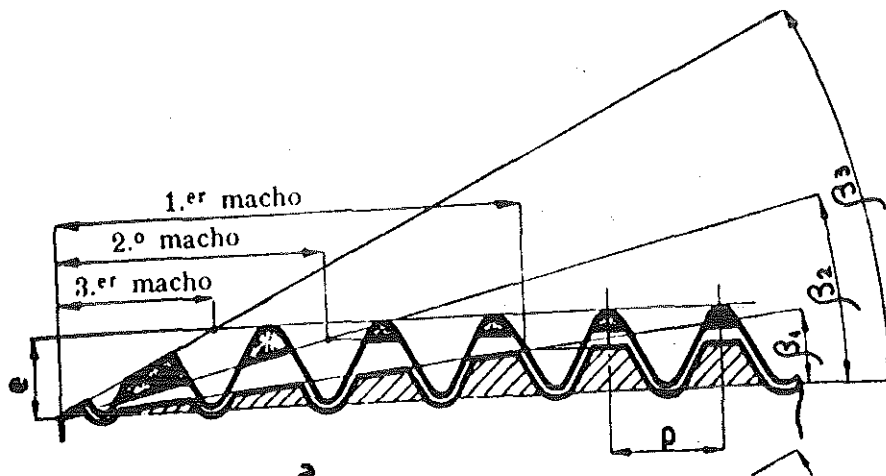
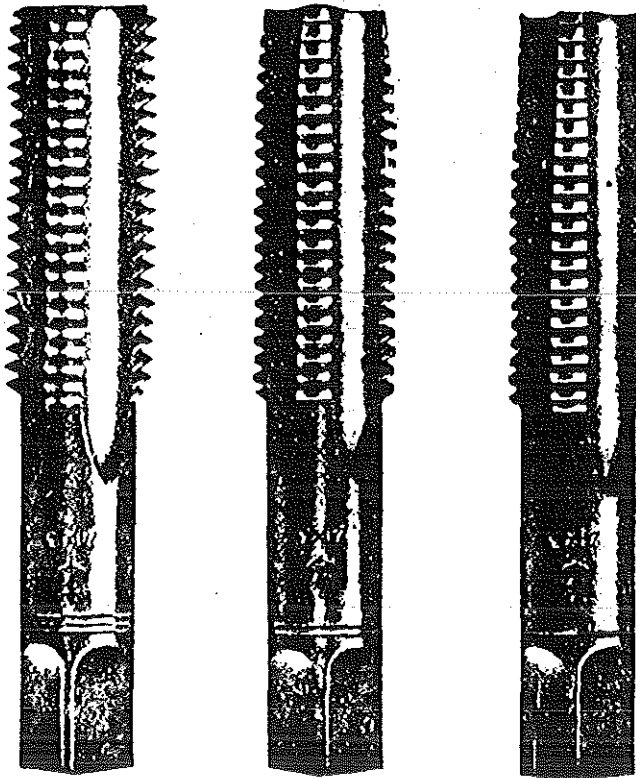


Figura 316 - Jogo de macho manual.

MACHO PARA TRABALHO À MÁQUINA

Os machos podem ser utilizados em rosqueadeiras especiais, furadeiras ou tornos. Para tanto, é conveniente que a operação seja realizada em uma única passada com uma ferramenta de entrada bastante longa.

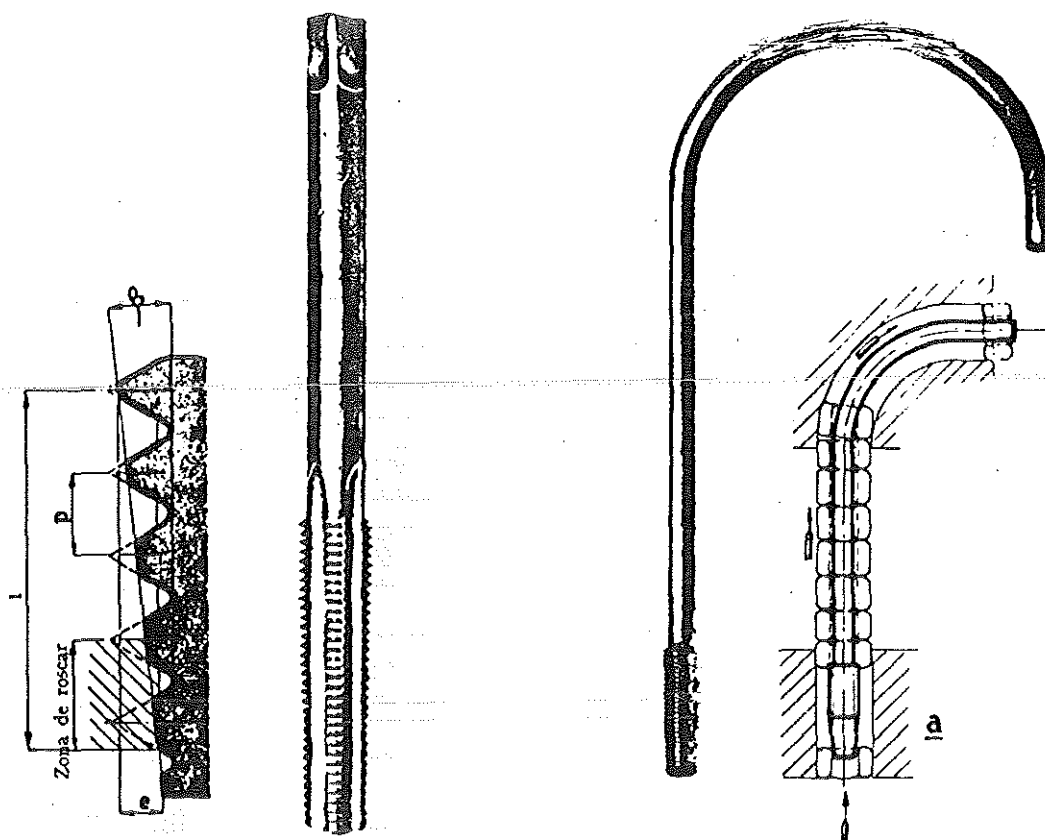


Figura 317 - Machos para máquinas.

a - Macho de haste reta, b - Macho de haste curva para máquina automática de rosquear porcas.

RECOMENDAÇÕES PARA O USO DE MACHOS

1 - CAUSAS MAIS FREQUENTES QUE PROVOCAM A QUEBRA DOS MACHOS

- Furação Inadequada/pequena.
- Lubrificação Inadequada ou Insuficiente.
- Velocidade de corte Inadequada.
- Excesso de cavacos nos canais.
- Excentricidade do macho em relação ao furo.
- Fixação Inadequada do macho*.

* Recomendamos o emprego de cabeçotes para esse fim com regulagem de torque, flutuação radial e axial, que reduzem sensivelmente a quebra do macho.

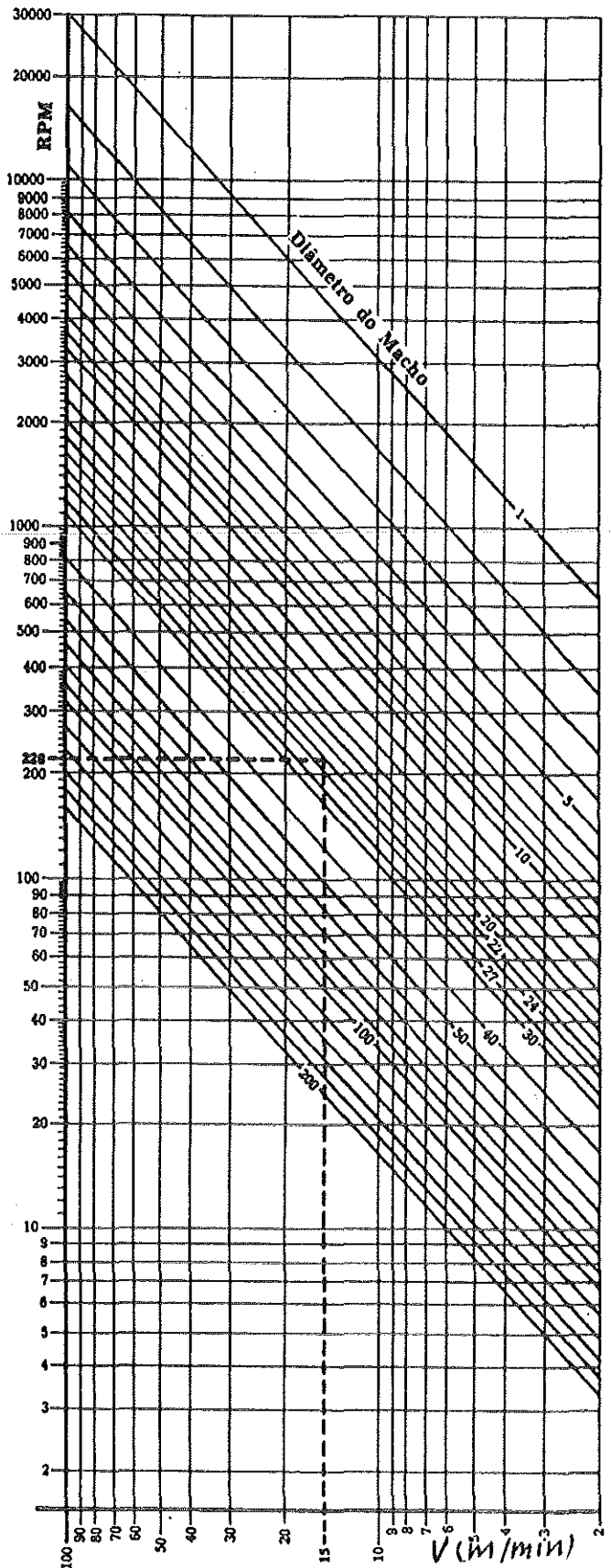
VELOCIDADE E LUBRIFICAÇÃO PARA ROSQUEAMENTO

MATÉRIA PRIMA	VELOC. M/MIN.	LUBRIFICAÇÃO E RESFRIAMENTO
Aço, Aço Fundido < 40 KP mm ²	8 — 15	Óleo de corte — emulsão
Aço, Aço Fundido < 70 KP mm ²	8 — 15	Óleo de corte — emulsão
Aço, Aço Fundido > 70 KP mm ²	5 — 10	Óleo de corte — emulsão
Aço Inox e austenísticos	2 — 8	Óleo de corte — emulsão
Aço liga-aço ferramenta	3 — 8	Óleo de corte — emulsão
Ferro Maleável	10 — 15	Óleo de corte — emulsão
Ferro Fundido mole	10 — 20	Querosene/Óleo corte — emulsão
Ferro Fundido duro	3 — 8	Querosene/Óleo corte — emulsão
Latão MS-58	25 — 35	Óleo de corte — emulsão
Latão MS-63	15 — 20	Óleo de corte — emulsão
Bronze	5 — 15	Óleo de corte — emulsão
Cobre	5 — 15	Óleo de corte — emulsão
Níquel/cromo metáls	4 — 8	Óleo de corte
Zinco-fundido s/pressão	20 — 25	Emulsão
Alumínio	20 — 40	Querosene/Óleo corte — emulsão
Silício	10 — 20	Querosene/Óleo corte — emulsão
Electrom	30 — 40	A Seco — solução a 4% de NITRIO
Materiais sintéticos de cavacos longos resistentes	10 — 15	A seco — Ar comprimido
Materiais plásticos prensados quebradiços	3 — 6	A seco — Ar comprimido

As velocidades de corte acima indicadas são valores de referência, devendo ser adaptadas segundo as condições do serviço.

EMULSÃO: Recomendamos o uso de ME-II com Lubbad da TAPMATIC (Solução do produto em água na proporção usual de 1:10)

DIAGRAMA PARA DETERMINAR O RPM.



2.11. Processo de Retificação e Brunimento

2.11.1. Introdução: Qualidade de Trabalho (IT)

A Norma ISO classifica a Qualidade de Trabalho (IT) de grau 1 a 16 e estabelece as faixas de qualidade que as diversas categorias de construção mecânica devem ter, como mostra a figura.

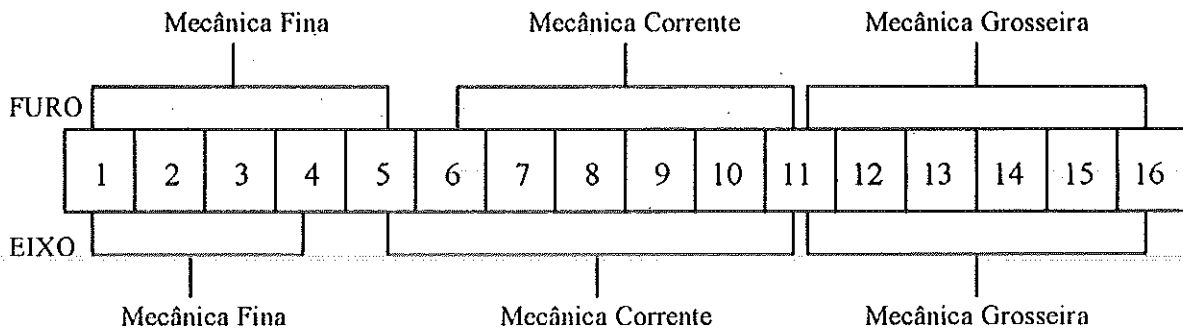


Figura 318 - Qualidade de trabalho (IT).

Assim a Qualidade de Trabalho reflete diretamente no tipo de ajuste de montagem e tolerância de fabricação da peça. Por exemplo, para um diâmetro de furo de 18 a 30 mm, tem-se:

Tolerância	Faixa de variação
H 11	+ 0,120, - 0,0
H 7	+ 0,021, - 0,0
H 5	+ ,0,009, - 0,0

Reflete ainda na rugosidade superficial da peça, conforme mostra a tabela a seguir.

Rugosidade (μm)					
Qualidade de Trabalho	Dimensões (mm)				
	< 3	3 - 18	18 - 80	80 - 250	> 250
IT 6	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
IT 7	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0
IT 8	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0
IT 9	0,8	1,2	2	3	5
IT 10	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0
IT 11	2,0	3,0	5,0	8,0	11,0
IT 12	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0

Figura 319 - Qualidade de Trabalho x Rugosidade.

Processo	Qualidade ISO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Furação											
Fresamento											
Aplainamento Mandrillamento Torneamento											
Alargamento											
Brochamento											
Torneamento com diamante Retificação											
Lapidação Brunimento											

Figura 320 - Processo de Fabricação X Qualidade de Trabalho.

Os dados apresentados permitem a elaboração da tabela abaixo:

2.11.2. Retificadoras

As retificadoras são máquinas para a realização de operações de **Retificação**, através de utilização de abrasivos que entram na constituição das ferramentas denominadas **Rebôlos**.

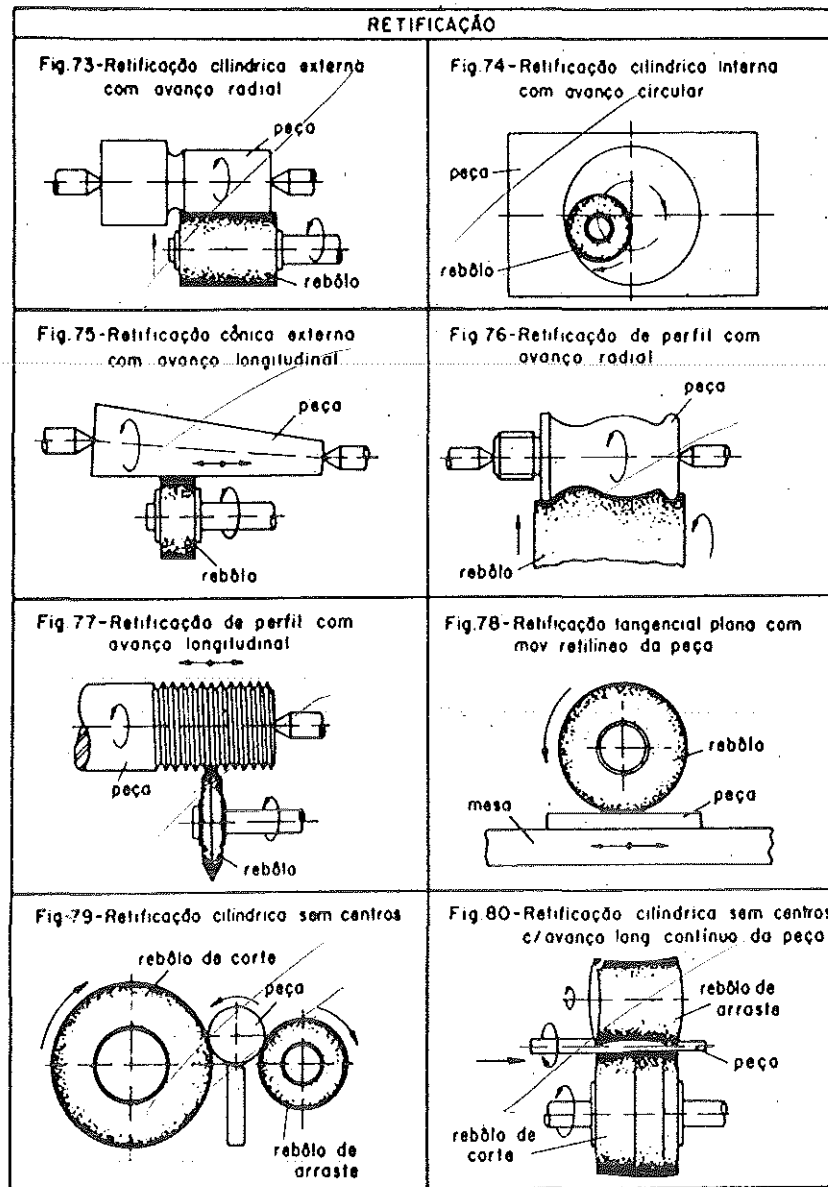


Figura 322 - Exemplos de operações de retificação.

Devido a necessidade de diversas configurações de superfícies a retificar, existem diversos tipos de retificadoras, diferenciando uma das outras pelas diversas características que apresentam e pelas diferentes operações que realizam. Podem ser classificadas em:

- 1 - Retificadora cilíndrica universal entre pontas;
- 2 - Retificadora sem centros;
- 3 - Retificadora universal;
- 4 - Retificadora frontal; e
- 5 - Retificadora especial.

RETIFICADORA UNIVERSAL

Com as retificadoras universais podem-se realizar as seguintes operações:

- Retificação de superfícies cilíndricas externas;
- Retificação de superfícies cônicas externas;
- Retificação de superfícies cilíndricas internas;
- Retificação de superfícies cônicas internas.

Em todos os casos a peça tem o movimento principal de rotação e o movimento de alimentação ou avanço, segundo uma translação longitudinal alternada de ida e volta. O reboło, por outro lado, gira para poder arrancar uniformemente o cavaco sobre toda a superfície da peça que está girando.

As figuras a seguir ilustram a constituição de uma retificadora universal hidráulica.

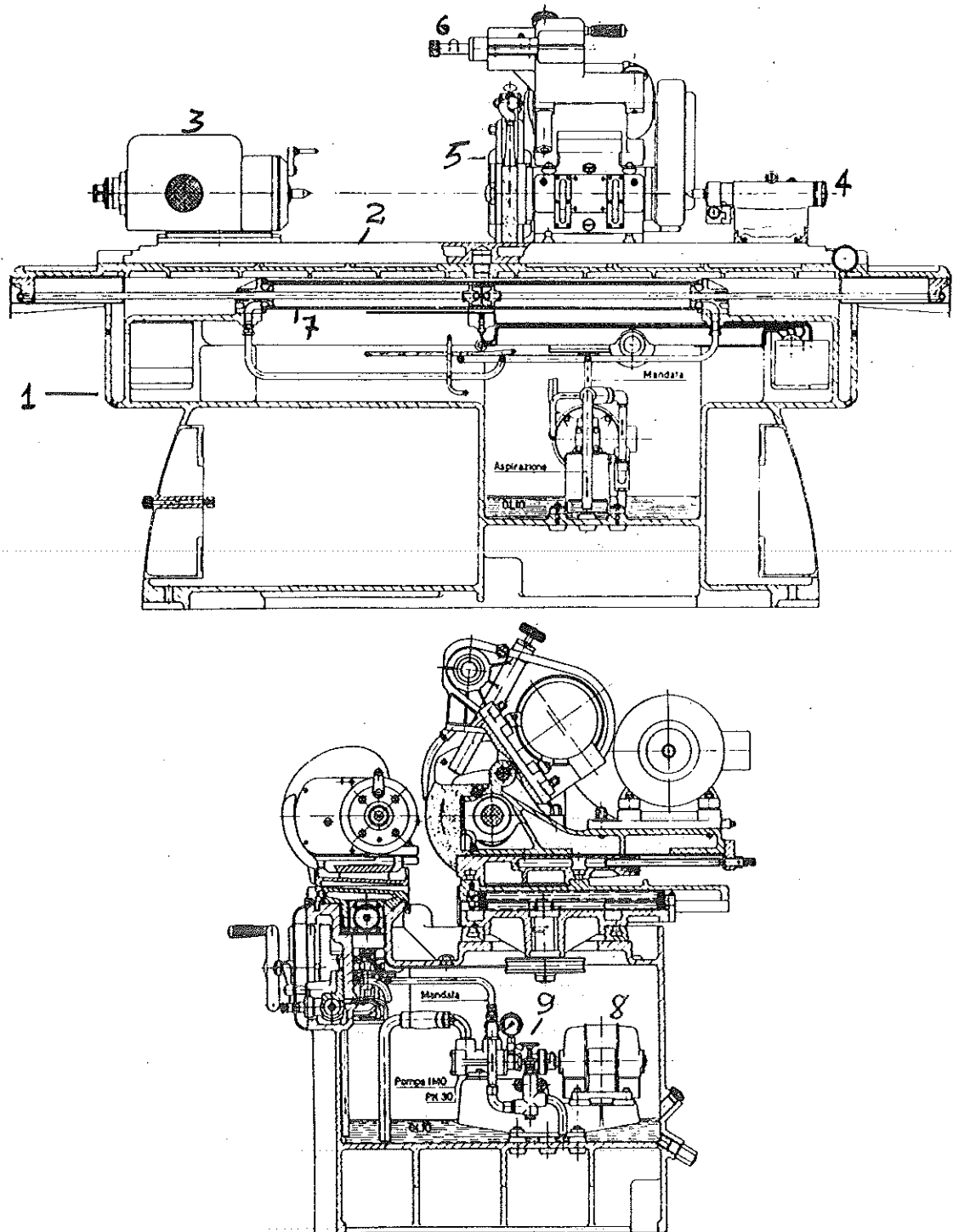


Figura 323 - Retificadora universal.

- 1 - Base, 2 - Mesa porta-peça, 3 - Cabeçote, 4 - Contra-ponta, 5 - Cabeçote do rebolo, 6 - Cabeçote para retificação interna, 7 - Cilindro hidráulico, 8 - Motor do sistema hidráulico, 9 Bomba.

As partes principais são:

- **BASE:** Estrutura é fundida em ferro ou constituída de chapa soldada. Abriga os componentes hidráulicos e tem, em sua parte superior, guias prismáticas para deslocamento da mesa.
- **MESA:** É dividida em duas partes: a inferior tem guias prismáticas na face de baixo; a superior contém o cabeçote porta-peça e a contra-ponta e pôde girar em torno de um eixo central em relação à parte inferior de $\pm 10^\circ$. Desloca-se alternadamente sobre a base acionada por um cilindro hidráulico, segundo velocidades reguláveis (0,15 a 6 m/min) ou manualmente.
- **CABEÇOTE:** Auxilia a montagem da peça em placa universal ou entre pontas. Possui um cinematismo para alteração da rotação da peça com velocidades entre 150 a 600 rpm. Pode girar até 135° , com graduação micrométrica.
- **CONTRA-PONTA:** Auxilia na montagem entre pontas de peças.
- **CABEÇOTE DO REBÔLO:**

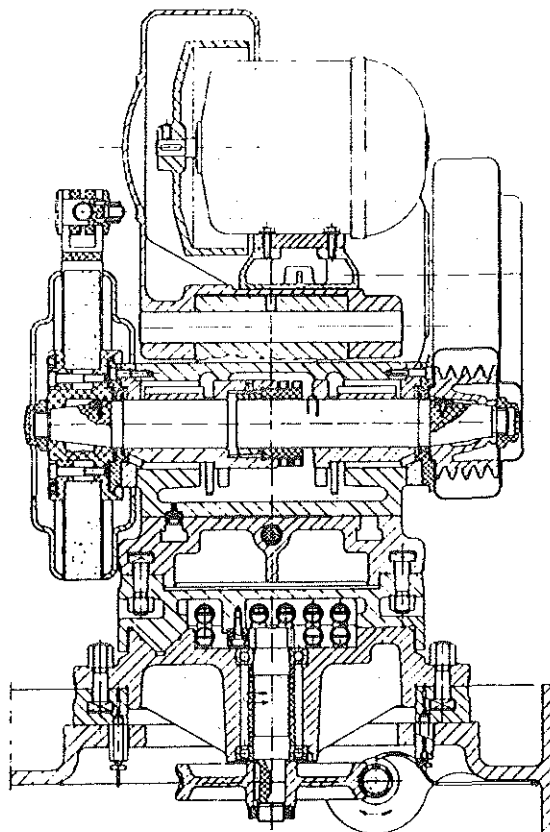


Figura 324 - Seção do cabeçote do rebôlo.

O cabeçote porta-rebôlo pode avançar sobre guias prismáticas transversalmente à mesa, detrás desta. É giratório sobre outro carro inferior e pode ser fixado sobre este com parafusos.

O avanço do cabeçote pode ser automático ou manual.

O avanço automático para a usinagem pode ser através de acionamento hidráulico variando de 0,003 a 0,030 mm. Permite, ainda, a aproximação rápida do rebolo, o avanço normal para o passe e eventual recuo rápido. Alguns modelos são equipados com instrumentos de medição que, ao ser atingida a medida desejada, comanda automaticamente a parada do carro porta-rebolo e o recuo rápido do carro e a parada. Possibilita, assim, um ciclo automatizado de trabalho, tornando mais econômica a produção em série.

O carro porta-rebôlo está preparado também para receber um mandril para retificação interna.

As retificadoras possuem, geralmente, um dispositivo porta diamante (dressador) de fácil manejo, para corrigir (dressar) o rebolo no caso em que, devido ao desgaste haja perdido sua precisão inicial.

MÉTODOS DE TRABALHO EM RETIFICAÇÃO UNIVERSAL

- Retificação cilíndrica externa

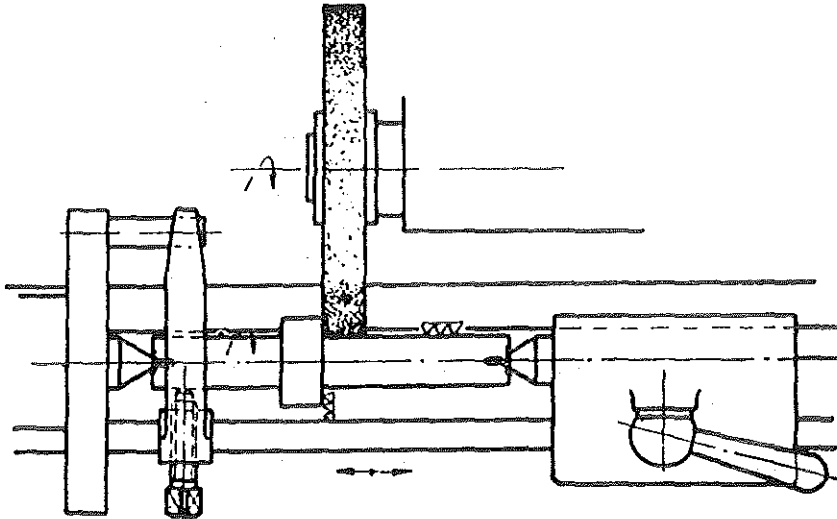


Figura 325 - Montagem entre pontos com placa de arrasto.

• Retificação cônica externa

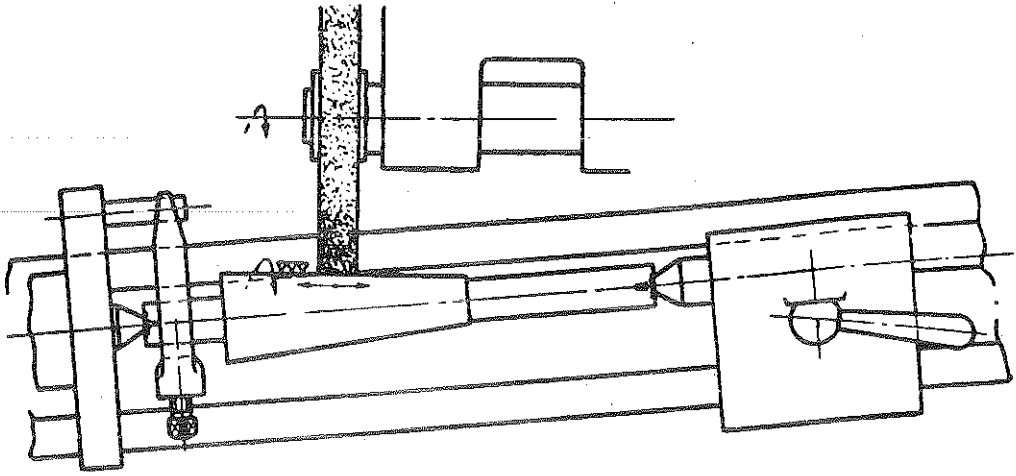


Figura 326 - Montagem para peça ligeiramente cônica com inclinação de mesa.

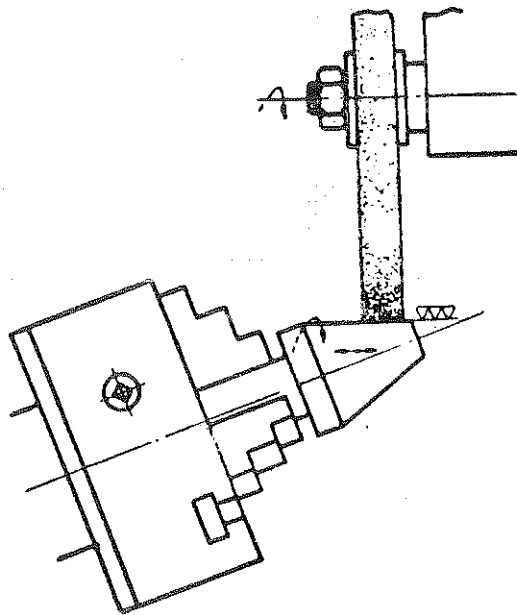


Figura 327 - Montagem para peça curta com qualquer conicidade com inclinação do cabeçote porta-peça.

• Retificação interna

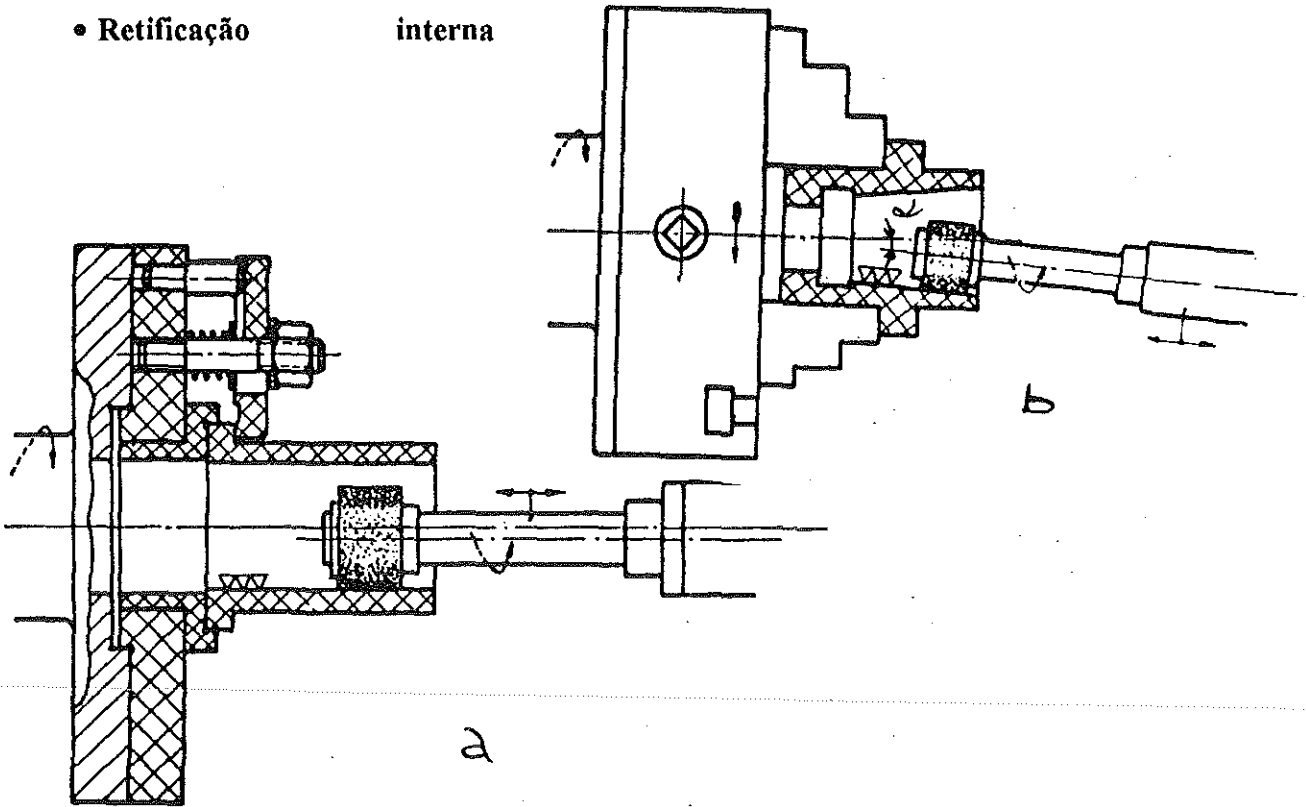


Figura 328 - Montagem para peça
a-cilíndrica, b-cônica

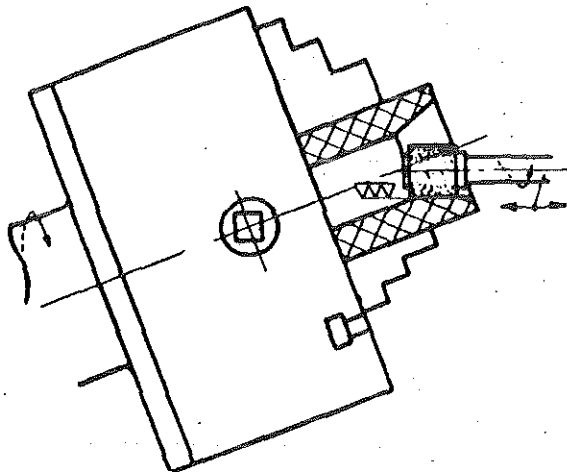


Figura 329 - Montagem para peça de qualquer cônica com inclinação do cabeçote.

• Retificação Frontal

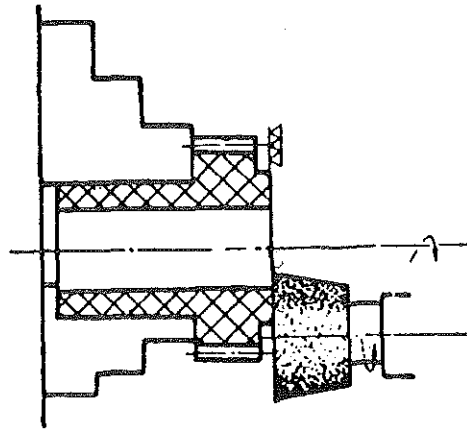


Figura 330 - Montagem para retificação de superfície plana.

RETIFICADORA SEM CENTROS

Pinos e hastes delgadas que seriam enviáveis usar em retificadora universal podem ser trabalhado com excelentes resultados em **retificadora sem centro** (centreles), que não requer órgãos de fixação e cujo princípio está mostrado na figura a seguir,

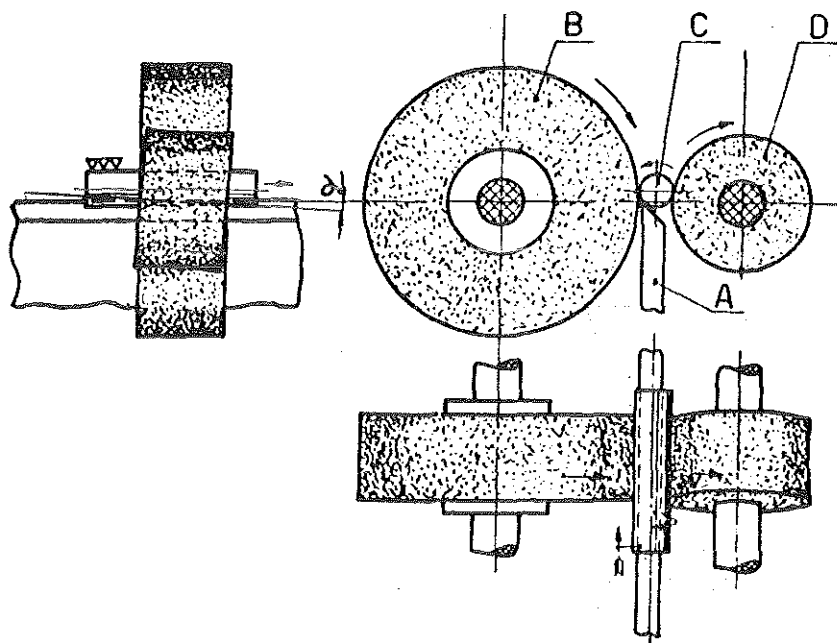


Figura 331 - Princípio de retificação sem centro.

A - Régua de apoio de aço super duro, B - Rebôlo retificador, C - Peça, D - Rebôlo arrastador.

A peça C é sustentada pela régua A; o rebôlo retificador ($D_1 = 400$ a 600 mm, $L_1 = 100$ a 250 mm, $V_1 = 20$ a 32 m/s.) gira a grande velocidade e comprime a peça C, retificando-a; esta gira sobre si mesma devido a atrito originado pelo rebôlo arrastador D ($D_2 \cong 300$ mm, $L_2 = l_1$, $V_2 = 8$ a 50 m/miin.), conforme o sentido indicado na figura. A peça deve encontrar-se constantemente tangente as três superfícies dos elementos A, B e D.

Os eixos dos rebôlos não são paralelos, formando entre si um ângulo regulável de 1° a 3° . Deste modo, a peça fica bem guiada e com o seu eixo paralelo ao do rebôlo retificador. O rebôlo arrastador imprime à peça dois movimentos: um de rotação e um outro de translação axial; por isso faz um movimento helicoidal, cuja hélice descrita é tanto maior quanto mais amplo o ângulo α ; assim, uma vez a peça colocada na embocadura formada pelos dois rebôlos, avança automaticamente.

A figura a seguir apresenta a constituição de uma retificadora sem centros.

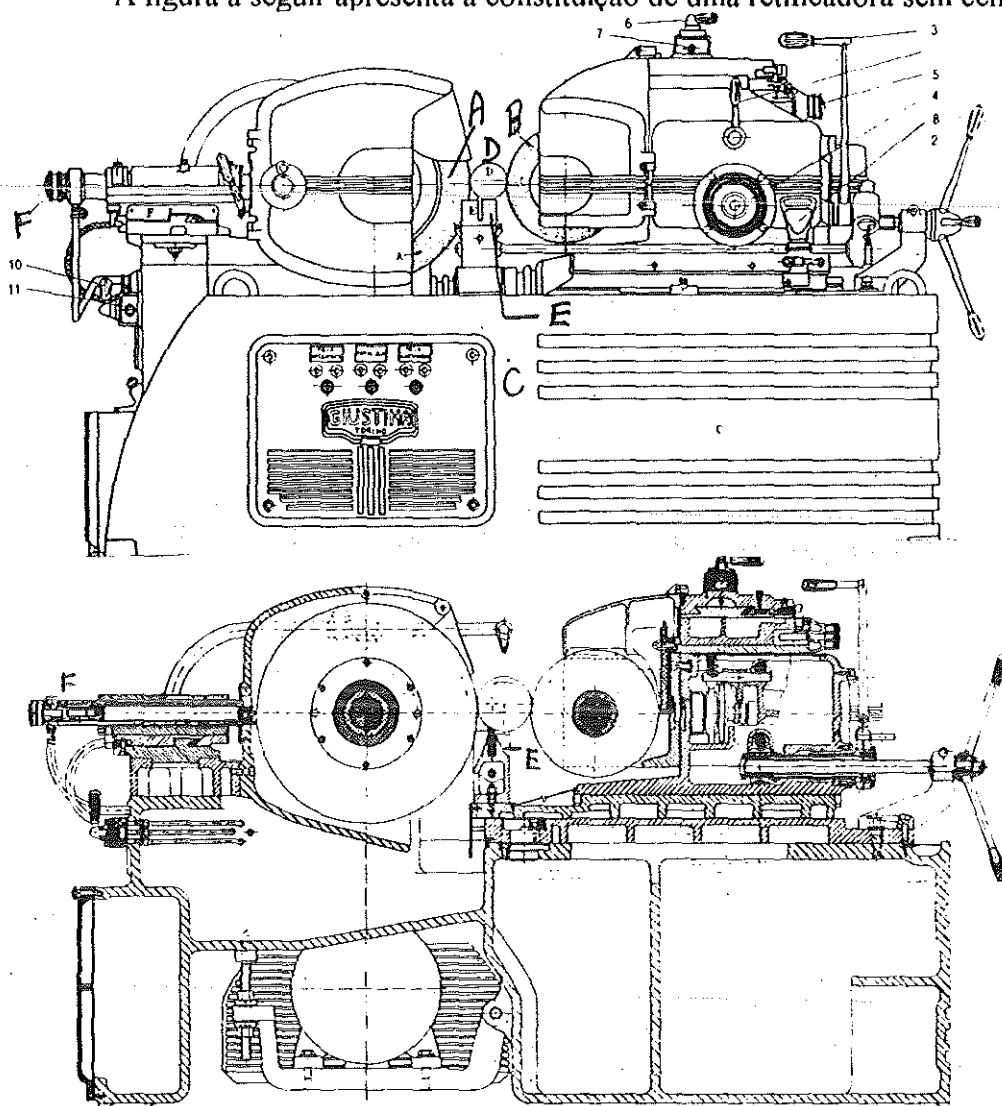


Figura 332 - Vista e corte vertical de uma retificadora sem centros.

A - Rebôlo retificador, B - Rebôlo arrastador, C - Base, D - Peça, E - Régua porta-peça, F - Dispositivo porta diamante.

MÉTODOS DE TRABALHO

A retificadora sem centros é apropriada para produção em série podendo ser operada para realizar uma operação passante ou não passante.

• Retificação passante

Peças cilíndricas de um único diâmetro podem ser retificadas por este processo em que os eixos do rebôlo não são paralelos, produzindo um movimento axial na peça cuja velocidade depende do ângulo de inclinação dos eixos dos rebôlos e da velocidade periférica do rebôlo arrastador. O tempo gasto na operação está, portanto, diretamente ligado a esta velocidade.

• Retificação não passante

Neste caso, o eixo dos rebôlos são paralelos, sendo necessário um mecanismo para introduzir e retirar a peça (expulsor), conforme mostra a figura a seguir.

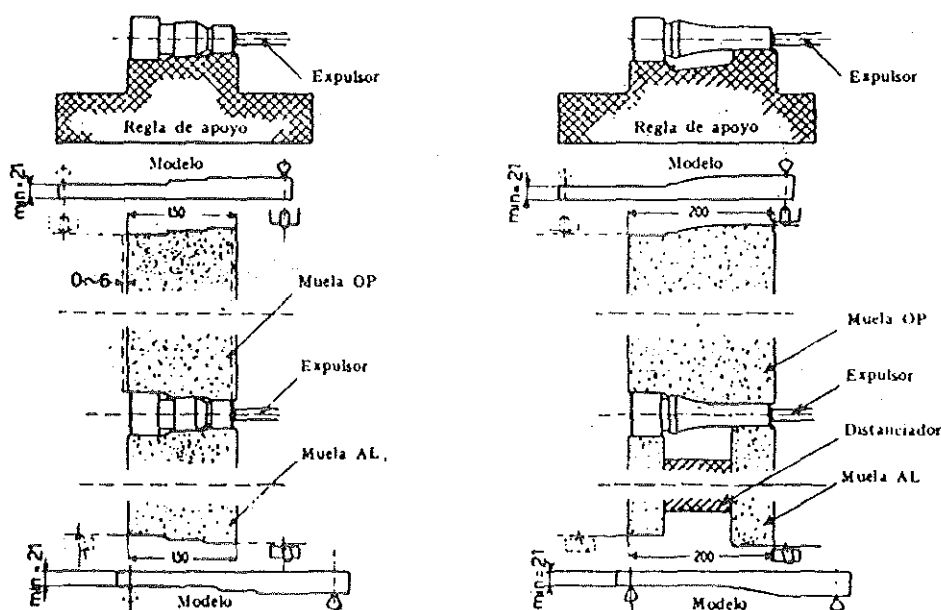


Figura 333 - Retificação de peças com superfícies cilíndricas de diâmetros diversos.

O sobremetal para retificação não deve ser excessivo, sendo:

acabamento médio: 0,02 a 0,05 mm sobre o diâmetro
acabamento de precisão: 0,01 a 0,02 mm sobre o diâmetro

RETIFICADORA VERTICAL

São projetadas para retificar superfícies planas grandes. Tomam o nome de vertical por terem o eixo porta-rebôlo nesta posição, mas o ataque do rebôlo é frontal. A ferramenta tem o movimento principal de rotação e a peça, fixada à mesa, tem o movimento alternado, produzindo na peça uma superfície plana retificada com traços circulares visíveis.

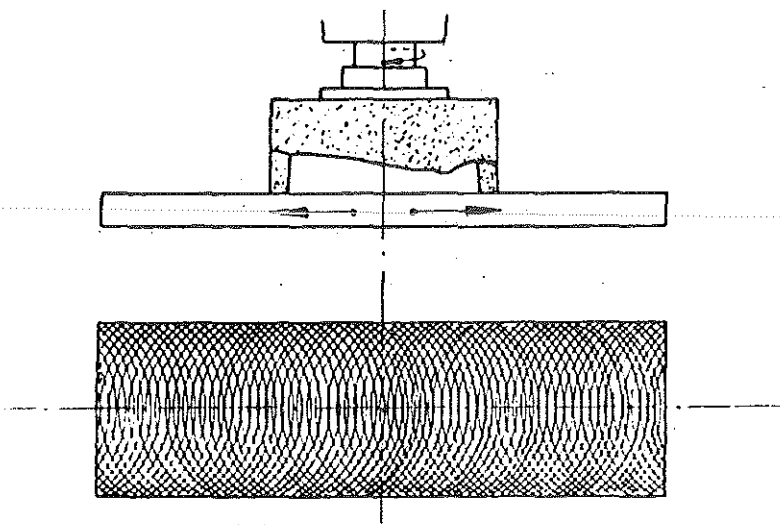


Figura 334 - Elementos da retificação em retificadora vertical.

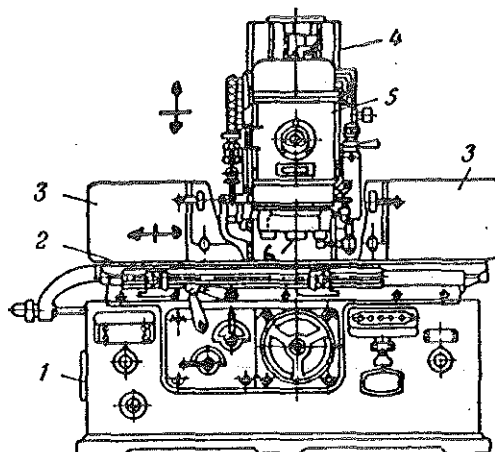


Figura 335 - Retificadora vertical com mesa de movimento alternado.
1 - Base, 2 - Mesa, 3 - Proteção, 4 - Montante, 5 - Cabeçote, 6 - Rebôlo.

Existem, ainda retificadoras que, em vez de mesas com movimento alternado, possuem mesas giratórias, como mostra a figura.

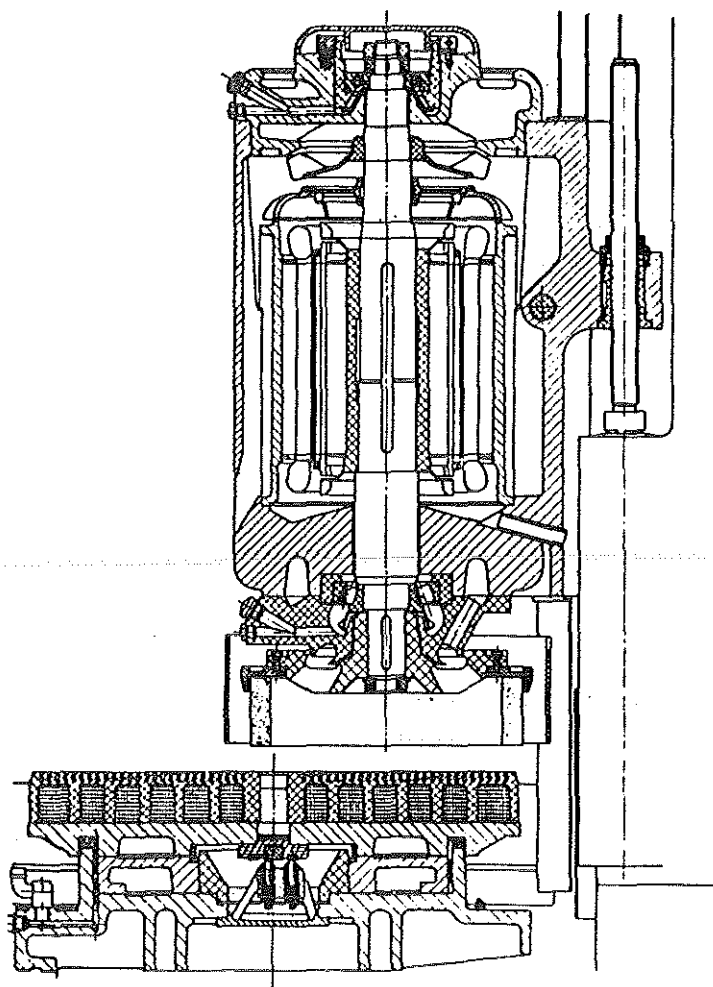


Figura 336 - Detalhe de retificadora vertical com mesa circular giratória e placa de fixação de peças magnética

RETIFICADORA FRONTAL

Recebem esta denominação porque tem o eixo porta-rebôlo na posição horizontal. Geralmente é equipada com rebôlo de disco e também rebôlo tipo copo para retificação frontal de superfícies planas.

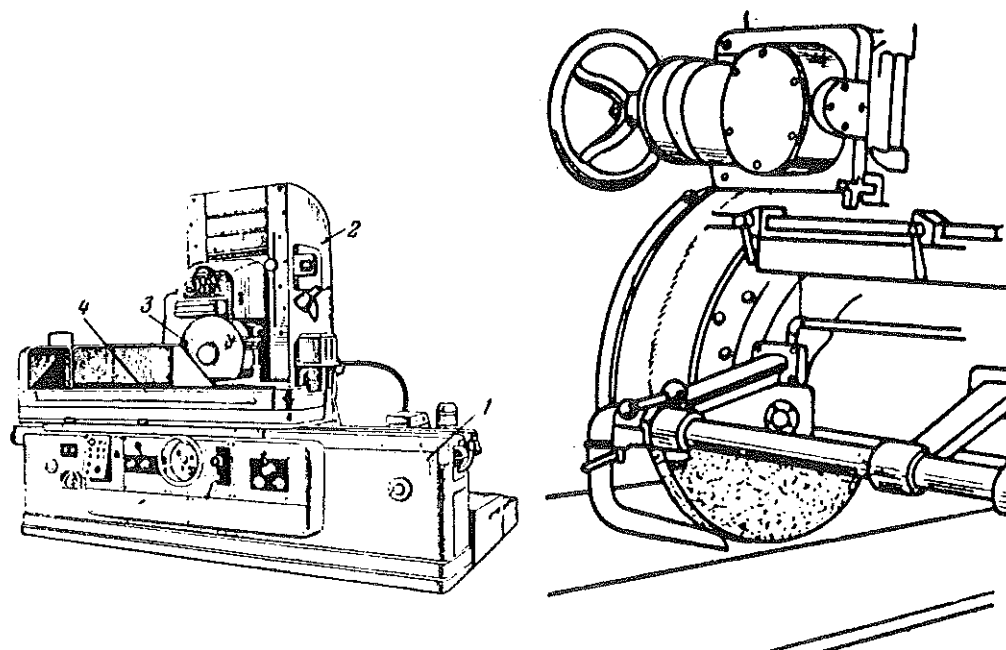


Figura 337 - Retificadora frontal com mesa retangular de movimento alternado.
1 - Base, 2 - Montante, 3 - Rebôlo, 4 - Mesa.

Existem, também, máquinas com mesas circulares e placas de fixação de peças magnéticas tanto circulares como retangulares.

Além de superfícies planas se prestam para retificar eixos entalhados, como mostra a figura.

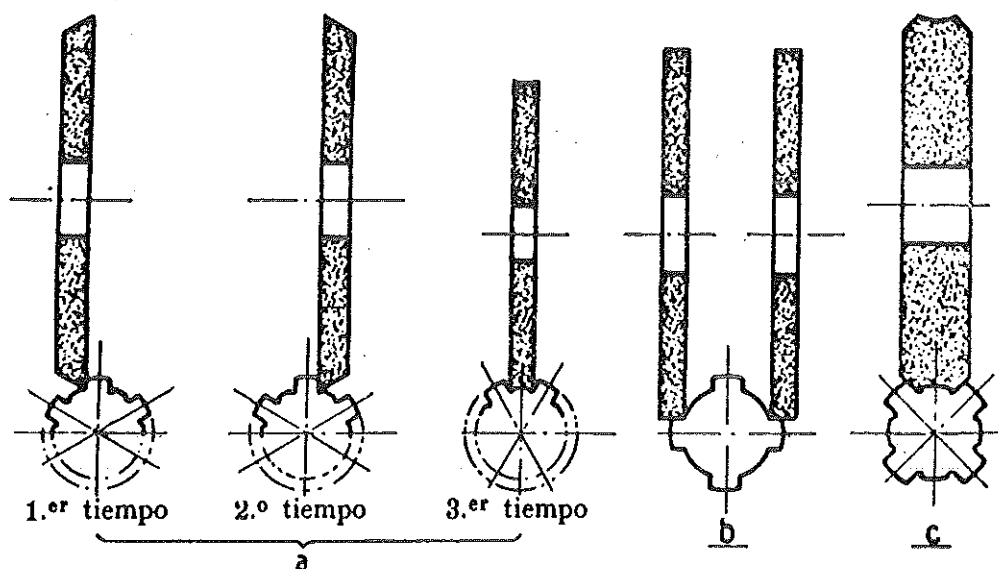


Figura 338 - Retificação de ranhuras.

2.11.3. Brunimento

Existem peças que, por sua função particular, requerem algumas superfícies super polidas. As retificadoras não satisfazem tal exigência. Sabe-se que quanto maior o grau de acabamento de um superfície, tanto menor é o grau de atrito, o grau de corrosão etc.. O brunimento dá a superfície um aspecto de espelho com rugosidade muito baixa e mais resistente ao atrito.

O princípio do brunimento consiste em passar repetidamente uma pedra abrasiva de grão muito fino sobre a superfície da peça, removendo camadas que podem variar de 0,02 a 0,08 mm. A figura a seguir ilustra o princípio para superfícies cilíndricas externas.

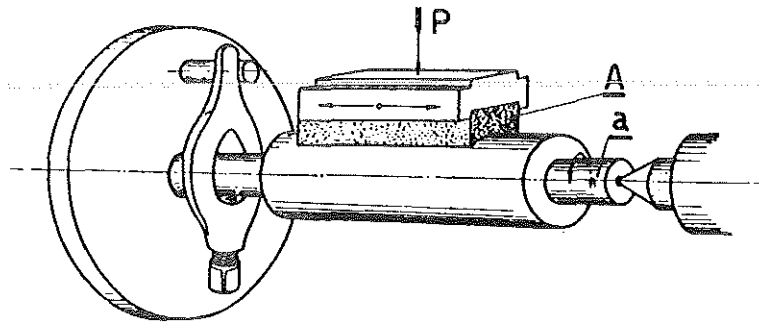


Figura 339 - Princípio do brunimento para superfícies externas.

O brunimento de superfícies internas (câmaras) cilíndricas é realizado por máquinas do tipo apresentado nas figuras a seguir.

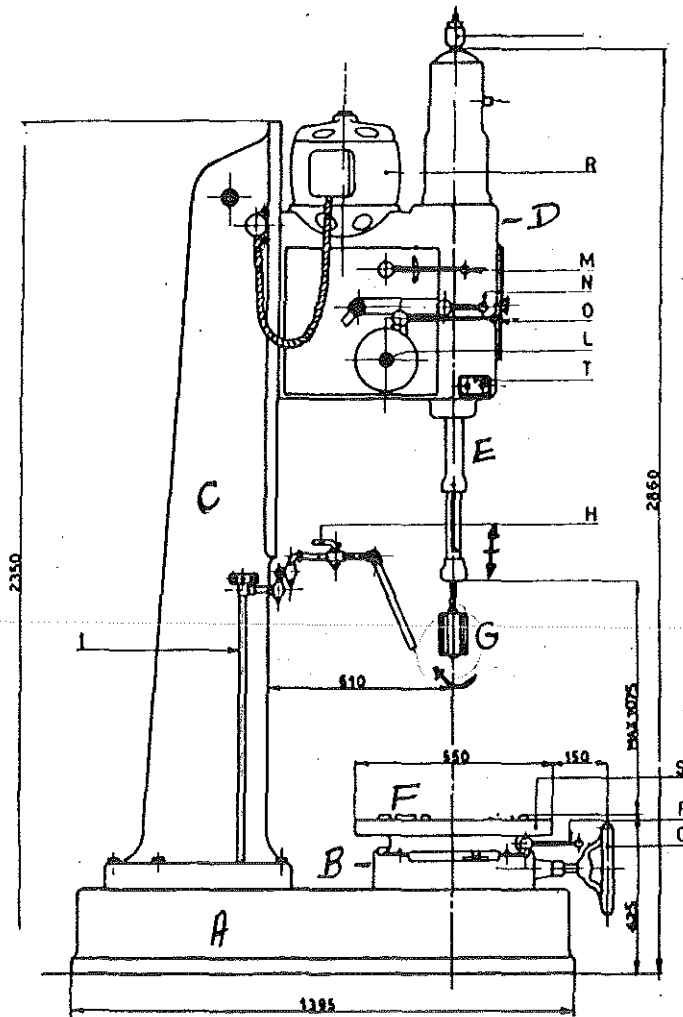


Figura 340 - Brunidora de câmaras cilíndricas.

A - Base, B - Mesa, C - Coluna, D - Cabeçote, E - Mandril, F - Placa, G - Brunidor.

O mandril, ao mesmo tempo que gira, translada-se axialmente com movimento alternado de subida e descida com uma amplitude de oscilação regulável. Sobre a base vai montada a placa F sobre o qual desloca-se longitudinalmente a mesa porta-peça B, para posicionar a câmara a ser brunida alinhada com o eixo do mandril E. A rotação da ferramenta é variável de 150 a 300 rpm e o número de ciclos por minuto de 35 a 70, resultando as velocidades recomendadas:

	Fofo	Aço
Velocidade Tangencial	35 a 70 m/min.	15 a 35 m/min.
Velocidade Translação	15 a 35 m/min.	6 a 27 m/min.

As figuras a seguir ilustra algumas formas construtivas de brunidores expansivos.

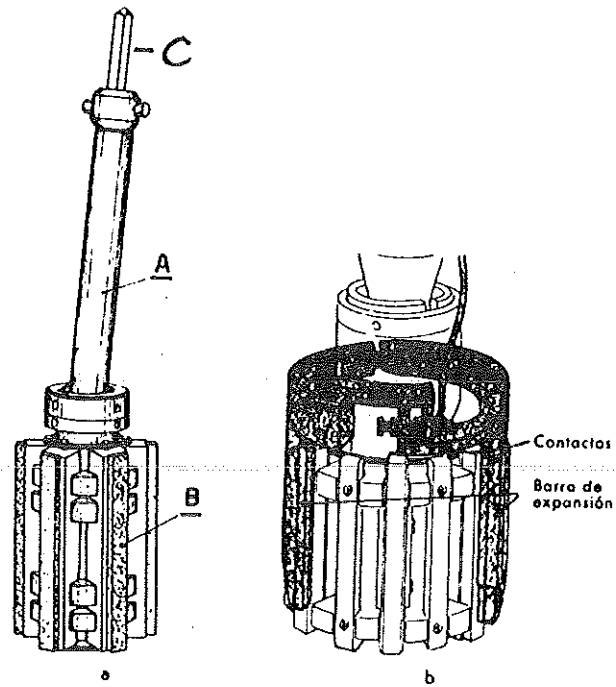


Figura 341 - Mandril porta-abrasivos para brunidor.
A - Haste, B - Abrasivos, C - Barra de comando da expansão dos abrasivos.

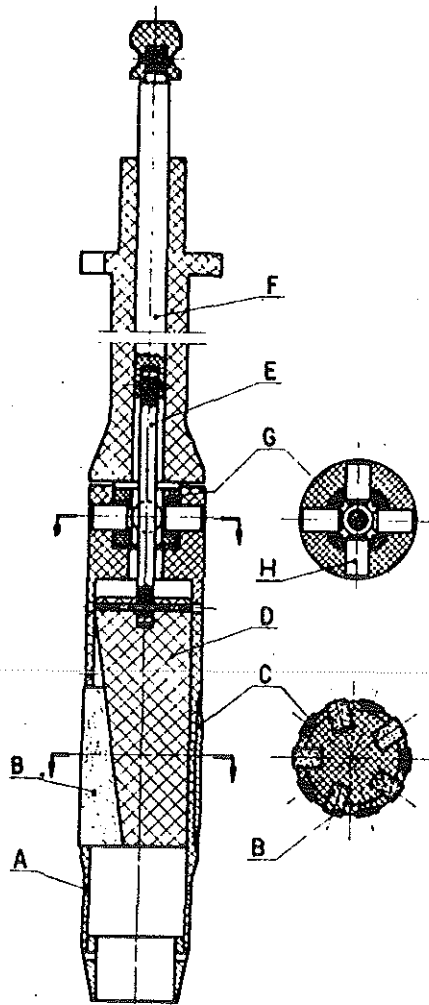


Figura 342 - Mandril brunidor.

A - Corpo oco, B - Abrasivos, C - Placas de guia; D - Corpo com cinco rasgos para montagem dos abrasivos, B; E,F - Barras para comandar a expansão dos abrasivos.

2.11.4. Rebôlos

Os rebôlos são considerados como ferramentas policortantes, cujas arestas, numerosas e protegidas, são constituídas de grãos abrasivos que arrancam o material em pequena quantidade.

CONSTITUIÇÃO DOS REBÔLOS

Os rebôlos sejam de origem natural ou artificial, são constituídos de dois elementos:

- 1 - o abrasivo, e
- 2 - o aglomerante.

O abrasivo é a parte ativa do rebôlo, ou seja, aquela que atuando como ferramenta, arranca o cavaco.

O aglomerante é a parte passiva do rebôlo que tem a função de manter unidos os grãos abrasivos dando a forma e a consistência para resistir a pressão necessária para a produção de cavacos. Deve, ainda, possuir a característica de deixar escapar os grãos desgastados e apresentar outros novos e ativos.

Tipos de Abrasivos

Os principais abrasivos artificiais são:

- a) Óxido de Alumínio (Al_2O_3), chamado alundum e aloxite;
- b) Carbureto de silício (SiC), chamado carborundum, crystolon e também korundum;
- c) Diamante, uma forma de carbono puro;
- e) outros menos usados.

As principais propriedades de um material abrasivo, são: (1) dureza, (2) tenacidade, (3) resistência ao atrito.

Dureza é a capacidade de uma substância em resistir à penetração. Um abrasivo deve ser duro para penetrar e riscar o material sobre o qual trabalha. O diamante é a substância mais dura que se conhece. O carbureto de silício e o óxido de alumínio são mais duros que a maioria dos materiais e, portanto, são substâncias próprias para serem usados como abrasivos, mas é muito menos duro que o diamante. Comparativamente, tem-se:

Diamante	80	Metal duro	18
SiC	25	Aço temperado	8
Al_2O_3	20	Vidro	4

Os grãos abrasivos se deterioram durante o uso devido à fratura de pedaços relativamente grandes de cristais e pela perda de partículas diminutas. A consequência deste fato é o achatamento dos grãos e a perda da propriedade de corte dos cantos. A primeira ação é chamada de **fratura** e a segunda de **atrito**.

A tenacidade de um grão de abrasivo é a medida da sua resistência à fratura.

A capacidade de um grão permanecer com canto vivo e afiado depende da sua resistência ao atrito. Esta última é em parte, relacionada não somente à dureza mas

também à afinidade química entre o abrasivo e o material a ser penetrado. Assim, pode ocorrer que um abrasivo tenha resistência elevada ao atrito com referência a um material e baixa resistência com referência a outro que apresentar quase a mesma dureza do primeiro.

O tamanho do grão é estabelecido através de uma escala que é relacionada com a dimensão do abrasivo que passa através de uma peneira determinada. O número do abrasivo corresponde à malha da peneira pelo qual consegue passar. Por exemplo, um grão de número 40 significa que passa através de uma peneira que tem $40 \times 40 = 1600$ furos por polegada quadrada. A tabela a seguir pode servir de orientação para a escolha adequada para um determinado uso.

NÚMERO	TAMANHO	EMPREGO
8, 10, 12 14	Muito Grosso	Rebarbação de peças grandes.
15, 16, 20, 24, 30	Grosso	a) Rebarbação de peças médias. b) Retificação de desbaste.
36, 40, 46, 50, 60	Médio	a) Retificação de desbaste e de acabamento. b) Afição de ferramenta.
70, 80, 90	Semifino	a) Afição de ferramentas. b) Retificação de ferramentas.
100, 120	Fino	a) Afição de ferramentas. b) Acabamento e polimento.
150, 180, 200, 220	Muito Fino	Brunimento
F, FF, FFF	Pó	Brunimento

Tabela 343 - Número do grão e aplicações.

TIPOS DE ALGOMERANTES OU LIGAS

As principais ligas são:

- **Ligas cerâmicas:** é um material composto de argile fundida de consistência similar à do vidro. É rígida, porosa, não é afetada por água, óleos, ácidos e suporta temperatura. É própria para aguentar trabalho pesado. A maior parte dos rebôlos é composta de ligas vitrificadas. Como desvantagem apresentam pouca elasticidade; por serem frágeis não podem ser feitas com pequena espessura. São moldados e cozidos em forno;
- **Ligas de silicato:** é constituída essencialmente por silicato de sódio líquido, mesclado com um pouco de argila e com a adequada quantidade de abrasivo. São moldados e cozidos em forno. São de fácil fabricação e podem ser feitos de grande diâmetro. Apresentam, entretanto as desvantagens: pouca porosidade, nenhuma elasticidade, e dureza limitada. Trabalham preferencialmente a seco e são indicados para empregos em que se deve evitar o aquecimento;
- **Ligas elásticas:** são à base de goma loca, resina sintética (bakelite) ou borracha. Podem ser feitos com pequena espessura e admitem grandes velocidades tangenciais.

SELEÇÃO DE REBÔLOS

As vezes é necessário, com o rebôlo, remover material rapidamente, dar bom acabamento, e manter tolerâncias apertadas. Cada uma desses serviços exige da ferramenta uma propriedade diferente e ainda não existe um rebôlo que possa reunir em si todas as diferentes características para executar da melhor maneira todos os tipos de serviços. Assim, às vezes, para uma mesma peça, é necessário escolher um rebôlo para desbaste e um outro para acabamento, dependendo do sobremetal a ser retirado.

Seleção do Abrasivo

Quanto a natureza do grão abrasivo, o carbureto de silício (SiC), o óxido de alumínio (Al_2O_3) e o diamante tem aplicações distintas. O abrasivo a ser usado é em grande parte determinado pelo material a ser usinado:

- **Óxido de Alumínio:** deve ser usado para todos os tipos de aços e ferro maleável;
- **Carbureto de Silício:** deve ser usado para materiais muito duros e/ou materiais frágeis como ferro fundido cinzento, ferro cosquilhado, metal duro; também para metais não ferrosos como cobre, latão e alumínio; e não metais como borracha e vidro.

Estas aplicações se devem ao fato de que, embora o CSi e Al_2O_3 tenham aproximadamente a mesma resistência à fratura, o carbureto de silício possui baixa resistência ao atrito no corte de aços e ferro maleável. Seus grãos perdem rapidamente o fio. Por esta razão prefere-se o óxido de alumínio para aquelas aplicações.

Porém, se o resultado desejado for um acabamento de alta qualidade, deixando um mínimo de sobremetal, estes usos podem ser invertidos, ou seja, a retificação final de aços com CSi propicia um acabamento especular.

- **Abrasivos à Base de Pó de Diamante:** tem qualidades superiores, devido suas propriedades físicas, comperado com os outros abrasivos, porém seu uso é proibitivo para uso geral. Rebôlos de diamante são usados para corte e polimento de gemas, cerâmicas, pedras e metal duro.

Seleção do Tamanho do Grão

O tamanho do grão abrasivo depende da quantidade de material a ser removido, do acabamento desejado e das características físicas do material a ser retificado.

Geralmente, quanto mais grosso o grão, maior será a taxa de remoção de material. Quanto mais fino o acabamento desejado, mais fino deve ser o abrasivo. Materiais moles devem ser desbastados com grãos grossos, pois retiram cavacos de maior volume. Materiais duros devem ser retificados por rebôlos de grãos finos, pois somente cavacos pequenos podem ser tirados desses materiais sob qualquer circunstância. Por isso,

os grãos finos são preferidos, pois um número maior deles podem ser postos em contato, na mesma unidade de tempo, com o material a ser trabalhado.

Em resumo materiais moles e dúteis são mais eficientemente retificados com rebôlos de grãos grossos, como 36 e 46; materiais duros e frágeis, com rebôlos de grãos mais finos, como 60 e 80. Grãos médios, como 46, 50 podem produzir considerável remoção de material propiciando acabamento razoavelmente bom.

Seleção do Grau de Dureza

O fator de maior influência é a natureza do trabalho em si, ou seja, sua composição, dimensão, retificabilidade relativa, e suscetibilidade para queimar ou superaquecer. Em princípio, com o crescimento da dureza do material, rebôlos mais moles devem ser usados para manter uma ação de corte rápida e sem maior aquecimento, porque materiais duros e resistentes cegam ou embotam rapidamente o rebôlo. É necessário, portanto, o uso de rebôlos moles que soltam com facilidade os grãos logo após a perda do corte. Materiais moles devem ser retificados por rebôlos duros.

Os rebôlos mais comumente usados para retificação de peças de aço em geral são de grau médio, como L e M. Para produção em série devem ter grau de dureza mais duro.

Seleção da Estrutura ou Espaçamento

A estrutura fornece, entre os grãos, os espaços para os cavacos durante a operação. Um **espaçamento ou estrutura aberta** é desejável quando se tratar de amplas áreas de conato ou de desbaste de materiais moles, pois permite aos grãos de trabalhar em toda sua superfície exposta e propicia espaço para remoção dos cavacos.

Espaçamento ou estrutura densa é desejável para a retificação de materiais duros, pois neste caso é importante a atuação de muitos grãos ao mesmo tempo, resultando riscos bem juntos entre si, permitindo um acabamento de qualidade. Nestes casos, como os grãos não podem cortar em profundidade, a eliminação dos cavacos é assunto secundário; entretanto, se a superfície de um rebôlo tiver a tendência de reter o metal cortado sob a forma de cavaco, o fato indica que sua estrutura é densa demais para o serviço que está sendo executado.

FORMAS E DIMENSÕES DOS REBÔLOS

Os rebôlos são corpos de revolução que podem ter um número infinito de formas. Algumas se apresentam na figura a seguir.

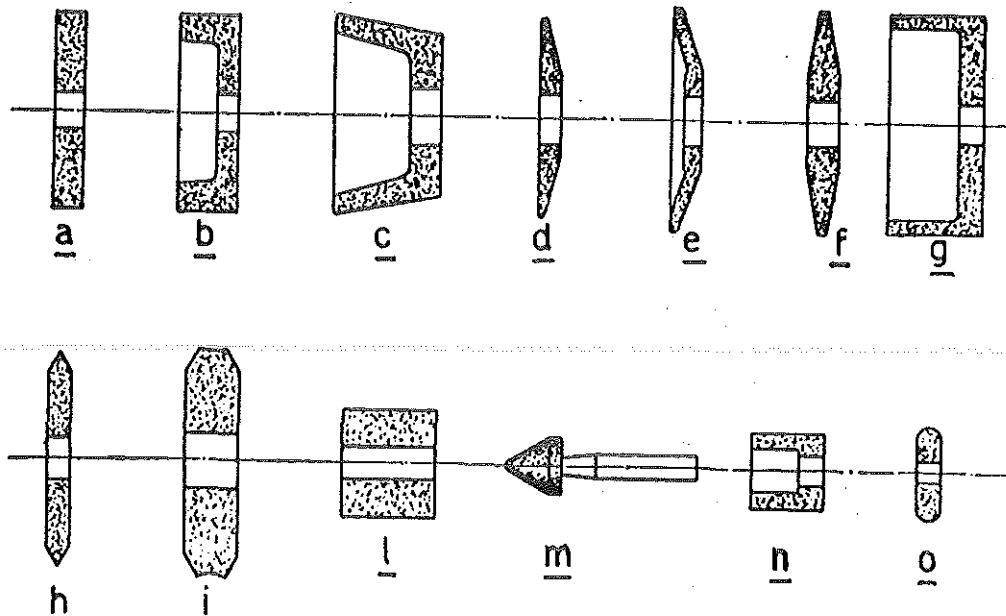


Figura 344 - Algumas formas de rebôlos.

a - de disco, b, c - de copo, d - de prato, e - de prato oco, f - bicônica, g - de copo cilíndrico, h - de disco para roscas, i - de forma para eixos ranhurados; l - para superfícies cilíndricas internas, m - ponta cônica, n - para superfícies cilíndricas internas, o - convexa de raio.

Na escolha das dimensões convém empregar, sempre que possível, os rebôlos de maior diâmetro.

MARCAÇÃO DO REBÔLO

A identificação característica do rebôlo e seu significado são mostrados a seguir, sendo que cada posição de letra e de números, numa seqüência predeterminada, define uma propriedade específica do rebôlo.

TIPOS DE ABRASIVOS	TAMANHO DE GRÃO	DUREZA	ESTRUTURA	LIGA	SÍMBOLO FABRICANTE
A	46	H	6	V	10
A (Al ₂ O ₃)	6	E F Mole	1 - Fech. 2 3 4	V (vitrif.) B (Resina)	10
	8				20
B (SiC)	10				30
	12				60
D (Diam.)	...	K L M N O P Q R S T Duro	5 6 - Med. 7 8 9 10 11 12 - Aberto	R (Borracha)	6
	220				HD
	240				VA

	1000				...

Figura 345 - Marcação de rebôlos.

2.11.5. Condições de usinagem

A velocidade tangencial do rebôlo, avanço longitudinal e transversal são valores que dependem dos seguintes fatores: qualidade do material a trabalhar, estado da superfície, dimensões, grau de acabamento requerido, qualidade do abrasivo e tamanho de seus grãos, qualidade da liga, e lubrificação.

- A velocidade do rebôlo (m/seg.) está definida na tabela:

Tipo de Rebôlo	Liga vitrificada e de Silicato			Ligas elásticas		
	Dureza			Dureza		
	Mole	Média	Dura	Mole	Média	Dura
De disco	25	30	33	33	40	60
De copo, cônicas e Biconicas	23	25	28	25	30	40
De disco para corte	--	--	--	--	--	60

- Velocidade tangencial da peça (aços e fundidos)

Desbaste: $V_p = 10$ a 30 m/min.

Acabamento: $V_p = 15$ a 60 m/min.

- Avanço lateral

$$a = \left(\frac{1}{3} \text{ a } \frac{1}{2} \right) \cdot \text{largura do rebolo por volta da peça}$$

- Profundidade de passada:

Desbaste: $p = 0,03$ a $0,08$ mm cada ciclo (ida e volta)

Acabamento: $p = 0,02$ a $0,03$ mm cada ciclo.

As últimas passadas de acabamento se fazem sem avanço.

2.12. Processo de Afição de Ferramentas

2.12.1. Generalidades

A afiação é uma operação muito delicada, da qual depende a durabilidade de uma ferramenta e o acabamento da peça. Tem a finalidade de propiciar uma cunha cortante perfeita eliminando o material superficial danificado por tratamento térmico ou uso.

As ferramentas de corte são, geralmente, constituídas de materiais os mais duros possíveis e por isso a afiação é feita com o uso de vários tipos de rebolos para assegurar a possibilidade de cortar tais materiais. Dependendo do estado da ferramenta deve ser feito em duas etapas:

- 1- Desbaste, adotando rebolo duro e grana média (36-46) de Alundum (A), Vitrificado (V);
- 2- Acabamento com rebolo mole e grana fina (60-80) e para acabamento mais preciso (80-100) de Alundum (A), Vitrificado. Para acabamento de metal duro os rebolos de carbureto de silício diamantados propiciam ótimos resultados.

A velocidade de corte deve ser de 20 a 30 m/s.

Um problema que requer cuidados na afiação é o da refrigeração da peça. É danoso tanto o superaquecimento como a refrigeração irregular, pois os materiais das ferramentas são sensíveis as ações térmicas. É preferível, não podendo refrigerar de modo regular, trabalhar a seco.

2.12.2. Afição de Ferramentas Monocortantes.

As ferramentas monocortantes, tais como, as de tornear, aplainar, mandrilar, são as mais simples para afiar. É suficiente encostar a face da ferramenta de qual deve ser retirado material, na superfície de um rebolo em forma de disco ou copo, dando a mão um movimento lento e alternado de modo a interagir com toda a largura do rebolo, a fim de desgastá-lo de modo regular. O trabalho é melhor realizado através de dispositivo que permita fixar os ângulos e maior firmeza, como mostra a figura a seguir.

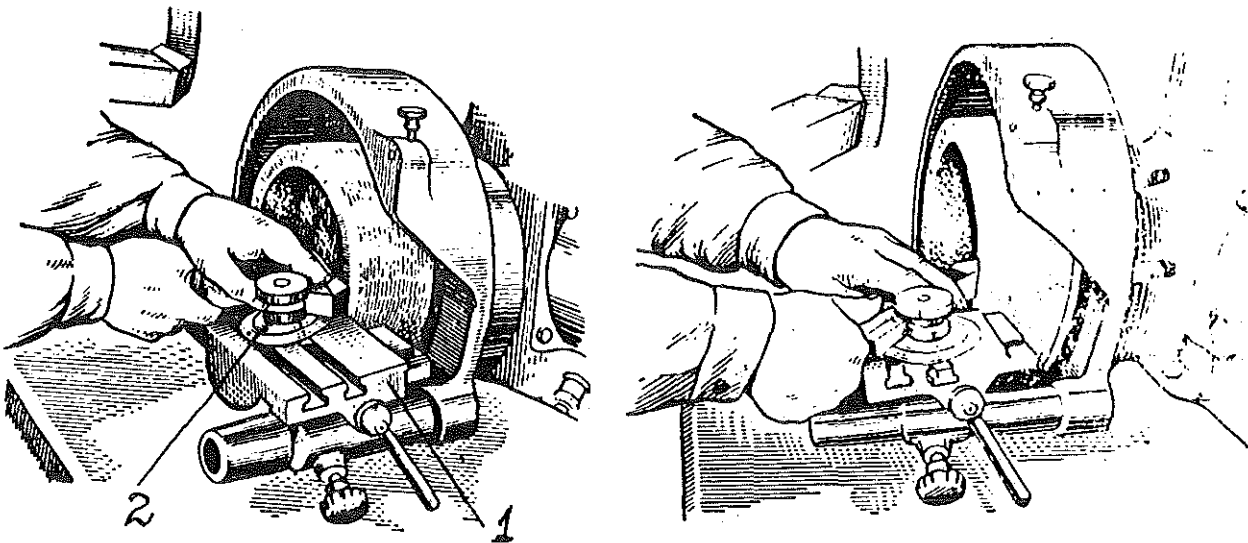


Figura 346 - Afição de uma ferramenta monocortante.
1 - Mesa inclinável, 2 - Dispositivo regulável

2.12.3. Afição de Ferramentas Multicortantes

As ferramentas multicortantes apresentam um grau de dificuldade maior. Fresas de dentes agudos (fresados), fresas de perfil constante, fresas de dentes helicoidais, alargadores e machos requerem procedimentos diversos que podem ser seguidos utilizando-se uma afiadora universal com diversos dispositivos.

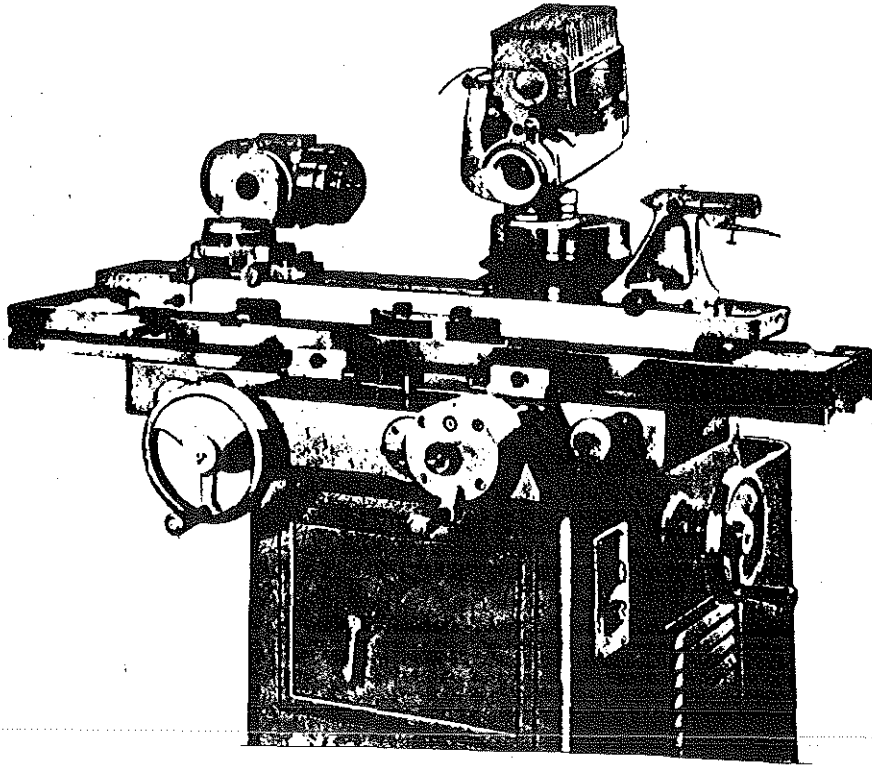


Figura 347 - Afiadora universal

AFIAÇÃO DE FRESAS COM DENTES AGUDOS

Os dentes fresados são afiados somente na superfície de folga. As figuras a seguir mostram as diversas posições para afiação com rebolos tipo disco e copo.

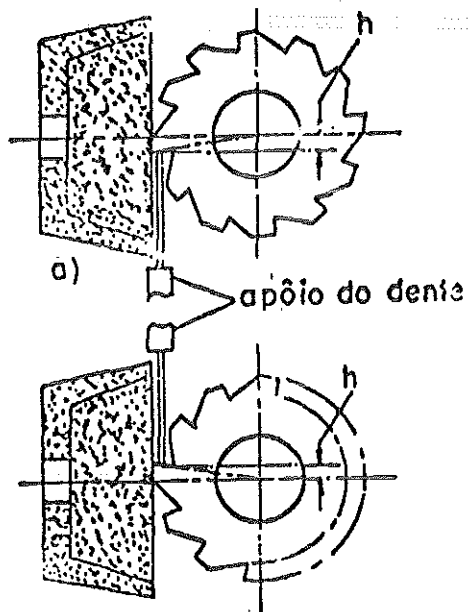


Figura 349 - Afição como rebole tipo copo

A altura h é responsável pela geração do ângulo de folga na afiação que é tabelado em função do diâmetro de fresa, do ângulo de hélice dos dentes e do ângulo de folga.

AFIAÇÃO DE FRESAS TIPO PERFIL CONSTANTE (DETALONADO)

Devido a necessidade de se manter constante o perfil do dente é necessário um dispositivo divisor que assegure constância do passo entre os dentes. Um rebolo tipo prato é o indicado para a afiação da superfície de saída, como mostra a figura.

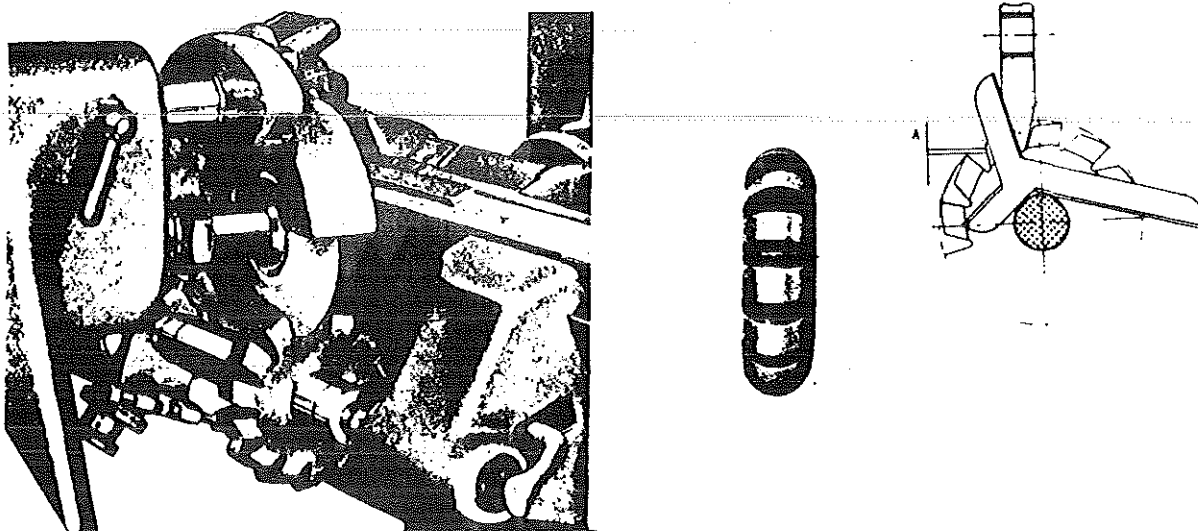


Figura 350 - Afiação de uma fresa de perfil constante.

As superfície de folga não pode ser afiada para não alterar a forma do dente.

AFIAÇÃO DE FRESAS COM DENTE HELICOIDAL

Este tipo de fresa requer uma afiação na superfície de saída com rebolo tipo prato como mostra acima e outra na superfície de folga com rebolo tipo copo, como mastra na figura abaixo.

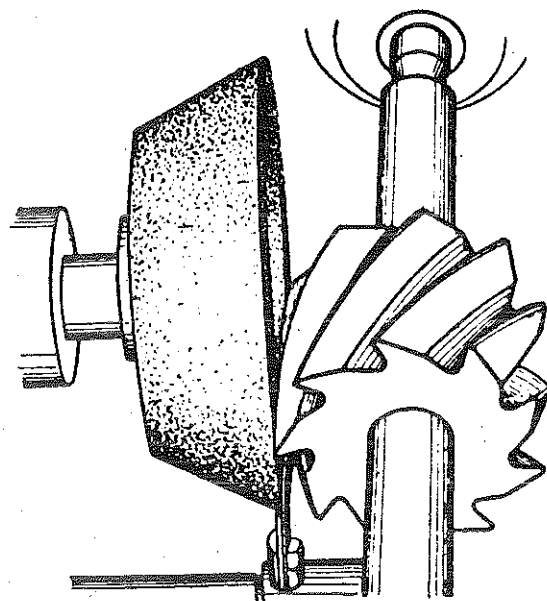
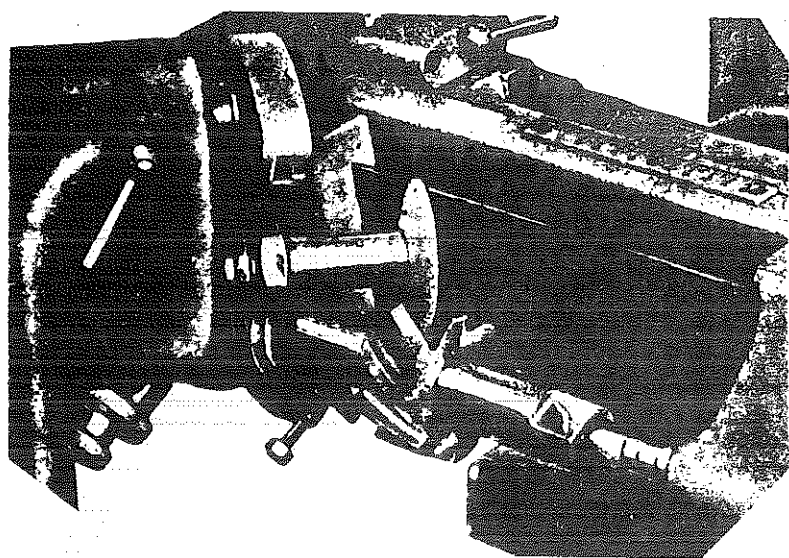


Figura 351 - Afição de uma fresa de dente helicoidal.

Uma lingueta deixada em um ponto da máquina mantém-se sempre em contato com a máquina para copiar o movimento helicoidal durante a afiação manual.

AFIAÇÃO DE UMA FRESA DE TOPO

A afiação de fresas frontais pode-se processar com rebolos tipo copo. A disposição empregada é apresentada na figura a seguir.

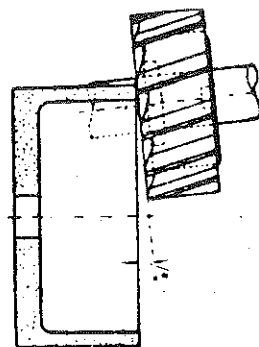
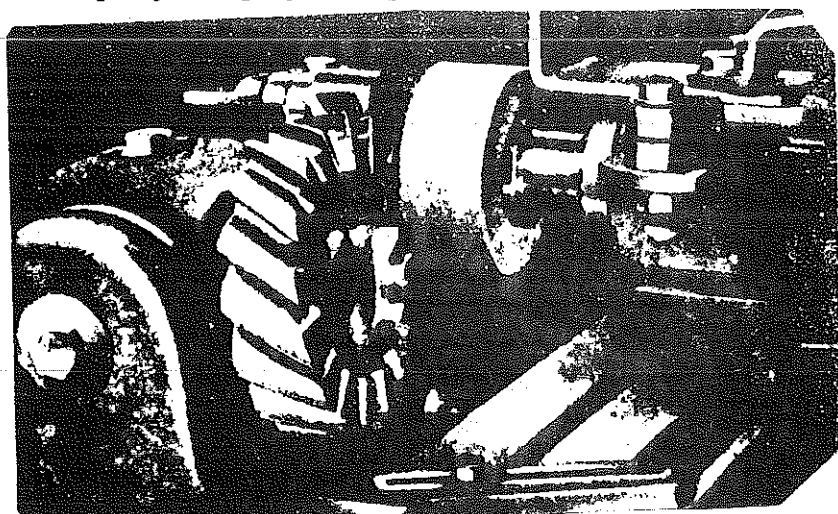


Figura 352 - Afição de uma fresa cilíndrica de dentes laterais e frontais.

A afiação das fresas frontais se faz afiando as superfícies de folga da parte cilíndrica, da parte frontal e também da parte chanfrada dos dentes.

AFIAÇÃO DE UM ALARGADOR

Afiam-se alargadores da mesma forma que as fresas, cuidando-se naturalmente, para a obtenção da maior precisão possível. Para garantir constância na medida do diâmetro, os alargadores possuem uma borda (f) no dorso do dente sem ângulo de folga de cerca de 0,05 a 0,025 mm que deve ser preservada.

A afiação consiste na retificação do cone de entrada, sendo afiado o dorso do dente com rebolo copo cônico. Os canais que formam as superfícies de saída dos dentes são a seguir, retificados com rebolo tipo prato, tomando os cuidados necessários para não reduzir a borda do dorso do dente.

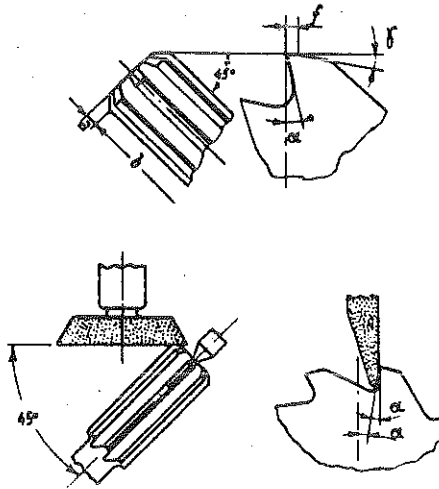


Figura 353 - Afiação de um alargador.

AFIAÇÃO DE UM MACHO

A afiação deve ser feita na superfície de entrada e nos canais devendo ser feita com rebolo de forma conforme o macho e a sua finalidade. Os criadores para corte de engrenagens são afiados segundo os mesmos procedimentos.

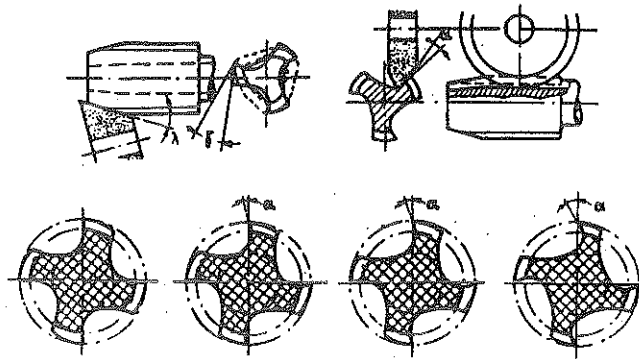


Figura 354 - Afição de um macho.

($\gamma = 0^\circ$: bronze - $\gamma = 5^\circ$ a 10° : materiais duros - $\gamma = 10^\circ$ a 15° materiais moles - $\gamma = 20^\circ$ a 25° : metais leves).

AFIAÇÃO DE BROCHAS HELICOIDAIS

O método mais simples é ilustrado abaixo:

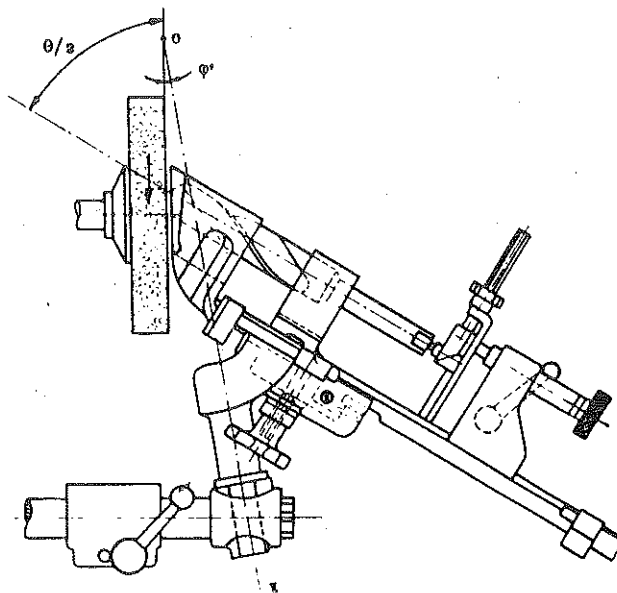


Figura 355 - Afição cônica de brocas helicoidais.

A broca é colocada frente ao rebolo, de maneira que seu eixo geométrico forma um ângulo igual a metade do ângulo de ponta desejado com a face do rebolo. Uma vez enconstado uma das arestas cortantes da broca na face do rebolo a broca é girada em torno de um eixo, denominado "eixo de rotação do aparelho". Para que o ângulo de folga α seja positivo em qualquer diâmetro da broca, é necessário que este eixo de rotação do aparelho não seja coplanar com o eixo de broca. É necessário, portanto, que exista uma distância entre o plano que contém o eixo de broca e o plano que contém o eixo de rotação do aparelho que, nas máquinas de afiação cônica, é variável através de uma excêntrico no eixo de rotação.