

---

# *Projeto do Produto e do Processo*

**Processos de Transformação em  
Desenvolvimento de Produto**

**- Processos Metalúrgicos e Processos Mecânicos -**

*Departamento de Engenharia de Produção  
Escola Politécnica - USP*

## *Conformação de Metais*

---

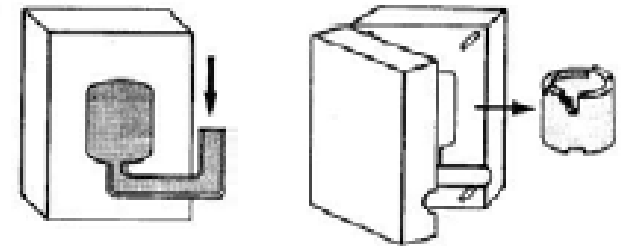
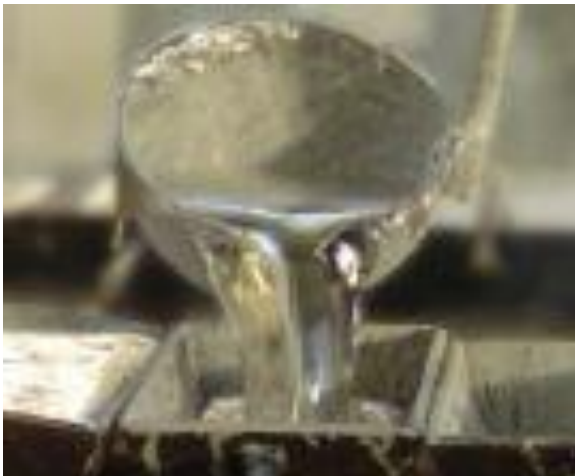
- *Conformação no estado líquido (ou fundido)*
  - *Os metais são derretidos por calor e derramados em um molde*
- *Conformação no estado plástico (ou conformado)*
  - *Barras ou peças pré-moldadas de metais são aquecidas abaixo do ponto de fusão, tornando-se então fáceis de conformar*
- *Conformação no estado sólido*
  - *Geralmente limitados a chapas, vergalhões e tubos, em geral, executados na temperatura ambiente*

# Conformação no Estado Líquido

## Processos Metalúrgicos



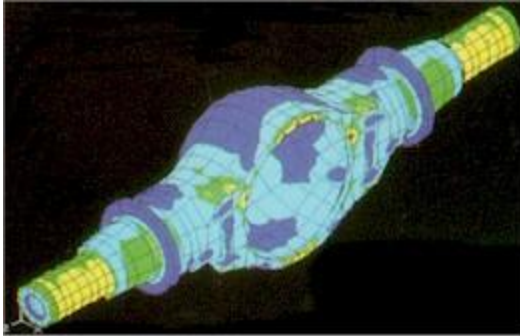
- *Processos de modificação de forma por meio da aplicação de altas temperaturas*
  - *Fundição: obtenção da peça por meio da alimentação do metal líquido na cavidade de um molde com o formato requerido, seguindo-se de um resfriamento*
  - *O molde pode ser permanente ou não permanente*



# Conformação no Estado Líquido

## Processos Metalúrgicos

### ■ Fundição - exemplos de peças



# Tipos de Fundição

- *Tipos de fundição*
  - *Fundição em areia*
  - *Shell moulding*
  - *Molde permanente*
  - *Coquilha (sob pressão)*



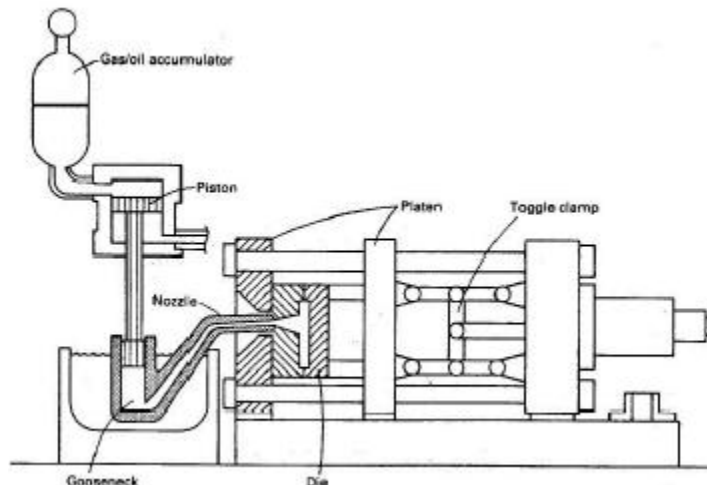
**Fundição em areia**  
**Preparação do molde**



**Fundição em areia**  
**Retirada do molde**



**Fundição em areia**  
**Vazamento**



**Fundição sob pressão**



**Molde Permanente**

## ■ Capacitação dos principais processos de fundição

Processo	Metal ou Liga	Peso (Kg)	Seção + fina (mm)	Acabamento Superficial ( $\mu\text{m}$ )	Tolerância Dimensional (x mm)
Moldagem em areia	Aço	0,1-200.000	6	8	0,005x a 0,030x
	Ferro fundido,	0,03-50.000	3,5	8	
	Alumínio	0,03-100	3	4	
Moldagem em casca	Aço	0,05-120	3,5	6	0,010x a 0,025x
	Ferro,	0,03-50	3	6	
	Alumínio	0,03-15	1,5	2,5	
Moldagem em gesso	Alumínio	0,1-50	1,5	1	0,005x
Moldagem por cera perdida	Aço,	0,005-25	1	1	0,003x a 0,005x
	Alumínio	0,002-10	0,8	1	
Molde permanente	Ferro fundido,	0,1-10	5	2	0,010x a 0,025x
	Alumínio	0,1-50	3	2	
Fundição sob pressão	Alumínio,	0,015-25	0,8	1	0,0015x
	Zinco	0,05-50	0,8	1	

- *Conformação no estado plástico ou sólido*
  - *Processo de transformação por aplicações de esforços no material em estado sólido que provocam tensões abaixo da tensão limite de resistência*
  - *Tipos*
    - *Forjamento (a frio ou a quente)*
    - *Extrusão*
    - *Laminação*
    - *Trefilação*

# Processos Mecânicos

## ■ Forjamento - exemplos

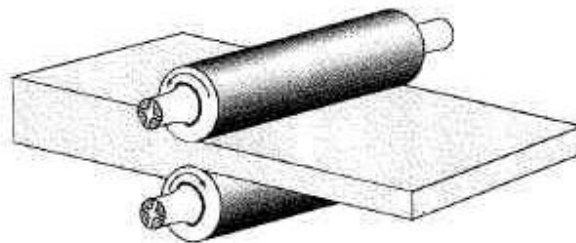




# Processos Mecânicos

## ■ Laminação

- É um processo de conformação mecânica pelo qual um lingote de metal é forçado a passar por entre dois cilindros que giram em sentidos opostos, com a mesma velocidade. Assim consegue-se a redução da espessura do metal a cada passe de laminação, que é como se chama cada passagem do metal pelos cilindros de laminação. Ao passar entre os cilindros, o material sofre deformação plástica. Por esta razão, ele tem uma redução da espessura e um aumento na largura e no comprimento. Como a largura é limitada pelo tamanho dos cilindros, o aumento do comprimento é sempre maior do que o da largura



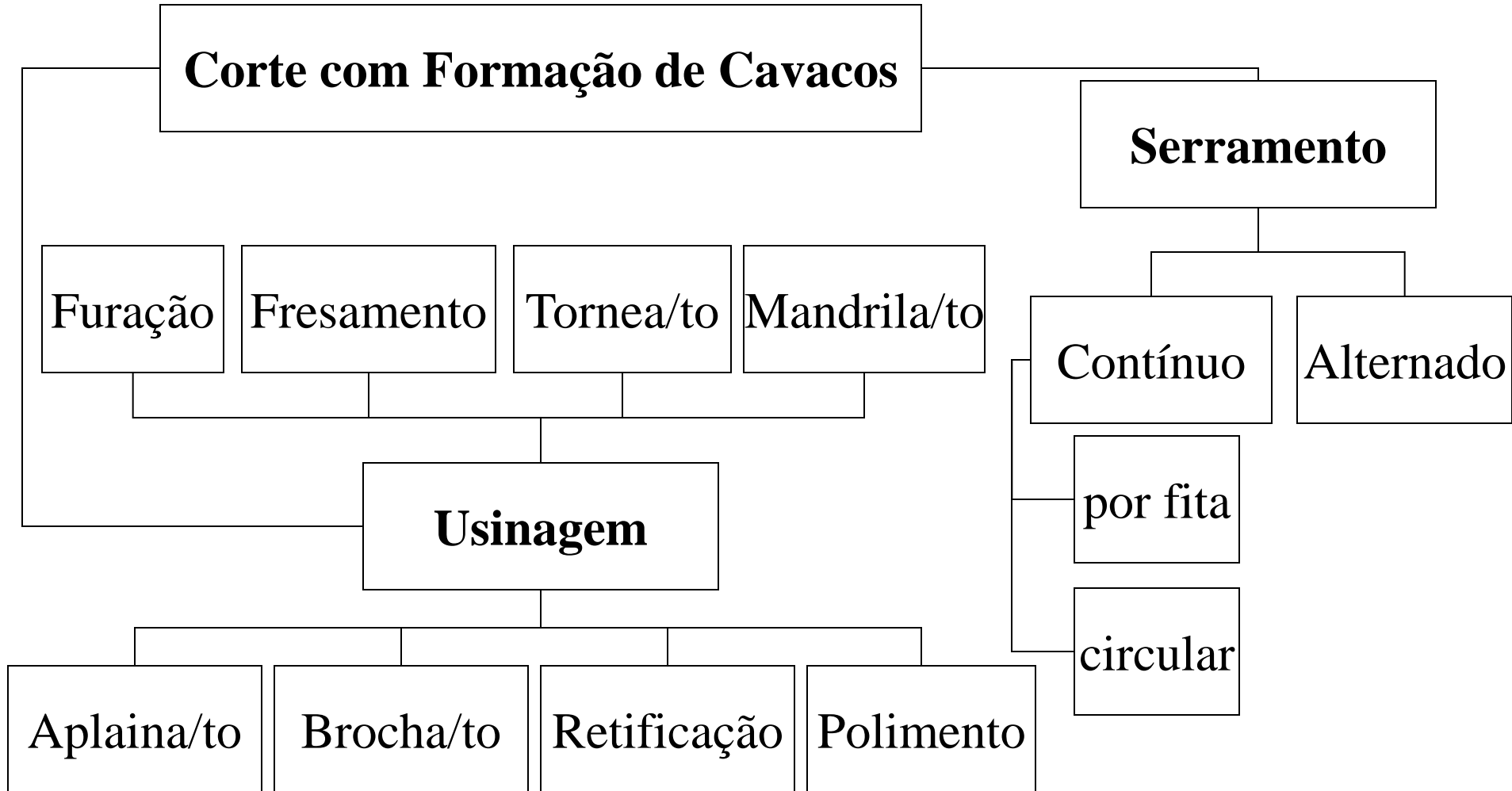
# Processos Mecânicos



## ■ Trefilação

- É um processo mecânico que tem como finalidade a obtenção de barras, tubos ou fios com dimensões, acabamento superficial e propriedades mecânicas controladas. Ocorre pelo racionamento de uma barra, fio ou tubo por meio de uma matriz com um dado perfil. Desde que a seção transversal da matriz seja sempre menor que a peça trabalhada, o processo ocasionará uma redução em área e um aumento no comprimento





## ■ Usinagem

- *Processo secundário de fabricação*
- *Processo de transformação realizado em peças prismáticas ou rotacionais visando a geração de superfícies por meio da remoção de material por meio de uma ferramenta*
- *Corte de blocos de metal com formação de cavaco (“partícula” resultante do corte)*
- *O processo é feito por uma máquina para que se obtenha o corte com dada tolerância*
- *Geralmente antecede os processos de junção (por exemplo solda) e acabamento (por exemplo polimento)*

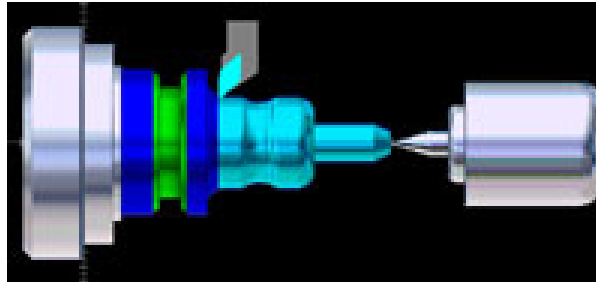
# Torneamento

- *Princípios do torneamento*
  - *Geralmente peças rotacionais*

**Ferramenta**



**Placa de  
fixação**



**Contra-  
ponto**



# Tipos de Processos de Torneamento

---



- *Torneamento externo*



# Tipos de Processos de Torneamento

---



- *Torneamento de rasgo de canais*



# Tipos de Processos de Torneamento

---

- *Rosqueamento*





# Tipos de Processos de Torneamento

---

- *Faceamento*



## Torneamento de roscas externas: NOVEX® TS

- Início de perfil interno, de 3 arestas de corte
- Alta precisão de perfil e do espaçamento
- Geometria universal para ISO P, A000 e ISO M (para rosca fina)
- Todos os tipos comuns como, p. ex., ISO-métrico, Whitworth, American UN

O programa completo de porta-ferramentas para sistemas de torneamento de roscas externas você encontra à partir da página 183.

## Usinagem externa com fixação do alavanca: NOVEX® TURN

- Prata-suporte estrutural contra impacto de cavidade
- Descarga livre de cavidade, p. ex., ao copiar para dentro materiais formando cavidades longas
- Fixação simples de inserto
- Sem perda das peças de fixação na troca de inserto

O programa completo de porta-ferramentas externos ISO você encontra à partir da página 66.

## Usinagem externa com fixação de gamas: NOVEX® TURN

- Fixação modular, especialmente para cortes difíceis
- Apoio seguro em todas as posições de corte e vibrações
- Mecanismo simples na troca de inserto, rosqueado contra sujeira

O programa completo porta-ferramentas externos ISO você encontra à partir da página 64.

## Torneamento de roscas internas: NOVEX® TS

- Para roscas internas a um preço normal e inviolável
- Alta precisão de perfil através da conexão do ângulo do passo no porta-ferramenta
- Fixação firme em conexão com NOVEX® CAPTO
- Todos os tipos comuns como, p. ex., ISO-métrico, Whitworth, American UN

O programa completo de porta-ferramentas para sistemas de torneamento de roscas internas você encontra à partir da página 184.

## Ferramentas para torneamento NOVEX®

### Corte externo: NOVEX® CUT

- Sistema modular para cortar e abrir cavado
- União sem-folga entre o corpo básico e o inserto
- Início de aresta ou duas arestas de corte para cortar e tornear
- 4 geometrias de inserto para todos os casos de usinagem

O programa completo de porta-ferramentas para sistemas de corte você encontra à partir da página 121.

### Usinagem interna com fixação do alavanca: NOVEX® TURN

- Sistema angular de fixação com alavanca fixada para insertos positivos
- Fixação segura e sem-folga para todas as formas básicas de furo positivo
- Sem perda das peças de fixação, mesmo em posição invertida
- Sem elementos de fixação construtivos para o transporte seguro de cavidade, especialmente na usinagem interna

O programa completo de porta-ferramentas internos ISO você encontra à partir da página 91.

### Corte axial e torneamento plano: NOVEX® CUT

- Início de 2 arestas de corte para a usinagem econômica
- Uma ferramenta para duas operações: Corte axial e torneamento plano
- Alta estabilidade graças à disposição poligonal do inserto

O programa completo de porta-ferramentas para sistemas de corte você encontra à partir da página 125.

### Corte interno e torneamento longitudinal: NOVEX® CUT

- Início com 2 arestas de corte, para diferentes operações
- Configuração modular também em diâmetros pequenos
- Programa abrangente de insertos, incl. insertos para corte de aresta de retificação e aberturas de raio

O programa completo de porta-ferramentas para sistemas de corte você encontra à partir da página 121.



NOVEX® CAPTO e sistema modular de troca rápida – para operações gerais de torneamento, para abrir cortes e roscas.

# *Torneamento*

---

- *Torneamento em diferentes materiais*



***Torneamento em madeira***



***Torneamento de metais***

# Fresamento

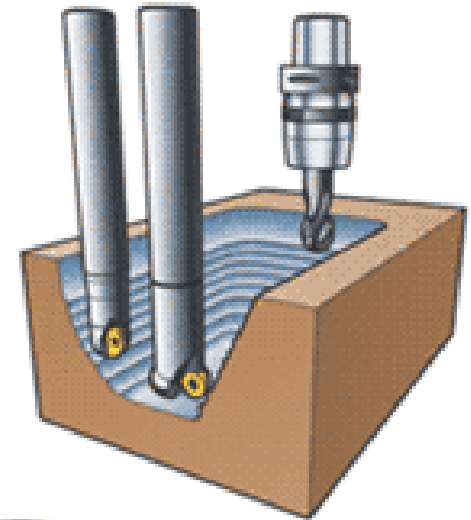
- P/ peças prismáticas



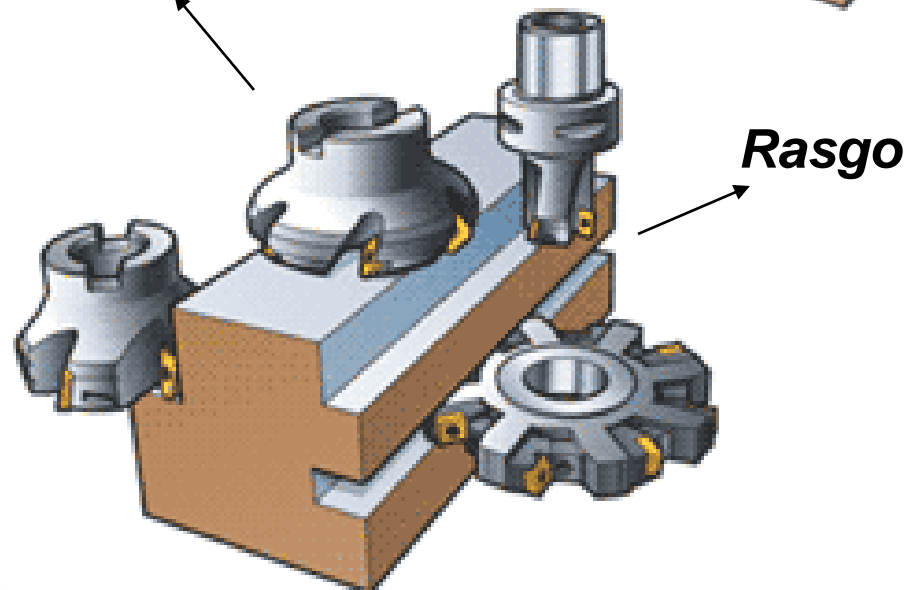
**Ferramentas  
(fresas)**



**Faceamento (topo)**



**Insertos de metal duro**



## Fresa de facear F 4033 NOVEX®

- Inseto altamente estável graças à forma lésica negativa
  - Corte fácil pela geometria extremamente positiva do inseto para o máximo em produtividade
  - 6 arestas de corte por inseto
  - A melhor escolha para a fresamento plano de aço e material fundido
- O programa completo de fresas planas você encontra à partir da página 434.

## Fresa com inserto redondo F 2334 NOVEX®

- Insetos rotatórios com facetas para a fixação altamente estável do inseto
  - Ótima para o máximo em avanço e performance de usinagem
  - Ideal para a operação de desbaste e para materiais de usinagem difícil
- O programa completo de fresas de copiar você encontra à partir da página 576.

## Fresa de Alta Performance F 2330 NOVEX®

- Para avanços de até 3,5 mm de avanço por face.
  - Forças radiais mínimas proporcionam a boa estabilidade da ferramenta mesmo em relações comprimento de usinância
  - Máxima performance de processamento no fresamento plano, de copiar e por inserção
  - Placa triangular estável
- O programa completo de fresas planas você encontra à partir da página 434, o programa completo de cabeçotes rescalados na página 413.

## Fresa F 3238 PORCUPINE ["abacaxi"] NOVEX®

- A melhor escolha para fresas cilíndricas de alta performance
- Com número máximo de dentes para avanços máximos e corte fácil
- Com o semi joça frontol, disponível em diversas versões de haste

O programa completo de fresas para canais você encontra à partir da página 576.

## Ferramentas para fresar NOVEX®

### Fresa octogonal F 2280 NOVEX®

- Fresa universal de múltiplas aplicações!
- Ótima para fresamento plano, fresamento por inserção, fresamento de chanfros e fresamento circular perfurado
- Produção máxima graças à 8 arestas de corte por inserto
- Gama completa de geometrias e tipos para processar todos os materiais

O programa completo de fresas planas você encontra à partir da página 434.

### Fresa à 90° F 4042 NOVEX®

- Ferramenta altamente positiva para um corte extremamente leve!
- Fresa para desbaste e acabamento com ângulo exato de 90°
- 3 lanhas de insertos permitem a escolha econômica da ferramenta certa para cada caso específico de processamento

O programa completo de fresas angulares você encontra à partir da página 490, o programa completo de cabeçotes rescalados na página 413.

### Fresa de metal duro intaição NOVEX®

- Programa abrangente para todos os materiais
- Revestimentos por PVD para processamento até 65 HRC
- Fresas angulares, de contorno circular e bico em ventô para desbaste e acabamento

O programa completo de fresas de metal duro intaição você encontra à partir da página 408.

### Fresa à 90° F 4041 NOVEX®

- **NOVIDADE MUNDIAL!** Forma singular torcida de inserto para estabilidade 90°, com 4 arestas de corte por inserto
- Segurança máxima de processo graças ao assento negativo do inserto
- Suavidade otimizada de operação pelo ângulo de corte positivo

O programa completo de fresas à 90° você encontra à partir da página 490.

### Fresa de copiar para acabamento F 2139 NOVEX®

- Ferramenta de inserto com alta precisão
- Fresa para acabamento, ideal para usinagem HSC (em alta velocidade)
- Disponível também em versão com haste em metal duro para o acabamento de bolsos profundos

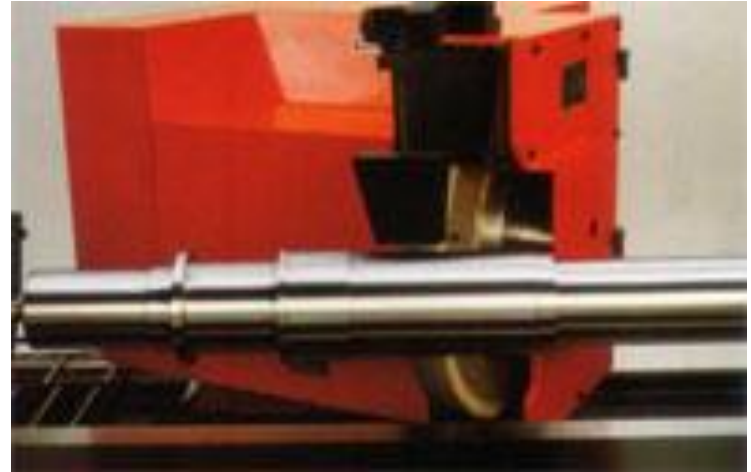
O programa completo de fresas de copiar você encontra à partir da página 576.

# Retificação - Processo de Acabamento

- *Retificação cilindra externa*

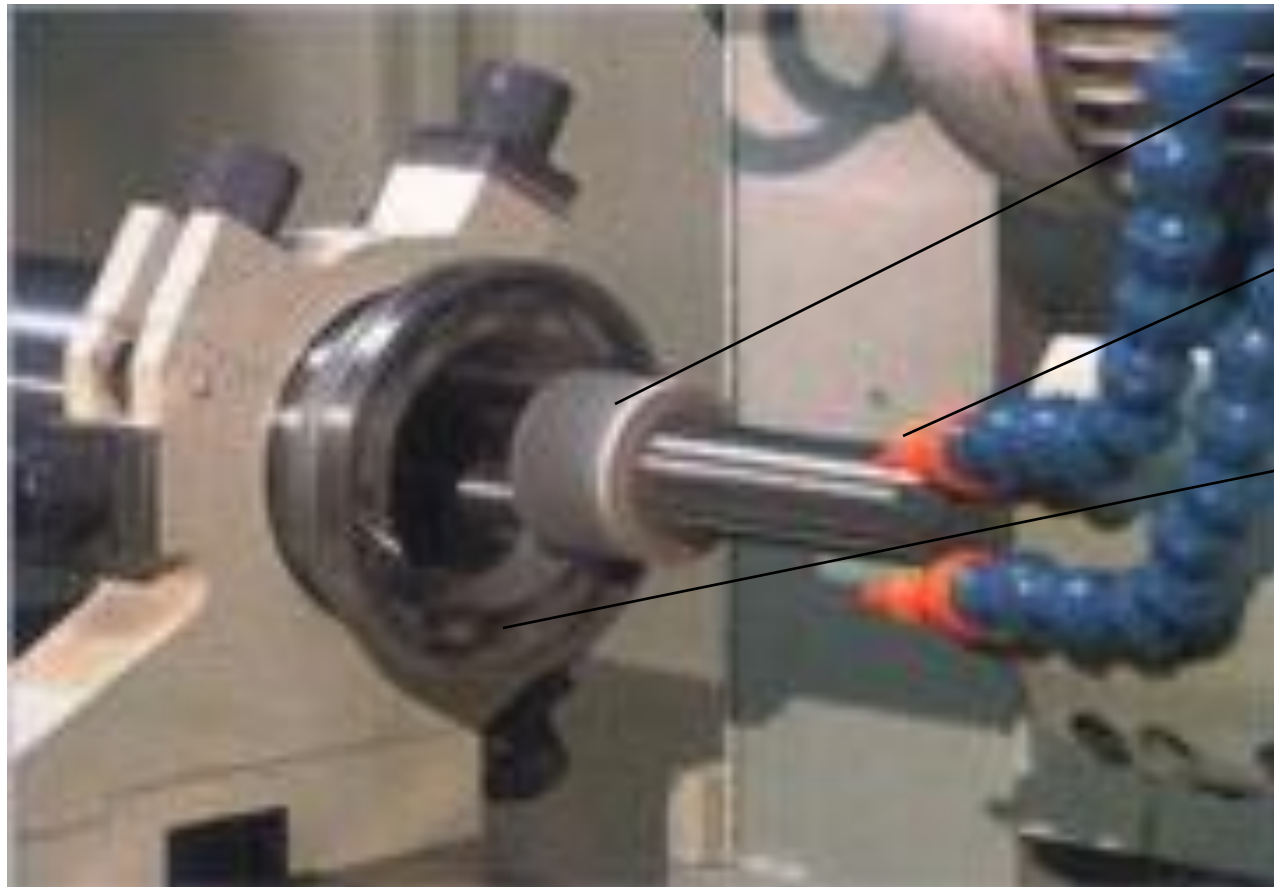


***Rebolos (ferramentas)***



# Retificação

- *Retificação cilindra interna*



**Rebolo**

**Refrigeração**

**Peça**

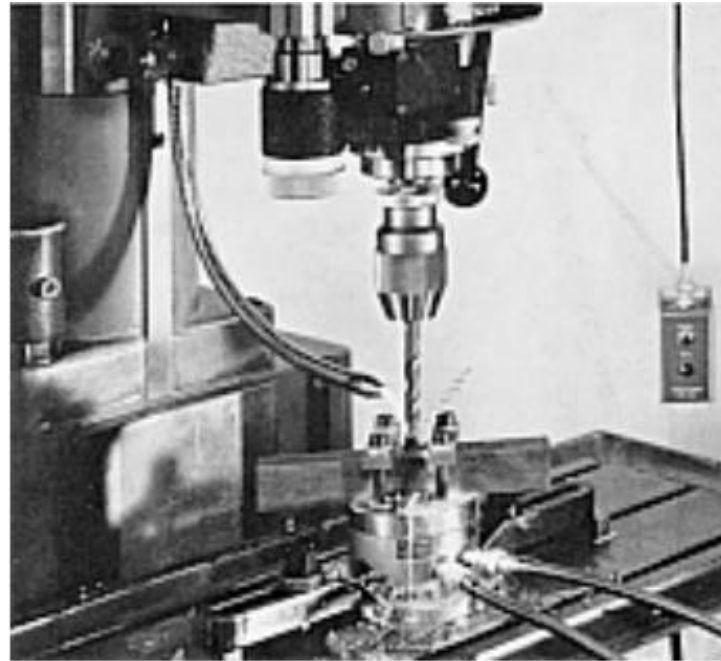
## *Outros Processos*

---

- *Mandrilamento*



- *Furação*





## *Escolha do Processo Mecânico*

---

- *Os projetistas geralmente não estão envolvidos nos processos primários de fabricação (fundição, laminação, trefilação, etc.). No entanto:*
  - *Devem conhecê-los para a escolha da forma de fornecimento da matéria-prima e da seleção posterior dos processos de fabricação (acabamento)*
- *Considerações importantes:*
  - *Forma e geometria do produto final*
  - *Propriedades mecânicas (requisitos de engenharia)*
  - *Disponibilidade do material (em chapas, em barras etc.)*
  - *Tolerâncias da “peça bruta” (visando o processo posterior)*
  - *Acabamento (rugosidade) superficial*
  - *Análise de custo-benefício (existem alternativas? quais as vantagens de cada uma delas? qual é o custo envolvido?)*



# Processos Mecânicos



## ■ Valores de acabamento superficial para diversos processos

- *Ra* - rugosidade média aritmética (média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos de perfil de rugosidade em relação a linha média)
- *Rmax* - rugosidade máxima (valor máximo das rugosidades parciais no percurso de medição) - ABNT NBR 6405 e DIN 4768

Ra ( μ m )	51	25,4	12,7	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,013
Rmax ( μ m )	-	-	-	15	10,3	5,30	2,70	1,25	0,60	0,30	0,15	0,07	0,04
Corte por chg ma													
Moldagem em areia													
Laminação a quente													
Forjamento													
Plainamento													
Rasquete													
Corte de segr ra													
Furação													
Usinagem química													
Corrosão eletrolítica													
Fresamento													
Torneamento / Mandriamento													
Brochamento													
Alargamento													
Moldagem em coquilha													
Moldagem de precisão extrusão													
Laminação a frio - estir.													
Moldagem sob pressão													
Retífica													
Espelamento													
Polimento eletrolítico													
Relagem													
Polimento													
Lapidação													
Super acabamento													

 Aplicação menos comum
  Campo usual de aplicação