



Introdução à Manufatura Mecânica

PME-3221

Prof. Dr. Marcelo Alves

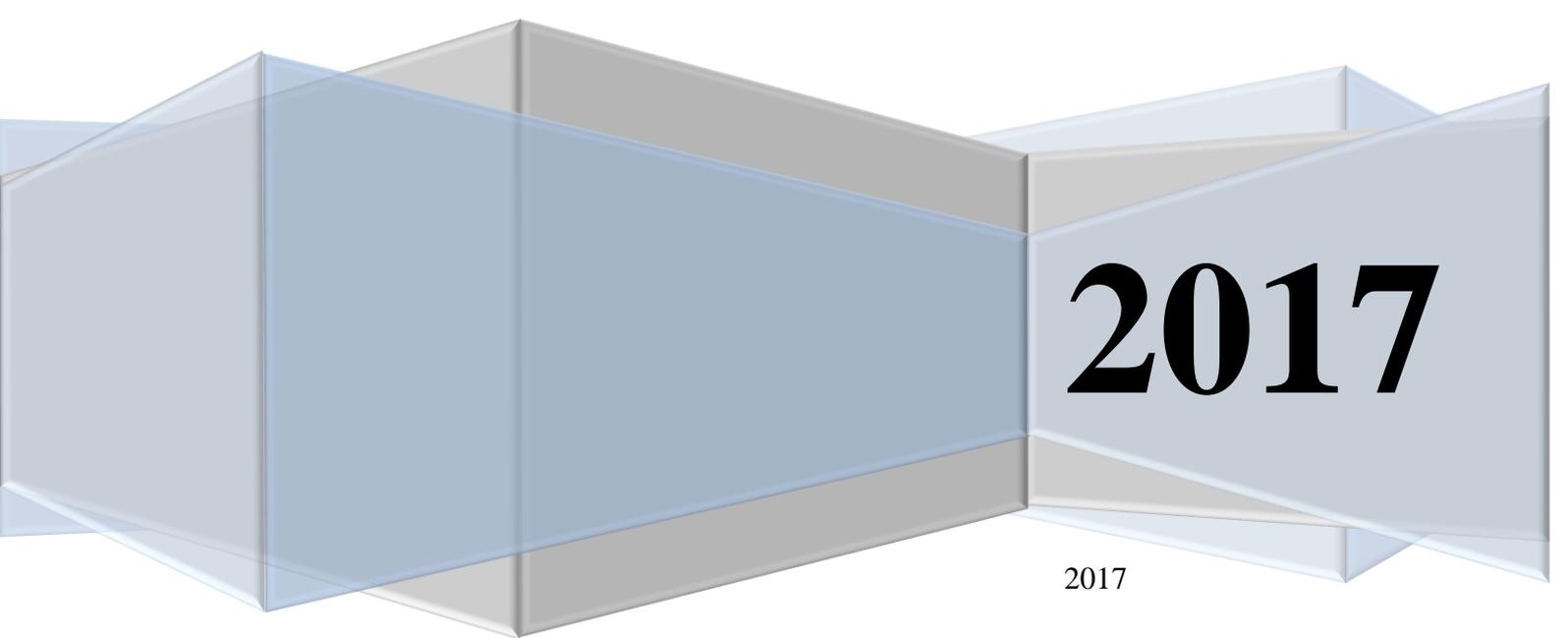
3ª Edição

Introdução à Manufatura Mecânica

PME-3221

Prof. Dr. Marcelo Alves

3ª Edição



2017

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	4
1.1	Critério de Avaliação	4
1.2	Bibliografia	4
1.3	Datas de provas	11
1.4	Horário de Atendimento	11
2	Fundição	12
2.1	Fundição em moldes de areia.....	12
2.2	Fundição com cera perdida/casca	13
2.3	Fundição em molde metálico ou permanente	14
3	Usinagem.....	14
3.1	Como funciona a Usinagem?	15
3.2	Processos de Usinagem.....	16
3.2.1	Geometria de Corte.....	16
3.3	Nomenclatura de Corte (DIN 6580)	16
3.4	Materiais de Ferramentas	18
3.5	Ferramentas de corte	19
3.6	Forças de corte	20
3.7	Custo x Produção	21
3.8	Planeamento	8
3.9	Mandrilhamento	2
4	Corte de chapas metálicas	2
4.1	Prensas	2
4.2	Calor.....	2
4.3	Jato Abrasivo	2
4.4	Usinagem (Fresadora CNC).....	3
4.5	Abrasão	3
5	Caldeiraria	3
6	Metalurgia do pó	5
6.1	Características	5
6.2	Aplicação	5
6.3	Problemas.....	5

Introdução à Manufatura Mecânica

7	Planejamento de operações	6
7.1	Linhas de Usinagem.....	7
7.2	Centro de usinagem	7
8	Comando numérico por computador (CNC).....	7
8.1	Linguagem de programação.....	7
9	Uniões metálicas	7
10	Caldeamento (Soldering).....	8
11	Soldagem (Welding).....	9
11.1	Arco elétrico	9
12	Parafusos.....	11
12.1	Funcionamento da junção	12
12.2	Cuidados	13
12.3	Fabricação	13
13	União de peças com materiais não idênticos:.....	14
14	Polímeros	14
14.1	Tipos de Polímeros	14
14.1.1	Termofixo	14
14.1.2	Termoplásticos	15
14.2	Fornecimento de Polímeros	15
14.3	Produção de Peças de Termofixos	16
14.4	Produção de Peças de Termoplásticos	16
14.4.1	Extrusão, Calandragem e Inflação.....	17
14.4.2	Injeção	18
14.4.3	Laminação	21
14.4.4	Forjamento.....	23
14.4.5	Trefilação.....	23
14.4.6	Prensas	24
14.4.7	Estamparia	26
14.4.8	Repuxamento	25
14.4.9	Moldagem por imersão	25
14.4.10	“Roto-moldagem” (termoplásticos ou termofixos).....	26
14.4.11	Conformação por pressão Interna	27
14.5	Produção de Isopor	28

Introdução à Manufatura Mecânica

14.6	Polímero reforçado	28
14.6.1	Reforço	28
14.6.2	Propriedades Mecânicas	28
14.6.3	Fabricação.....	29
14.7	Processos de acabamento.....	30
14.7.1	Transfer.....	30
14.7.2	Acabamento metálico	30
14.8	Produção de borracha sintética	30
14.8.1	Aplicação	31
14.9	Injeção de dois polímeros	31
15	Madeiras	31
15.1	Introdução	31
15.2	Processamento	31
15.3	Dobramento da madeira/conformação.....	33
15.3.1	Conformação à quente	33
15.3.2	Vapor	33
15.4	Corte.....	33
15.4.1	Usinagem.....	33
15.4.2	Ferramenta	33
15.4.3	Desgaste.....	34
15.5	União.....	34
15.6	Produção de aglomerados	35
15.6.1	Composição	35
15.6.2	Propriedades	35
15.6.3	Conformação	35
16	Vidro.....	36
16.1	Conformação em estado líquido	36
16.1.1	Laminação	36
16.1.2	Flutuação	36
16.1.3	Fabricação de fibras e tubos	36
16.2	Conformação em estado plástico	37
16.2.1	Sopro.....	37
16.2.2	Molde.....	37

Introdução à Manufatura Mecânica

16.3	Têmpera	37
17	Cerâmicas	37
17.1	Produção de porcelana	38
17.2	Produção de gesso.....	38
17.3	Processos de fabricação.....	38
17.3.1	Torno e Prensa	38
17.3.2	Colagem.....	39
17.3.3	Argila.....	39
18	Tratamento térmico.....	39
18.1	Diagramas Tempo-Temperatura-Transformação.....	41
18.2	Resfriamento	41
18.2.1	Deformações permanentes.....	41
18.2.2	Tensões residuais	42
18.3	Processos de tratamento térmico.....	42
18.3.1	Têmpera	42
18.3.2	Revenimento (Temper):.....	42
18.3.3	Cementação	43
18.3.4	Nitretação.....	43
18.4	Resfriamento	43
18.4.1	Tipos	43
18.4.2	Crítérios de escolha do tipo de resfriamento	45
18.5	Vidro Temperado.....	47
19	Montagem.....	47
19.1	Linha de montagem	47
19.1.1	Características da linha de montagem	47
19.2	Sistemas de informação de produção.....	48
20	Célula de fabricação	49
21	“Manufatura enxuta” (Lean Manufacturing).....	49
21.1	Objetivos.....	49
21.2	Como otimizar o tempo produtivo?	49
21.3	Kanban	50
21.4	Poka-Yoke	50
21.4.1	Como implementar?	51

Introdução à Manufatura Mecânica

21.5	Controle Contínuo de Produção.....	51
21.6	FMEA	51
22	Manufatura aditiva.....	51
22.1	Aplicação	52
22.2	Sinterização seletiva por laser (metais).....	52
22.3	Estereolitografia (SLA).....	53
22.4	Limitações.....	53
22.5	Injeção.....	53
22.6	Custos.....	54
22.7	Digitalização de objetos.....	54
22.8	Exemplo: Produção de arruelas	54
22.8.1	Estampo de corte (em prensa)	54
22.8.2	Puncionadeira	55
23	Design.....	55
23.1	Design for manufacturability (DFM).....	55
23.1.1	Projeto x Realidade.....	56
23.2	Design for assembly (DFA)	56

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

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 vaziar esse 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)

Os modelos que são utilizados para moldar a cavidade podem ser de madeira, gesso, usinado, impressão 3D (molde de areia), gesso, metal (cera perdida) ou o molde pode ser usinado (molde permanente).

Características gerais:

- Macho é um componente que é encaixado no molde e ocupa um espaço, permitindo realizar cavidades internas. Ao final da fundição ele é destruído ou perdido para ser retirado do molde. Geralmente feito de areia.
- As peças fundidas geralmente possuem raios de arredondamento para que o crescimento dos grãos do material na ponta seja mais homogêneo, formando uma estrutura com melhores propriedades mecânicas
- As peças fundidas possuem ângulos de saída, pois ângulos retos dificultam a retirada do molde, danificando as paredes do modelo e fazendo com que a peça grude nas paredes do molde

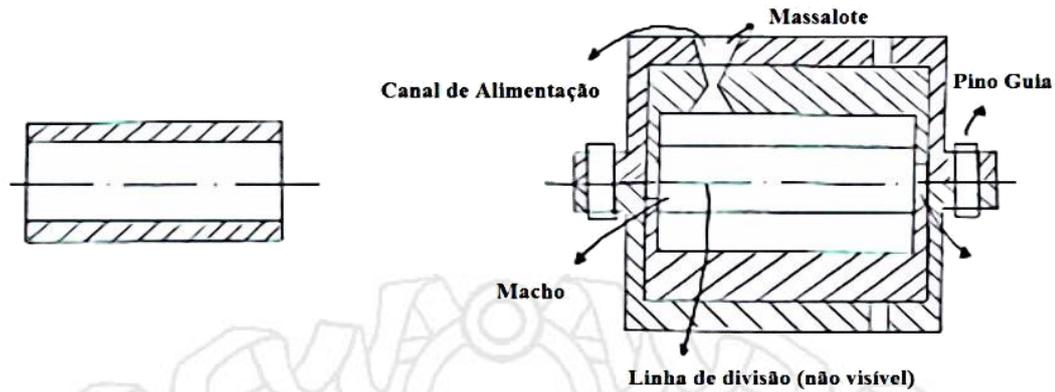
2.1 Fundição em moldes de areia

Material no molde: Areia de construção civil ou tratada com resina

Material do modelo: madeira, gesso, usinado, cerâmico, aço ou impressão 3D (modelo é permanente).

Processo utilizado em ligas ferrosas (ferro fundido) 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.



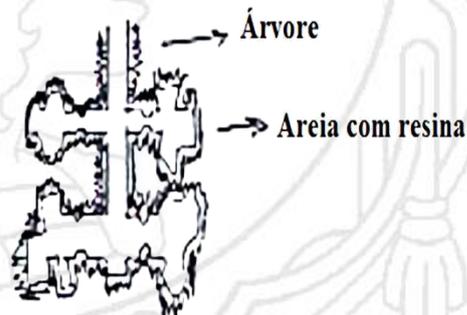
Macho: corresponde ao(s) volume(s) não ocupado(s) pelo metal na cavidade de moldagem.

- 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

Material do modelo: gesso ou metal.

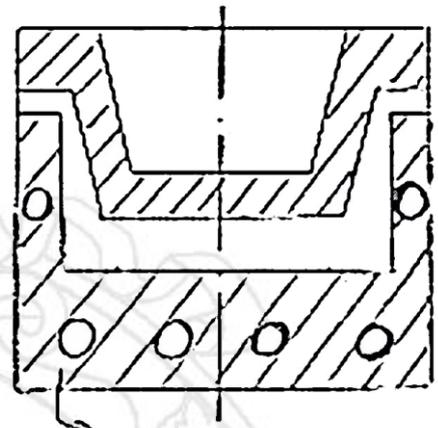
- Molde permanente para modelos em cera (Os modelos em cera são feitos em molde permanente).
- O modelo é recoberto por areia de fundição e resina, o qual é levado em forno para curar a areia (o modelo de cera é derretido para sair do molde).
- Utiliza-se o molde para colocar o metal líquido e fazer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

Controle de Resfriamento



**Furos para resfriamento
- Reduz o tempo do ciclo**

3 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).



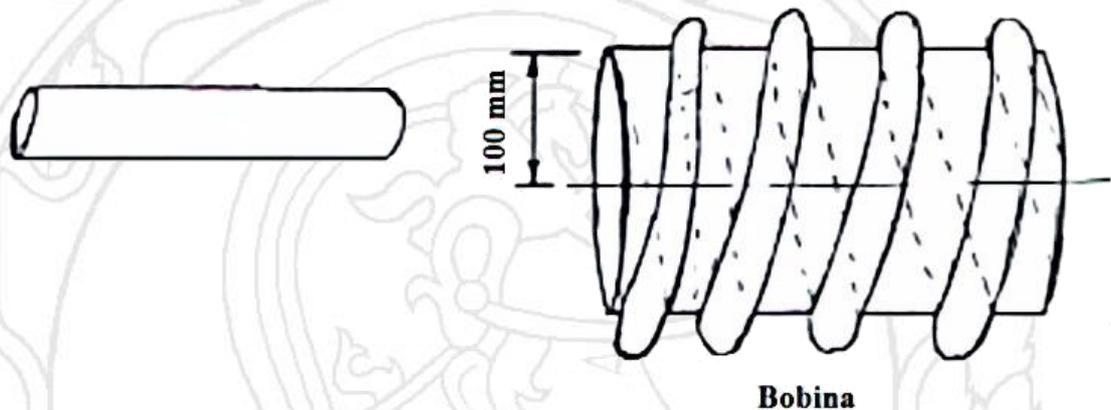
Existem basicamente três tipos de métodos de usinagem: corte, abrasão e eletroquímico.

Informações Iniciais:

- 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%.

Introdução à Manufatura Mecânica

- 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:



3.1 Como funciona a Usinagem?

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

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).

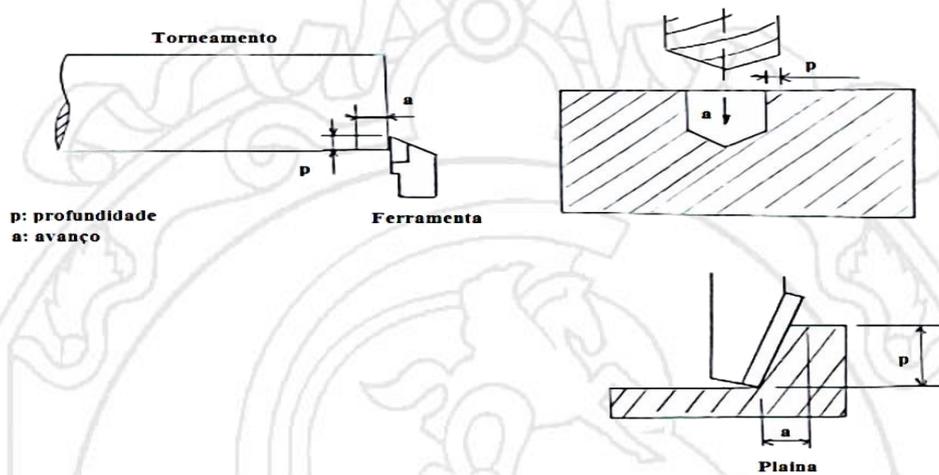
Quando dizemos que o processo é cíclico entende-se que a força oscila com o tempo: a força é resultante do atrito e da



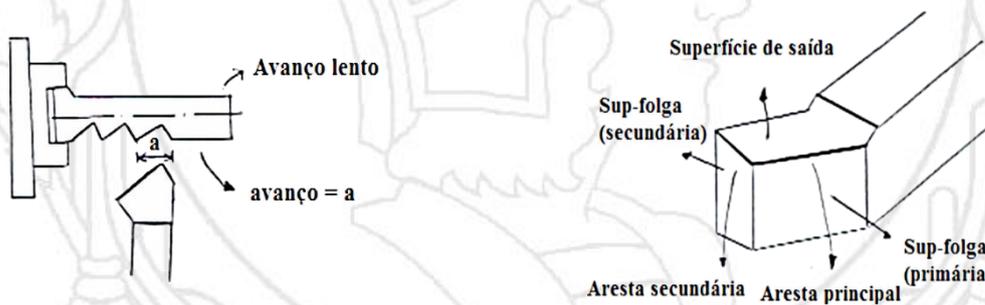
normal (força de corte) entre a peça e a ferramenta.

3.2 Processos de Usinagem

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



3.2.1 Geometria de Corte

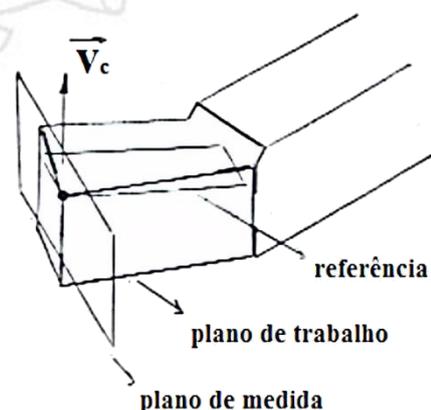


3.3 Nomenclatura de Corte (DIN 6580)

• 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.



Introdução à Manufatura Mecânica

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.

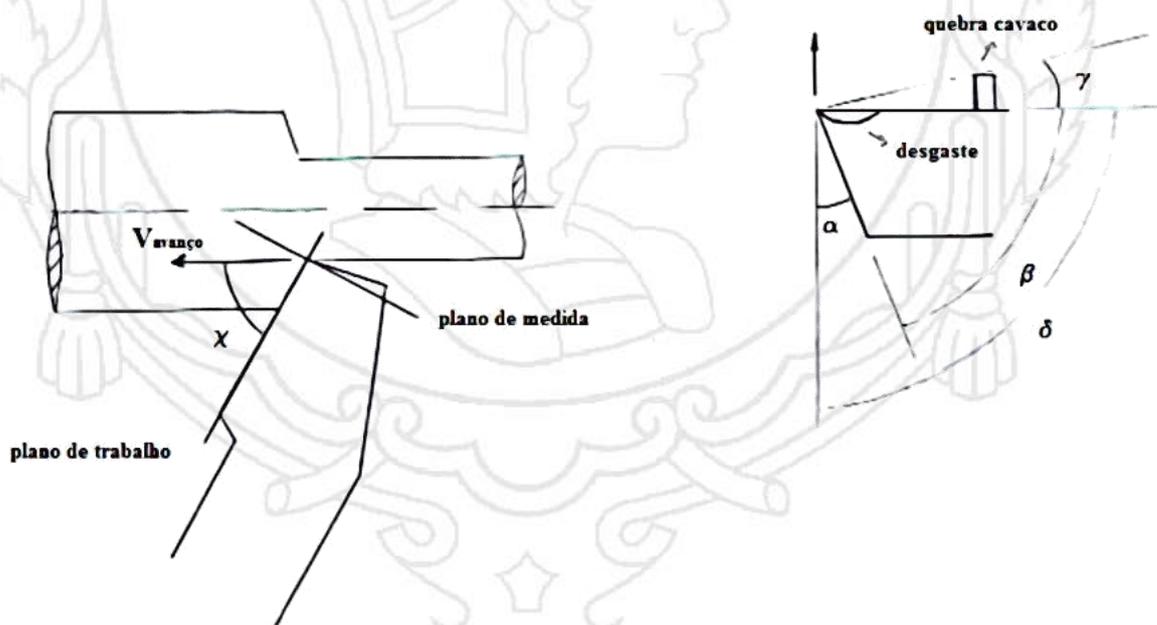
Velocidade de corte: é a velocidade do ponto de referência (pertencente a aresta de corte) em relação à peça, segundo sua direção e sentido. Tangencial ao movimento do corte.

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.

- Ângulos



α : ângulo de incidência

δ : ângulo de corte

β : ângulo de fio

χ : ângulo de posição

γ : ângulo de desprendimento

3.4 Materiais de Ferramentas

3.4.1.1 Aço Rápido (HSS)

HSS: High Speed Steel

1\$

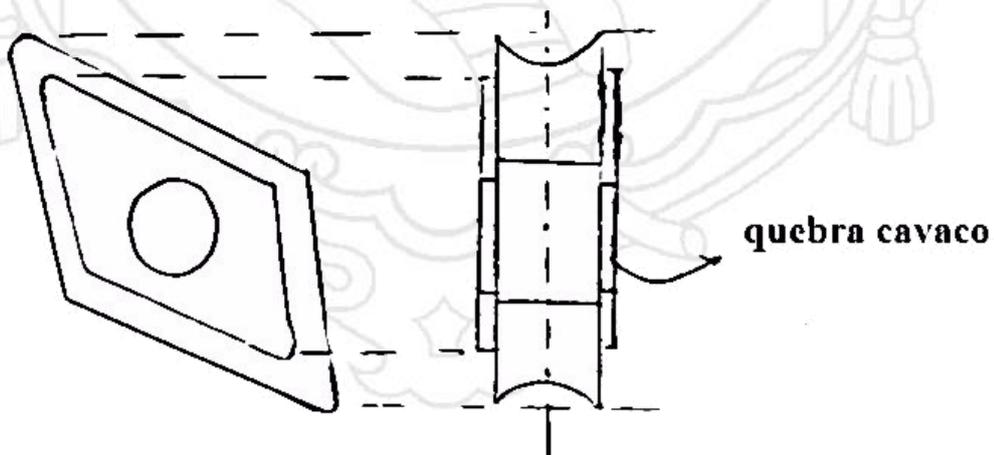
- Ferro + Carbono (0,5% C) + Crômio + Molibdênio + Vanádio + Tungstênio + Manganês.
- Não é muito mais utilizado na indústria.
- Brocas de madeira de casa.
- Mantém propriedades mecânicas em temperaturas elevadas.
- Resistência ao desgaste.

3.4.1.2 Carbetos 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.



3.4.1.3 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.

3.4.1.4 Cerâmica

100\$

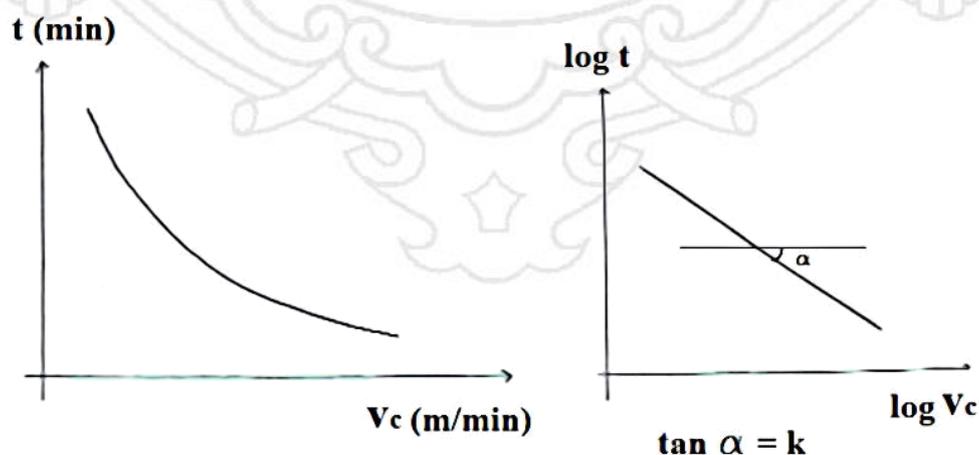
- Volume de cavaco muito superior.
- Usinagem de alto desempenho: retira mais material com mínimo aumento no esforço da máquina.

3.5 Ferramentas de corte

- Ferramentas de corte são feitas de metal duro.
- Classificam-se as ferramentas pela norma ISSO 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.
- Nessa situação, temos os seguintes resultados empíricos:



Introdução à Manufatura Mecânica

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

- 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 torneiar 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.

3.6 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.

Introdução à Manufatura Mecânica

- Usinagem com grande remoção de cavaco: utiliza-se o strain-gage (estrangulamento) para medir as forças aplicadas na ferramenta.
- Relações existentes:

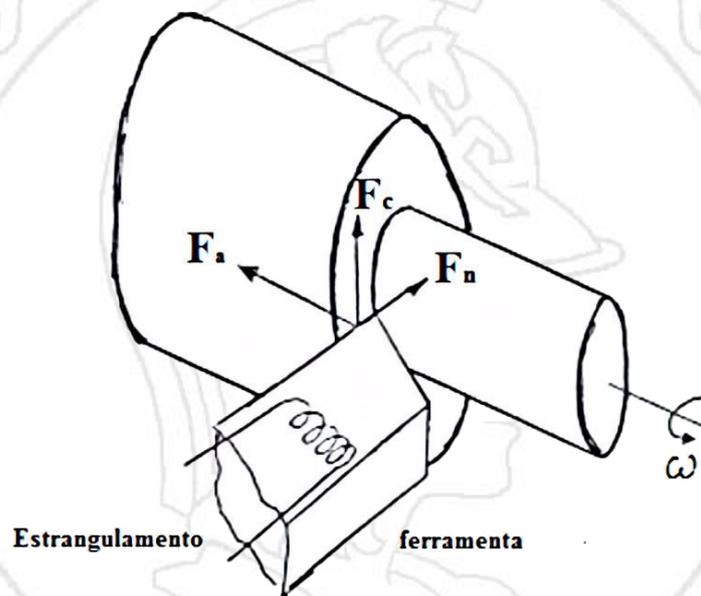
$$K_s * h^z = K_{s11} \quad F_c = K_s * h * b$$

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:

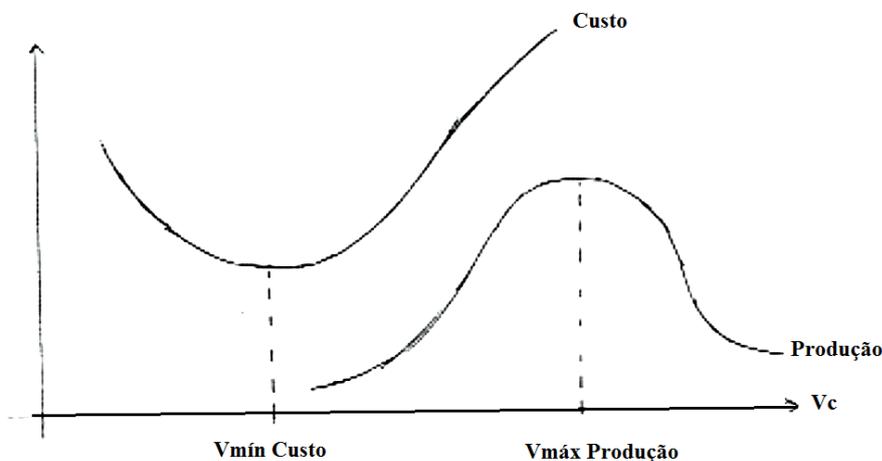
$$F_c = K_s * S = \frac{K_{s11} * b * h}{h^z} = K_s * b * h^{(1-z)}$$

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



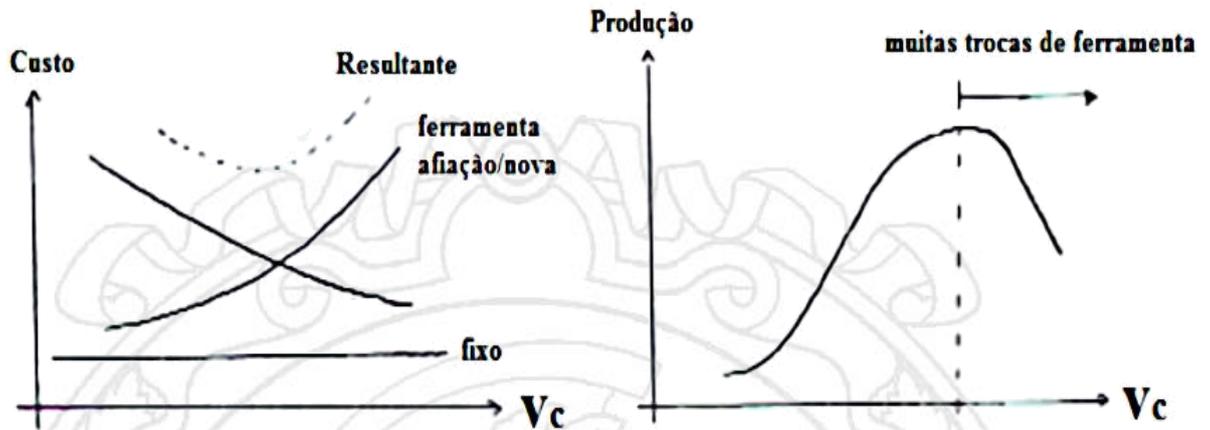
3.7 Custo x Produção

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



Introdução à Manufatura Mecânica

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	Tempo de corte	$t_{TOT} = t_c + t_{np}$
$(K_c): K_c = \frac{t_c * (S_h + S_m)}{60}$	$(t_c): t_c = \frac{1}{a * N}$	Fórmula para produção por hora(PH):
Custo de ferramenta	Peças por vida	$P_H = \frac{60}{t_{TOT}}$
$(K_f): K_f = \frac{K_f t}{N'}$	$(N'): N' = \frac{T_{MP}}{t_c}$	
Custo não produtivo	Tempo de troca por peça (t_r): $t_r' = \frac{t_r}{N'}$	Sendo:
$(K_{np}): K_{np} = \frac{t_{np} * (S_h + S_m)}{60}$	Tempo não produtivo por peça (t_{np}):	t_a = tempo de aproximação
Custo total por peça	$t_{np} = t_r' + t_a + t_s$	t_s = tempo secundário
$(K_T): K_T = K_c + K_f + K_{np}$	Tempo total (t_{TOT}):	

*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%

3.8 Planeamento

Usinagem por plaina

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

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

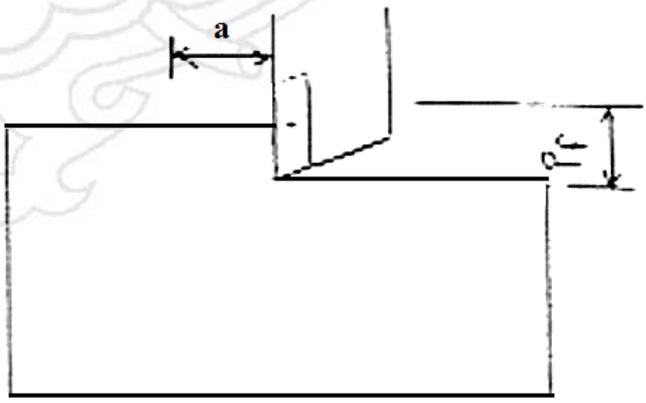
Sendo:

K_{S11} : pressão unitária de corte

b : largura de corte

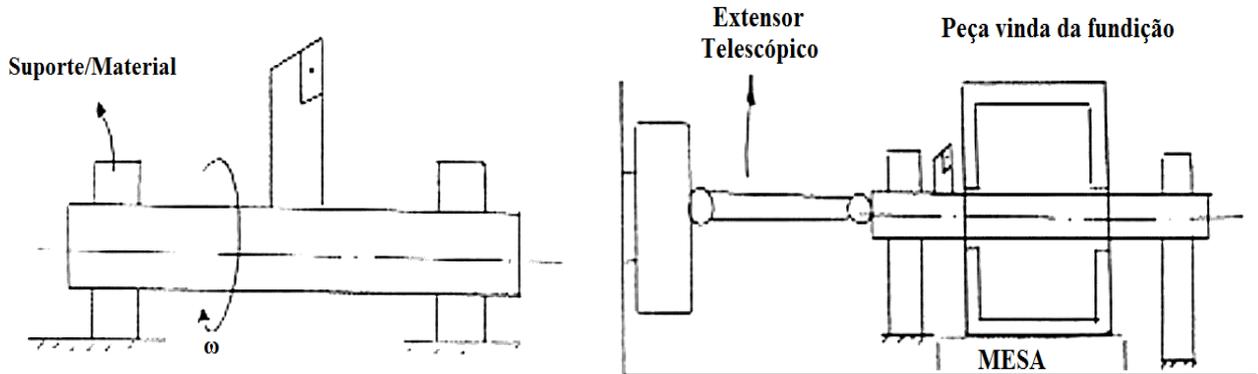
h : espessura de corte

z : valor experimental



3.9 Mandrilhamento

Exemplo: caixas de câmbio



4 Corte de chapas metálicas

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.

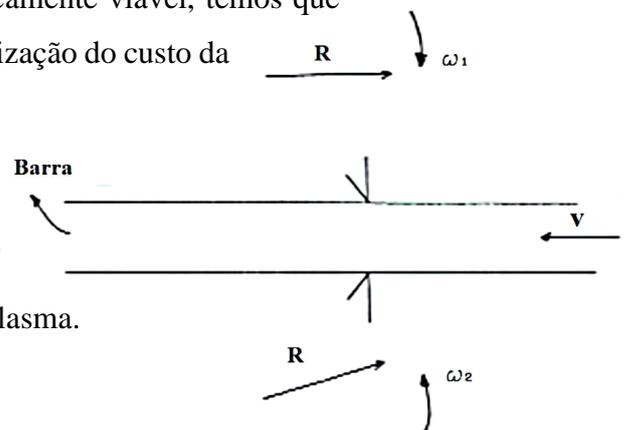
4.2 Calor

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.



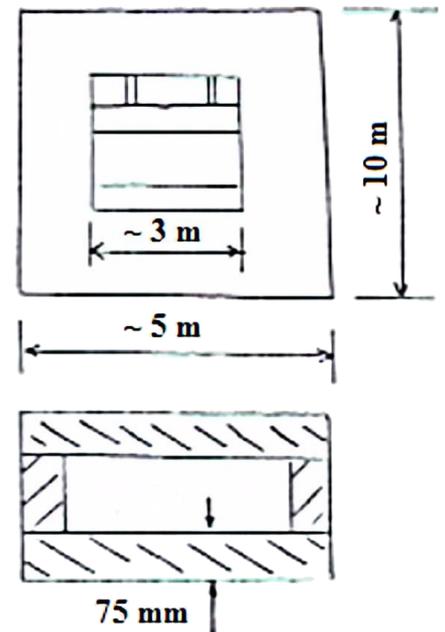
Desvantagens: processo lento.

4.4 Usinagem (Fresadora CNC)

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

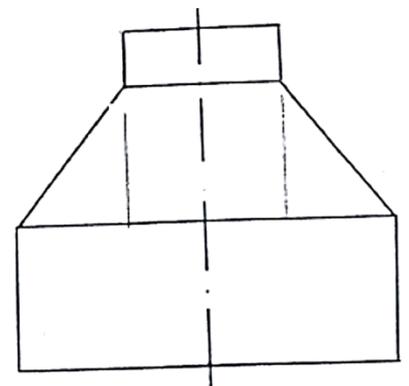
4.5 Abrasão

- 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 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.

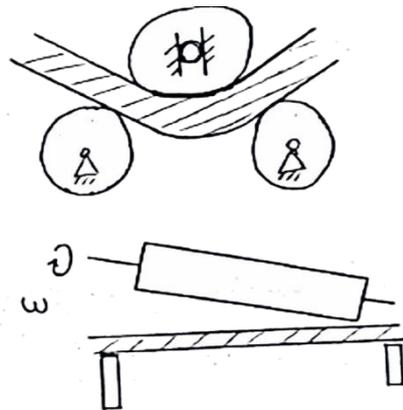
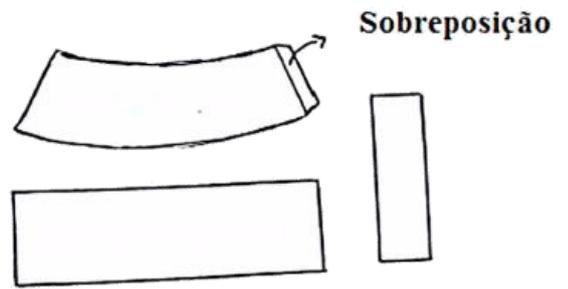


Introdução à Manufatura Mecânica

- Suponha que se queira fazer a peça ao lado (a superfície externa da peça ao lado).

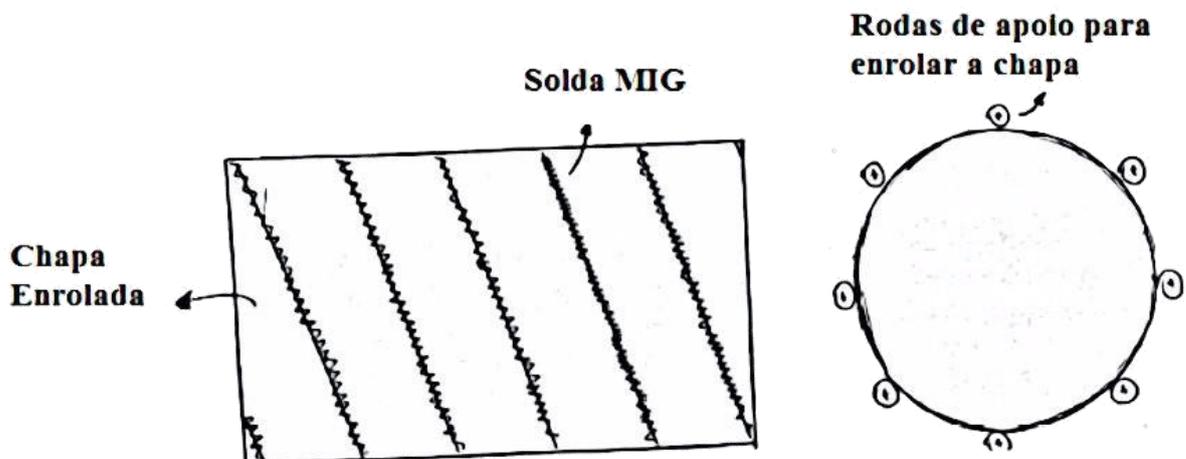
Fazendo o desenvolvimento dessa superfície, obtemos a seguinte chapa:

- 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.



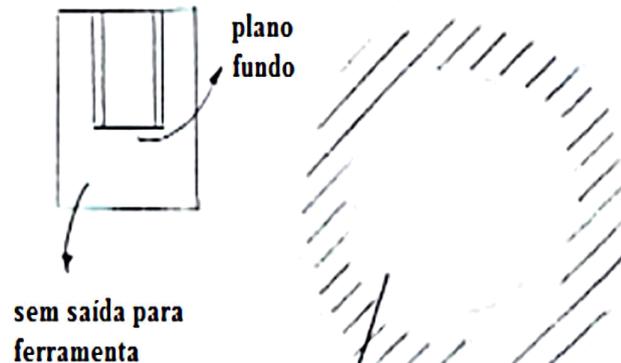
Calandragem

- 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 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.



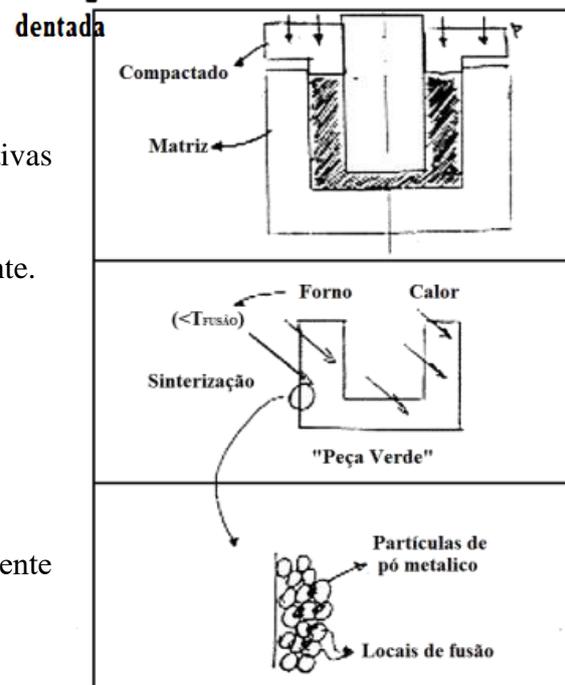
6.1 Características

- 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.

6.2 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).



6.3 Problemas

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

7 Planejamento de operações

Como deve ser o arranjo da fábrica?

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

Simuladores de linha de produção.

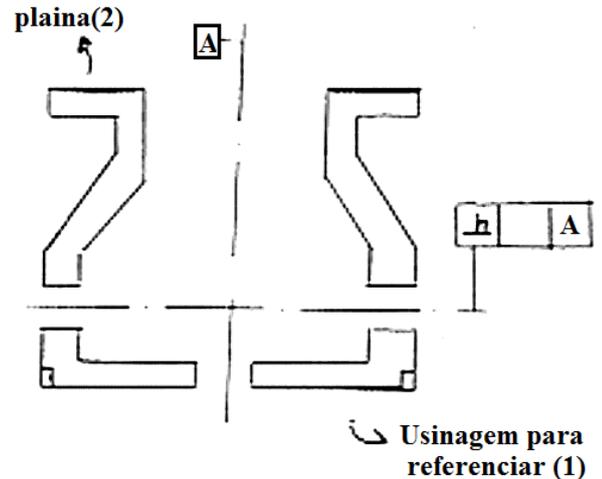
Operação individual.

Simulador de plantas (Siemens Tecnomatix).

7.1 Linhas de Usinagem

10x10⁶ 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.



7.2 Centro de usinagem

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

8 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.

8.1 Linguagem de programação

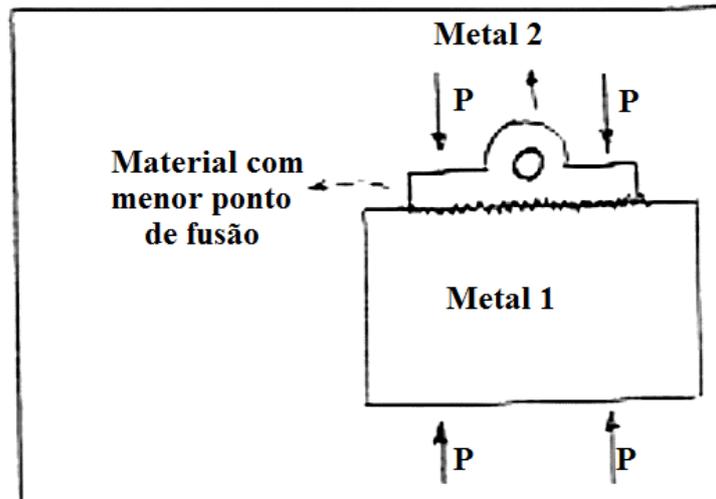
- Código "G", padrão.
- CAD → CAM (para metros de corte, ferramenta e máquina).
- Movimentos, troca de ferramenta, velocidade de rotação.
- Controle da peça inicial: preparo das peças iniciais.

9 Uniões metálicas

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

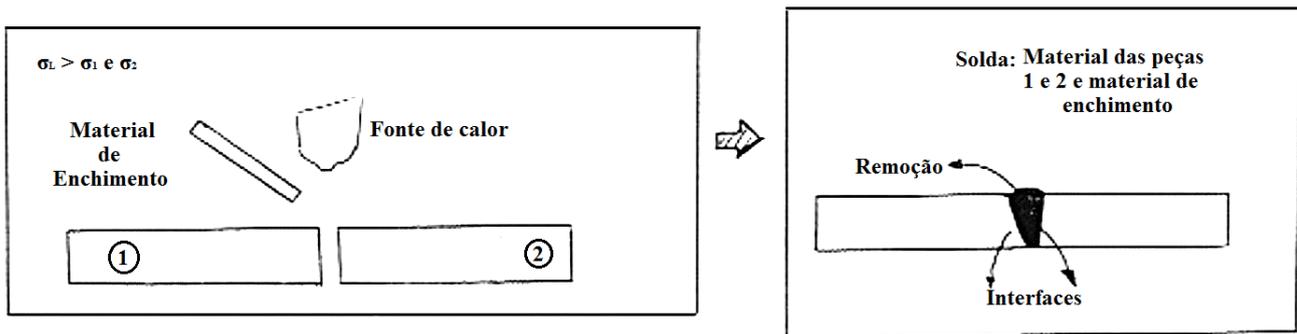
10 Caldeamento (Soldering)

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



11 Soldagem (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).



11.1 Arco elétrico

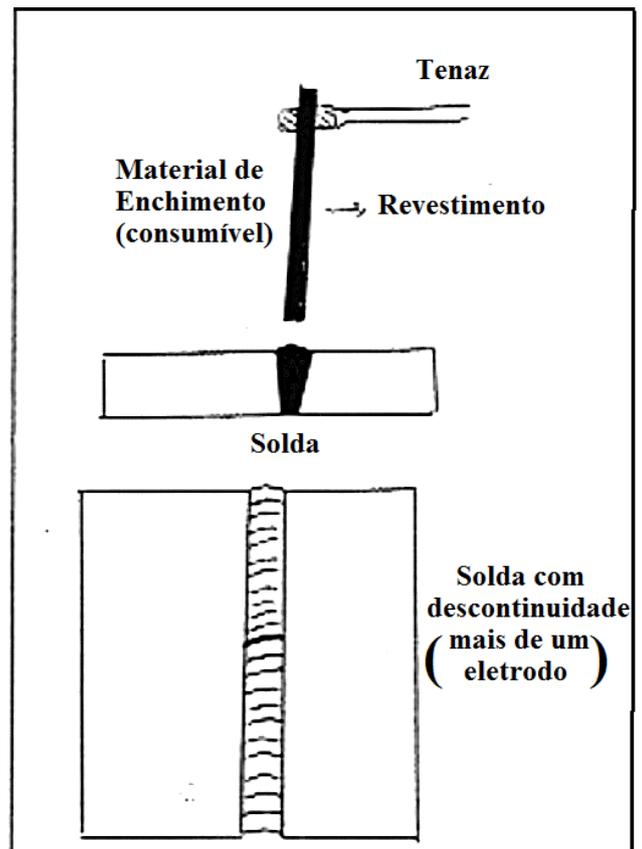
Eletrodo liso.

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).

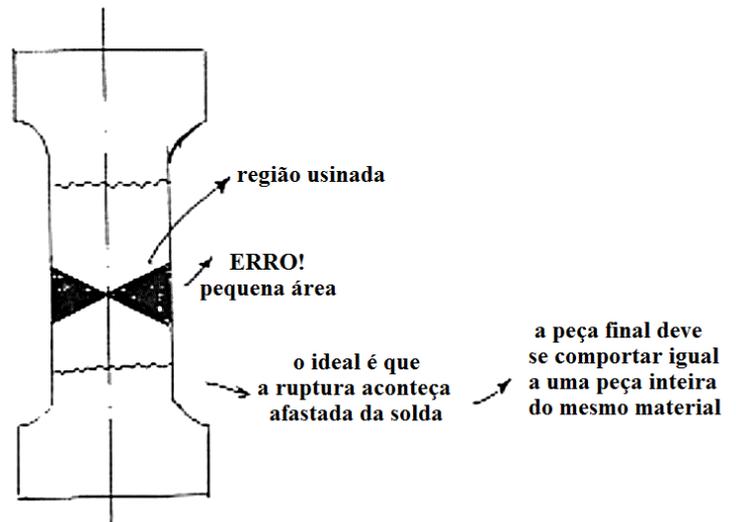
Eletrodo "permanente": de tungstênio.

- 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).



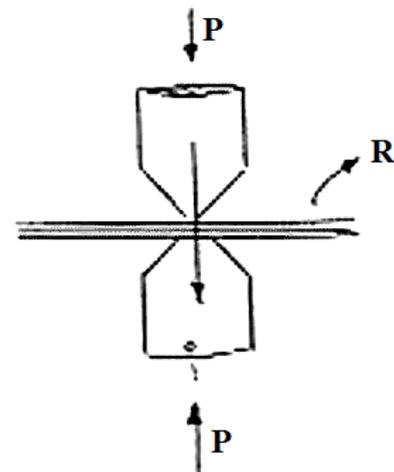
Preparo:

- 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.



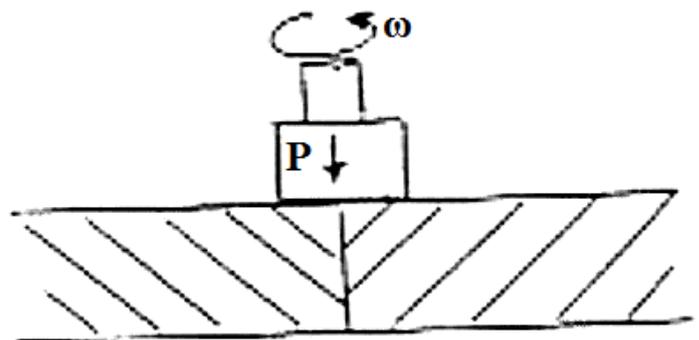
Solda por resistência.

- 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.

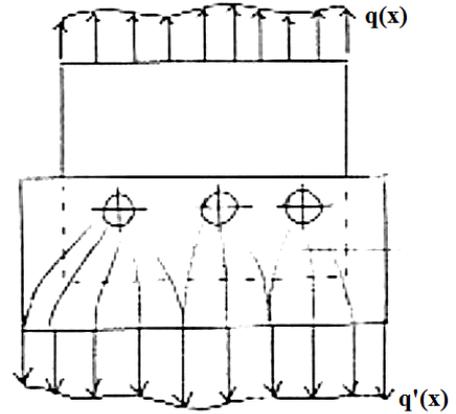


Problema: tensões residuais

12 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:

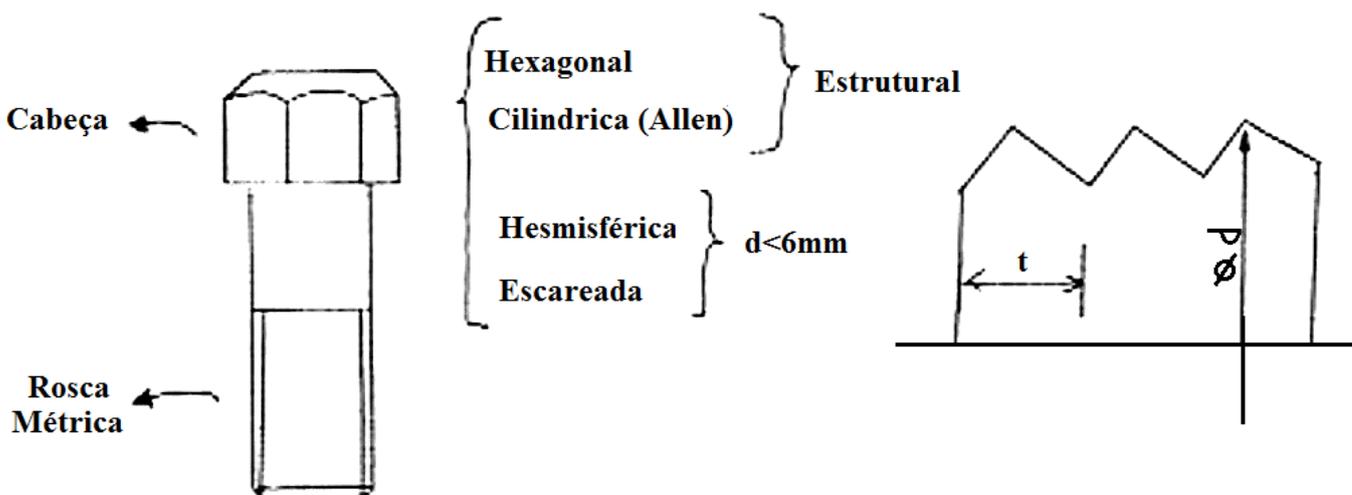
- Difícil de automatizar a montagem
- Desmontagem acidental
- União com concentração de esforços
(Representada ao lado)



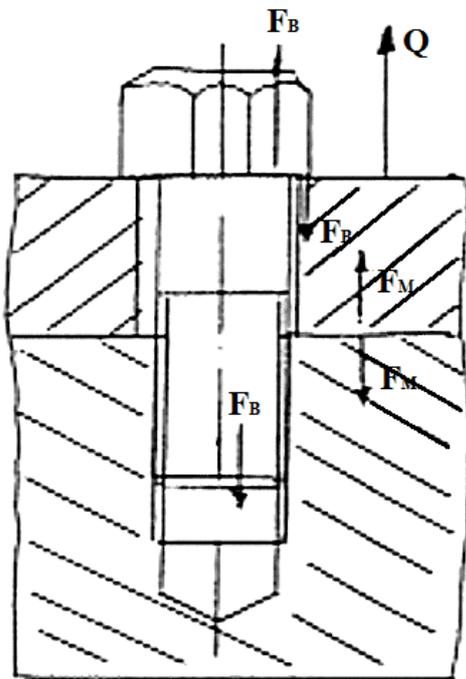
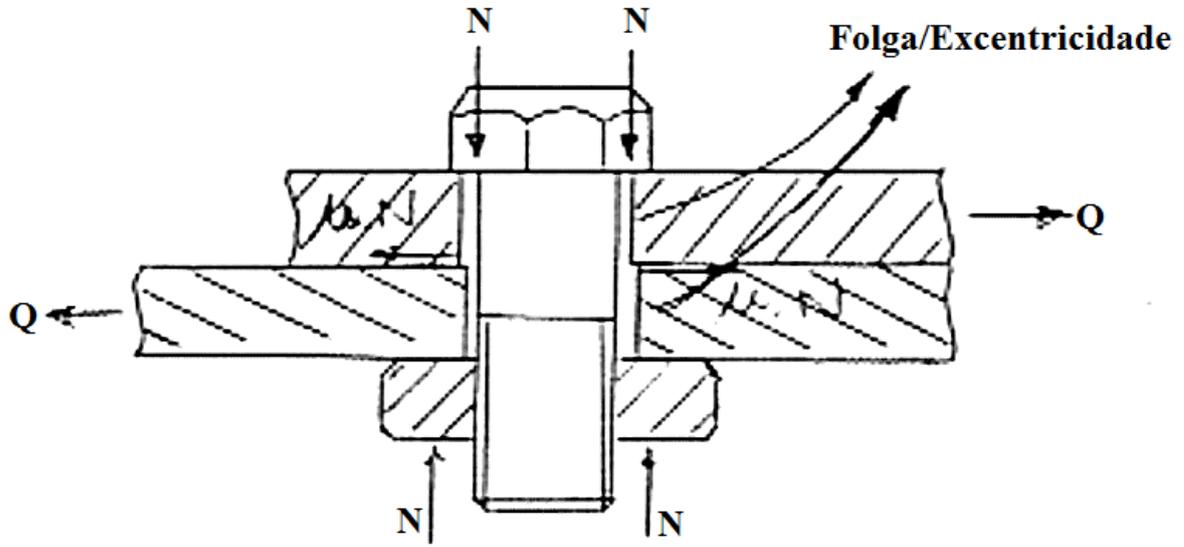
Existem dois tipos de aplicação para parafusos:

- Estrutural: Cargas principais
- Não-Estrutural: Posicionamento

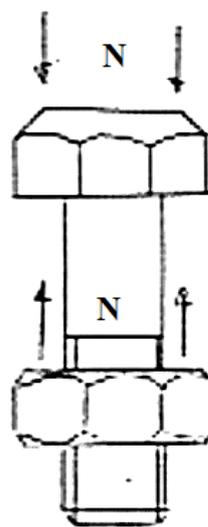
Parafuso só funciona em tração.



12.1 Funcionamento da junção



Parafuso Tractionado



Parafuso Tractionado



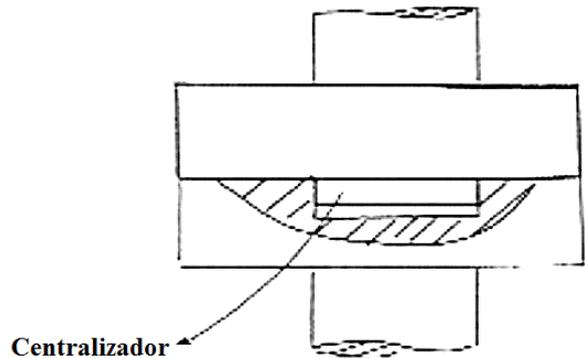
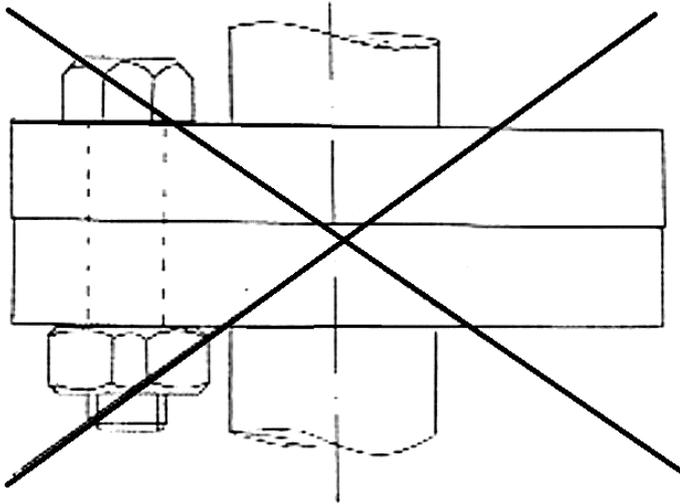
Não há
cisalhamento,
flexão



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

12.2 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.**



12.3 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.

13 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.

14 Polímeros

Materiais fabricados a partir de derivados do petróleo, como hidrocarbonetos e alguns gases. O processo de polimerização é a união desses compostos em longas cadeias, formando o que chamamos de polímeros (poli, de muitos, meros, da menor unidade de um polímero).

- Polímeros puros com carga: material adicionado para controle da densidade (há prejuízo de propriedades mecânicas)
- Polímeros puros com reforço: melhoria das propriedades mecânicas (adição de fibras de vidro, ou fibras de carbono)

14.1 Tipos de Polímeros

14.1.1 Termofixo

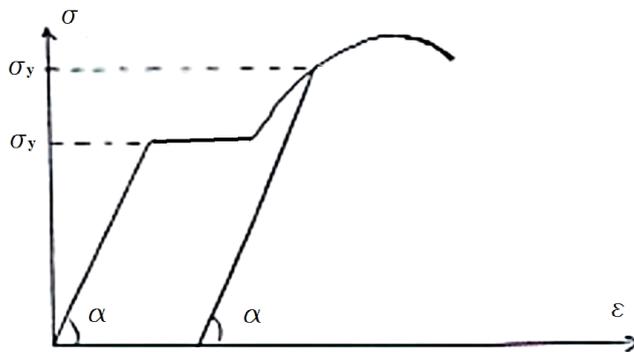
São maleáveis apenas no momento de sua fabricação (antes da polimerização), sendo que depois não é possível remodelá-los, pois suas macromoléculas formam ligações em todas as direções do espaço, formando uma rede tridimensional chamada de reticulado. Assim, são materiais extremamente frágeis e duros.

Os polímeros termorrígidos são infusíveis e insolúveis em solventes orgânicos comuns. Podem ser reciclados por meio de solventes químicos.

14.1.2 Termoplásticos

São amolecidos pelo calor e endurecidos pelo frio, repetidas vezes sem perder suas propriedades, por possuir suas macromoléculas lineares que podem ou não conter ramificações (lineares). Assim, podem moldados várias vezes devido à sua característica de se tornarem fluidos, sob ação da temperatura, e depois retornarem às características anteriores quando há um decréscimo de temperatura. São solúveis e fusíveis em solventes comuns.

- Deformações à quente: grandes deformações em peças de grandes dimensões.
- Deformações à 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.



14.2 Fornecimento de Polímeros

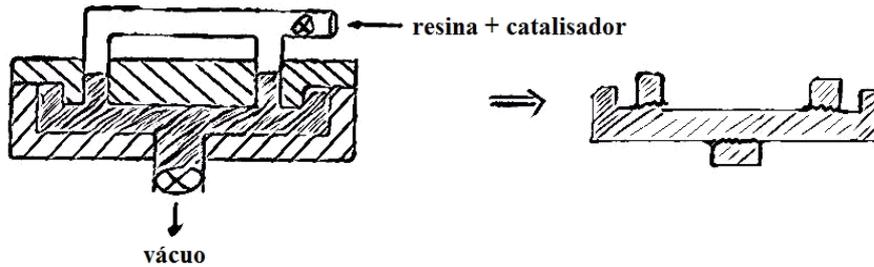
Polímeros são fornecidos das seguintes maneiras:

<i>Tipo</i>	RESINA	PARTICULADO	PRODUTO SEMI-ACABADO
<i>Forma</i>	líquido, gel	grânulos, esferas	barras, bobina
<i>Material</i>	Termofixos principalmente	Termoplásticos principalmente	Termoplásticos principalmente

14.3 Produção de Peças de Termofixos

Ocorre a produção direta da peça final. Polimerização ocorre durante a fabricação.

Moldagem: O processo de moldagem de termofixos consiste em injetar resina em um molde e polimerizar durante a solidificação. Para polímeros de alta viscosidade emprega-se bombeamento ou vácuo. A polimerização ocorre com tempo e ar, aplicação de catalizador e calor, liberando gás. Assim, o molde deve possuir respiros.



Características do processo:

- Ângulo de saída das peças moldadas
- Pinos de extração (deixam marcas na peça, devem ser colocados em locais não visíveis)
- Marcas de locais de entradas de resina e dutos de vácuo (colocar em locais não visíveis)
- Emprego de desmoldante (evita aderência entre resina e paredes)
- Cuidado com cavidades (as peças devem permitir desmontagem pois o molde é permanente)
- Re-entrâncias podem ser feitas por meio de uma régua

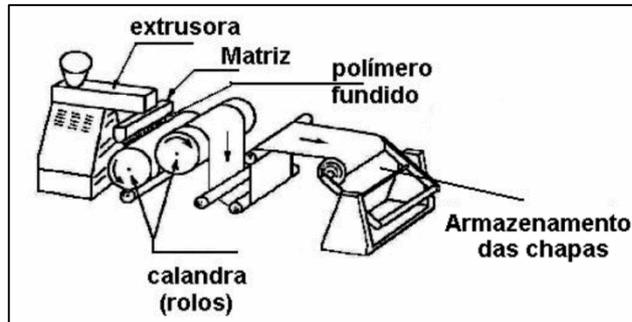
14.4 Produção de Peças de Termoplásticos

Termoplásticos possuem grande plasticidade, podendo ser bastante deformáveis. Podemos então empregar a maior parte dos processos de conformação mecânica nestes materiais, além de ser possível injetá-los.

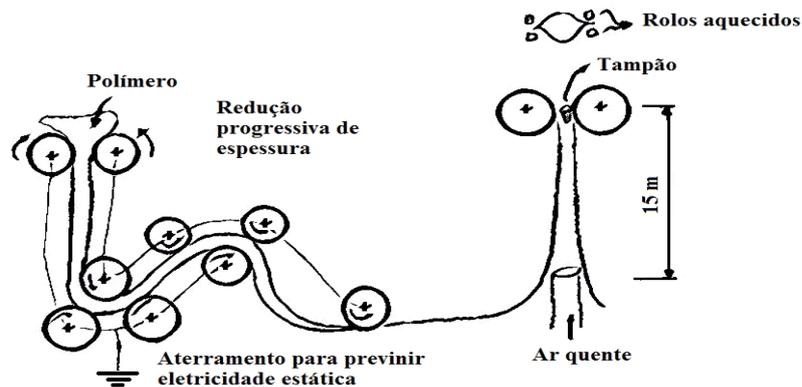
Dica: Procurar pela fabricação de peças de lego (injeção)

14.4.1 Extrusão, Calandragem e Inflação

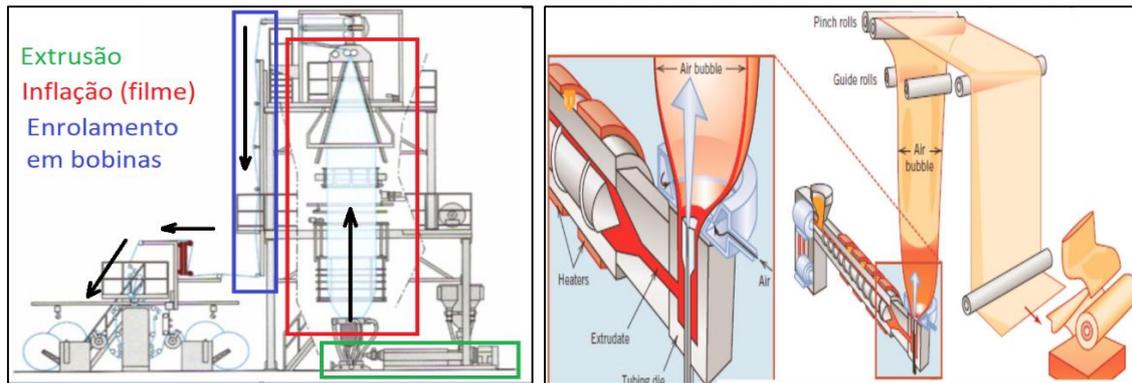
Extrusão: Pode ser realizada a extrusão com ou sem mandril, de diversos perfis: Circular, tubo, perfil aberto e até perfis complexos.



Calandragem: Gerar placas por meio de um processo semelhante à laminação e trefilação, utilizando diversos rolos com o polímero em solidificação, puxando-o e diminuindo sua área.

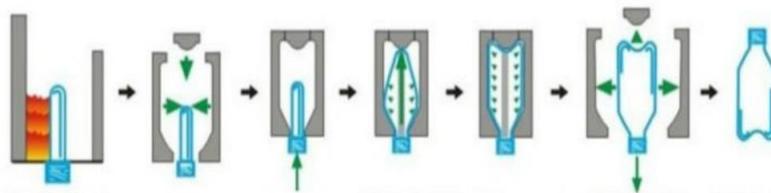


Inflação: Fabricação de sacolas plásticas e filmes finos. Após calandragem que “solda” duas chapas finas de filme em suas extremidades, o material passa por um tubo que sopra ar quente, abrindo as sacolas em duas partes, esticando-as e diminuindo suas paredes. Após esse processo, o filme é enrolado em dois tambores e as “soldas” são cortadas, no caso da sacolinha, é enrolado em apenas um tambor e não há corte.



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/8852216/> (direita) e adaptado de plasfil.com.br (esquerda). Acesso em 29/06/2018

Sopramento: Empregado largamente para fabricação de garrafas PET. As garrafas são inicialmente injetadas para fabricação do bocal, depois sopradas e alongadas no formato desejado.

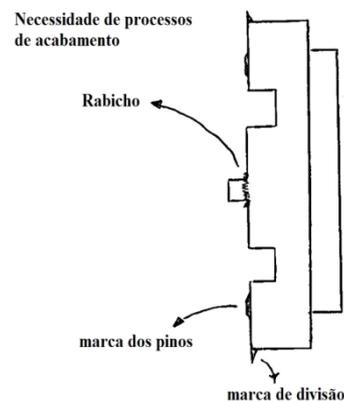


Fonte: <http://www.janlux.com.br/2016/01/27/sobre-a-fabricacao-de-garrafas-pet/>. Acesso em 29/06/2018.

14.4.2 Injeção

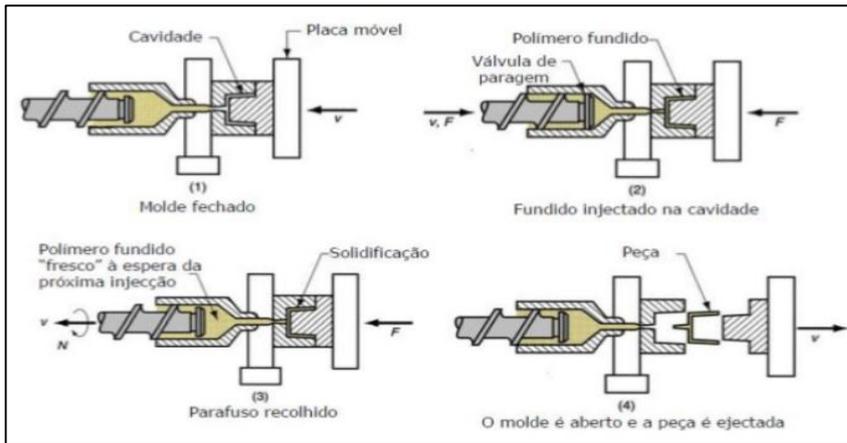
O polímero em mudança de estado é injetado em um molde por meio de uma broca transportadora em alta pressão. Elementos relevantes são:

- Matriz
- Pinos de extração (marcas na peça)
- Linha de divisão (marcas na peça)
- Canal de injeção (marcas na peça - rabicho)
- Postiços e paredes móveis



Introdução à Manufatura Mecânica

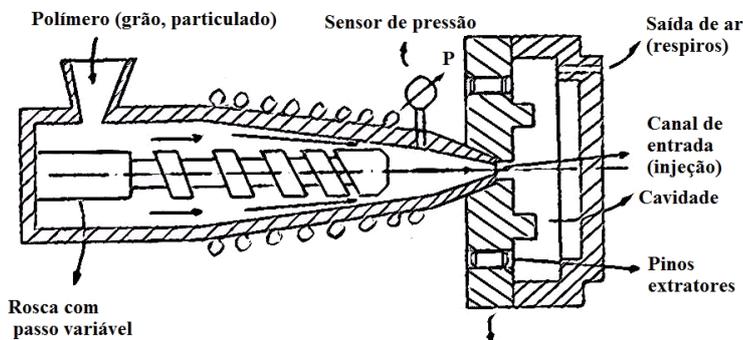
A seguir, podem ser observadas as etapas do processo de injeção.



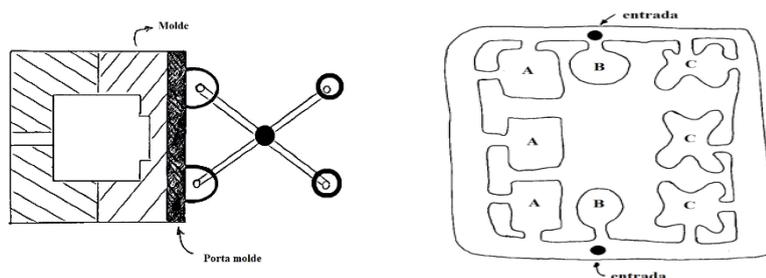
Fonte:
<https://pt.slideshare.net/JuNNioRe/polmeros-aplicaes-propriedades-e-processos-de-fabricao>. Acesso em 29/06/2018.

14.4.2.1 Processo:

O mecanismo injetor regula a mistura, compactação, aquecimento e pressurização. Ocorre o preenchimento sobre pressão, para ser possível injetar peças de paredes finas. Polímeros líquidos são incompressíveis, então é empregado um sensor de pressão. Por deixar marcas, o canal de enchimento normalmente é colocado no lado não visível da peça.

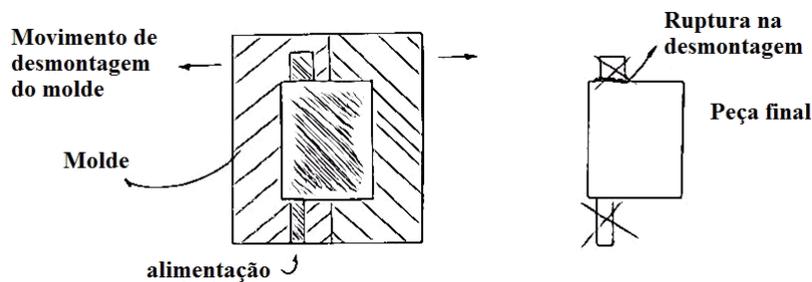


O mecanismo de sujeição do molde impede a abertura do molde (a esquerda). Podemos fazer várias peças diferentes em um mesmo molde: peças com diferentes formatos e espessuras. Assim, em uma mesma etapa de injeção, podem ser fabricadas diversas peças (a direita).



14.4.2.2 Problemas:

- Bolhas de ar: podem ser evitadas por pressão e pelo uso de respiros.
- Polímero solidifica de maneira pouco uniforme: alteração das propriedades.
- Polímero solidificar antes de preencher toda a cavidade: alterar a geometria da peça e, conseqüentemente, do molde; controlar a temperatura do molde.
- Peça encolhe depois de solidificar: molde deve levar em conta isso com o uso de ângulos de saída e pinos extratores.
- Desmontagem do molde: o molde deve ser construído de modo que a peça solidificada não impeça a desmontagem do molde.



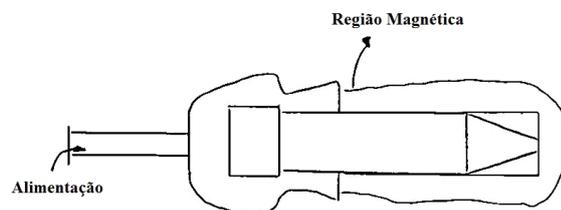
14.4.2.3 Custos:

- Ferramenta (molde): mínimo de R\$ 50.000.
- Máquina: operação e ajuste.
- Matéria prima: polímero comum, polímero reforçado (máquinas e moldes com resistência a desgaste).
- Interesse para produzir: mais que 10.000 peças.

14.4.2.4 Injeção sobre Peça Metálica:

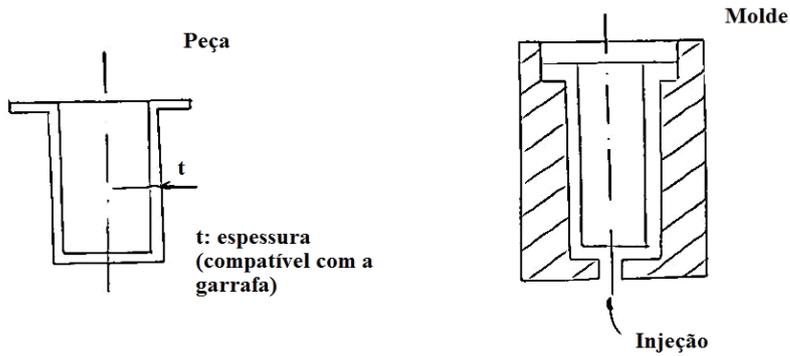
Aplicação:

- Chaves de fenda
- Chaves Philips
- Alicates

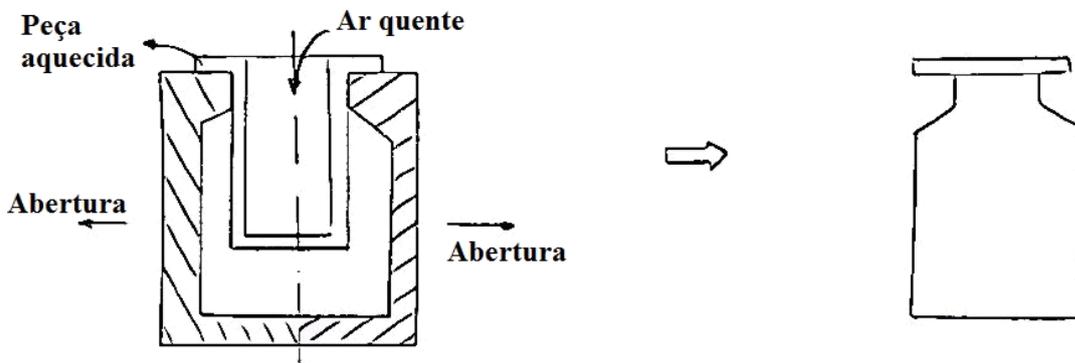


14.4.2.5 Exemplo: Produção de Garrafa PET

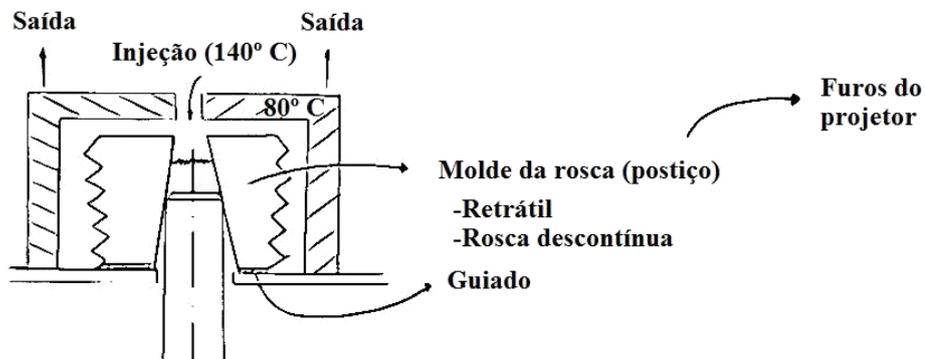
Produz-se a seguinte peça com o seguinte molde por injeção.



Realiza-se o insuflamento (paredes finas)



Produção da tampinha

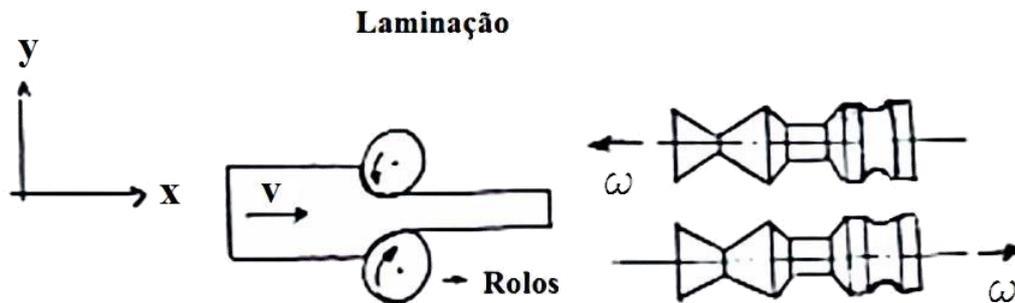


- Não podemos utilizar posições em fundição de metal?
Não, a variação de temperatura é muito grande (travamento e oxidação do mecanismo)
- PVC (Policloreto de vinila: termoplástico)
 - Rígido (tubulação): extrusão
 - Flexível: mangueira, bexiga, luva

14.4.3 Laminação

Introdução à Manufatura Mecânica

A laminação consiste em um processo de redução da espessura de barras, chapas, tarugos e algumas geometrias um pouco mais complexas. Consiste em linhas gerais em comprimir o material por meio de rolos, que ao girarem movimentam a peça para frente.

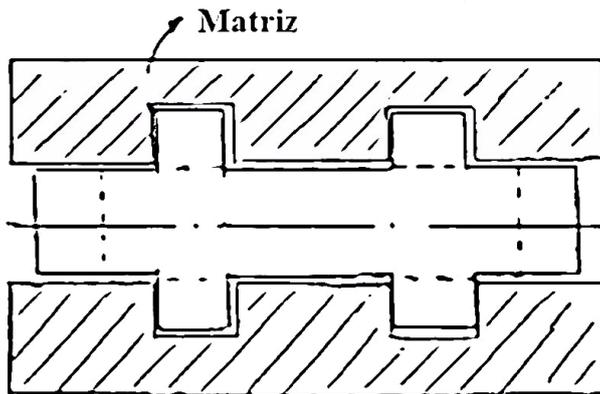


- Ver: Tselikov (Rolling mills) e Avitzur (modelagem matemática).

Características:

- Realizado na temperatura de recristalização.
- O acabamento pode ser realizado a frio, pois chapas finas podem rasgar a altas temperaturas.
- Utilizada frequentemente na indústria siderúrgica (tubos sem costura: mannesman): chapas e perfis em I, L, H, circulares e hexagonais.
- 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.

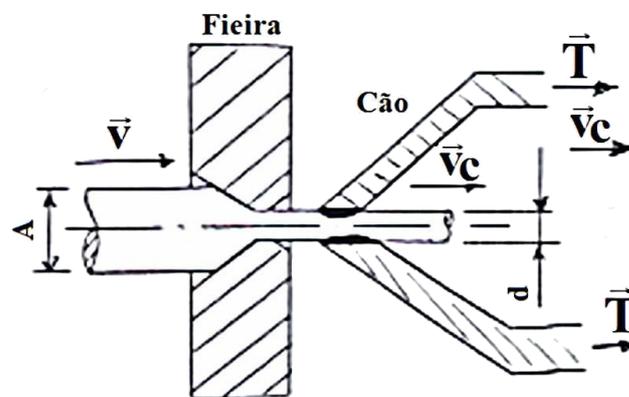
14.4.4 Forjamento



- 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).
- Quando há a passagem de material sólido por uma matriz semelhante à de extrusão, denomina-se o processo de forjamento por extrusão.
- 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.

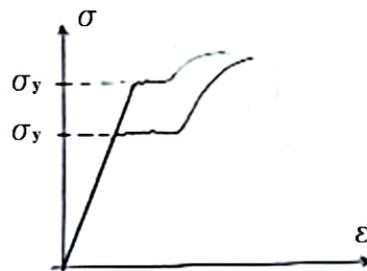
14.4.5 Trefilação

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



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

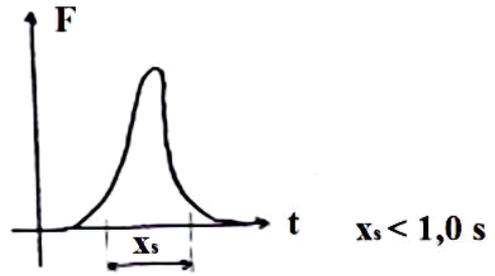
- Geralmente ocorre encruamento no material que sai da fieira e, portanto, é necessária a recristalização. (Quando ocorre encruamento a tensão de escoamento fica mais alta).
- A tração exercida pelo cão deve superar os efeitos de atrito entre o fio e a fieira e os efeitos de deformação.
- A resistência 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).



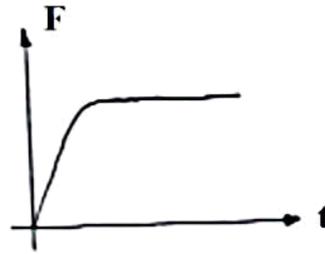
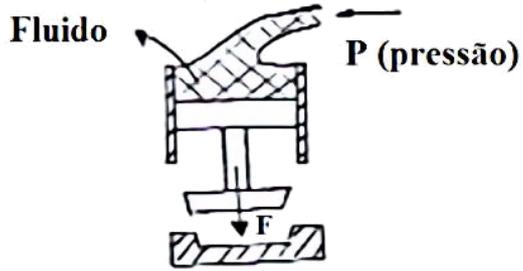
14.4.6 Prensas

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

Excêntrica:

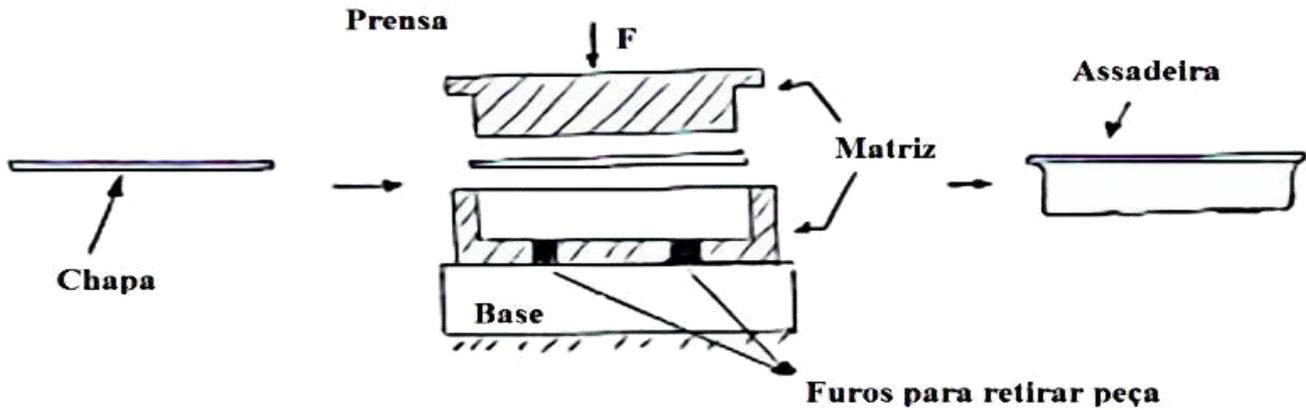


Hidráulica:

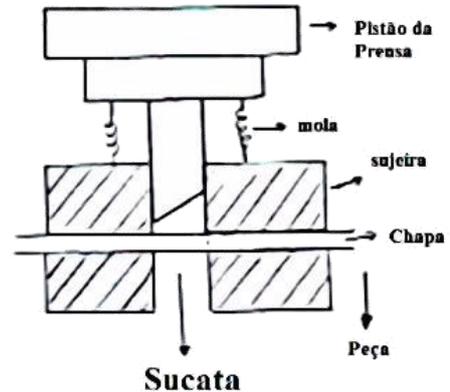
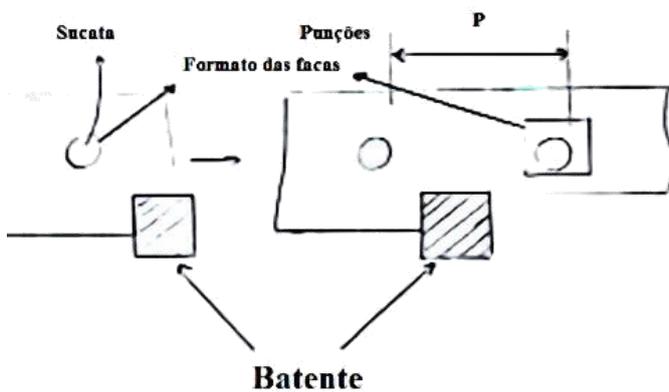


14.4.7 Estamparia

- 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

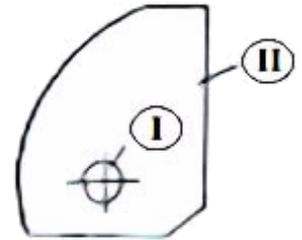
L: comprimento da chapa

B: largura da chapa

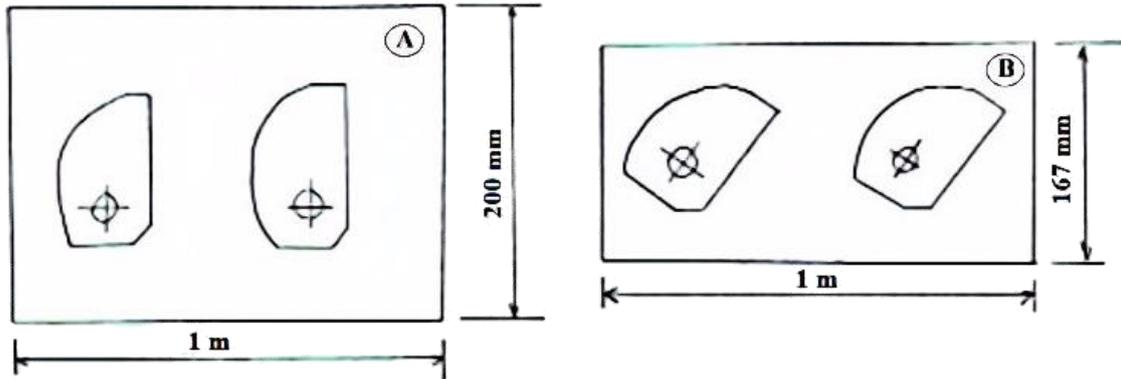
Ae: área externa

Exemplo:

Suponha que se queira fazer a seguinte peça, que é um recorte de uma chapa de espessura $t < \frac{1}{4}$ ". 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.



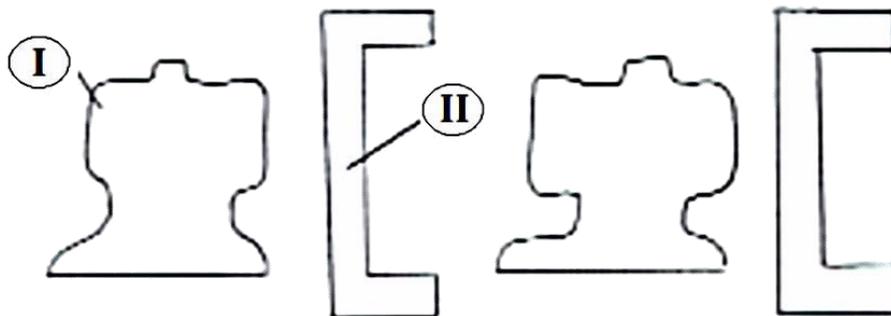
1. Como maximizar o aproveitamento das chapas?



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.

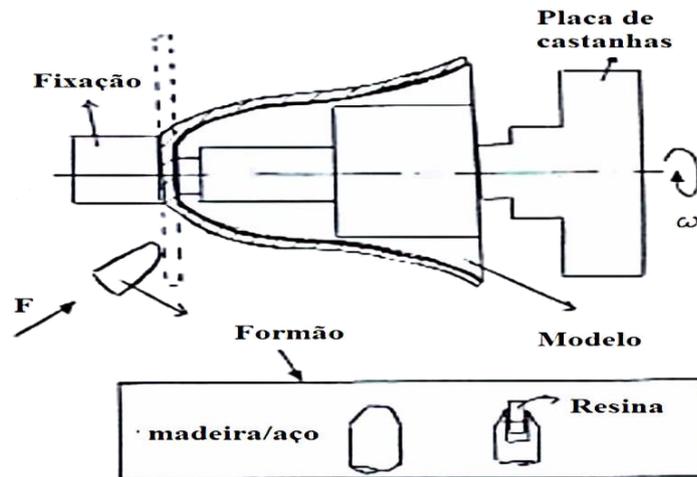


3. O acabamento é bom nas regiões de corte?

Não, pois há deformação plástica na peça.

14.4.8 Repuxamento

- 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.

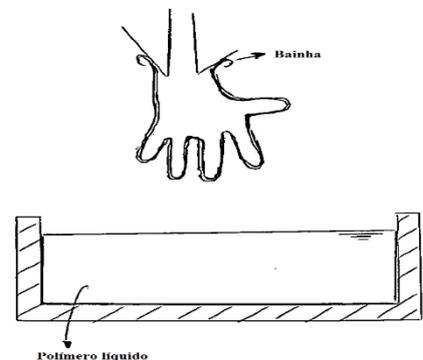


- O acabamento é excelente, mas as vezes é necessário realizar polimento para remover as marcas de dobra.
- É necessário um operador treinado para esse processo.
- Processo de conformação a frio.
- Pequenos lotes: modelo de baixo custo.
- Exemplo: cabeça de foguete.

14.4.9 Moldagem por imersão

Fabricação de peças flexíveis (PVC e Latex) como luvas e bexigas. Molde de cerâmica esmaltada. Controle de espessura por tempo e viscosidade.

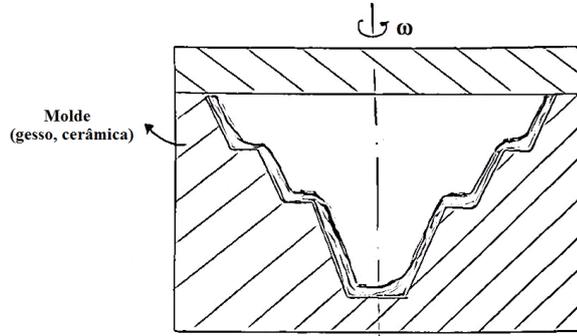
Argila → Ceramista (molde CNC) → Formato de molde → Forno → Molde



14.4.10 “Roto-moldagem” (termoplásticos ou termofixos)

14.4.10.1 Geometria axisimétrica:

Há simetria em relação ao eixo. É um processo de fabricação barato, pois a ferramenta (molde) não precisa ser de aço. Posiciona-se uma certa quantidade de uma massa de polímero (polímero fundente ou catalisador e resina) no fundo do molde que então é posto a girar com velocidade angular controlada



14.4.10.2 Aplicação:

- Caixas d'água

14.4.10.3 Vantagens:

- Ausência de defeitos (bolhas)
- Muito mais barato que injeção, pois o molde da injeção é muito caro (R\$ 100)

14.4.10.4 Problemas:

- Espessura do fundo pode ficar muito grossa: velocidade angular é baixa

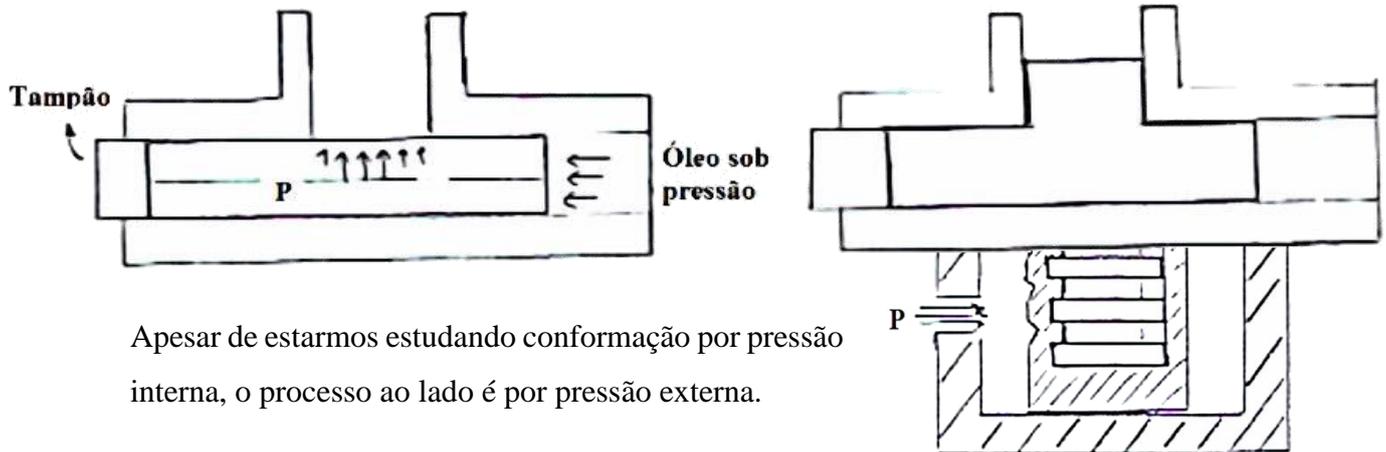
14.4.10.5 Geometria Não – axisimétrica:

- Termofixo resina + catalisador
- Polimerização ocorre no molde: formação do polímero e gás
- Tamanho limitado
- Montagem análoga a um giroscópio com rotação nos 3 eixos

14.4.11 Conformação por pressão Interna

14.4.11.1 Hidroconformação

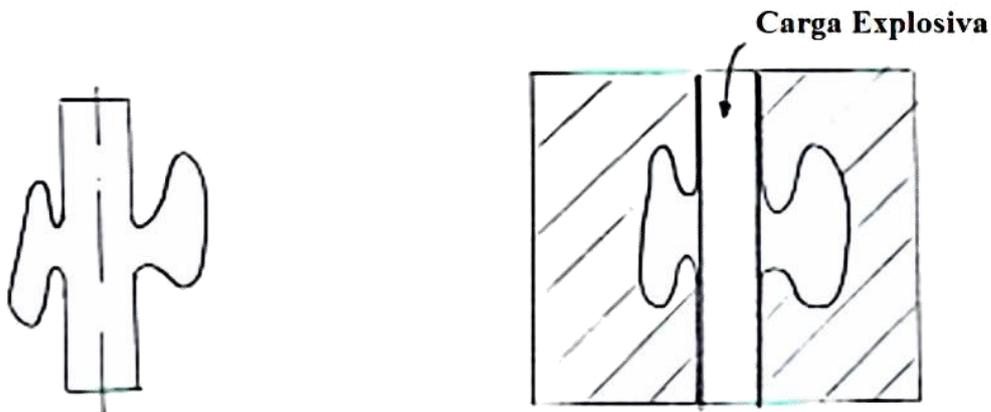
É um processo realizado com tubos ocios de espessura fina para produzir peças fechadas, únicas e de parede fina.



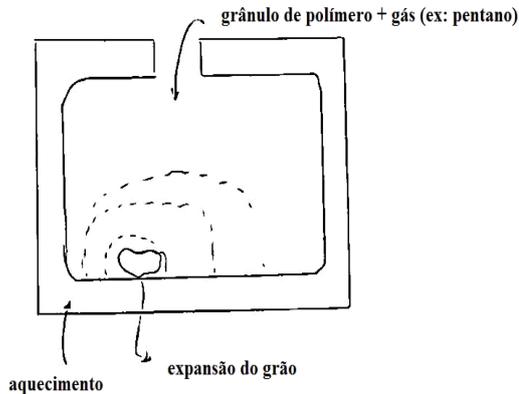
Apesar de estarmos estudando conformação por pressão interna, o processo ao lado é por pressão externa.

14.4.11.2 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.



14.5 Produção de Isopor

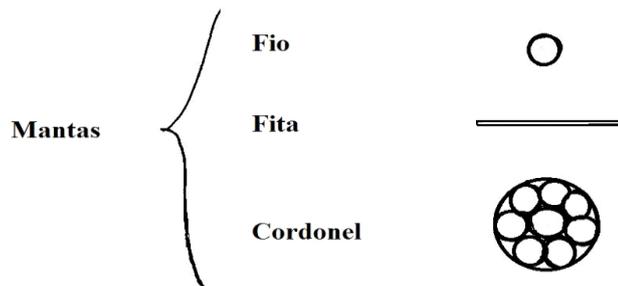


14.6 Polímero reforçado

Em geral, polímeros não são empregados em peças com função estrutural (que resistam a esforços muito maiores que seu peso). Para permitir tal emprego, podem ser utilizados reforços.

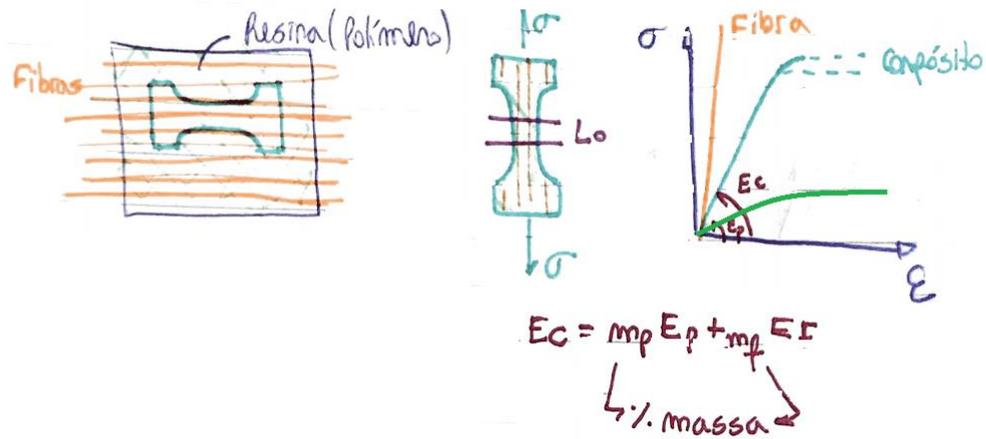
14.6.1 Reforço

- Fibras de vidro, carbono ou outro polímero (poliamida: Nylon)
 - *Inteiro*: fio, malha
 - *Pedaço*: fio cortado distribuído aleatoriamente pela superfície
- Fio inteiro, em partes, manta (aleatória ou trama).



14.6.2 Propriedades Mecânicas

- Limites de resistência à tração também varia com a direção de aplicação.
- A resina (polímero) rompe antes da fibra, que desliza sobre o polímero (depende do processo de fabricação).

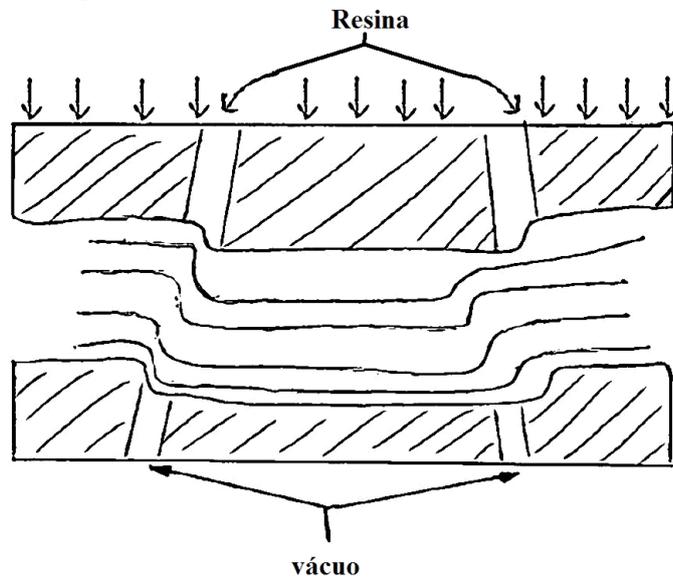


- Para reduzir a anisotropia pode-se adicionar fibras nas mais diversas direções: aumento de espessura do painel / chapa.
- Casos limites para falha (vistas da ST):



14.6.3 Fabricação

14.6.3.1 Laminação



- Diferente da laminação de metais
- Fibras, Resina, Cura (temperatura ambiente, autoclave)

14.6.3.2 Bobinagem de filamentos:

- Processo caro
- Fuselagem de avião, bico de fórmula 1, pás de gerador elétrico
- Para resinas termofixas

14.6.3.3 Lay-up Molding

- Mantos de fibra
- Sobreposição de camadas intercaladas de fibra e resina
- Difícil controle de propriedades mecânicas
- União por curvas ou parafusos
- Para resinas termofixas

14.6.3.4 Painéis em termoplásticos

- Conformação e corte em desenvolvimento
- Espessura maior que na conformação de metais

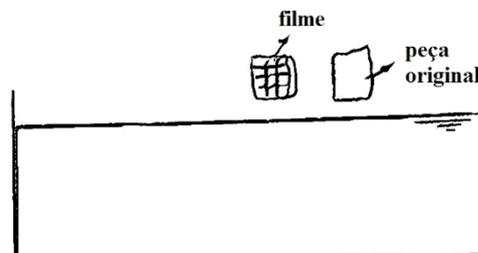
14.7 Processos de acabamento

14.7.1 Transfer

- Aplicação de filme (Decal): estampado, banho ou molde
- Peça de polímero ou de metal

Aplicação:

- Capinhas de celular
- Decoração de rodas de carro



14.7.2 Acabamento metálico

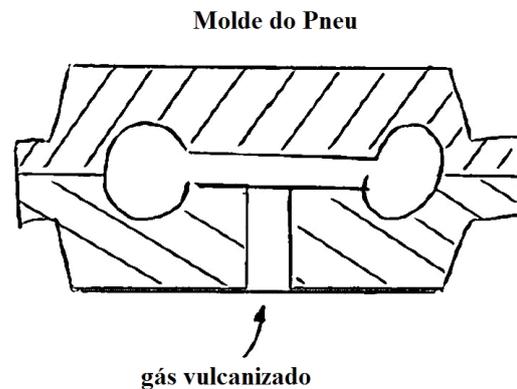
Peça de polímero: eletrizada estaticamente (por atrito, indução)

14.8 Produção de borracha sintética

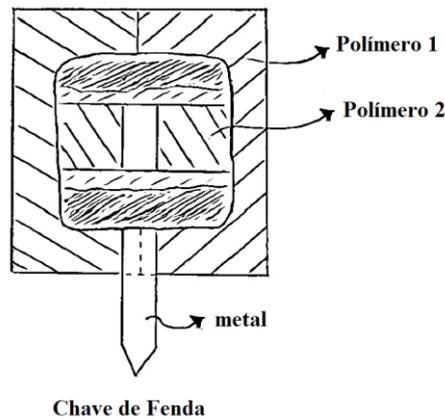
- Látex
- Vulcanizada: atmosfera de enxofre

14.8.1 Aplicação

- Carcaça do pneu (a estrutura é feita com polímero reforçado com poliamida / fibras)
- Obs: Pote de manteiga é pintado por jato de tinta; Ranhuras e cravos podem ser feitas com posições ou com remoção de material por corte.
- Correias
- Esteiras



14.9 Injeção de dois polímeros



15 Madeiras

15.1 Introdução

- “Você não vai à madeiraria e compra um tronco de árvore. As pessoas pegam as árvores, as cortam e produzem placas de compensado e caibros.”

Alves, Marcelo A.L.

- *O que são caibros?*

São chapas com o comprimento muito maior do que a largura.

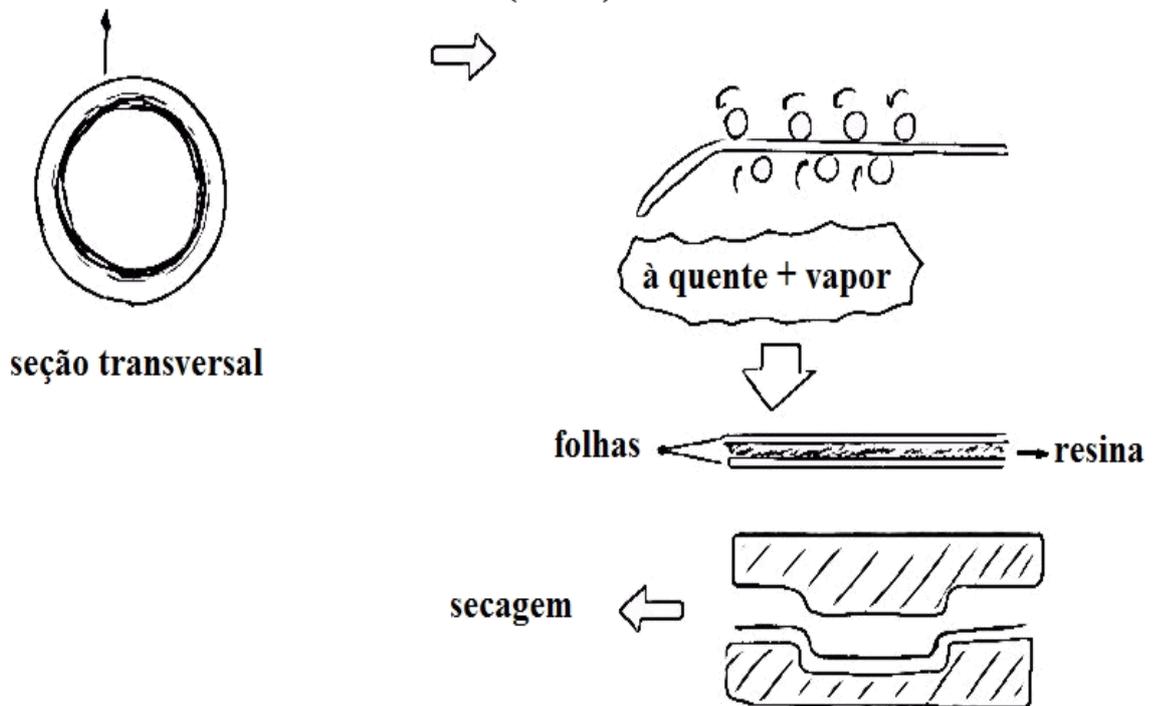
15.2 Processamento

- Utiliza-se madeira de reflorestamento

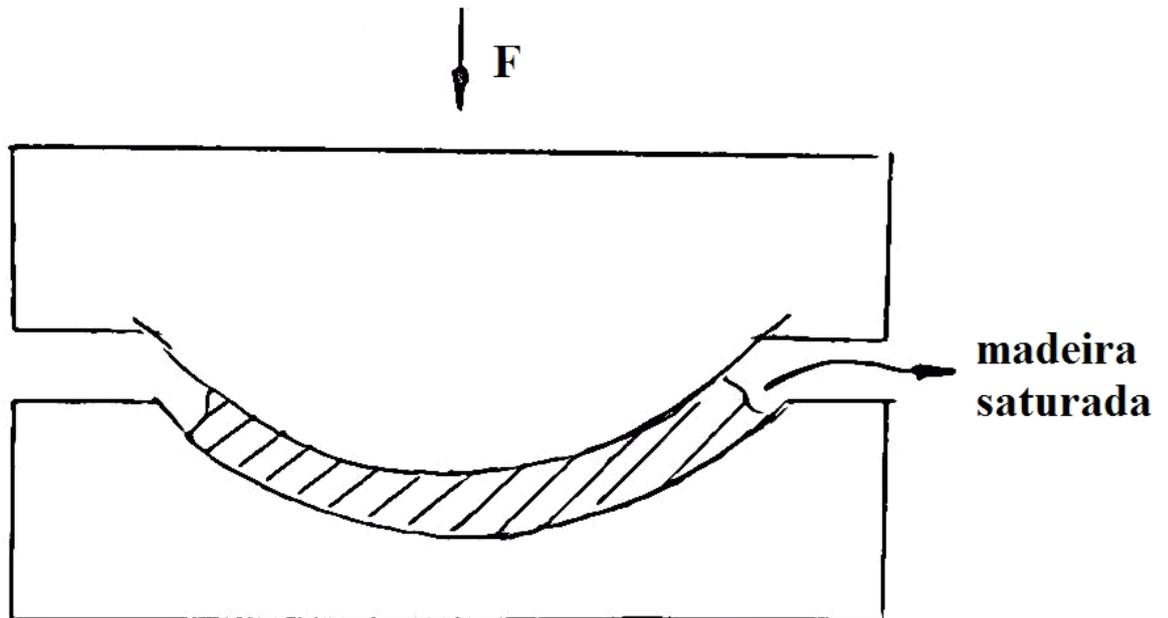
Introdução à Manufatura Mecânica

- Pinheiros: compensado, perfis.
- Eucalipto: papel (a sobra é utilizada para produzir compensado e madeirite).
- Passa-se as folhas por rolos para endireita-las.
- Para fazer os compensados coloca-se uma resina entre as folhas.

Remoção de camadas de madeira do tronco (folhas)



15.3 Dobramento da madeira/conformação



15.3.1 Conformação à quente

- Peças de espessura máxima de 5 mm.
- Molde à quente.
- Secagem rápida.
- Por que há essa limitação? Existe uma espessura mínima?

15.3.2 Vapor

- Madeira saturada (vapor)
- Secagem lenta (à frio ou à quente?)

15.4 Corte

15.4.1 Usinagem

- Torno, plaina, furação, fresamento.

15.4.2 Ferramenta

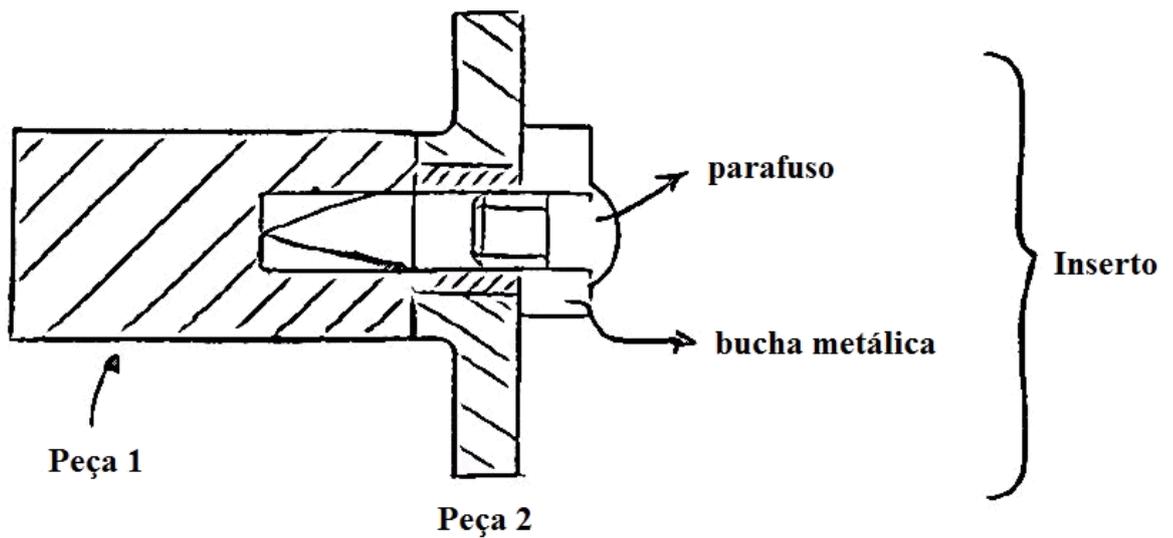
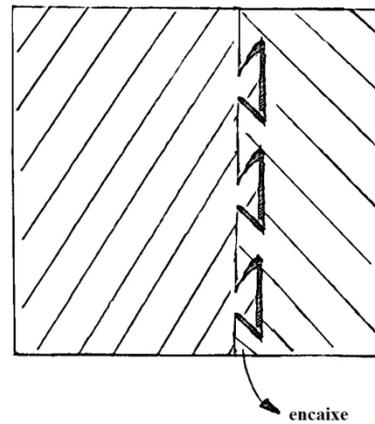
- Afição da ferramenta
- Material da ferramenta: Aço rápido (não pode usar metal duro e nem sinterizados)
- Velocidades de corte

15.4.3 Desgaste

- Não pode usar rebolo! O pó de madeira produzido entra nos poros do rebolo, comprometendo seu corte.
- Lixas (com diferentes granulometrias): circulares (cinta) ou alternativas (vibratórias)

15.5 União

- Encaixe (Figura ao lado)
- Adesivo
- Insetos metálicos
- Pregos
- Parafuso (Figura abaixo)
 - Rosca soberba: usina a madeira.
 - Inseto metálico ou de polímero.



15.6 Produção de aglomerados

15.6.1 Composição

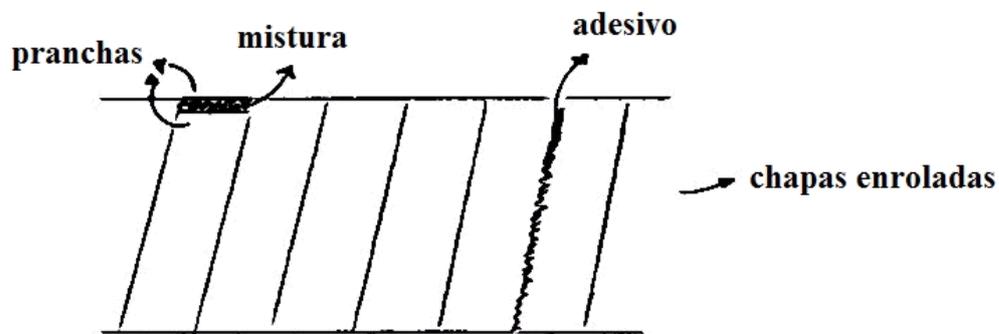
Serragem, sobras moídas e resina misturados.

15.6.2 Propriedades

- Leve e isolante térmico/elétrico
- Baixa resistências mecânica

15.6.3 Conformação

- Produção de tubos.



16 Vidro

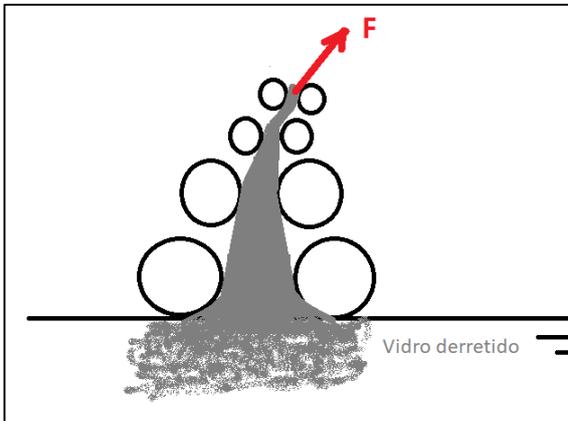
Vidros são compostos de SiO (areia). Podem ser divididos em três categorias principais de dureza: Mole (soda-cal ou chumbo alcalino), duro (pyrex – boro silicato) e muito duro (sílica e sílica fundida)

16.1 Conformação em estado liquido

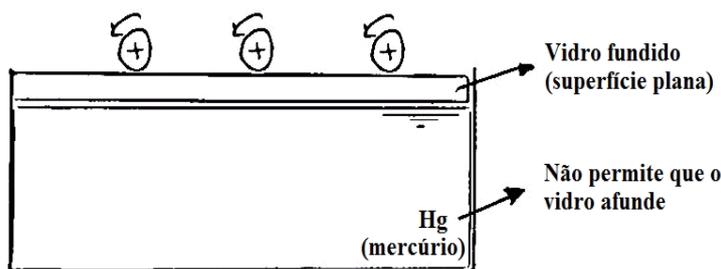
Para placas, barras e tubos. A propriedade mais importante do material para este processo é sua viscosidade.

16.1.1 Laminação

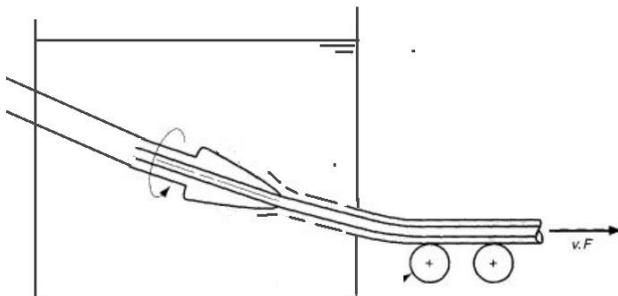
Requer polimento posterior



16.1.2 Flutuação



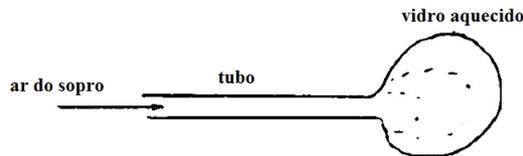
16.1.3 Fabricação de fibras e tubos



16.2 Conformação em estado plástico

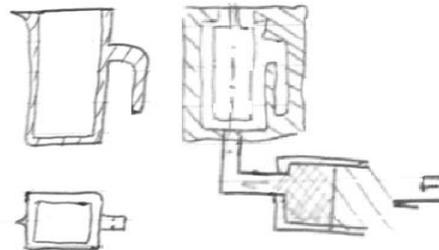
16.2.1 Sopros

Industrial ou artesanal. Utilizado para fabricação de garrafas de vidro e tubo de lâmpada fluorescente



16.2.2 Molde

Fabricação de jarras de vidro, por exemplo. Pode ser realizado também sopro em molde de peça pré-moldada e conformação (tecnologia recente) para vidros curvos.



16.3 Têmpera

Vidro resfriado rapidamente, acumulando tensões residuais auto-equilibradas, aumentando significativamente sua resistência. Observação: em casos de impactos com forças concentradas em um ponto, fraturando uma pequena região do vidro, este estoura, pois suas tensões residuais deixam de estar em equilíbrio.

O emprego de três camadas de vidro, sendo a do meio uma camada temperada impede o estilhaçamento da camada intermediária. Este processo é utilizado para fabricação de vidros blindados

17 Cerâmicas

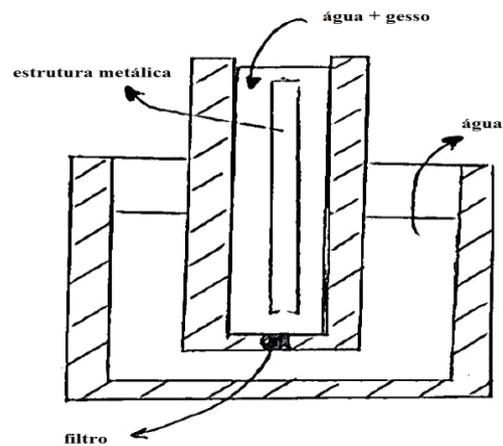
Cerâmicas podem ser feitas de argila, gesso ou alumina ($AlO_3 + SiOL$). Após sua fabricação necessitam ser curadas (aquecimento em um forno). São empregadas para fabricação de louça e isolador elétrico, por exemplo. Em linhas gerais, os custos envolvidos no processo consistem em: cura no forno (energia), decoração (ouro, decal, pintura) e esmalte de vidro (pulverizado, mergulhado, pincelado).

17.1 Produção de porcelana

- Pode ser feito sob rotação.
- Pode ser feito sob pressão (3 a 4 atm).
- Descarta-se a argila com água.
- Leva-se o molde para o forno.
- Após a cura o molde de gesso e possíveis machos são quebrados.
- Louças, pias, vasos sanitários e banheiras.

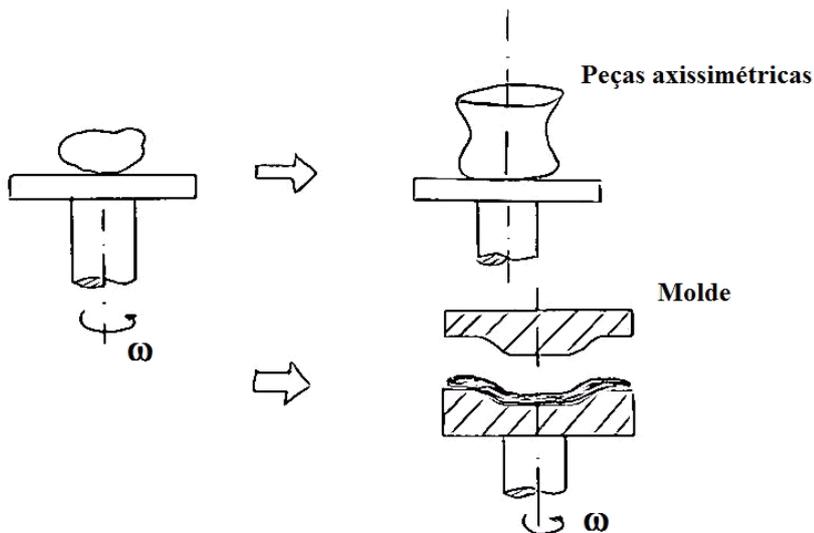
17.2 Produção de gesso

Giz, gesso de construção tipo drywall e molde de porcelanas. Utiliza-se uma estrutura metálica para aumentar a resistência mecânica. Após a água escorrer leva-se o molde para o forno. A cura é **diferente** de Sinterização. Os modelos (permanentes) são de madeira ou de gesso esculpido (mais denso)

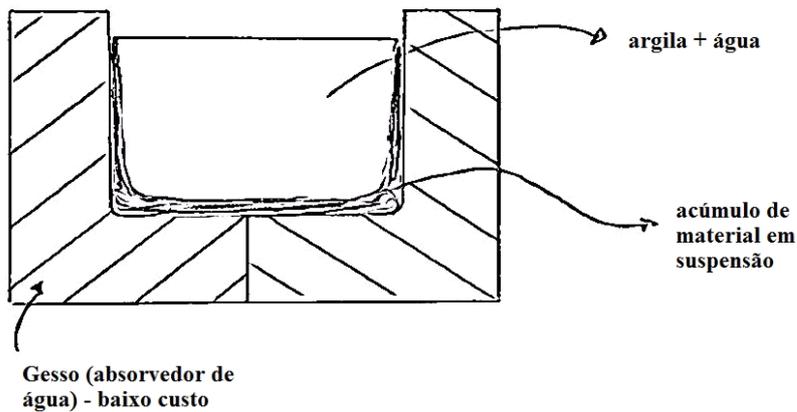


17.3 Processos de fabricação

17.3.1 Torno e Prensa



17.3.2 Colagem

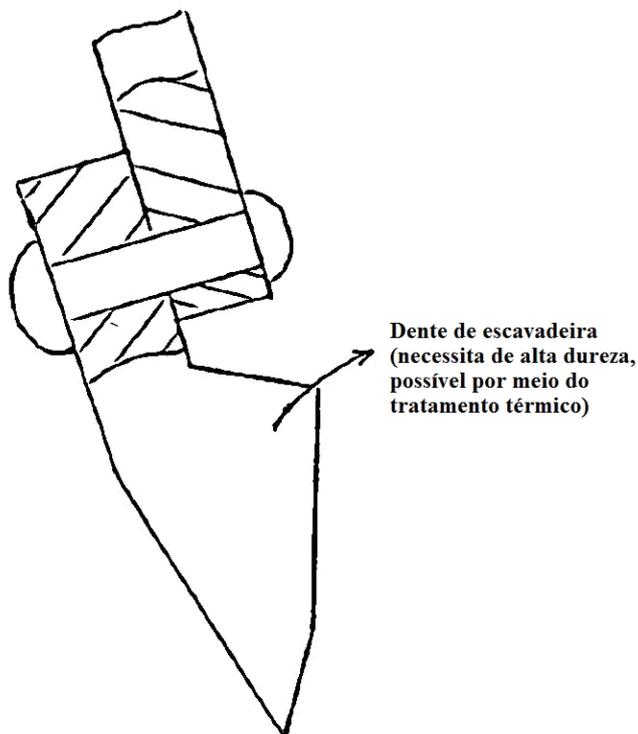


17.3.3 Argila

Um modelo é mergulhado em argila líquida. Tal modelo é constituído de uma tela e estrutura. Após secar a peça, retiro a tela. A estrutura metálica permanece por dentro. Cura-se a peça no forno.

18 Tratamento térmico

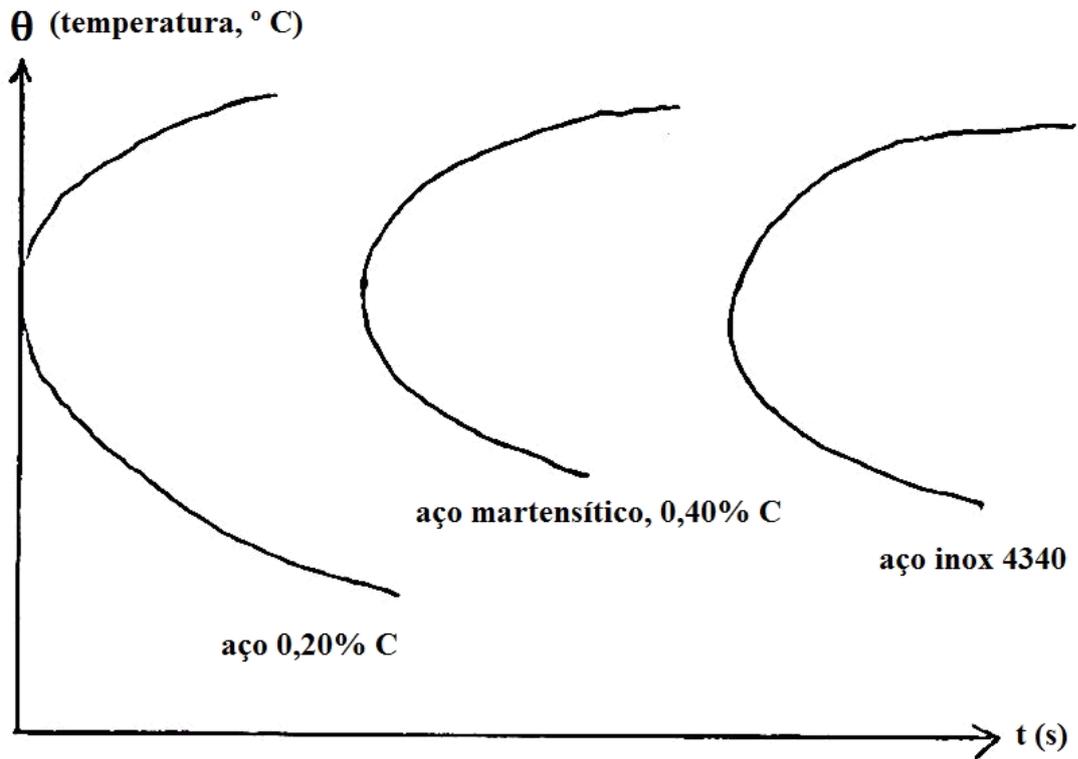
(Modificar propriedades mecânicas sem adição ou retirada de elementos de liga)



Introdução à Manufatura Mecânica

- Necessidade de:
 - Dureza superficial elevada
 - Resistência ao desgaste
- Difícil usinagem.
- Difícil conformação.
- Fundição comprometeria as propriedades mecânicas.

18.1 Diagramas Tempo-Temperatura-Transformação

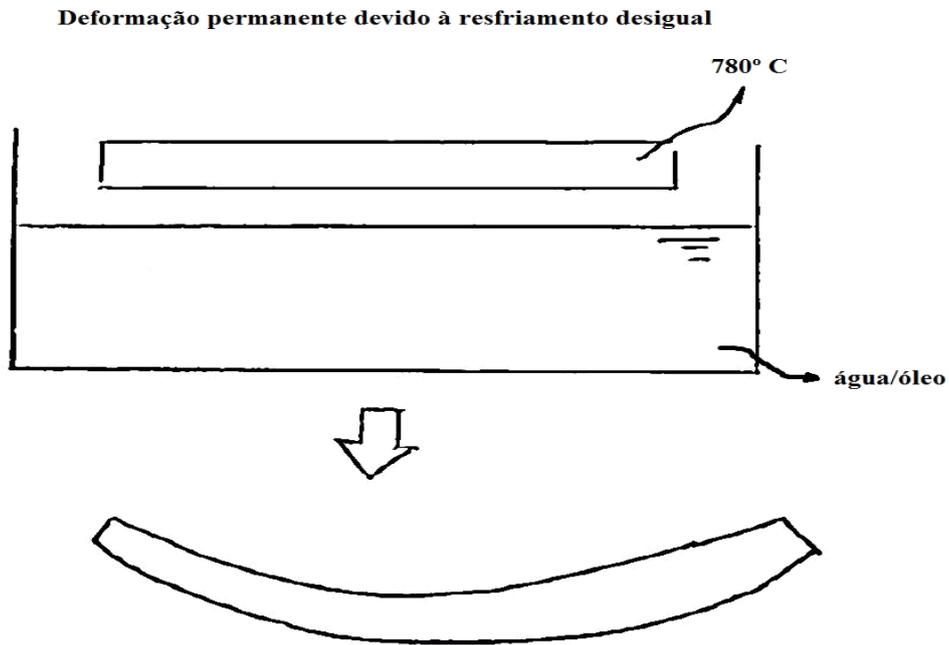


18.2 Resfriamento

18.2.1 Deformações permanentes

- Resfriamento desigual

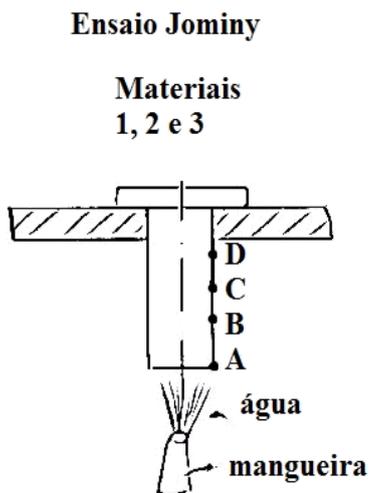
18.2.2 Tensões residuais



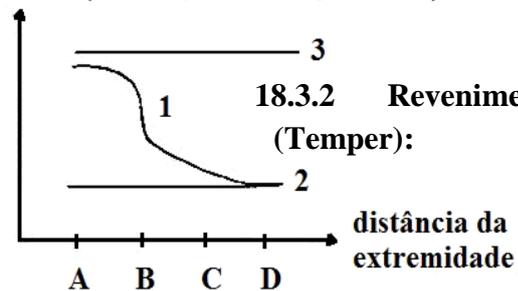
18.3 Processos de tratamento térmico

18.3.1 Têmpera

- Aquecimento acima da temperatura de recristalização (740° C)
- Resfriamento rápido
- Ensaio Jominy



Dureza (Brinell, Rockwell, Vickers)



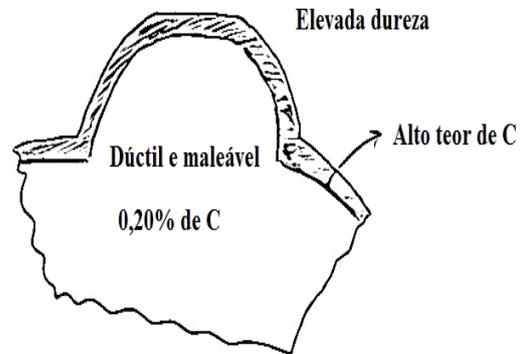
Hipóteses: material 1 - aço baixo carbono, material 2 - aço 1040; dureza incorreta do material 3 (nenhum ensaio é perfeito)

- Aquecimento moderado (500° C)
- Resfriamento lento (Ar)
- Diminuição da dureza, aumento da ductilidade e diminuição da fragilidade.

- Recuperar parte da ductilidade perdida com a têmpera.
- Coloração azulada (armas de fogo, ferro de solda)

18.3.3 Cementação

- Diferentemente da têmpera (que apenas há aquecimento e resfriamento do metal), na cementação o metal é aquecido em uma atmosfera de carbono.
- O carbono entra no metal por difusão.
- Aplicação: dentes de engrenagem.



18.3.4 Nitretação

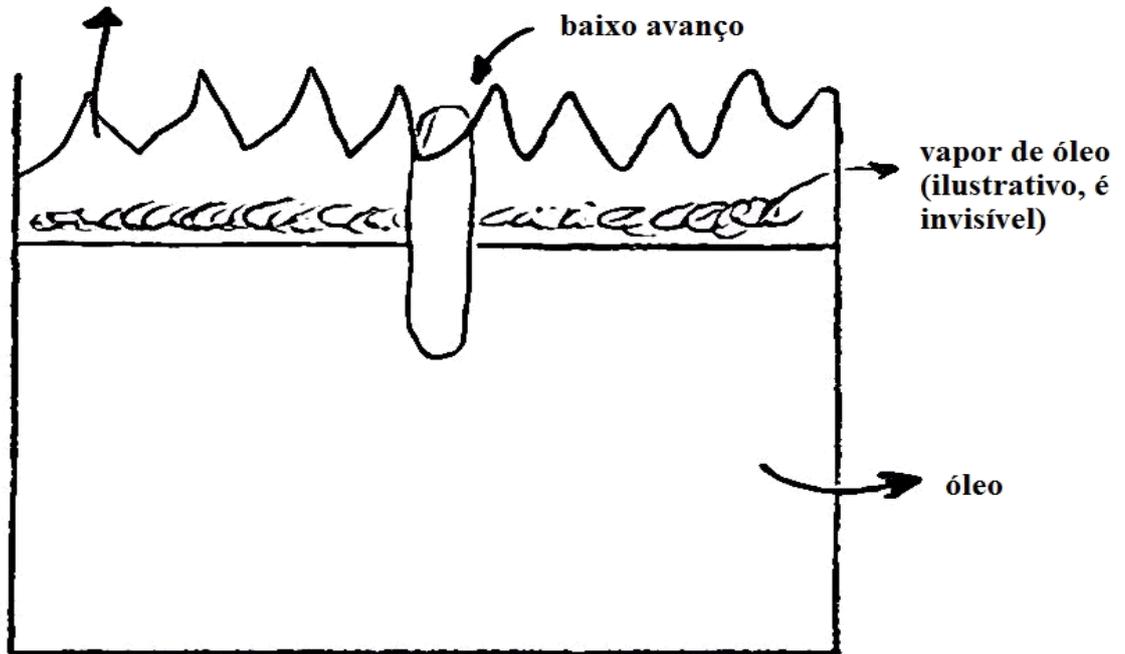
- Gasosa ou líquida.
- Feita em altas temperaturas (CCC → CFC) para facilitar a difusão do nitrogênio.
- Aumentar a dureza do material.
- Camada tratada ($\epsilon = 0,2$ ou $0,3$ micrômetros)
- Aplicação: engrenagens (há atrito e conseqüentemente desgaste)
- Alteração das dimensões.

18.4 Resfriamento

18.4.1 Tipos

- Ar (forçado ou parado)
- Óleo
- Água
- Queda da velocidade de resfriamento (do ar para a água)

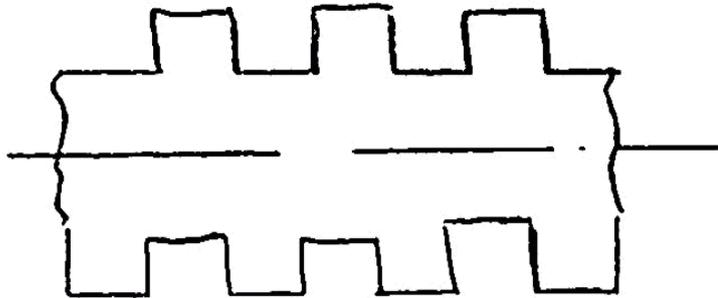
O avanço lento de uma peça aquecida pode levar a ignição do vapor de óleo na superfície



18.4.2 Critérios de escolha do tipo de resfriamento

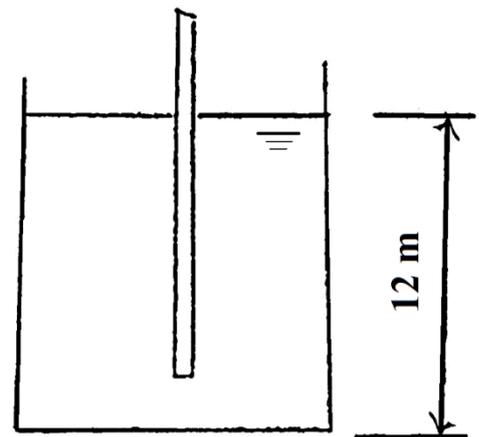
Material

- Grau de dureza (velocidade de resfriamento)
- Tamanho
 - Dilatações e contrações térmicas diferenciais
 - Deformações diferenciais
 - Falhar ou trincas
 - Praticidade
- Exemplo: Parafuso comprido (12 a 15 mm)



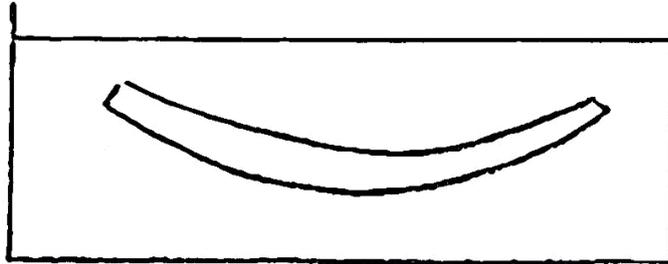
Método 1: piscina profunda

- Muita água
- Piscina muito profunda (difícil de fazer)
- Grande área fabril
- Variação de dureza ao longo do comprimento

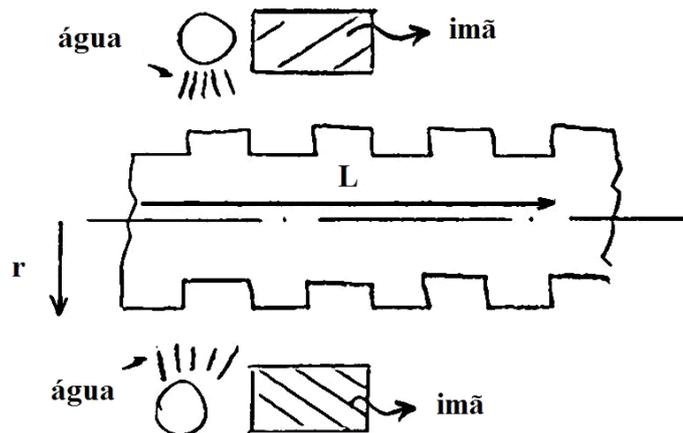


Método 2: piscina comprida

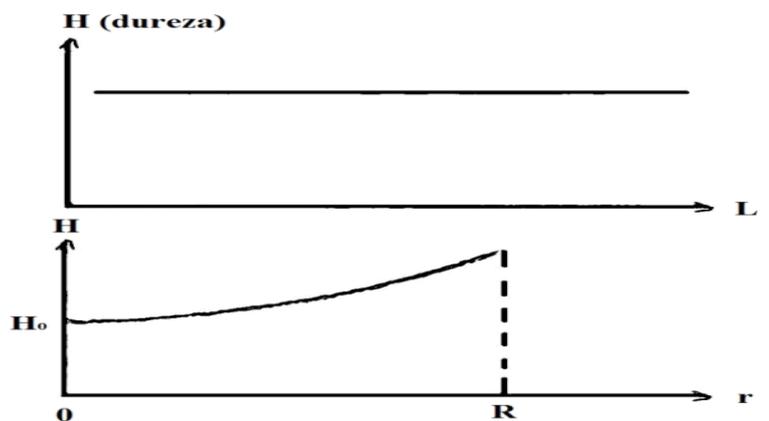
Empenamento de Eixo



Método 3: indução eletromagnética



- Têmpera superficial
- Dureza uniforme ao longo do comprimento
- Dureza elevada na superfície



18.5 Vidro Temperado

- Aquecimento e resfriamento rápido: tensões residuais: estilhaçamento
- Não gera cacos
- Pode ser colocada uma nova resina na superfície
- Diferentemente do Ferro o vidro não muda de CCC para CFC.
- Vidro blindado: camadas intercaladas de vidro e de material resistente.
- Vidro aquecido é conformável: quase todos os processos de conformação já vistos

19 Montagem

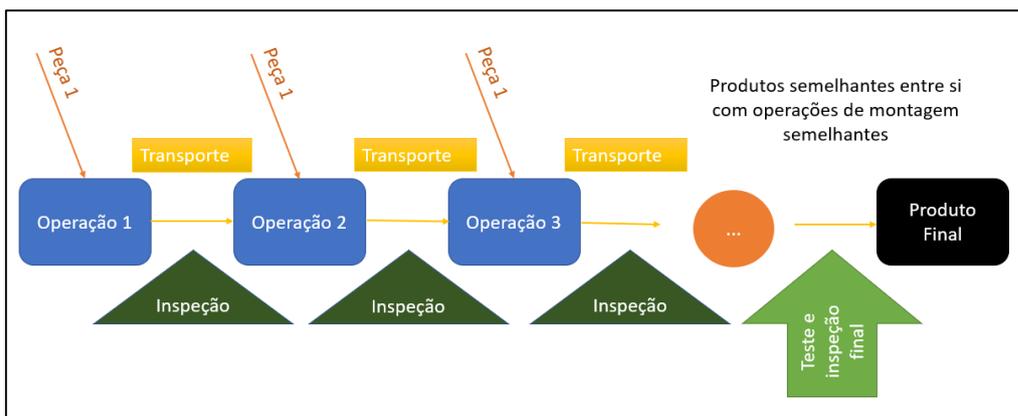
Sequência de operações de uniões de conjuntos e peças.

Em geral, não há mudança na forma ou propriedades mecânicas das peças. Utilizam-se dispositivos e formatos de montagem a fim de evitar erros de montagem e acelerar ou automatizar a montagem.

19.1 Linha de montagem

Percurso pela área fabril para montagem de peças e conjuntos (peças se movem). Deve-se pensar-se no processo de montagem e na linha de montagem durante o projeto (engenharia simultânea), simulando as etapas de fabricação para averiguar viabilidade de fabricação do projeto e detectar possíveis problemas.

Aplicação: automóveis, linha branca (geladeira, ferro de passar) ou eletrônicos.



19.1.1 Características da linha de montagem

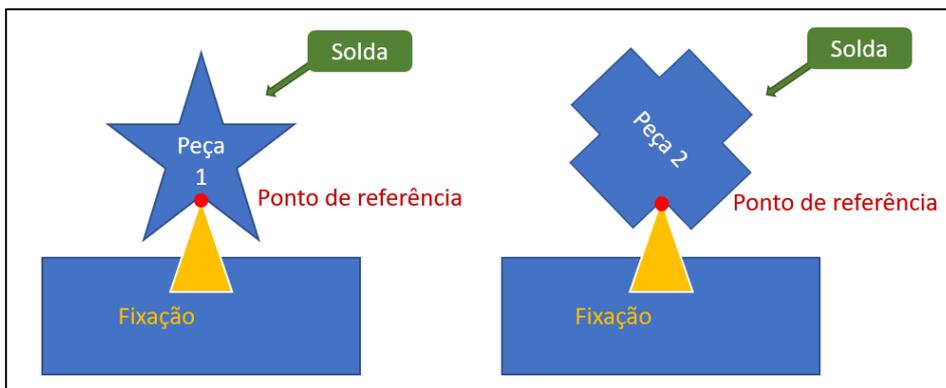
Fordismo: A linha de montagem foi feita para ser não-flexível.

“Você pode escolher seu Ford de qualquer cor, desde que ele seja preto”

Henry Ford

Hoje procura-se por flexibilidade, ou seja, é possível produzir mais de um produto na mesma linha. Apesar de a linha de montagem ser flexível, os processos de fabricação não o são! (Máquinas dedicadas). Para a fabricação de qualquer peça é necessário ajustar o conjunto máquina-ferramenta, o que requer tempo e dinheiro. Para isso, são empregados gabaritos próprios.

Além disso, para permitir automatização, os carros de transporte sobre os quais as peças são montadas possuem sempre os mesmos pontos de fixação da carga. Exemplo: todos os veículos produzidos em uma mesma linha são montados sobre o mesmo tipo de transportador com a fixação localizada nos mesmos pontos, assim, as máquinas sempre são programadas para realizarem operações sabendo onde estarão os produtos, mesmo os produtos de geometrias diferentes, a partir desses pontos.



Como manter um estoque como valor imobilizado é inaceitável atualmente, pratica-se a produção “puxada”, isto é, fabricação sob demanda.

19.2 Sistemas de informação de produção

É definida uma sequência de montagem. Sempre deve haver disponibilidade dos itens corretos, com o objetivo de não travar a linha. Para tornar a linha mais flexível é necessário um controle de fluxo e necessidades bastante grande. São empregados sistemas de referência de referência geométrica em:

- Estações de montagem
- Sistemas de transporte
- Produto

Deve-se atentar para o fluxo do produto, fluxo de suprimentos (Obs: velocidades e tempos distintos em cada etapa de trabalho).

20 Célula de fabricação

- Suponha que se queira fazer a seguinte peça, que necessita de torneamento e fresamento. Para que a peça esteja dentro das especificações, devem ser realizadas diversas tolerâncias
- O antigo esquema de fabricação era deficiente quando uma peça saía fora das especificações, pois não se sabia qual máquina/operador era causador.
- Bolou-se o seguinte esquema, mais eficiente para a detecção de falhas.

21 “Manufatura enxuta” (Lean Manufacturing)

- Sistemas de produção Toyota
- Deming: aplicação de métodos estatísticos para avaliação/planejamento de processos

21.1 Objetivos

- Redução de erros
- Evitar retrabalho
- Otimização do processo
- Redução de custos
- Tempos (custo significativo)
 - Produtivos (otimizar)
 - Não produtivos (eliminar ou reduzir ao máximo)
 - Preparo de máquina
 - Troca de ferramenta
 - Reparos
 - Retrabalho

21.2 Como otimizar o tempo produtivo?

- Eliminar erros
- Fazer mais rápido.

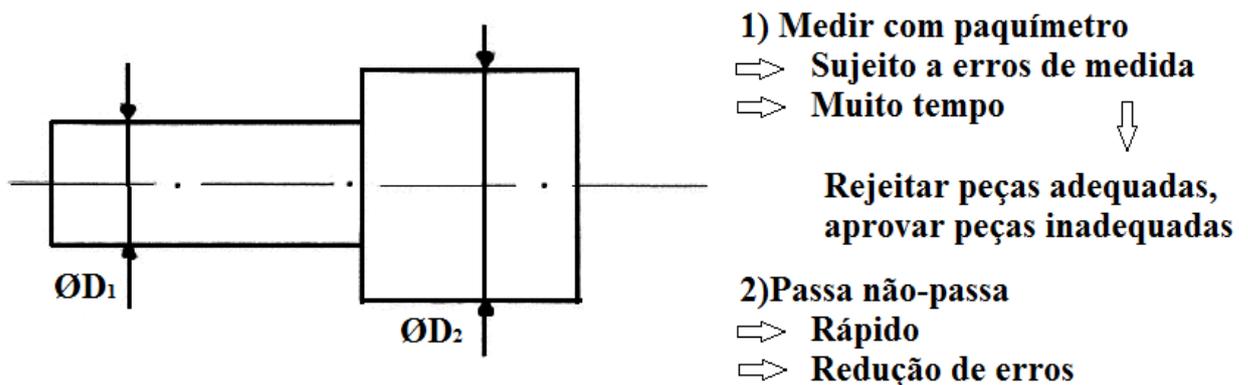
- Exemplo: medir furo de 32mm.
 - Paquímetro de 200mm (pior): mais demorado e suscetível a erros.
 - Passa não passa de 32mm (melhor): mais rápido e menos suscetível a erros.

21.3 Kanban

- Transmissão de informação.
- Informação sobre o fornecimento preciso de insumos para manter o fluxo contínuo de produção.
- Exemplo: torneiro mecânica com 3 caixas para ferramentas + afiador/supervisor

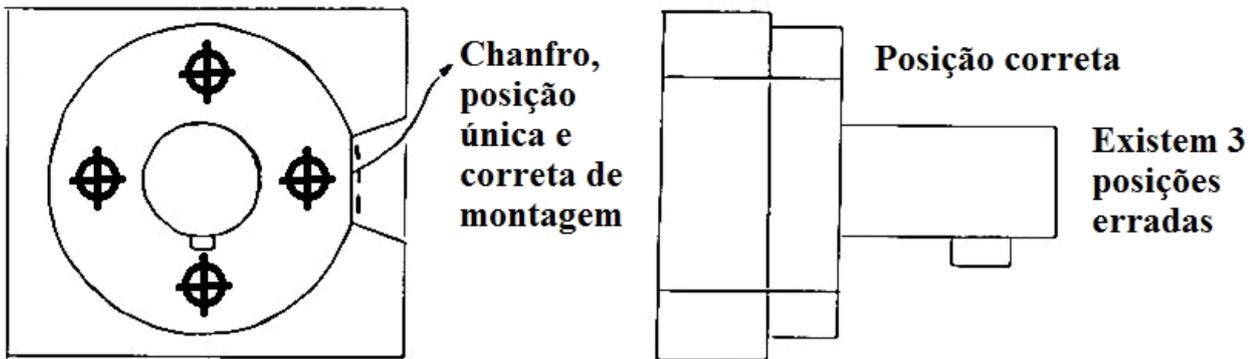
21.4 Poka-Yoke

- Modo único, rápido e corretor de executar uma tarefa.



- Exemplo: medição dos diâmetros de uma peça com cadência de 100 peças/min e há necessidade de medir todas as peças:
 - Medir com paquímetro: sujeito a erros de medida (rejeitar peças adequadas e aprovar peças inadequadas), não há tempo disponível e, portanto, é inviável.
 - Passa – não passa: rápido, reduz erros e, portanto, é viável.
- Exemplo: separar esferas por seus diâmetros usando uma “peneira” de diâmetros.

- Exemplo: fixação de uma flange.



21.4.1 Como implementar?

- Observar
- Medir (mensurar): número de erros, frequência de erros, horas de trabalho.
- Testar

21.5 Controle Contínuo de Produção

21.6 FMEA

- Análise dos modos de falha e seus efeitos.
- Identificar e corrigir falhas individuais conforme a gravidade dos efeitos dessas falhas.

22 Manufatura aditiva

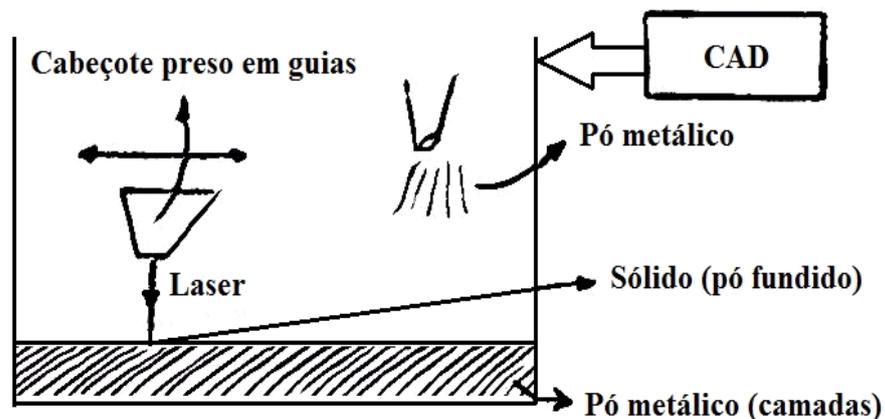
- “Impressão 3D”
- Prototipagem rápida (fast prototyping)
 - Modelos (de fundição)
 - Protótipos
 - Feitos diretamente de dados de CAD
- Sem uso de métodos tradicionais
- Exemplo: protótipo de retrovisor
 - Inviável de ser usinado
 - Ideia inicial: curvas de nível com papelão ou isopor
- Processo único até a peça final

22.1 Aplicação

- Modelos para fundição
- Modelos para moldes em geral
- Peças únicas para protótipos (funcional)
 - Exceto: resistência (fadiga)
 - Acabamento superficial
- Simulação de montagem
 - Projeto de gabaritos
 - Sistemas/dispositivos de movimentação ou transporte de peças
- Uso “pessoal”
 - Prótese dentária
 - Prótese ortopédica
- Exemplo: ventilador
 - Número de pás
 - Perfil da pá
 - Simulação (Software CFD)
 - Ventilador A x Ventilador B: Desempenho semelhante no software → Prototipagem para testes em laboratórios

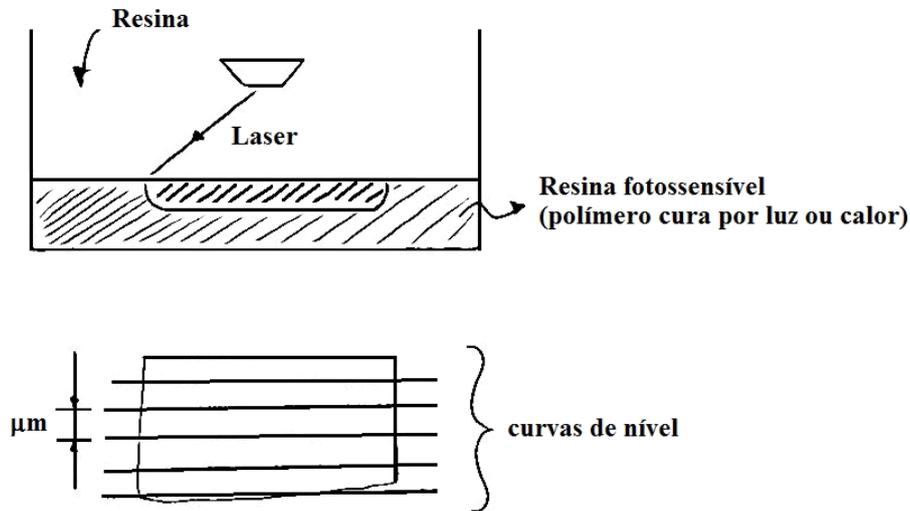
22.2 Sinterização seletiva por laser (metais)

- Peça em curvas de nível
- Acabamento: espessura do feixe do laser e espessura das camadas → Acabamento não é muito bom
- Peças com grande resistência



22.3 Estereolitografia (SLA)

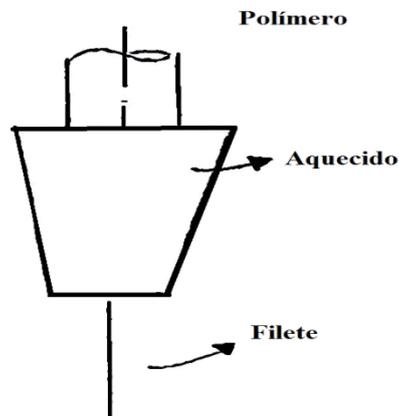
- Impressão em curvas de nível



22.4 Limitações

- Itens únicos ou personalizados → Vantagens sobre fabricação artesanal + ourivesaria (peças de valor elevado)
- Lei de Moore (válida para eletrônicos): “Duplicar a capacidade reduz pela metade o custo do limite/padrão anterior”
- Velocidade de impressão: 200x200x200 leva de 6 a 8 horas
- Fabricação de peças de grande porte (tempo de montagem não importa)
 - Embarcação
 - Aeronave

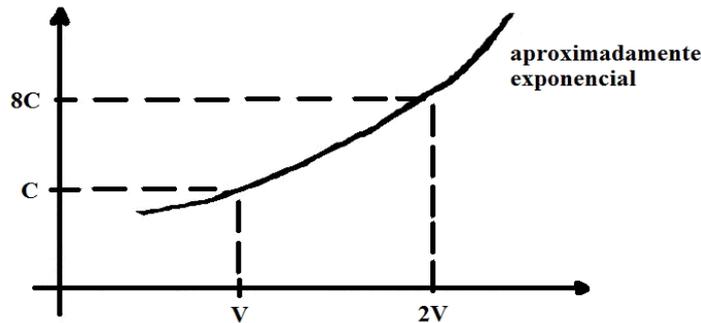
22.5 Injeção



- Pouco preciso

22.6 Custos

- Volume das peças (depende da máquina)
- Elimina ferramental (exemplo: molde para injeção)
- Insumo (matéria prima) → Custo elevado (fornecedor único)



22.7 Digitalização de objetos

- Usado para fazer próteses dentárias, ortopédicas, peças sem arquivo CAD
- Fotos, feixe
- Descrição matemática do objeto
- Indústria alimentícia: pasta, doce (“Fini”), café Nespresso.

22.8 Exemplo: Produção de arruelas

22.8.1 Estampo de corte (em prensa)

- Força máxima para o primeiro estampo:
- Força máxima para o segundo estampo:
- Fator limitante
 - Capacidade da prensa é 10 toneladas (98 kN)
 - 3 arruelas por golpe (98 kN/ 30 kN)
 - O cálculo mais preciso é por energia
- Disposição das arruelas
- Ferramentas de corte
- Custos
- Produção

- 40 golpes por minuto
- 3 arruelas por gole → 120 arruelas por minuto
- Avanço de 19 mm/golpe → 720mm / min
- Comprimento da bobina é $L = 50\text{m}$ → 69 min para troca de bobina
- Preparação de 20 min na troca
- Dia de 8 horas → 5 bobinas por dia
- Portanto, 8280 arruelas por bobina → 41400 arruelas por dia
- Lucro
 - R\$ 0,01 / arruela
 - R\$ 414,00 / dia
 - Lucro = R\$414,00 (receita) – R\$ 96,00 (operação) – R\$100,00 (material)
= R\$ 218,00
 - Considera-se inflação e custo do dinheiro também

22.8.2 Puncionadeira

- Por que usar a puncionadeira? Vantagens?
- O rejeito é separado das arruelas por meio de uma peneira

23 Design

23.1 Design for manufacturability (DFM)

→ Manufatura

- Desde o projeto conceitual, o produto é pensado para ter fabricação:
 - Mais fácil
 - Mais econômica
 - Mais adequada a linha existente
- Deve-se levar em conta:
 - O material da peça
 - Processos de fabricação
- Exemplo: material polimérico
 - Motivo: higiene, peso, forma
 - Processo de fabricação: injetora

23.1.1 Projeto x Realidade

- A configuração real depende do material e dos processos de fabricação adotados.
- Exemplos
 - Encaixe: pode desencaixar.
 - Adesivo: não pode ser desmontada.
 - Ajuste forçado: difícil controlar tolerâncias.
 - Peça única: exige um projeto mais elaborado da ferramenta de injeção (mais caro), método distinto de montagem.
- Uso de modelos em CAD
- Determina sequência de montagem
 - Ferramentas próprias
 - Simulação de montagem
 - Tempo de montagem
 - Custos
- Pré-projeto das ferramentas de injeção
 - Custo da ferramenta.

23.2 Design for assembly (DFA)

→Montagem

- Desde o projeto conceitual, o produto é pensado para ter montagem
 - Mais fácil
 - Mais rápida
 - Mínimo número de operações
- Exemplo: manga de eixo
 - Produção de 10 peças numa ferramentaria
 - Só usinagem
 - Cortar blank.
 - Desbaste inicial.
 - Superfícies de referência.
 - Fresadora CNC (para futos e detalhes)
 - Reentrância B não é acessível → mudar projeto
 - Detalhe C é não acessível → mudar projeto
 - Posicionamento na fresadora 1 ou 2? 2!

Introdução à Manufatura Mecânica

- Produção de 10.000 unidades por mês.