

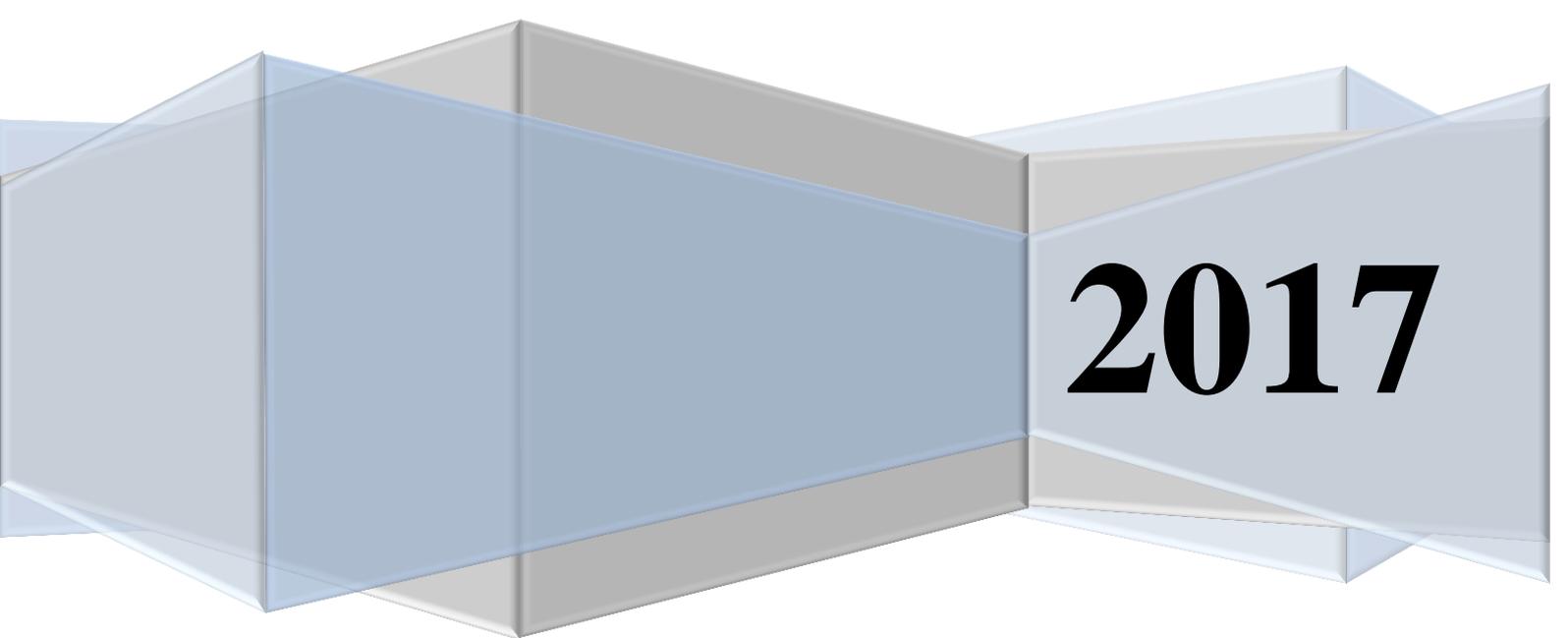


Introdução à Manufatura Mecânica

PME-3221

Prof. Dr. Marcelo Alves

1ª Edição

A large, 3D-rendered graphic of a light blue ribbon with a white border, extending across the bottom of the page. The ribbon is folded and draped, creating a sense of depth and movement.

2017

Agradecimento:

A digitalização dessas notas de aula não seria possível sem a parceria entre o PME Departamento de Engenharia Mecânica com o PET-Mecânica, a colaboração do Prof. Dr. Marcelo Alves que auxiliou durante todo o processo, a gentileza do Murillo Neto ao fornecer e permitir que utilizemos suas anotações e figuras e os integrantes do PET-Mecânica, Andrei Steschenko, Mariane Soares e Vitor Coppola que trabalharam na digitalização, formatação e revisão de conteúdo de todo o material.



Sumário

1-Informações Gerais	1
1.1-Critério de Avaliação:	1
1.2-Bibliografia	1
1.3-Datas de provas:	1
1.4-Horário de Atendimento:	1
2-Fundição.....	2
2.1-Fundição em moldes de areia:.....	2
2.2-Fundição com cera perdida/casca:	3
2.3- Fundição em molde metálico ou permanente:	3
3-Processos de Conformação:	4
3.1-Conformação a quente (laminação ou forjamento):.....	4
3.2-Siderurgia:.....	6
3.3-Conformação a frio:	7
3.3.1-Prensas:	8
3.3.2-Estamparia:	9
3.4-Conformação por pressão Interna:	9
3.4.1-Hidroconformação:	9
3.4.2-Blastforming:	9
4-Cortes:.....	11
4.1-Prensas:	11
4.2-Calor:	11
4.3-Jato Abrasivo:	11
4.4-Usinagem (Fresadora CNC):.....	11
4.5-Abrasão:	12
5-Conformação plástica:	12
5.1-Repuxamento (em torno):	12
5.2-Caldeiraria:.....	13
6-Usinagem:	14
7-Cortes:.....	15
7.1-Torneamento:	15
8-Geometria de Corte:.....	16
9-Nomenclatura de corte (DIN 6580):	16

Introdução à Manufatura Mecânica

9.1-Movimentos:	16
9.2-Ângulos:	17
10-Materiais de ferramentas:	18
10.1-Aço Rápido (HSS):	18
10.2-Carbetos metálicos:	18
10.3-Revestimento com óxido de alumínio, titânio ou óxido de titânio:	19
10.4-Cerâmica:	19
11-Ferramentas de corte:	19
12-Forças de corte:	21
13-Custo x Produção:	22
14-Metalurgia do pó:	23
14.1-Características:	23
14.2-Aplicação:	23
14.3-Problemas:	24
15-Planejamento da sequência de operações:	24
16-Planeamento:	25
17-Mandrilhamento:	25
18-Linhas de Usinagem:	26
19-Centro de usinagem:	26
20-Torno:	26
21-Fresadora:	26
22-Comando numérico por computador (CNC):	26
23-Linguagem de programação:	27
24-Uniões metálicas:	27
25-Caldeamento (Soldering):	27
26-Solgaem (Welding):	28
26.1-Arco elétrico:	28
27-Parafusos:	30
27.1-Funcionamento da junção:	31
27.2-Cuidados:	32
27.3-Fabricação:	32
28-União de peças com materiais não idênticos:	33

1-Informações Gerais

1.1-Critério de Avaliação:

$$M = \frac{(P_1+2P_2+T)}{4}$$

Sendo:

P1 nota da primeira prova

P2 nota da segunda prova

T nota do trabalho semestral

1.2-Bibliografia

- ✓ Lefteri, C. – Como se faz, Editora Blucher, 2013
- ✓ Lesko, J. – Design Industrial – Guia de Materiais e Fabricação, 2ª Edição, Editora Blucher, 2014
- ✓ Kalpakjian, S.; Schmid, S. – Manufacturing Engineering & Technology, 6ª Edição, Prentice Hall, 2010
- ✓ Fischer, U. – Manual de Tecnologia Metal Mecânica, 2ª Edição, Editora Blucher, 2011
- ✓ Machado, A. R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; Silva, M.B. – Teoria da Usinagem dos Materiais, Editora Blucher, 2009
- ✓ Slack, N.; Chambers, S.; Harland, C. – Administração da Produção, Editora Atlas, 1997
- ✓ Dillinger, J.; Dobler, H.D. – Fechkunde Metall, 55. Auflage, Europa Lehrmittel, 2007
- ✓ Schmid, D. (Org.) – Industrielle Fertigung – Fertigungsverfahren, Europa Lehrmittel, 2007
- ✓ Ferraresi, D. – Fundamentos da Usinagem dos Metais, Editora Blucher, 1970

1.3-Datas de provas:

17/05: Primeira Prova (P1)

05/07: Segunda Prova (P2)

1.4-Horário de Atendimento:

Preferencialmente de segunda feira, das 15:00 às 18:00 horas.

2-Fundição

O método consiste em aquecer o metal a fim de torna-lo líquido e vazá-lo nesse metal líquido numa cavidade ou molde. Os moldes podem ser de dois tipos:

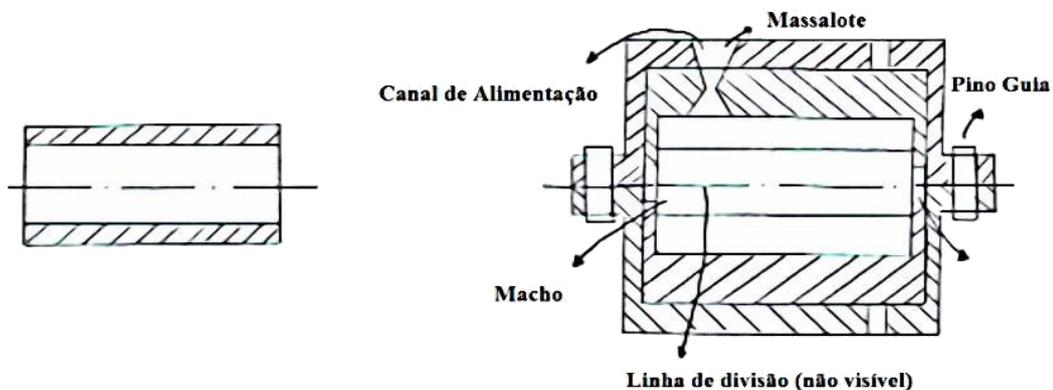
- I. Descartáveis ou temporários
- II. Permanentes (temperatura de fusão do molde é maior que a do metal utilizado)

2.1-Fundição em moldes de areia:

Areia de construção civil ou tratada com resina

Processo utilizado em ligas ferrosas (ferro fundido ou Fofó) ou em ligas de alumínio. É necessária a utilização de um modelo:

- Cópia ligeiramente ampliada da peça final (geometria externa): isso ocorre devido ao metal que reduzirá seu volume durante o resfriamento.
- Feito de madeira, isopor, impressão 3D, polímero, cerâmica ou aço.
- O modelo é permanente.

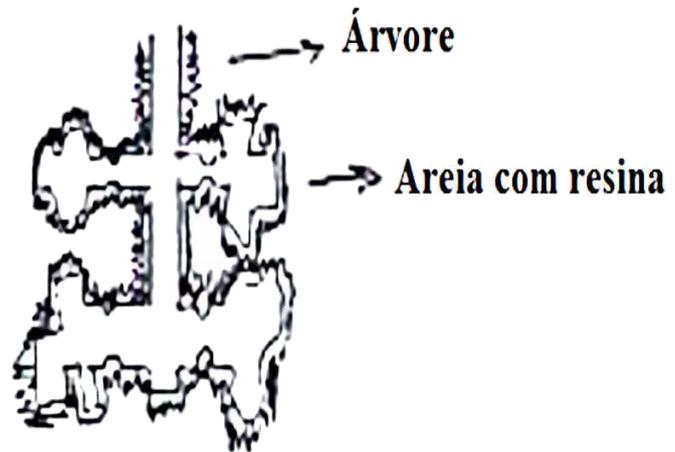


Macho: corresponde ao(s) volume(s) não ocupado(s) pelo metal na cavidade de moldagem.

- O crescimento de grão promove rachaduras em cantos vivos e cantos de 90°, por isso devem ser arredondados.
- Este método pode ser aplicado a fundições grandes, exemplo: bloco de motor.

2.2-Fundição com cera perdida/casca:

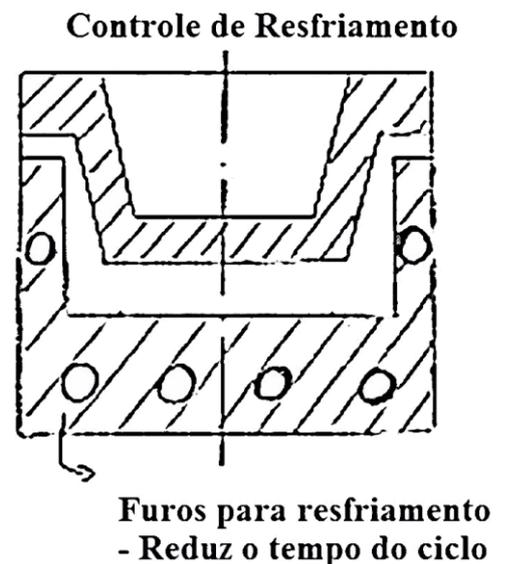
- Molde permanente para modelos em cera (Os modelos em cera são feitos em molde permanente).
- O modelo é recoberto por areia de fundição e resina, o qual é levado em forno para curar a areia (o modelo de cera é derretido para sair do molde).



- Utiliza-se o molde para colocar o metal líquido e fazer o objeto. Após isso quebra-se o molde para obter a peça.
- Este método pode ser aplicado a fundições pequenas, exemplo: símbolo da Rolls-Royce.

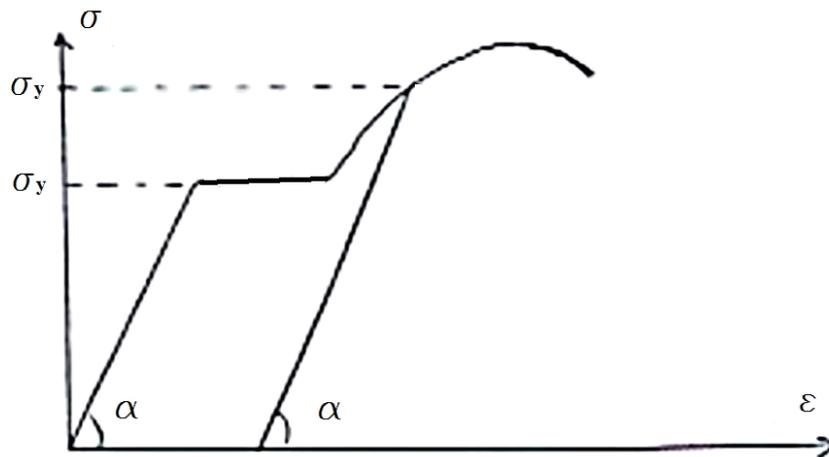
2.3- Fundição em molde metálico ou permanente:

- Utiliza-se para fundição de ligas de alumínio (temperatura de fusão próxima de 600°C) com o molde de aço (temperatura de fusão próxima de 850°C).
- Note que, neste processo, a temperatura de fusão do molde é maior que a do metal.
- Utilizado na produção em massa.
- Dimensões limitadas (no máximo 1 m de lado).
- O molde é feito com o uso de ferramentaria, geralmente em CNC.
- Uma desvantagem é o elevado custo do ferramental (molde).



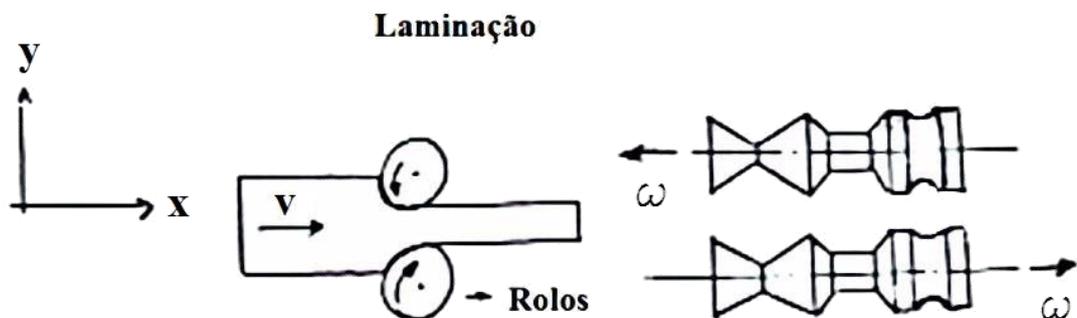
3-Processos de Conformação:

- Quente: grandes deformações em peças de grandes dimensões.
- Frio: grandes deformações (menor do que a quente) em peças de menor seção resistente, exemplo: grampeador.
- Nos processos de conformação, nos utilizados de deformações plásticas. Quando um material, como por exemplo o aço baixo teor de carbono, sofre deformações plásticas e inicia o processo de encruamento, é mais difícil deformar essa peça, isto é, é necessário aplicar mais tensão para deformar o material.



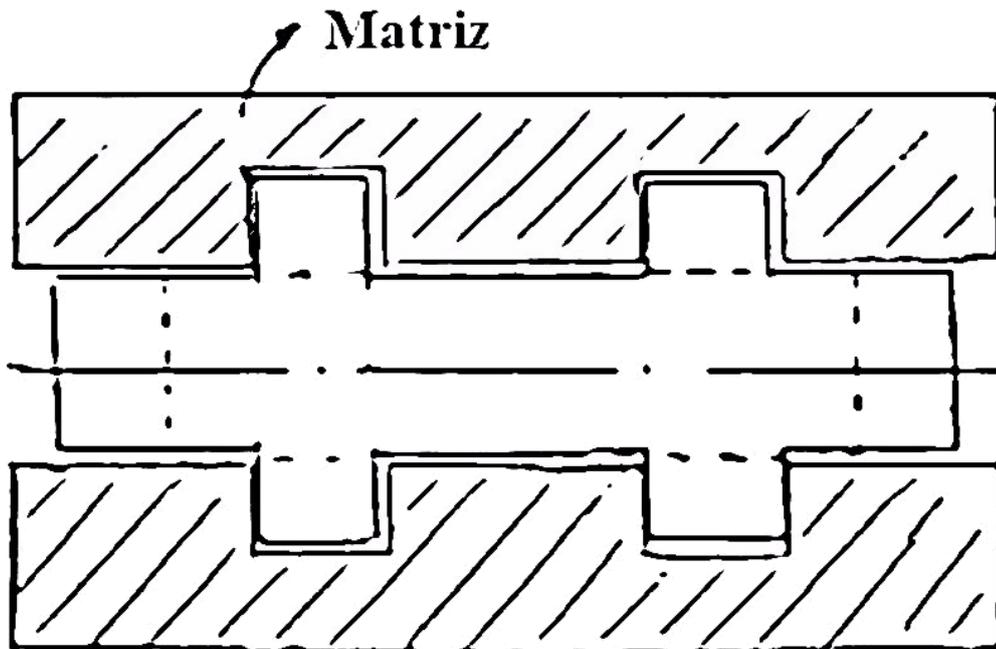
3.1-Conformação a quente (laminação ou forjamento):

- Realizado na temperatura de recristalização
- Utilizada frequentemente na indústria siderúrgica (tubos sem costura: mannesman): chapas e perfis em I, L, H, circulares e hexagonais.
- Ver: Tselikov (Rolling mills) e Avitzur (modelagem matemática).



Introdução à Manufatura Mecânica

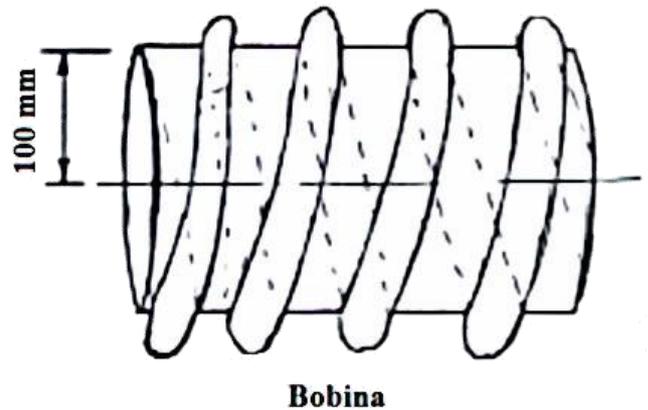
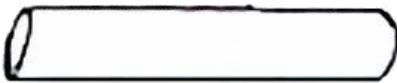
- Na laminação nos utilizamos de rolos e rolos de apoio para conformar a peça por compressão e “entortamento” (ver figura anterior).
- No processo de laminação de cantoneiras há escorregamento das peças e consequente entortamento (formação de arco).
- Observação: Pode ocorrer escorregamento de chapas em torno do eixo y? Não. Existem guias que impedem esse movimento.



- No forjamento, podemos fazer o processo com matriz aberta ou matriz fechada (mais caro). A resistência de peças forjadas é geralmente maior do que de peças usinadas, uma vez que a estrutura cristalina é moldada.
- Em parafusos chamamos o processo de recalque (sextavado).
- O material da matriz deve ser mais resistente do que o da peça, exemplo: aço 8620 usa matriz de aço Cromo-Vanádio.
- A matriz é usinada (bloco passa por usinagem para formar a matriz).
- O tempo de processo é geralmente menor do que de fundição: depende da geometria da peça e da capacidade do martelo.

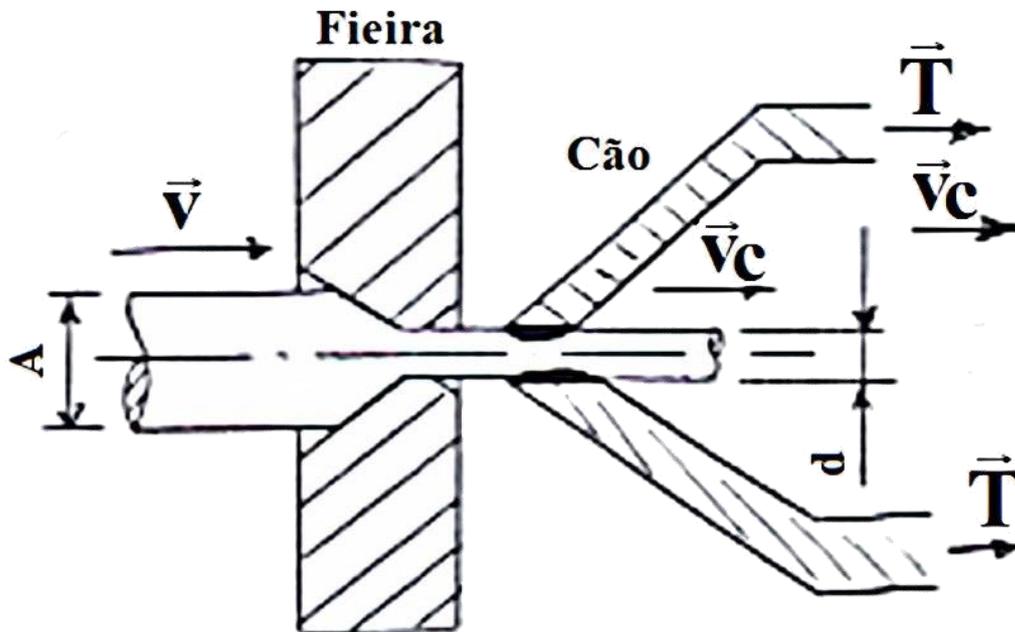
3.2-Siderurgia:

- Existem vários sistemas de normas para classificar e denominar materiais, tais como a SAE, AISI e ABNT.
- Aços são materiais compostos por ferro e carbono, sendo que a concentração de carbono é menor do que 2%.
- Aços apenas com carbono são chamados de aços carbono. Podemos acrescentar outros elementos químicos (Cr, Mo, V, Ni, etc) e criar os chamados aços liga.
- Em geral apenas 1% dos aços produzidos em uma siderurgia são utilizados/processados para se tornarem aços liga.
- Assim que os aços saem do alto-forno, podemos transportá-los para serem processados e resfriados de duas maneiras: lingotamento ou lingotamento contínuo.
- Podemos armazenar as barras de aço processadas de duas maneiras:



3.3-Conformação a frio:

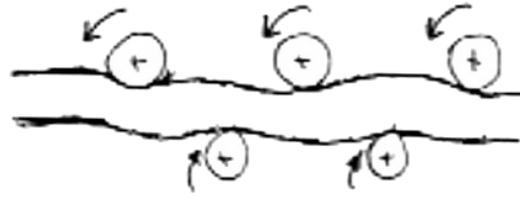
- Usamos o processo de trefilação para processar e produzir fios, arames, “corda de piano”, fio-máquina e molas.



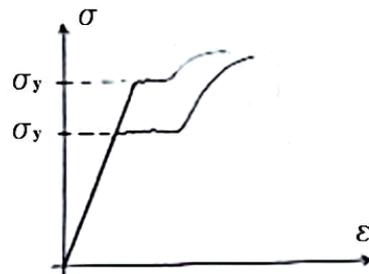
$$\|\vec{v}_c\| > \|\vec{v}\|$$

- Geralmente ocorre encruamento no material que sai da fieira e, portanto, é necessária a recristalização. (Quando ocorre encruamento a tensão de escoamento fica mais alta).
- A tração exercida pelo cão deve superar os efeitos de atrito entre o fio e a fieira e os efeitos de deformação.
- A resistência mecânica de materiais trefilados pode ser até 20% superior a resistência de materiais laminados.
- Pode-se posicionar uma tesoura à frente da fieira para cortar fios do tamanho desejado.
- Para fios grandes, podemos enrolar e desenrolar os fios em bobinas. Pode-se trefilar inclusive aços liga.

- Utilizamos o endireitamento para endireitar fios que foram enrolados em bobinas.



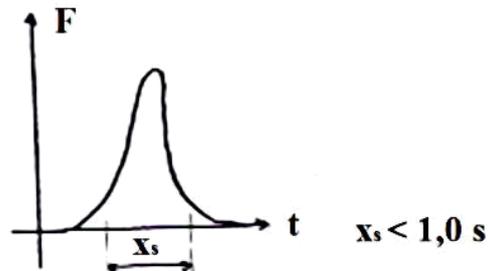
- A laminação a frio é um processo de acabamento e utilizado em chapas de espessura pequena (na laminação a quente, essas chapas rasgariam).
- O material sai encruado e anisotrópico.
- O processo é semelhante ao da laminação a quente (ver figura). Somente laminamos aços carbono (com menos de 0,2% de carbono).



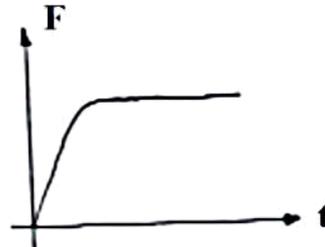
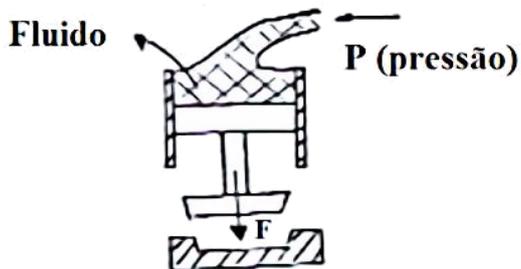
3.3.1-Prensas:

Existem 2 tipos de prensas hidráulicas (força) e excêntrica (energia).

Excêntrica:

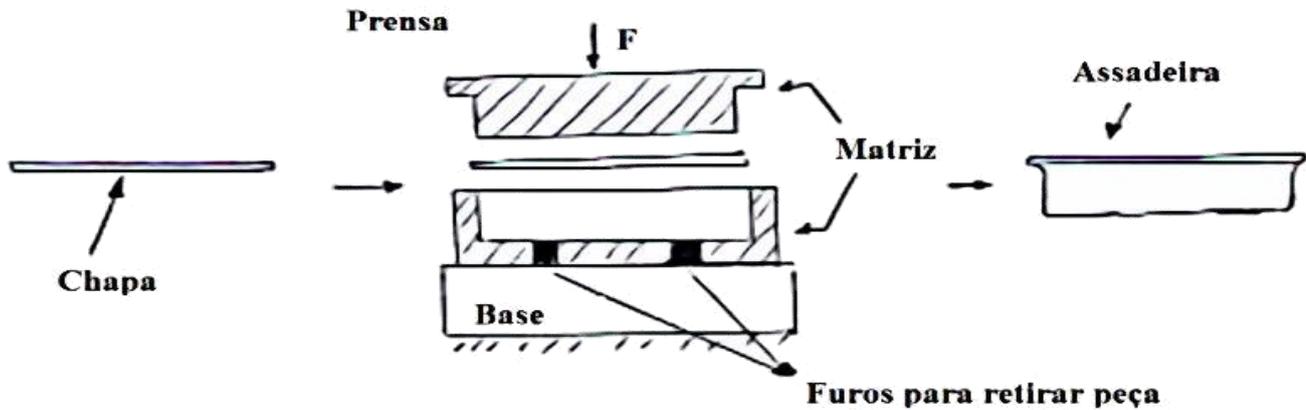


Hidráulica:

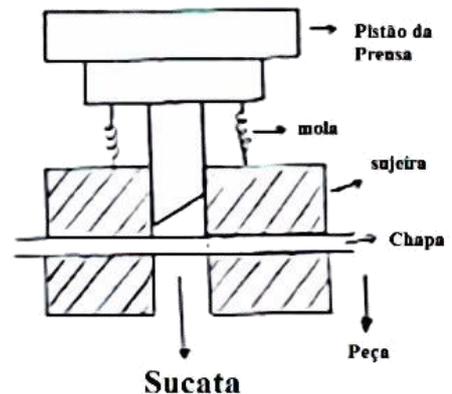
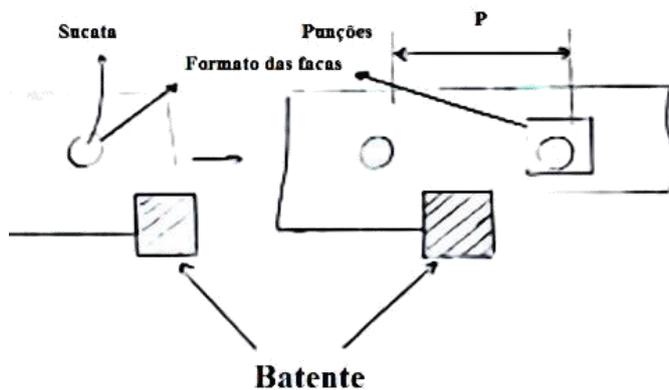


3.3.2-Estamparia:

- Estamparia é um processo utilizado em chapas para realizar cortes, dobras, cunhagem, posicionamento, embutimento e repuxamento.
- Alguns problemas são: elasticidade e tensões residuais



- Podem ser feitos cortes e dobras em chapas com espessura de até 5mm (1/4”).
- Na conformação com sujeitador, as propriedades mecânicas se mantêm constantes.



- O passo entre cortes (p) é a distância entre dois recortes consecutivos visando reduzir a sucata e esforço.
- Pode-se fazer uma estimativa de esforço e da eficiência:

$$\tau = \frac{F}{Pc * t}$$

$$\eta = \frac{z * Ae}{L * B}$$

Sendo:

τ : tensão de cisalhamento

F: força

Pc: perímetro de corte

t: espessura da placa

η : eficiência (peças)

z: número de peças feitas com a chapa

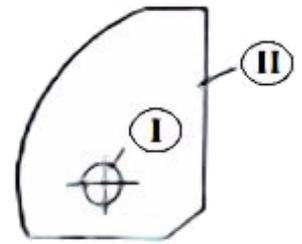
L: comprimento da chapa

B: largura da chapa

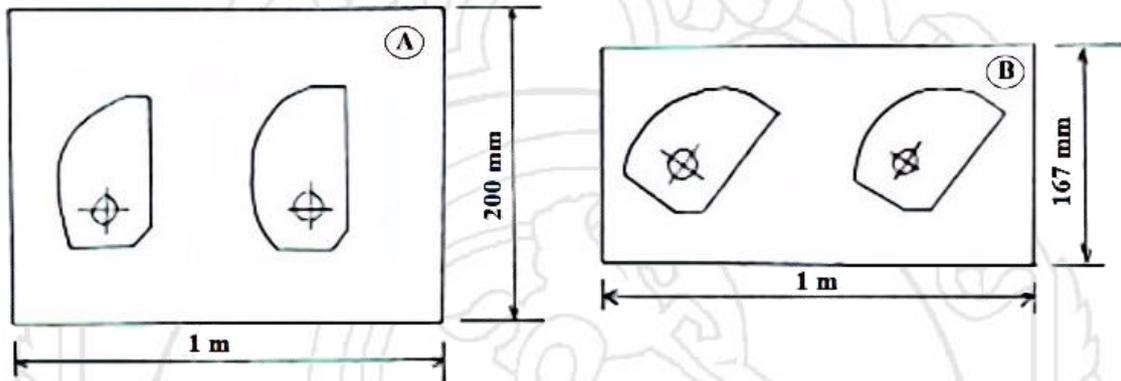
Ae: área externa

Exemplo:

Suponha que se queira fazer a seguinte peça, que é um recorte de uma chapa de espessura $t < 1/4''$. Escolhe-se o processo de conformação à frio, mais especificamente, a estamparia. Para se fazer tal peça, primeiro deve-se fazer o furo I e depois o recorte II.



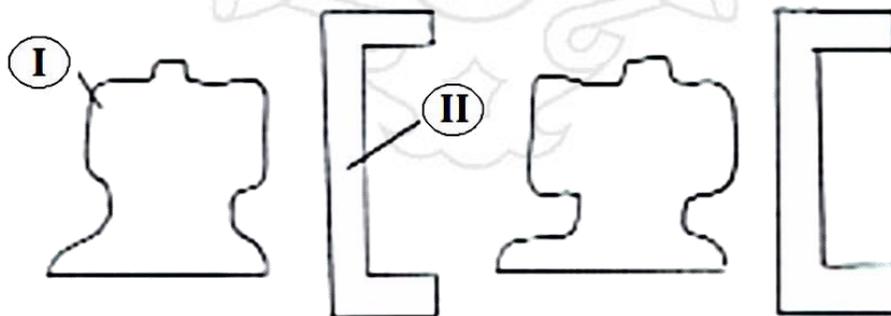
1. Como maximizar o aproveitamento das chapas?



2. Após fazer um processo de estampagem, a chapa vira sucata ou pode ser reaproveitada?

Pode se aumentar o passo entre cortes de modo que se possa produzir mais de uma peça na mesma chapa. Isto é, suponha que se estampe a peça I em primeira passagem (a peça I é estampada antes pois é mais complexa) e depois se estampe a peça II

Um método de alcançar alto grau de aproveitamento é utilizar o material de recortes inteiros ou se aproveitar de encaixes entre peças. Exemplo: fivelas de cinto de segurança.



3. O acabamento é bom nas regiões de corte?

Não, pois há deformação plástica na peça.

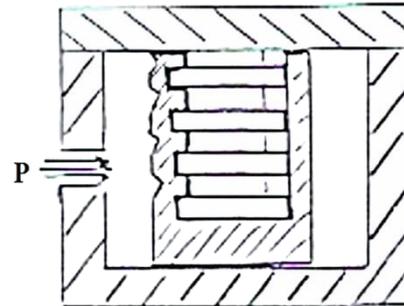
3.4-Conformação por pressão Interna:

3.4.1-Hidroconformação:

É um processo realizado com tubos ocos de espessura fina para produzir peças fechadas, únicas e de parede fina.

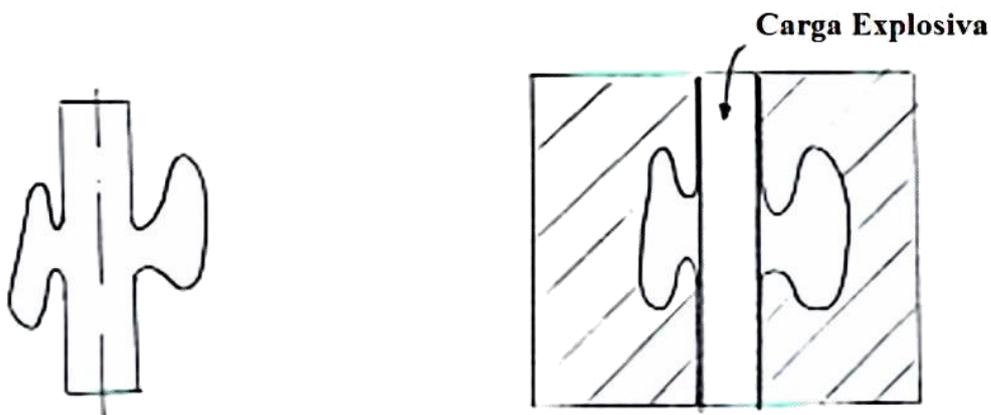


Apesar de estarmos estudando conformação por pressão interna, o processo ao lado é por pressão externa.



3.4.2-Blastforming:

Suponha que se queira fazer a peça A. Note que não é possível conformá-la por hidroconformação devido à sua complexa geometria. Nos utilizamos da blast-forming, que consiste em posicionar uma carga explosiva no interior de um tubo dentro de um modelo. É utilizado para taxas de deformação elevadas.

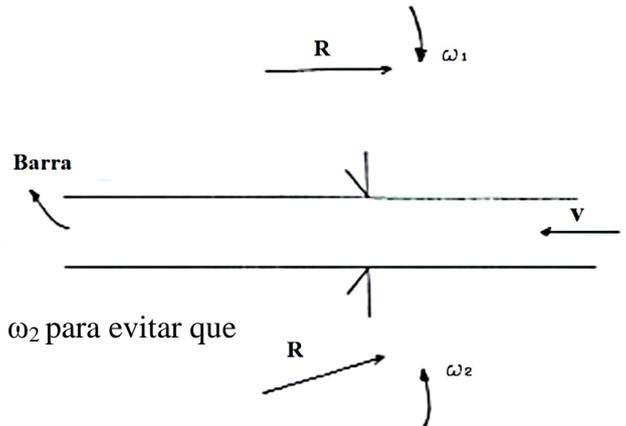


4-Cortes:

4.1-Prensas:

- O corte de chapas é feito em prensas.
- Tesouras: linha reta (contínua ou golpe).

Note que ω_1 deve ser aproximadamente igual a ω_2 para evitar que o corte saia aproximadamente reto.



- Matriz: forma plana qualquer.
- Essas chapas são finas ($t \leq 10\text{mm}$) e são cortadas a frio.
- Para esse tipo de processo ser economicamente viável, temos que produzir muitas peças, buscando a amortização do custo da ferramenta.

4.2-Calor:

Fusão do material ao longo do contorno, feita por: chama (oxi-corte com acetileno), laser ou plasma.

4.3-Jato Abrasivo:

Água + abrasivo expelidos em alta pressão.

Vantagens: não precisa de molde e não altera as propriedades mecânicas.

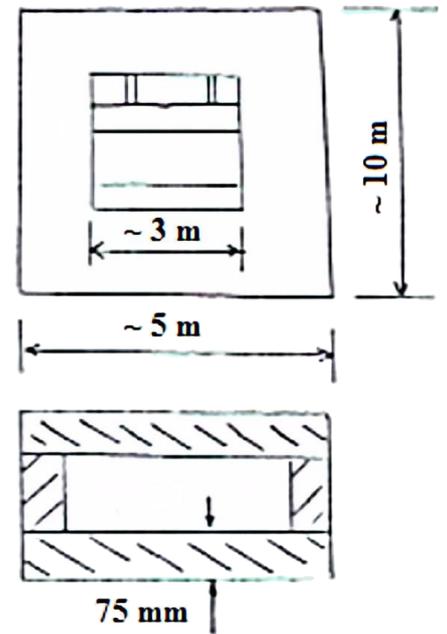
Desvantagens: processo lento.

4.4-Usinagem (Fresadora CNC):

- Flambagem da chapa.
- Vibração da chapa: piora o corte.
- Peças com geometria complexa.
- Custo alto.
- Poucas peças.

4.5-Abrasão:

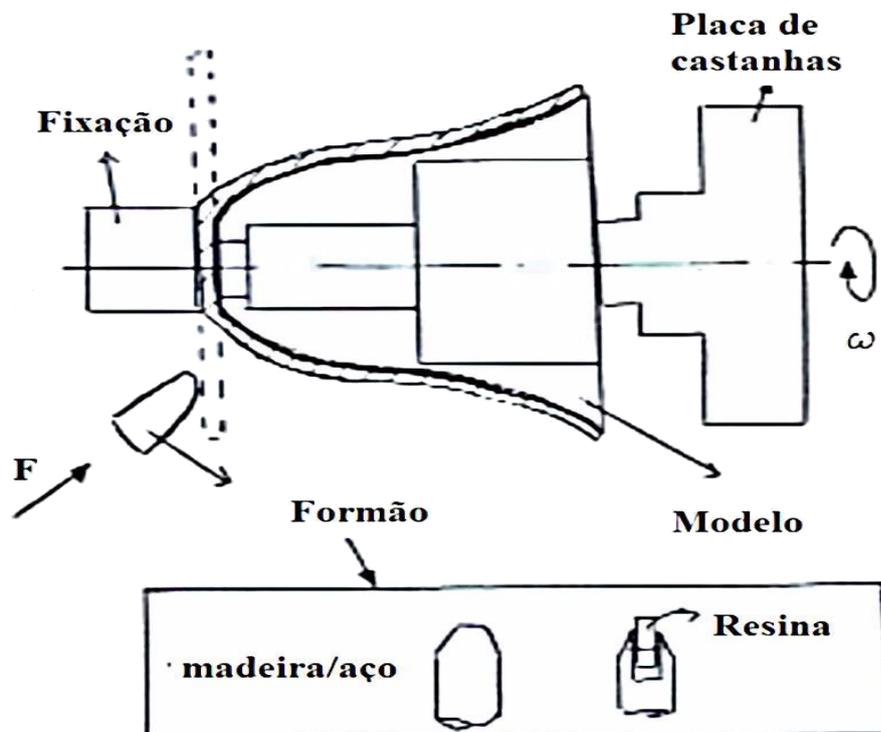
- Desgaste da chapa e da ferramenta.
- Aumento da temperatura.
- Ferramenta (disco poroso): diamante industrial, alumina (AlO_3) ou carborundum (WC) → sinterizado sobre uma alma de aço (metalurgia do pó).
- Adição de resina: aglomerante.
- Não se pode utilizar esse método para cortar chapas de alumínio ou latão devido ao baixo ponto de fusão e neste caso, o material derrete e gruda na ferramenta.



5-Conformação plástica:

5.1-Repuxamento (em torno):

- A fixação pode ser feita por parafusos ou por alguma trava magnética.
- O modelo pode ser feito com madeira, impressora 3D, polímero, resina ou cerâmica.

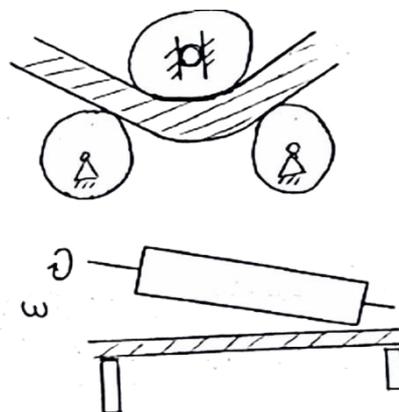
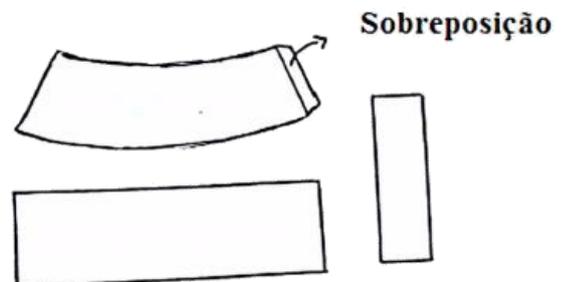
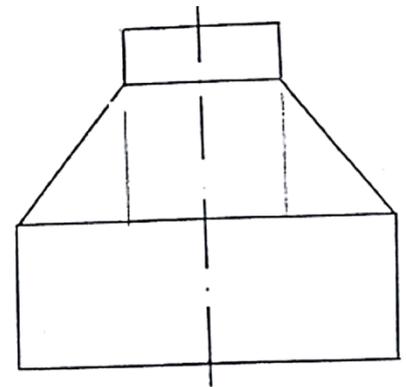


Introdução à Manufatura Mecânica

- O acabamento é excelente, mas as vezes é necessário realizar polimento para remover as marcas de dobra.
- É necessário um operador treinado para esse processo.
- Processo de conformação a frio.
- Pequenos lotes: modelo de baixo custo.
- Exemplo: cabeça de foguete.

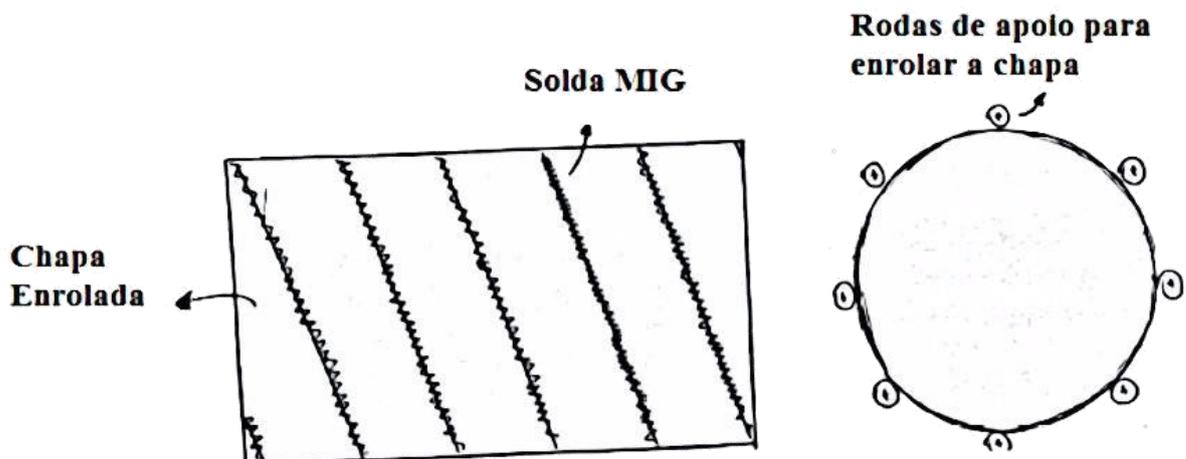
5.2-Caldeiraria:

- Fabricação com chapas cortadas, dobradas e unidas (solda ou rebites).
- Peças únicas, pequenos lotes.
- Sem modelo definido.
- Dada a peça que se deseja fazer, faz-se o desenvolvimento de superfícies (3D-2D) e enfim recorte da chapa.
- Suponha que se queira fazer a peça ao lado (a superfície externa da peça ao lado). Fazendo o desenvolvimento dessa superfície, obtemos a seguinte chapa:
- Fazemos o recorte desses desenhos e para curvar as chapas realizamos a calandragem que é o processo no qual entorta-se a chapa para formar a seção cônica e a seção cilíndrica.



Calandragem

- Há um gabarito para verificar se a peça está de acordo com o desenho. O gabarito pode ser de madeira.
- A união entre as pontas sobrepostas pode ser feita por rebites ou soldagem.
- Tubos de grandes diâmetros são feitos por caldeiraria. Um exemplo são as tubulações do metrô, que consistem em uma chapa enrolada de maneira especial.



6-Usinagem:

São os processos de fabricação com remoção de material. Quando usamos usinagem?

- Quando não conseguimos conformar a peça em questão.
- Quando é necessária uma grande precisão, isto é, alta qualidade de trabalho.
- Quando não compensa fazer o modelo para conformação (ou poucas peças).



Existem basicamente três tipos de métodos de usinagem: corte, abrasão e eletroquímico.

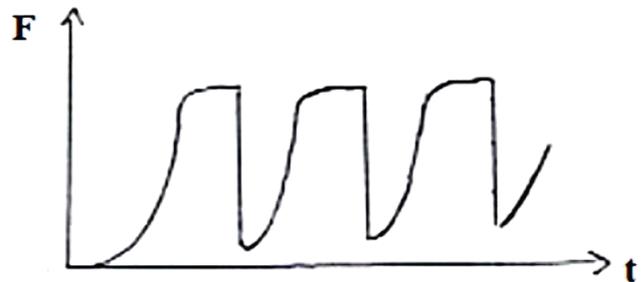
7-Cortes:

Há formação de cavaco (processo cíclico) que depende da geometria do corte, da geometria da ferramenta, do material da peça e ferramenta, da velocidade e do avanço.

Deformação elástica → Deformação plástica → Ruptura (cavaco)

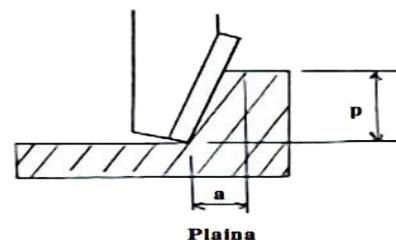
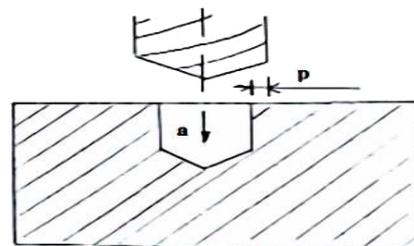
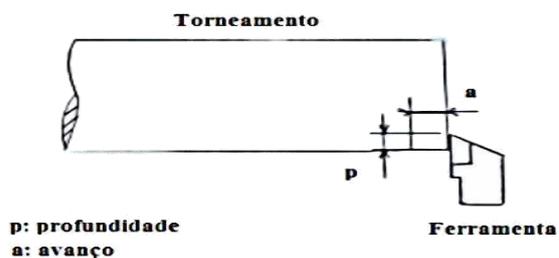
Exemplo: PVC (o cavaco sai contínuo pois o ponto de fusão do PVC é baixo então o PVC derrete e logo se solidifica) e alumínio (o alumínio pode fundir e se solidificar na ferramenta formando uma aresta postiça de corte. Esse processo é chamado de empastamento).

Quando dizemos que o processo é cíclico entende-se que a força oscila com o tempo: a força é resultante do atrito e da normal (força de corte) entre a peça e a ferramenta.

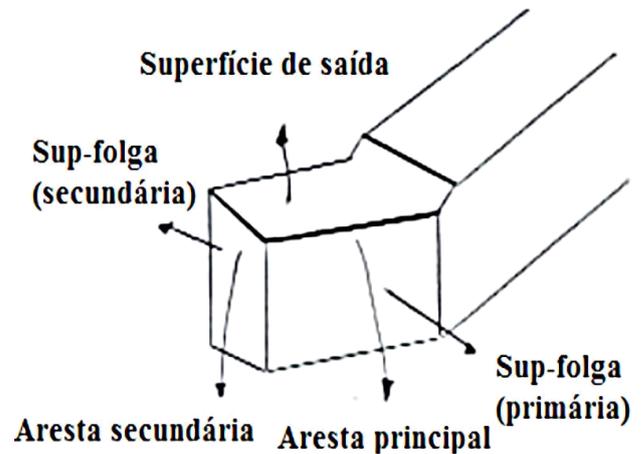
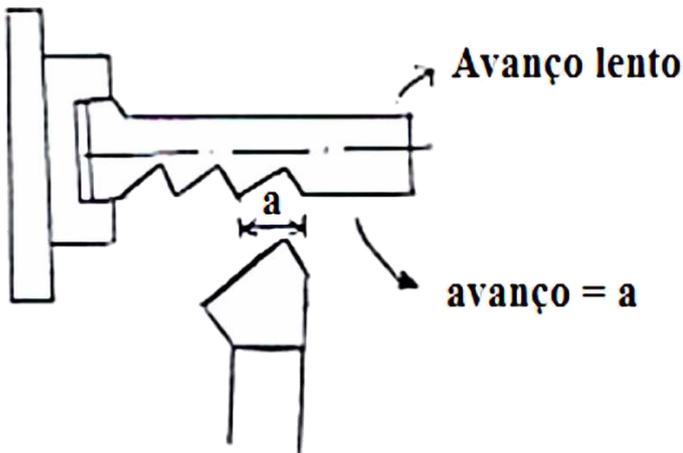


7.1-Torneamento:

Antes de discutir sobre torneamento, vamos definir avanços e profundidade nos processos de usinagem.



8-Geometria de Corte:



9-Nomenclatura de corte (DIN 6580):

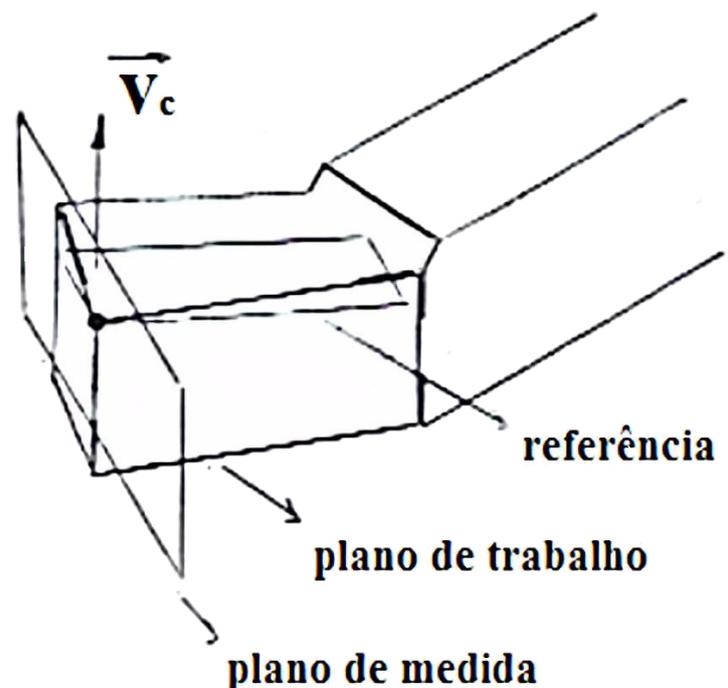
9.1-Movimentos:

Corte: é o movimento relativo entre a peça e ferramenta para geração de pelo menos 1 cavaco. No torno, o movimento de corte é a rotação da peça em relação à ferramenta.

Avanço: é o movimento que promove a repetição ou continuidade do corte. No torno, é o movimento longitudinal da ferramenta.

Resultante: composição dos movimentos de corte e avanço.

Aproximação: é o movimento que ocorre do ponto de troca do ferramental até a vizinhança da peça. Importante no cálculo do tempo de um processo de usinagem.



Introdução à Manufatura Mecânica

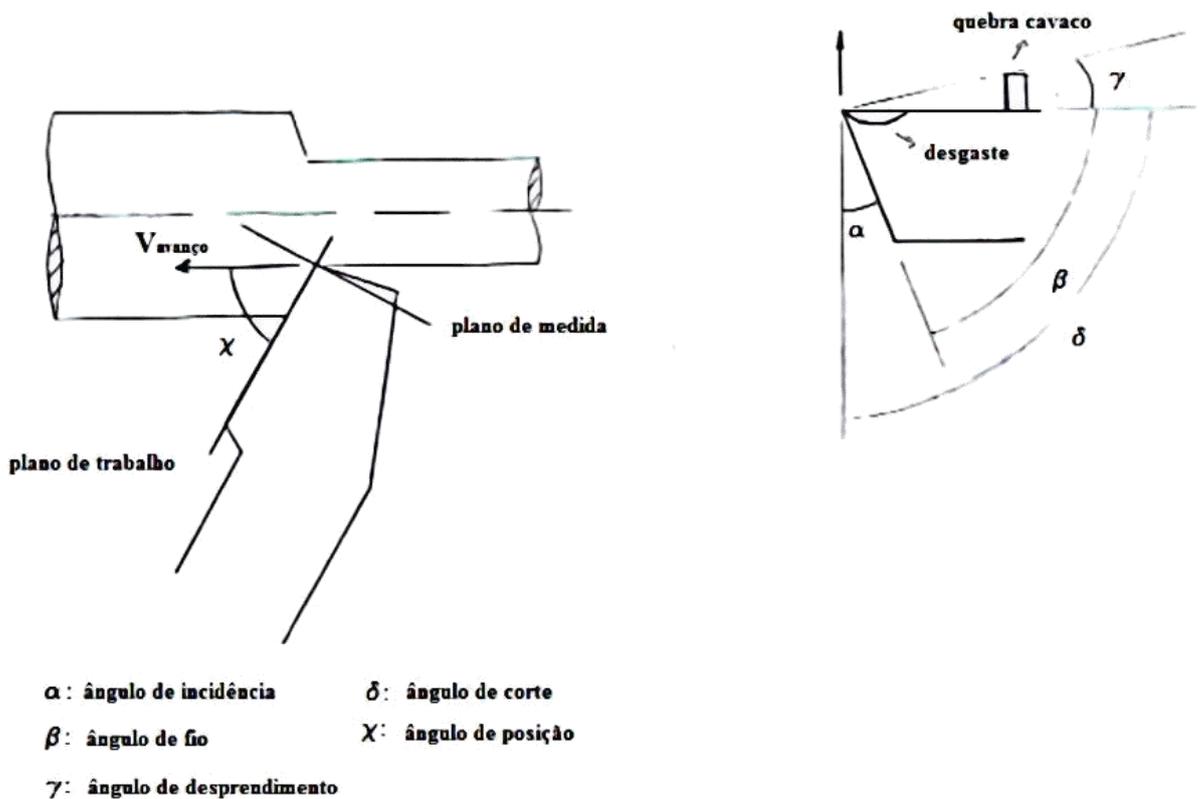
Velocidade de corte: é a velocidade do ponto de referência (pertencente a aresta de corte) em relação à peça, segundo sua direção e sentido. Tangencial ao movimento do corte.

Plano de referência: plano perpendicular a velocidade de corte v_c que passam pelo ponto de referência adotado.

Plano de trabalho: plano composta pela velocidade de corte que contém a superfície de corte, passando pelo ponto de referência adotado.

Plano de medida: plano ortogonal aos planos de referência e trabalho passando pelo ponto de referência.

9.2-Ângulos:



10-Materiais de ferramentas:

10.1-Aço Rápido (HSS):

HSS: High Speed Steel

1\$

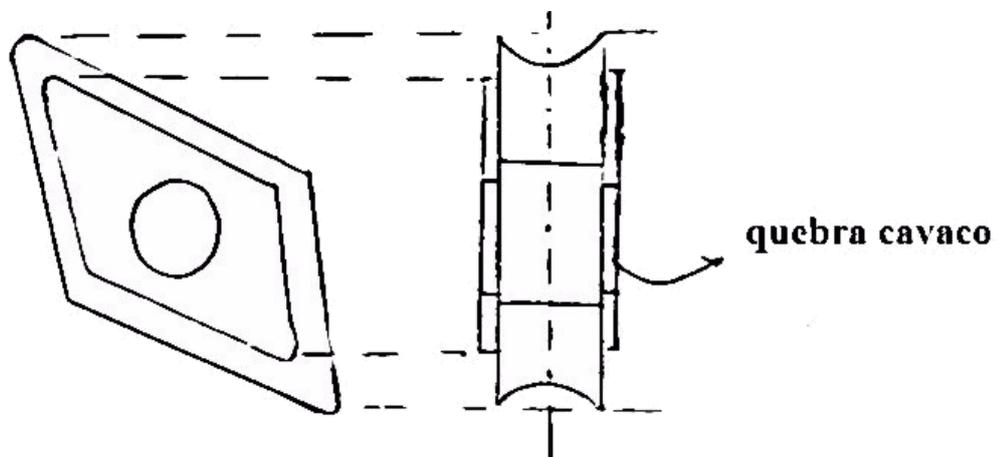
- Ferro + Carbono (0,5% C) + Crômio + Molibdênio + Vanádio + Tungstênio + Manganês.
- Não é muito mais utilizado na indústria.
- Brocas de madeira de casa.
- Mantém propriedades mecânicas em temperaturas elevadas.
- Resistência ao desgaste.

10.2-Carbetes metálicos:

Metal duro

2\$~5\$

- Tungstênio, Molibdênio, Nióbio, Titânio e Cobalto (este último ajuda a integrar o carbono e ferro).
- Sinterização (metalurgia do pó): cozimento de pó sob pressão
- Ver catálogo da Sandvik (Coramat).
- Mantém propriedades mecânicas em temperaturas elevadas por mais tempo que o HSS.



10.3-Revestimento com óxido de alumínio, titânio ou óxido de titânio:

5\$~10\$

- Redução de atrito e melhoria da troca de calor: aumento da vida útil.
- Aspecto visível dourado.

10.4-Cerâmica:

100\$

- Volume de cavaco muito superior.
- Usinagem de alto desempenho: retira mais material com mínimo aumento no esforço da máquina.

11-Ferramentas de corte:

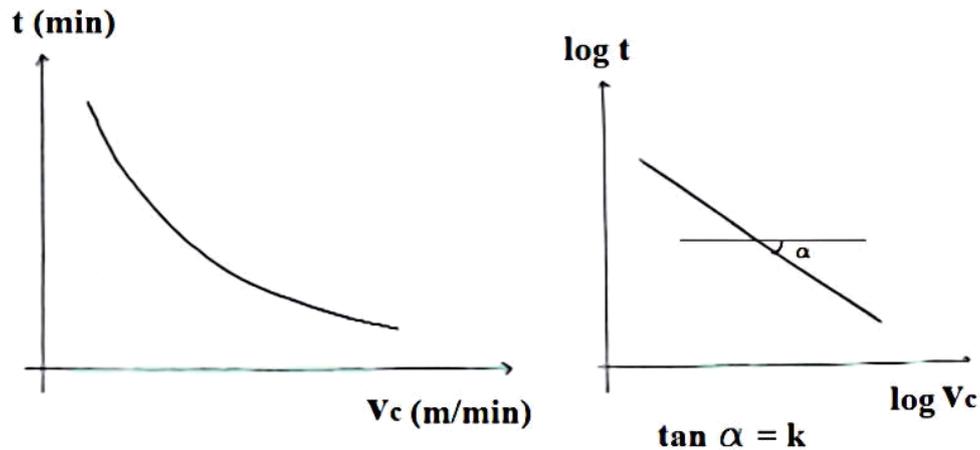
- Ferramentas de corte são feitas de metal duro.
- Classificam-se as ferramentas pela norma ISO 513, de acordo com o uso:

P	Aços	Azul
M	Universal	Amarelo
K	Ferro fundido (não ferrosos)	Vermelho

- Associa-se um número que representa o máximo esforço de corte. Retomando alguns conceitos temos que a velocidade de corte (V_c) é aquela aplicada no ponto de referência, tangencial ao movimento de corte.
- Vamos supor as condições de desgaste uniforme, ou seja: fixar ângulos, avanço e profundidade.

Introdução à Manufatura Mecânica

- Nessa situação, temos os seguintes resultados empíricos:



$$V * T^K = \text{constante} \quad (\text{Fórmula de Taylor})$$

- Os K's são obtidos experimentalmente e fornecidos pelo fabricante:

Material usinado	Ferramenta	
	HSS	MD
Fofo	0,25	0,15
Aço/C	0,15	0,2 ~ 0,3
Alumínio	0,14	0,4

Exemplo:

Suponha que se queira tornear um cilindro de aço AB com diâmetro de 100 mm, com um avanço de 0,4 mm/volta com profundidade de 25mm. Suponha que se use uma ferramenta P20 com tempo de vida de 40 minutos para 91m/min.

Qual a rotação do torno para a vida de 40 minutos?

Pela definição de velocidade de corte temos:

$$V = \omega \cdot R = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

Sendo: [d] = mm; [n] = rpm; [V]= m/min

Substituindo numericamente temos que n tem valor aproximado $n = 290\text{rpm}$. Suponha que no torno só existam as velocidades de rotação 250rpm e 400rpm . Calculando o tempo de vida nessas condições temos que $T(250) = 59\text{ min}$.

Observação: neste caso devemos pegar a rotação menor, de 250rpm , uma vez que rotações maiores promoverão fadigas na peça mais rapidamente.

12-Forças de corte:

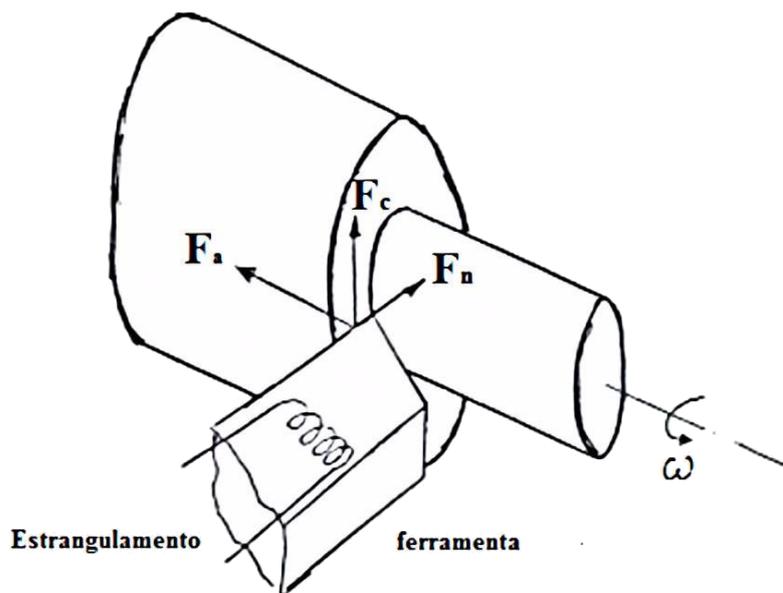
- Pode-se encontrar dados experimentais sobre forças de corte em uma teoria desenvolvida por Kienzle na década de 50. Na década de 90, modelou-se computacionalmente essa teoria utilizando o método de elementos finitos.
- Usinagem com grande remoção de cavaco: utiliza-se o strain-gage (estrangulamento) para medir as forças aplicadas na ferramenta.
- Relações existentes:

$$K_s * h^z = K_{s11} \quad F_c = K_s * h * b$$

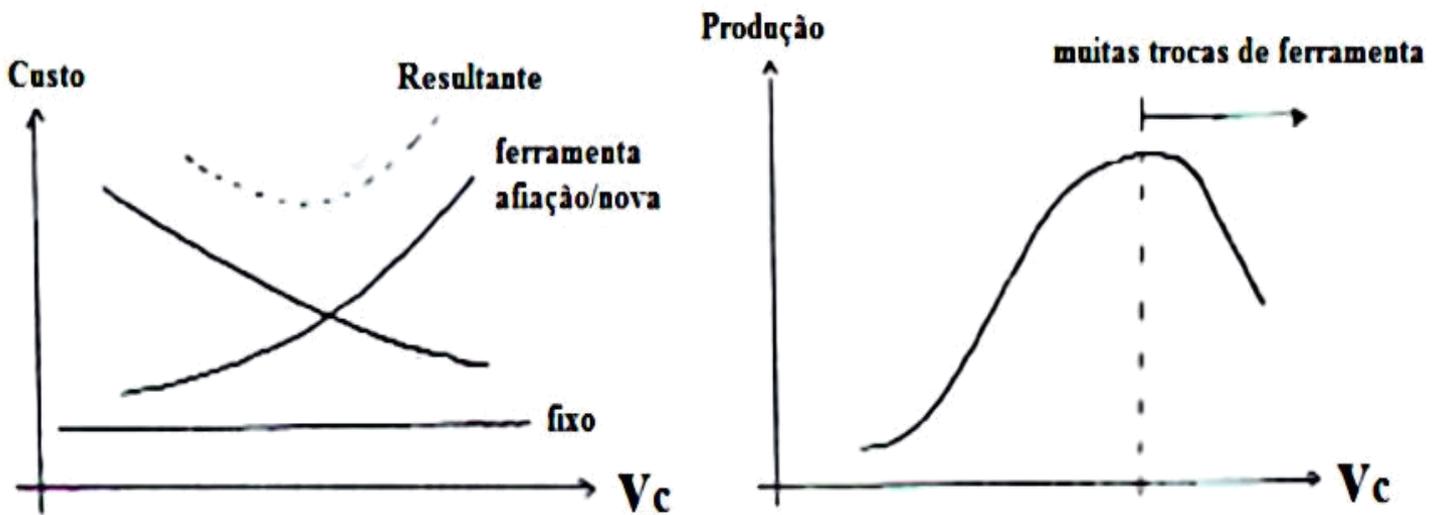
Em que h é a espessura de corte, b é a largura de corte e K_{s11} é a pressão unitária de corte, ou seja, a força necessária para a remoção de 1 cavaco de 1mm por 1mm. Juntando-se as duas relações temos:

$$F_c = K_s * S = \frac{K_{s11} * b * h}{h^z} = K_s * b * h^{(1-z)}$$

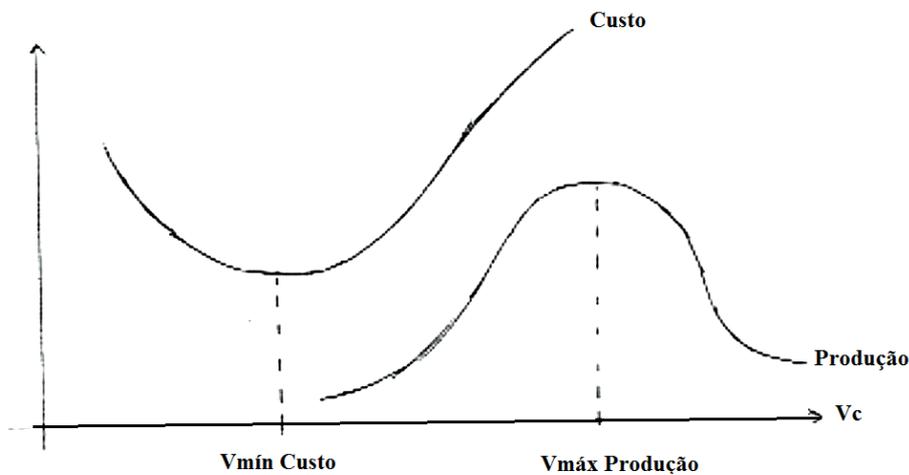
Observação: essa relação não é uma lei física, é apenas um ajuste de curvas.



13-Custo x Produção:



Juntando os dois gráficos acima num único plano cartesiano, temos:



Gilbert desenvolveu um modelo matemático para máxima produção e mínimo custo. Essas equações são chamadas Equações de Gilbert.

Máxima Produção:

$$T_{MP} = \left(\frac{1}{K} - 1\right) * [t_{ft} + t_{fa}]$$

Sendo:

K: da fórmula de Taylor

t_{ft}: tempo de troca de ferramenta

t_{fa}: tempo de afiação da ferramenta

Mínimo Custo:

$$T_{MC} = \frac{60 * \left(\frac{1}{K} - 1\right) * K_{ft}}{S_h + S_m} + \left(\frac{1}{K} - 1\right) * [t_{ft} + t_{fa}]$$

Sendo:

K_{ft}: custo de ferramenta por peça

S_h: salário por hora do operador

S_m: custo por hora da máquina

Custo de corte (K_c): $K_c = \frac{t_c * (S_h + S_m)}{60}$

Tempo de corte (t_c): $t_c = \frac{1}{a * N}$

Tempo total (t_{TOT}):
 $t_{TOT} = t_c + t_{np}$

Custo de ferramenta

(K_f): $K_f = \frac{K_{ft}}{N'}$

Peças por vida

(N')*: $N' = \frac{T_{MP}}{t_c}$

Fórmula para produção

por hora(PH):

$$P_H = \frac{60}{t_{TOT}}$$

Custo não produtivo

(K_{np}): $K_{np} = \frac{t_{np} * (S_h + S_m)}{60}$

Tempo de troca por peça

(t_r): $t_r' = \frac{t_r}{N'}$

Custo total por peça

(K_T): $K_T = K_c + K_f + K_{np}$

Tempo não produtivo

por peça (t_{np}):
 $t_{np} = t_r' + t_a + t_s$

Sendo:

t_a=tempo de aproximação

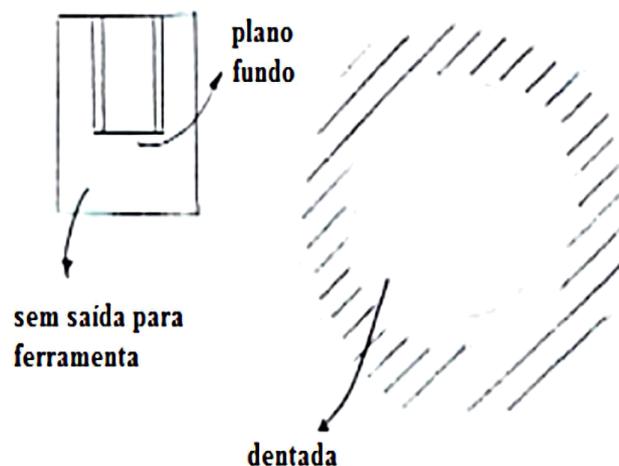
t_s=tempo secundário

*Se o número de peças por vida der um valor decimal devemos analisar qual o máximo valor que garante o acabamento uniforme entre peças. Por exemplo, se $N' = 4,33$ devemos deixar como $N' = 4$ peças. Por outro lado, se $N' = 5,99$ convém deixar como $N' = 6$ peças.

Rendimento: o rendimento (se não for dado) por ser considerado aproximadamente 85%

14-Metalurgia do pó:

- Suponha que se queira produzir a peça ao lado. A fundição não garante a precisão desejada pois não há saída para ferramenta.
- O fundo é plano logo uma broca não corta.
- Deste modo a usinagem não consegue fazer essa peça: utiliza-se a metalurgia do pó.



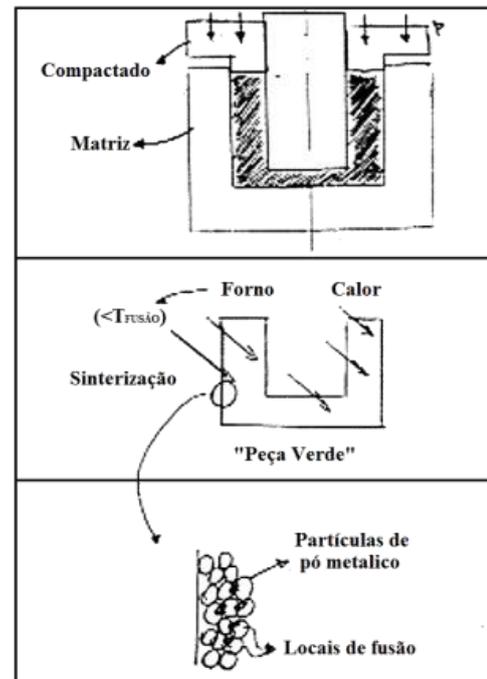
14.1- Características:

- Fabricação de peças onde a usinagem não é possível, desejável ou prática.
- Peças porosas (20% mais leves que suas respectivas usinadas e apresentam menor resistência).
- Efetuada a partir de pós metálicos e resina aglomerante.

14.2- Aplicação:

Grande quantidade, peças complexas

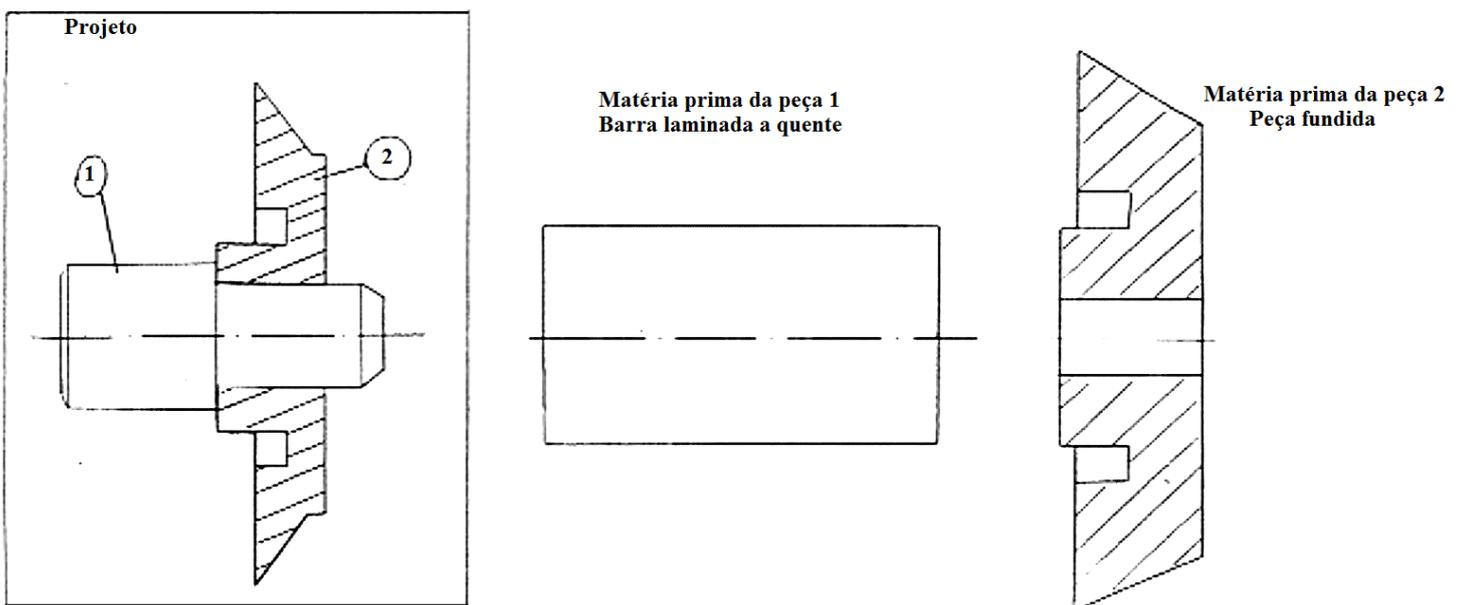
- Ferramentas de corte.
- Mancais de deslizamento → lubrificação permanente (poroso).
- Observação: não há usinagem subsequente.
- Höganäs: fabricante de pó metálico (mais de 1 milhão de peças).



14.3-Problemas:

- Custo do ferramental.
- Baixa precisão.
- Projeto e fabricação complexos.
- Fadiga.
- Desgaste.

15-Planejamento da seqüência de operações:



Como deve ser o arranjo da fábrica?

Qual o volume de estoque de peças (inicial e intermediário)?

Simuladores de linha de produção.

Operação individual.

Simulador de plantas (Siemens Tecnomatix).

16-Planeamento:

Usinagem por plaina

É possível usinar qualquer contorno com o perfil de corte da ferramenta.

$$F_c = K_{S11} * b * h^{(1-z)}$$

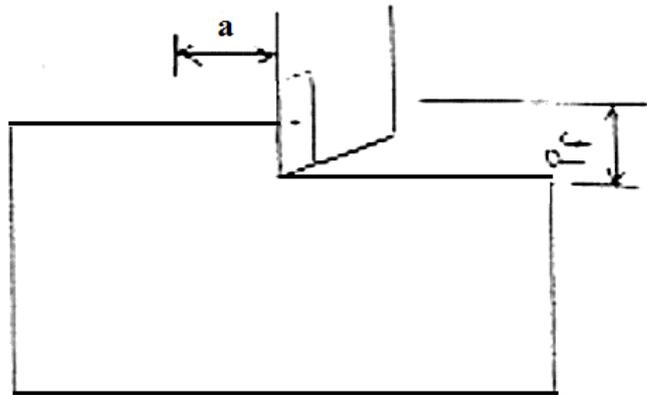
Sendo:

K_{S11} : pressão unitária de corte

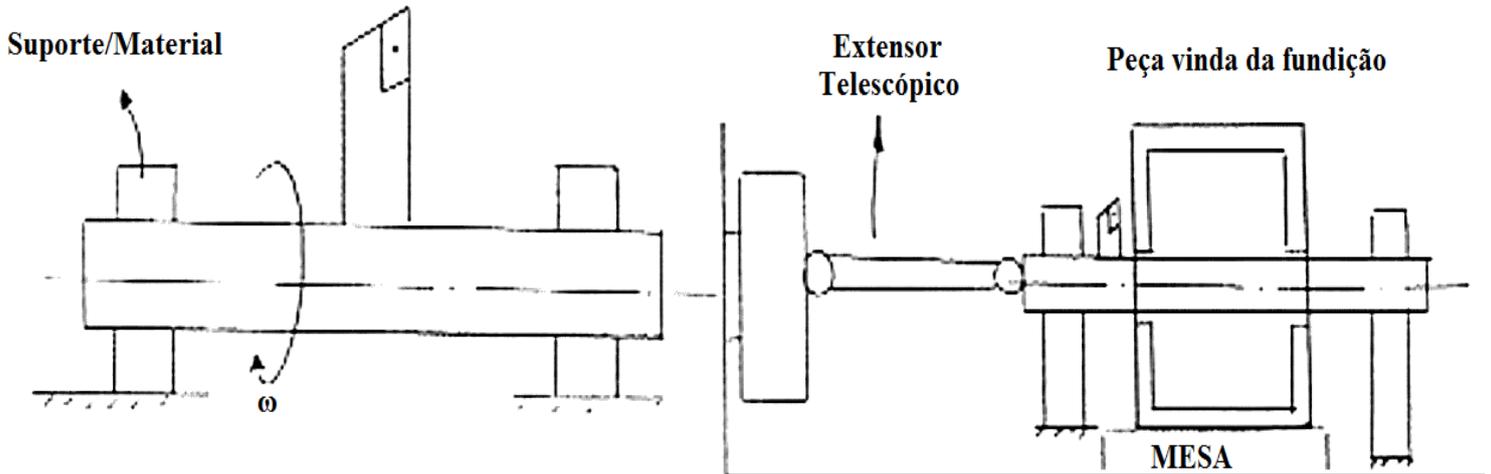
b : largura de corte

h : espessura de corte

z : valor experimental



17-Mandrilhamento:

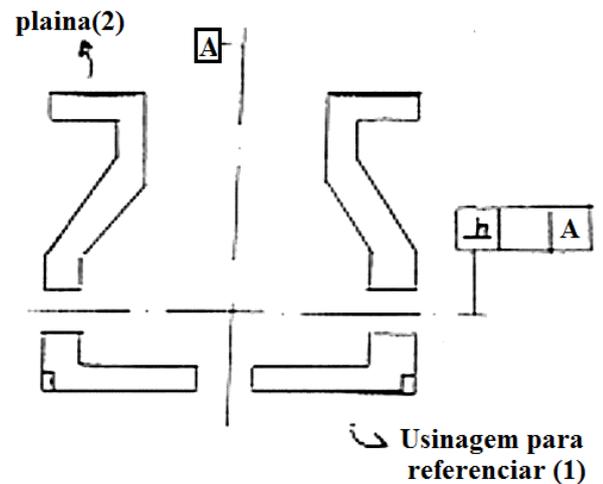


Exemplo: caixas de câmbio

18-Linhas de Usinagem:

10×10^6 unidades por ano

- Referenciar a peça no sistema de fixação de linha.
- Linha de usinagem.
- Sequência de operações com a peça fixada no mesmo suporte.
- Grande quantidade de peças.



19-Centro de usinagem:

Realiza várias operações numa mesma peça (uma peça por vez).

20-Torno:

- Peça movimentada conforme o corte.
- Ferramentas acionadas.
- Ferramentas não acionadas.

21-Fresadora:

- Peça movimentada apenas conforme o avanço.
- Corte: ferramenta acionada.

22-Comando numérico por computador (CNC):

- Origem: 1960 para usinagem de superfícies complexas (exemplo: dupla curvatura).
- Trajetória: conforme descrição matemática.
- CNC gera um código de instruções para acionamento dos movimentos da máquina e ferramenta.

23-Linguagem de programação:

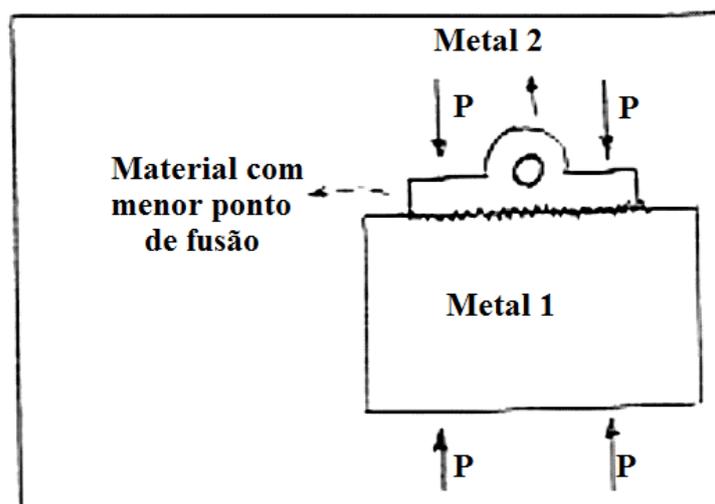
- Código “G”, padrão.
- CAD → CAM (para metros de corte, ferramenta e máquina).
- Movimentos, troca de ferramenta, velocidade de rotação.
- Controle da peça inicial: preparo das peças iniciais.

24-Uniões metálicas:

- Desmontável: parafusos.
- Permanente: separação implica em danificar ou destruir uma ou mais partes da união (exemplo: adesivo, rebites).

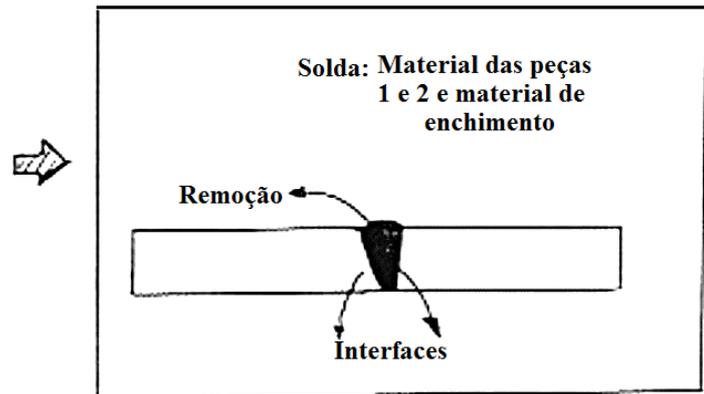
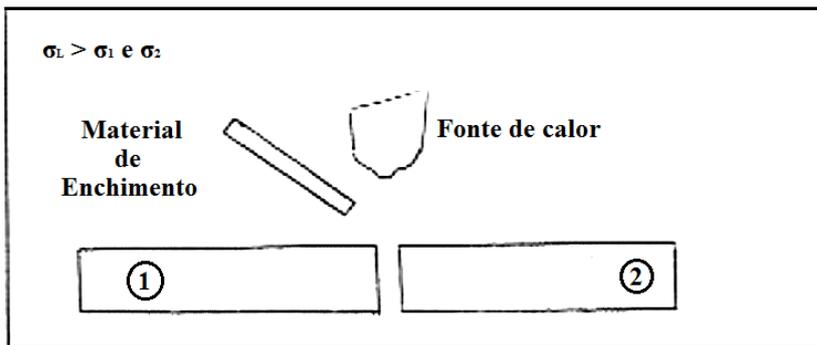
25-Caldeamento (Soldering):

- União por pressão e calor.
- Um exemplo de aplicação é a fabricação de telas a partir de fios metálicos.
- Defeitos eletroquímicos.



26-Solgaem (Welding):

- Fusão das peças a serem unidas.
- Continuidade da peça.
- Fontes de calor: arco elétrico, chama ou plasma (em ordem crescente de espessura e profundidade).



26.1-Arco elétrico:

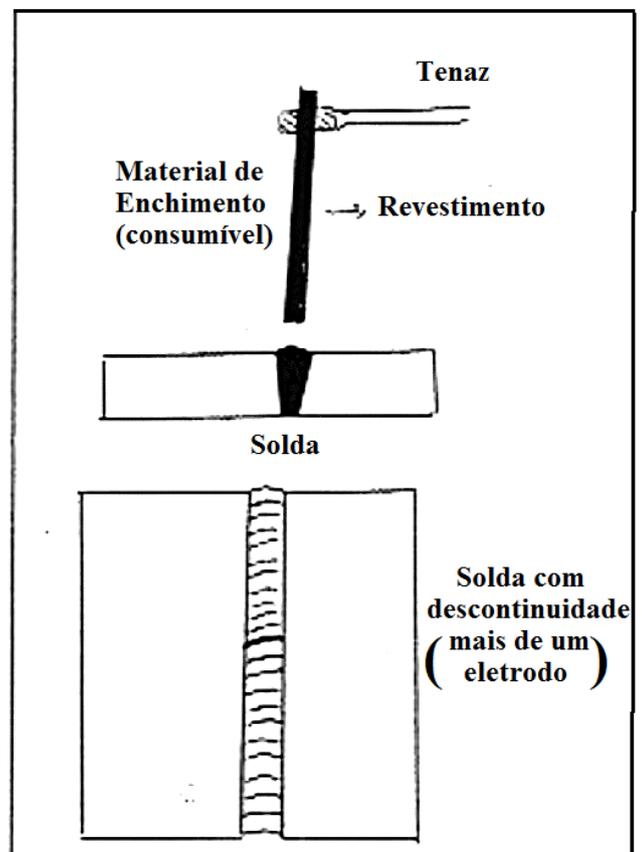
Eletrodo liso.

Eletrodo revestido: direcionar o arco elétrico.

- Construções ligeiras, sem grande exigência estrutural.
- ZTA: zona termicamente afetada.
- Temperaturas provocam mudanças na composição, estrutura e fases → variação de propriedades mecânicas (aumento da fragilidade).

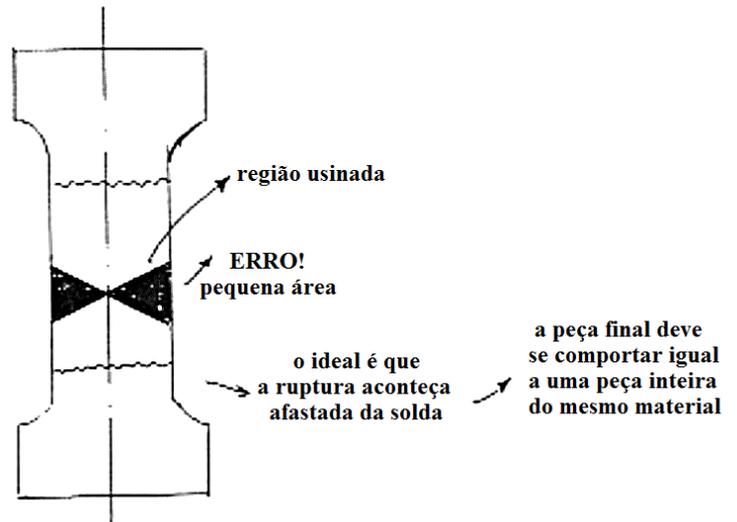
Eletrodo "permanente": de tungstênio.

- Ponto de fusão maior do que a temperatura do arco.
- Melhor controle do arco.
- Uso de gás inerte: solda MIG e TIG (evita a difusão de gases para as peças).



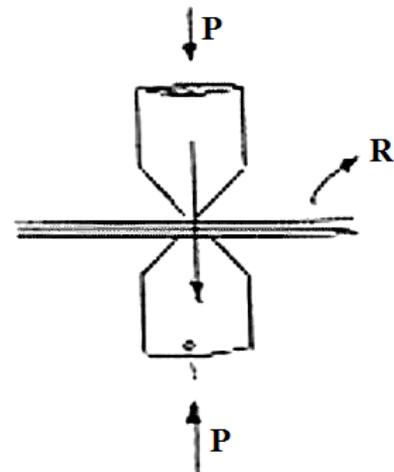
Preparo:

- Usinagem da região a ser unida: aumento da área soldada e garantia de penetração da solda na espessura.
- O ideal é que a ruptura aconteça afastada da solda.
- A peça final deve se comportar igual a uma peça inteira do mesmo material.



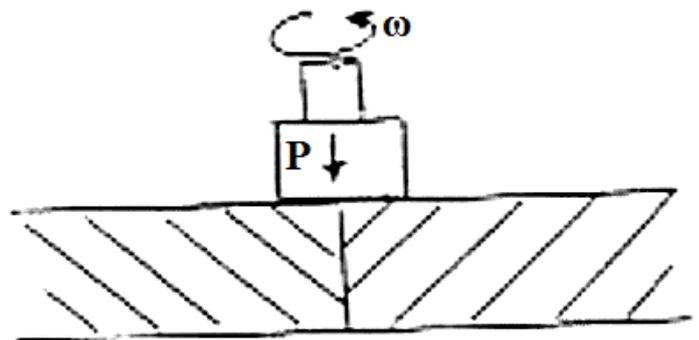
Solda por resistência.

- Efeito Joule: fusão das chapas.
- Pontos de soldagem.



FSW: soldagem por atrito e agitação (friction stir welding):

- “Fresa cega”.
- Trajetória da ferramenta: livre.
- Menor ZTA.
- Eclipse aviation.

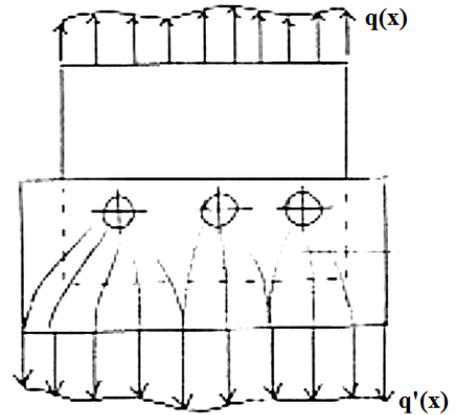


Problema: tensões residuais

27-Parafusos:

Caso particular de união por rosca, utilizado quando a desmontagem for frequente ou por necessidade (portanto, é desmontável). Evitar se não houver necessidade de desmontagem, porque:

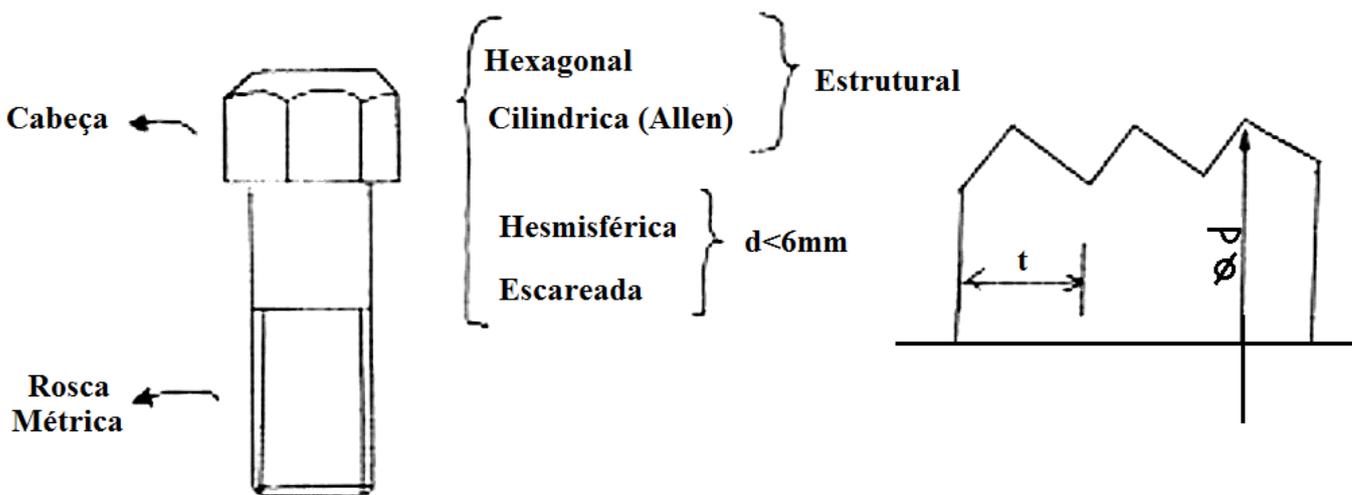
- Difícil de automatizar a montagem
- Desmontagem acidental
- União com concentração de esforços
(Representada ao lado)



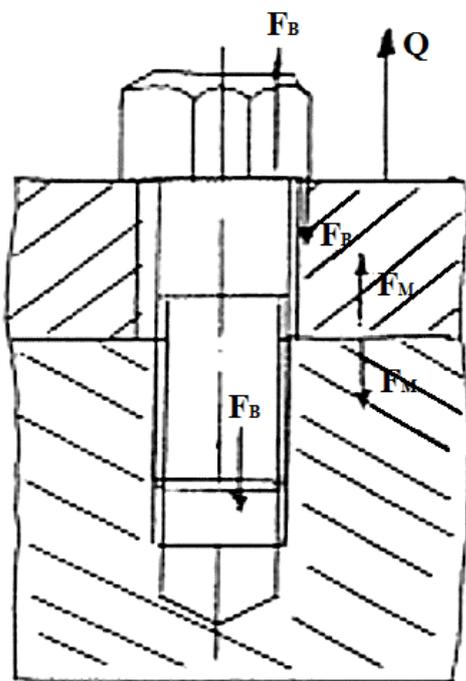
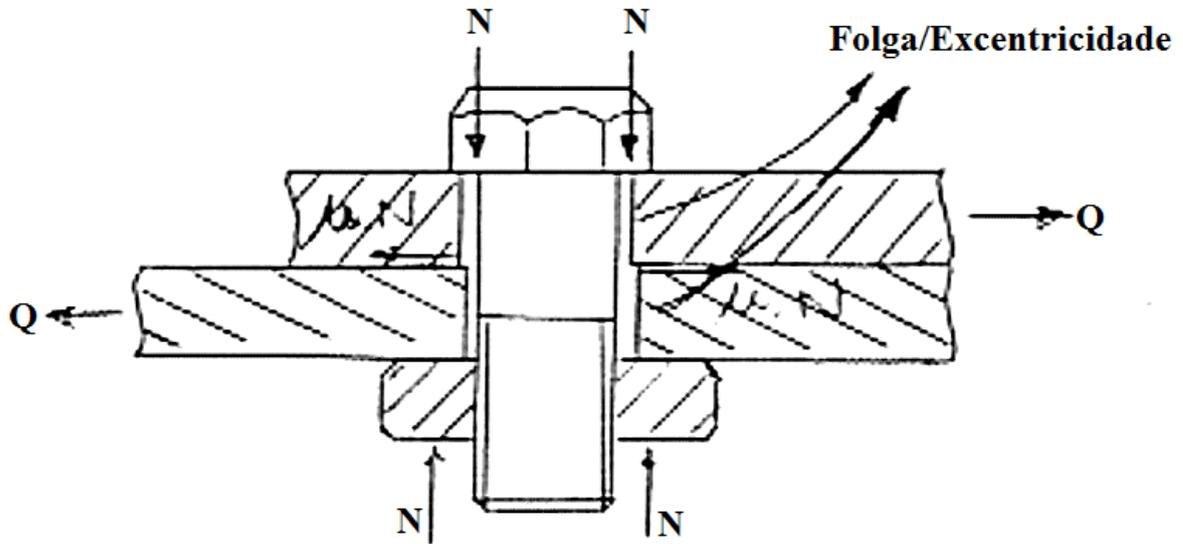
Existem dois tipos de aplicação para parafusos:

- Estrutural: Cargas principais
- Não-Estrutural: Posicionamento

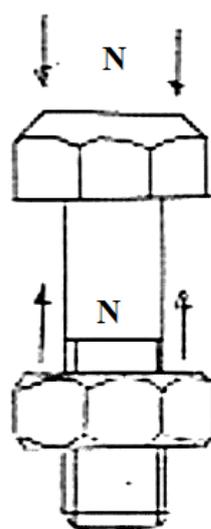
Parafuso só funciona em tração.



27.1-Funcionamento da junção:



Parafuso Tracionado



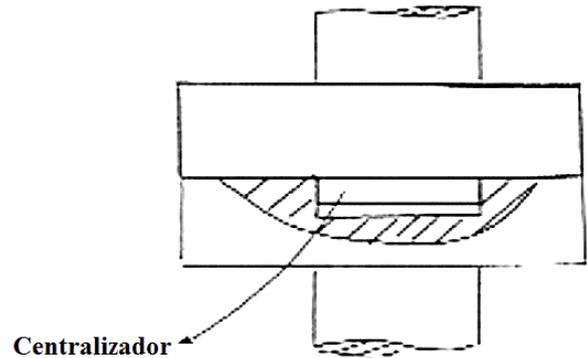
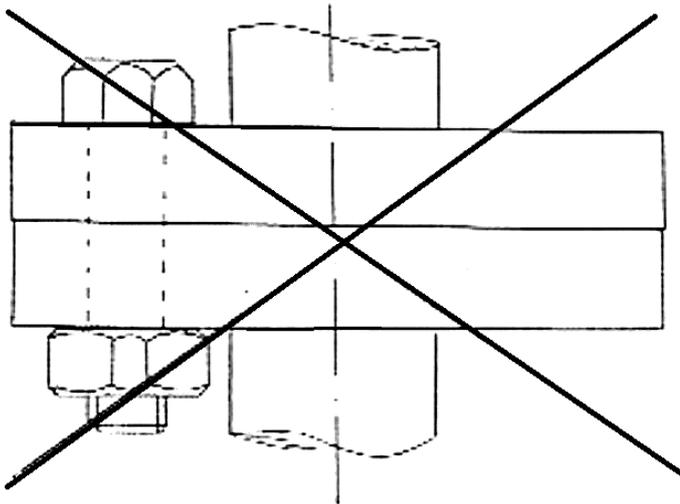
Parafuso Tracionado

↕
Não há
cisalhamento,
flexão

↕
Superfícies não planas,
eixo do parafuso não é
ortogonal aos planos

27.2-Cuidados:

- Não deve estar sob cisalhamento ou flexão.
- Controle do aperto inicial: torquímetro ou sequência de aperto.
- **O parafuso não deve ser usado como guia.**



27.3-Fabricação:

Parafusos metálicos:

- Conformação.
- Cabeça: recalque e forjamento.
- Rosca: laminação.

Outras roscas externas e parafusos:

- Usinagem (torno, cossinete).

Roscas internas:

- Usinagem (torno, macho).
- Conformação (rosca interna de porcas).
- Exemplo: montagem de tampa de um motor bicilíndrico.
- Usinagem em centro de usinagem para roscas internas de diâmetro grande.
- Entrelace com fios de aço: evita desmontagem acidental.

28-União de peças com materiais não idênticos:

Metais:

- Cuidado com o par galvânico (corrosão eletroquímica).
- Corrosão por fresta.

Materiais diferentes:

- Resistência ao esmagamento.
- Exemplo: “móveis Casas Bahia”.

Material com pouca resistência:

- Rosca soberba.
- Parafuso “usina” a rosca e o furo.