



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

- PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO –

- Parte II -

2020.1

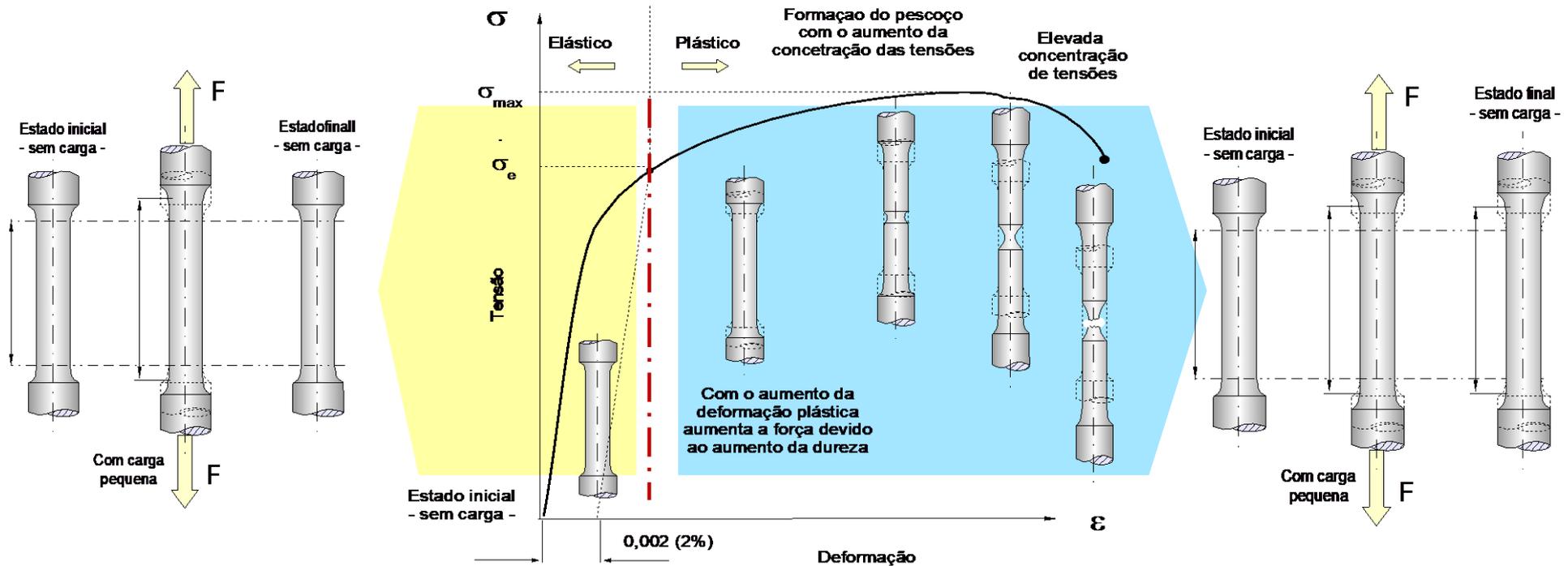


Tópicos da aula A5

- ▶ Revisão
- ▶ Trabalho em chapas
 - ▶ Dobramento
 - ▶ Embutimento
 - ▶ Estampagem
- ▶ Outras formas de corte de chapas
 - ▶ Corte por oxi-corte
 - ▶ Corte por plasma
 - ▶ Corte por Laser
 - ▶ Corte por jato d`água
 - ▶ Corte por feixes de energia



Deformação Plástica



Deformação Elástica

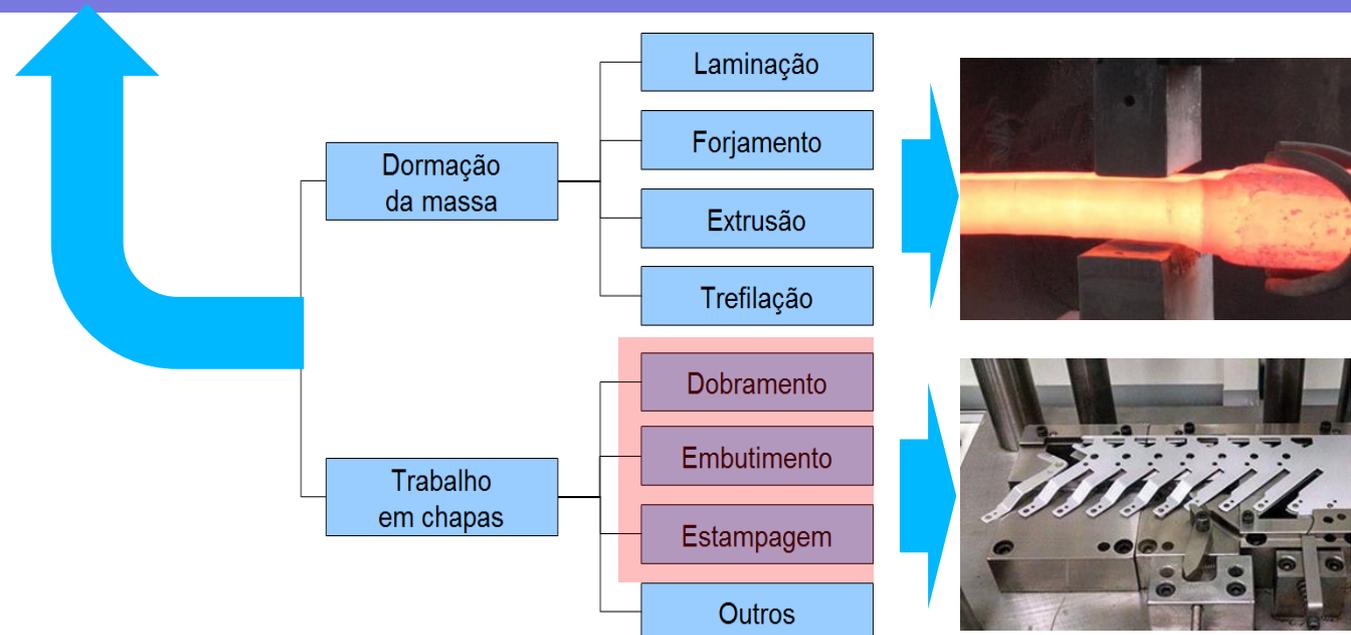
- Elasticidade representa a capacidade dos materiais de retornarem ao seu estado de deformação inicial após retirado o carregamento aplicado sobre ele
- A elasticidade pode ser linear e não linear

Deformação Plástica

- A partir do ponto limite de deformação elástica tensão e deformação não são mais proporcionais
- A deformação plástica não é mais reversível



Divisão dos processos de fabricação





Dobramento de chapas

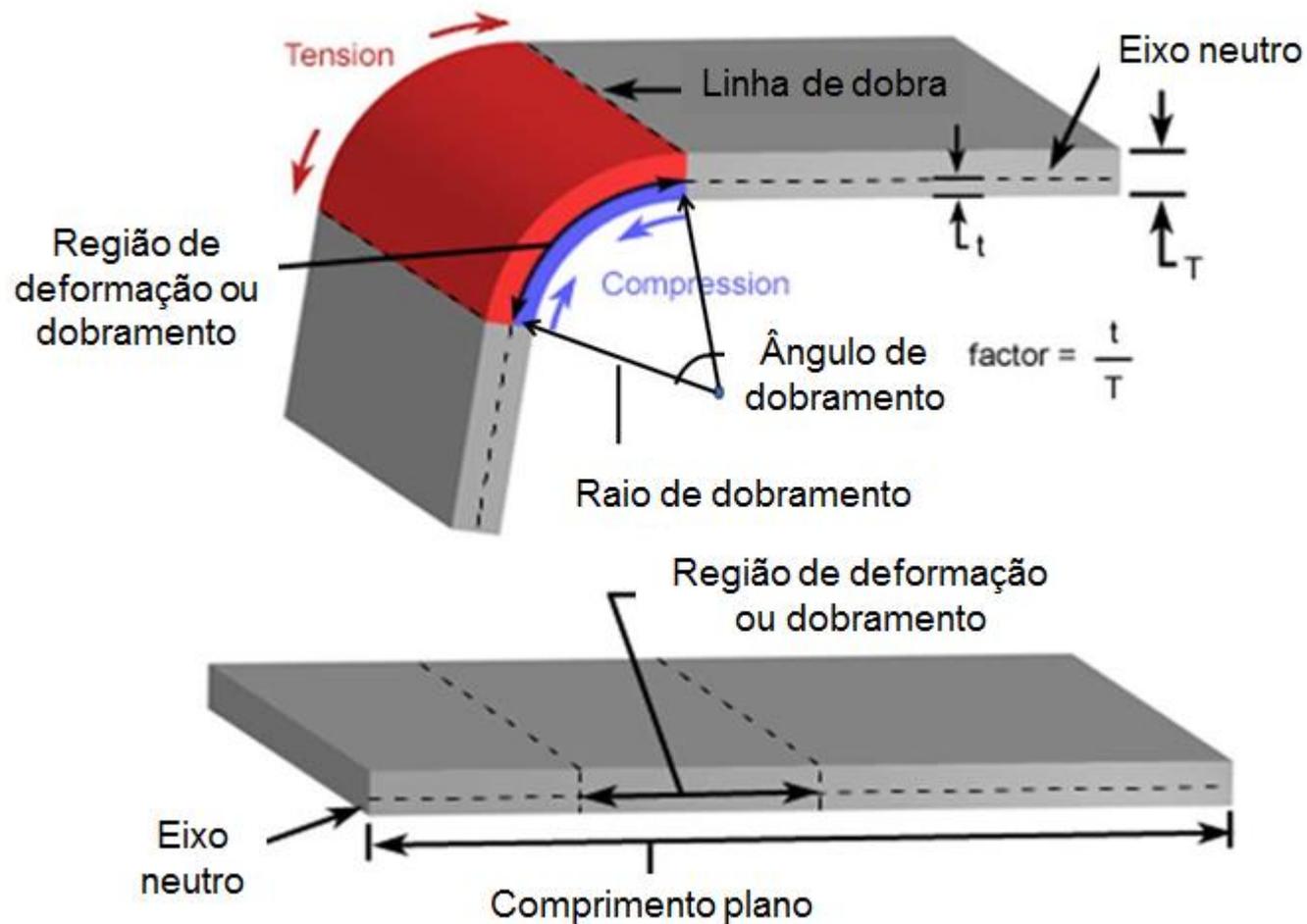
Dobramento consistem em dar forma a uma chapa ou perfil através da deformação ao longo de um única direção





Dobramento de chapas

Fundamentos

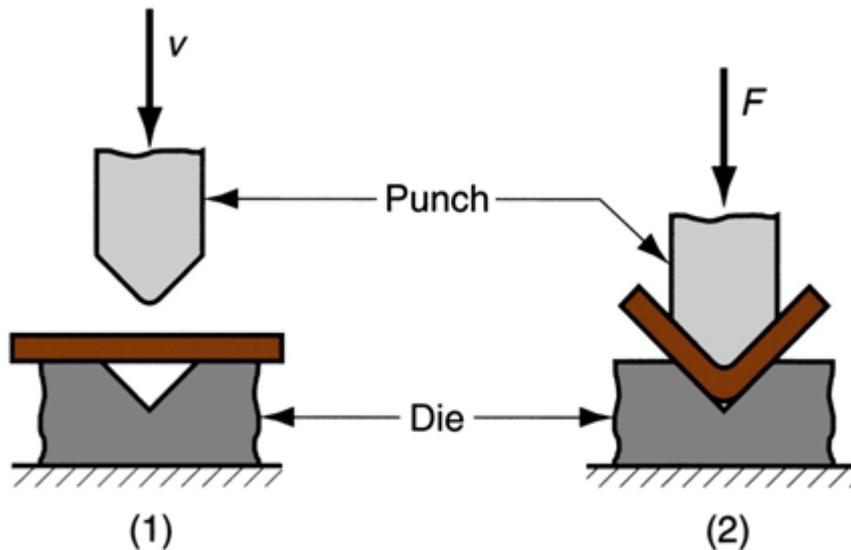




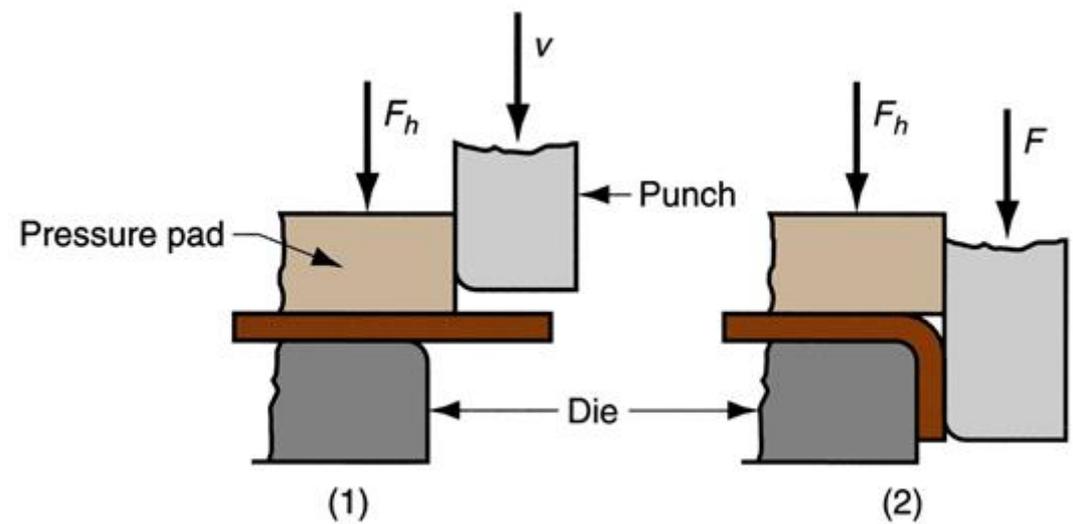
Dobramento de chapas

Tipos de dobramento

⇒ Dobramento em V



⇒ Dobramento em ângulo reto





Dobramento de chapas

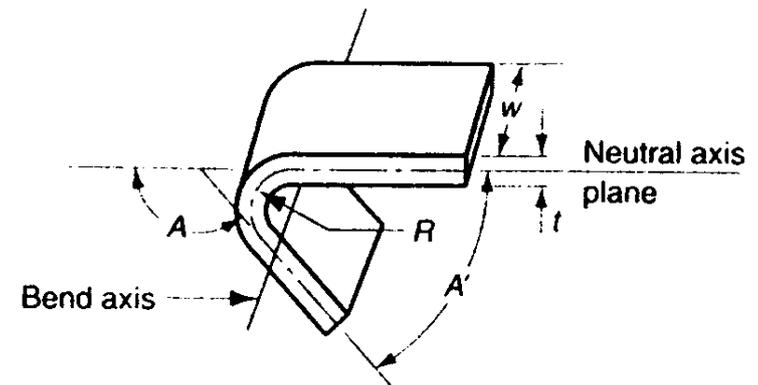
Fundamentos

A força de dobramento é estimada a partir da equação da viga bi apoiada

$$F_d = K_{bf} \cdot \sigma_{esc} \cdot w \cdot t \cdot D \cdot K_{bf}$$

Onde:

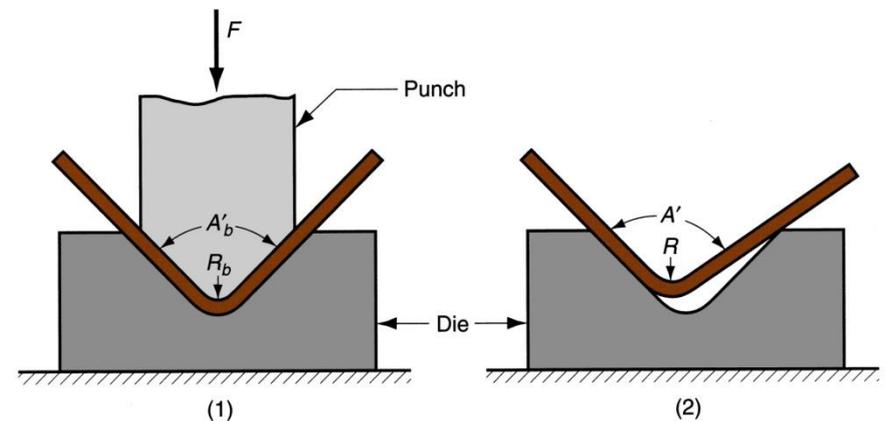
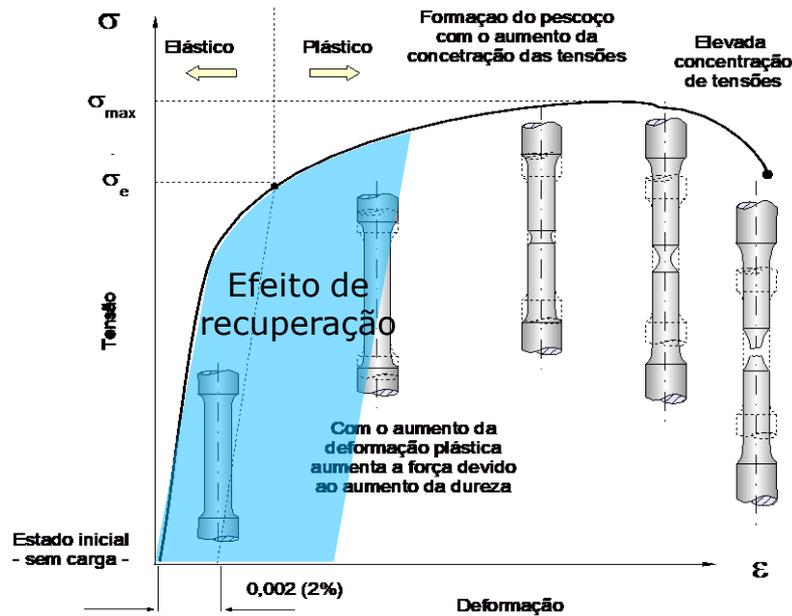
- σ_{esc} - Tensão de escoamento do material
- w - largura da chapa
- t - espessura da chapa
- D - abertura do estampo
- K_{bf} - Fator de dobramento
 - $K_{bf} = 1,33$ para dobramento em V
 - $K_{bf} = 0,33$ para dobramento em ângulo reto





Dobramento de chapas

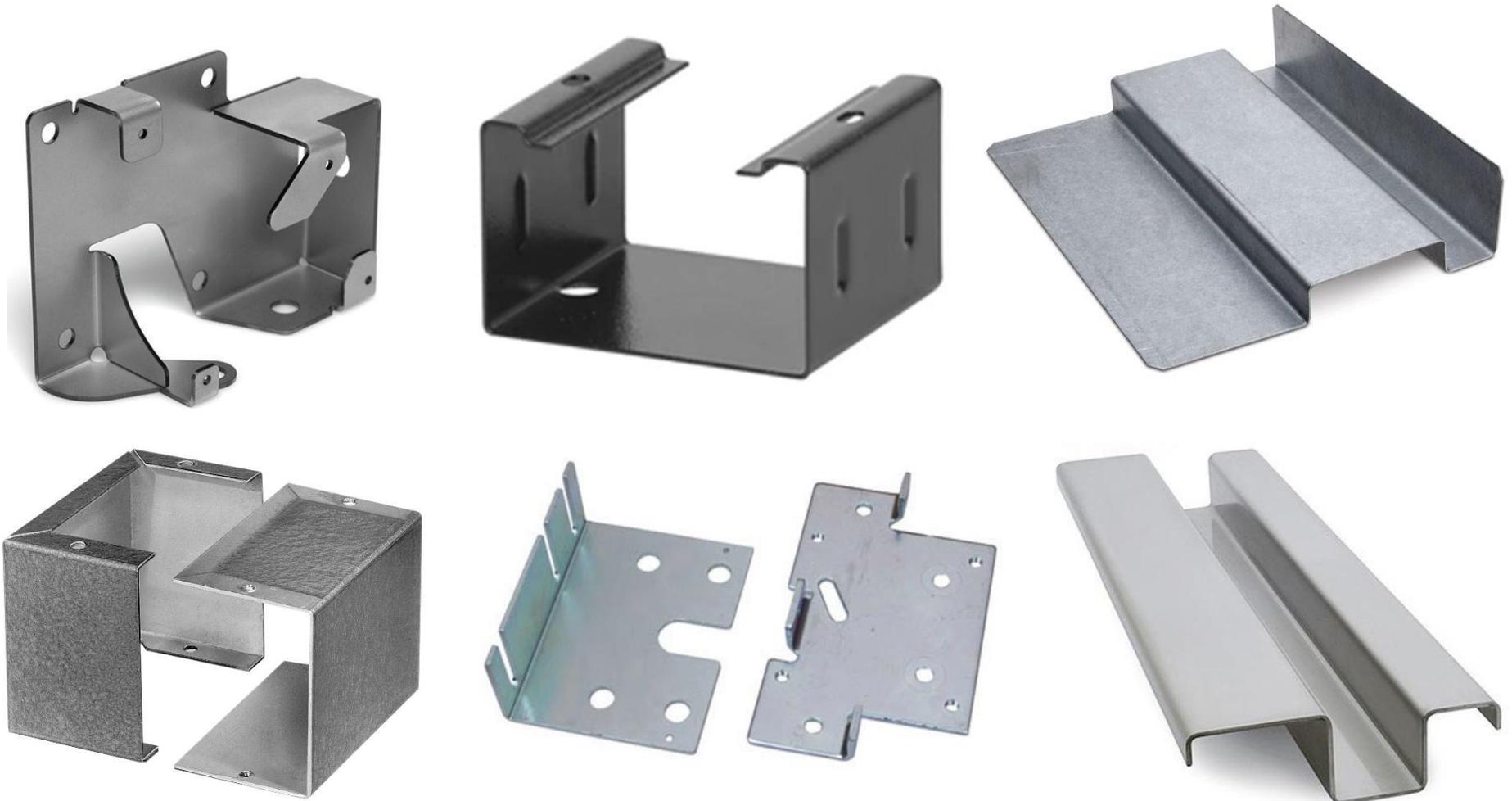
Efeito de recuperação ou efeito de mola





Dobramento de chapas

Exemplos



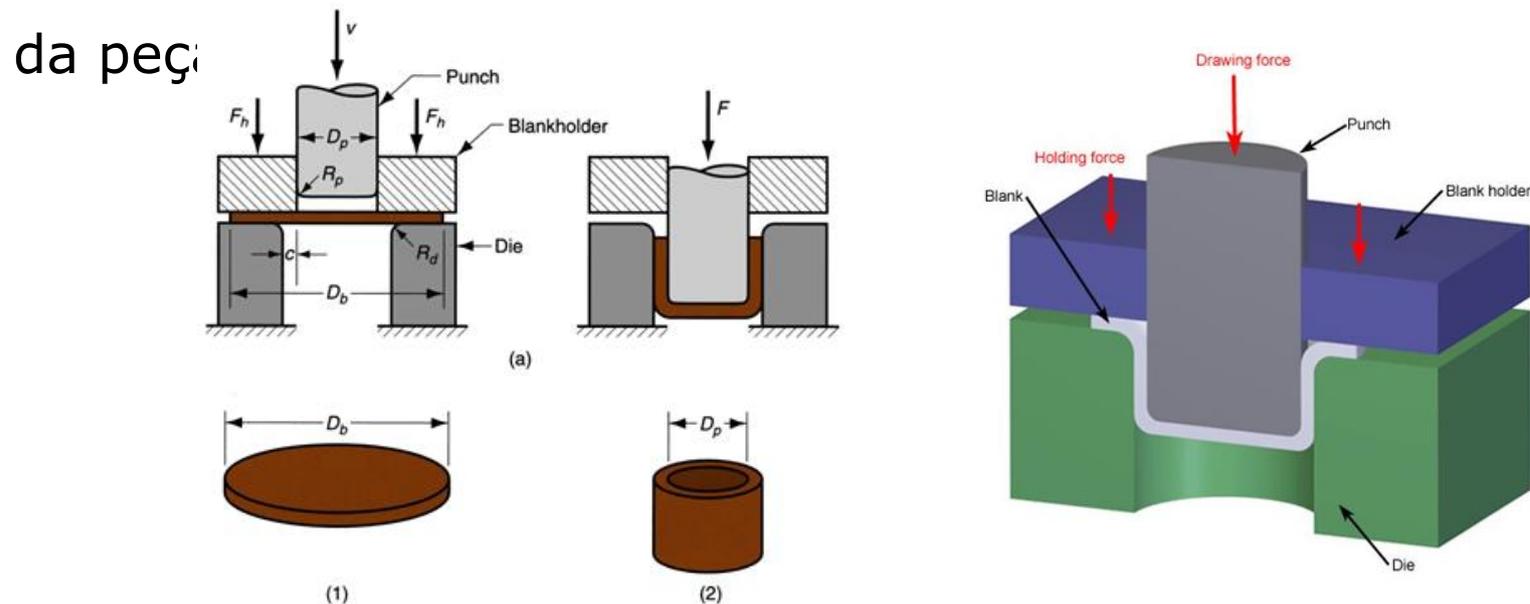


Embutimento

Processo de conformação onde a chapa é deformada até atingir a forma desejada.

É utilizado para fabricação de peças com cavidades cilíndricas, quadradas ou curvas complexas fechadas

Uma ferramenta (punção) força a chapa metálica a se arrastar em direção a cavidade do molde, o qual tem a forma desejada da peça





Vídeo exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=naEziRPNkDU>

<https://www.youtube.com/watch?v=woMELHmq3UI>

<https://www.youtube.com/watch?v=gWeUfvkpxTc>

<https://www.youtube.com/watch?v=-eykdYvws4k>

<https://www.youtube.com/watch?v=rAWryQ0HBfg>



Estampagem

- Processo de fabricação no qual ocorre modificação tri-dimensional da forma por meio da **conformação plástica**, sem contudo alterara a massa ou a coesão do material
- Ao contrário da usinagem a conformação é o método pelo qual se da forma com geometria controlada
- Conformação plástica: Modificação da forma/dimensões de um corpo metálico pela ação de tensões mecânicas sem que haja remoção de material
- Cerca de 80% dos produtos manufaturados na indústria metal mecânica sofrem uma ou mais operações de conformação plástica.

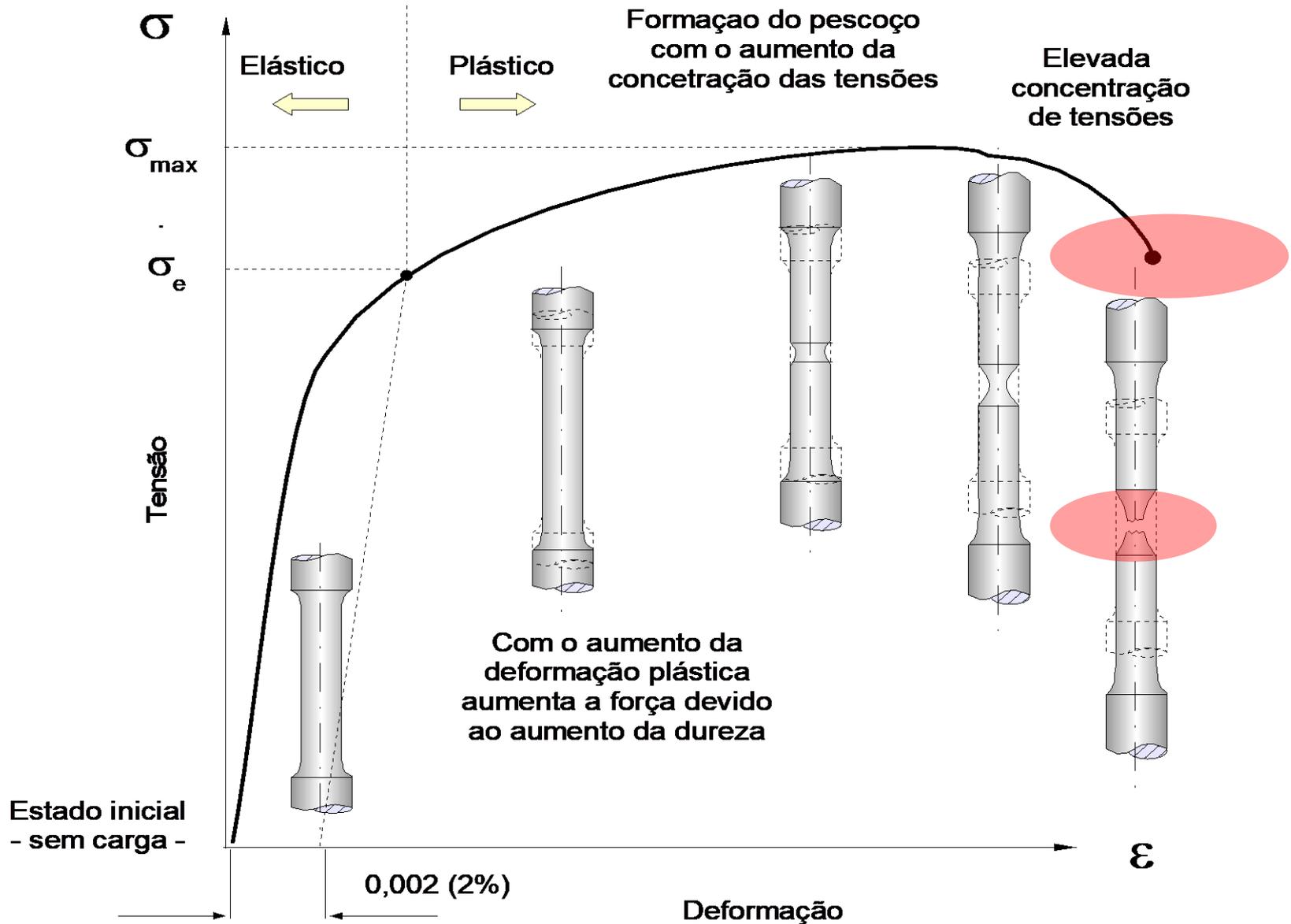


Estampagem

- Destina-se à obtenção de formas geométricas, a partir de chapas submetidas à ação de pressão exercida por um punção ou cunha de corte contra o material e a matriz.
- Quando o punção ou a lâmina inicia a penetração na chapa, o esforço de compressão converte-se em esforço cisalhante (esforço cortante) provocando a separação brusca de uma porção da chapa.
- No processo, a chapa é deformada plasticamente e levada até a ruptura nas superfícies em contato com as lâminas



Limite de Escoamento

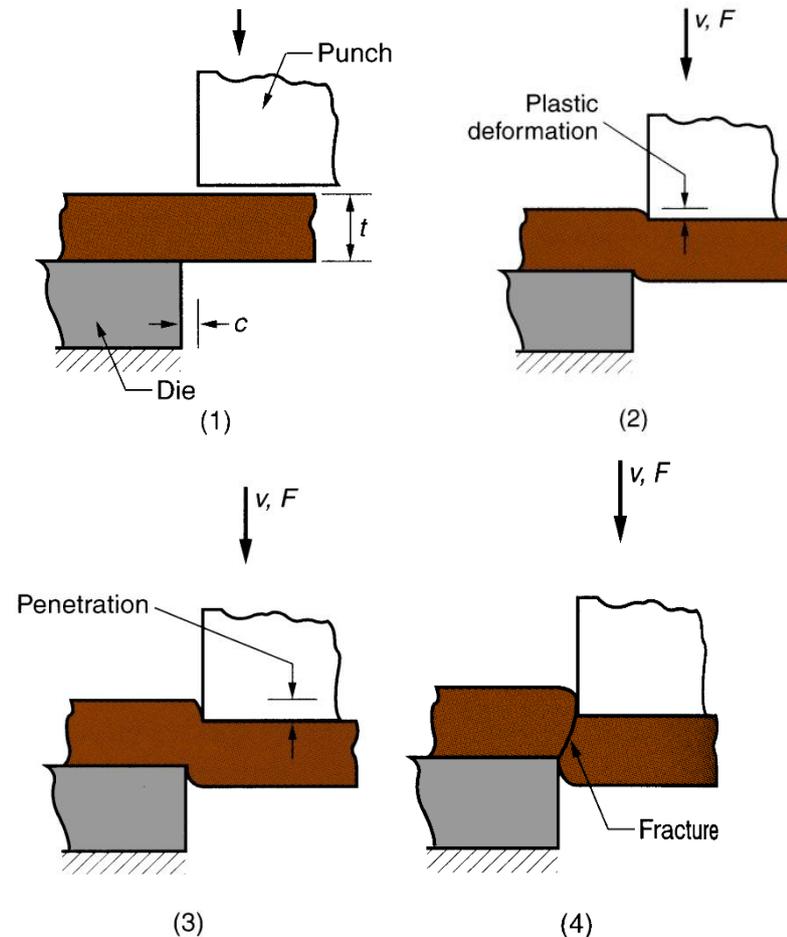




Estampagem

Fundamento – corte por cisalhamento

2. Aparecimento de deformações plásticas em ambos os lados da chapa
3. Com o aumento da pressão, a regiões de concentração de tensões na folga entre punção e chapa, e chapa e matriz, nucleiam trincas que se propagam
4. As trincas se propagam até se unirem e separem a peça da chapa



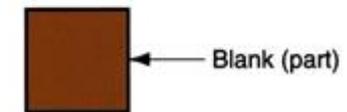
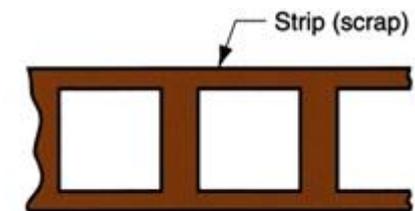
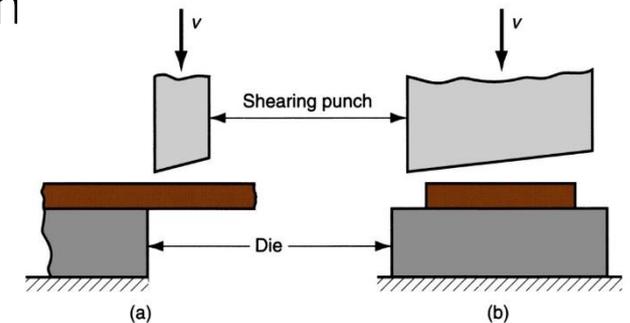
cisalhamento entre duas bordas afiadas



Estampagem

Principais operações – corte por cisalhamento⁺⁻

- Cisalhamento – operação de corte ao longo de uma linha reta realizada entre duas bordas de corte. Normalmente utilizadas para cortar de chapas em dimensões menores
- Blanking – corte de uma região deixando uma parte do material original (retalho)
- Puncionamento - operação de furação (redondos) em chapas

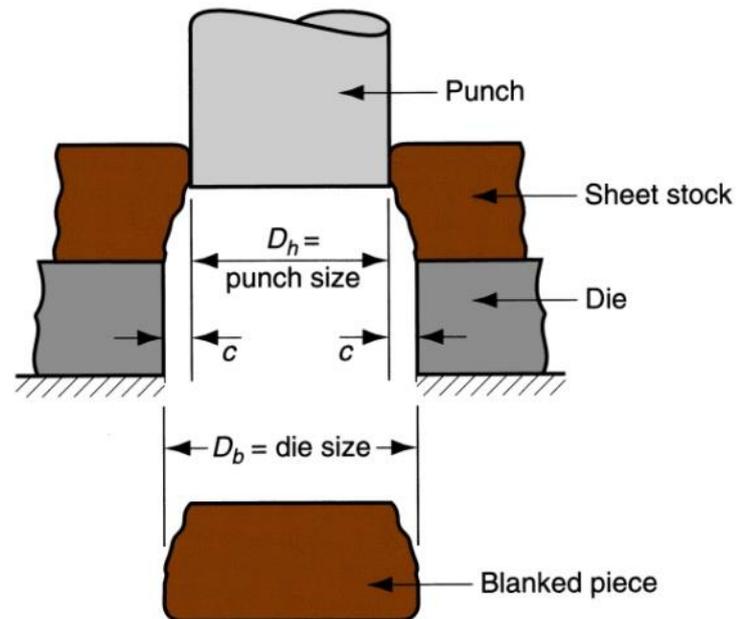




Estampagem

Folga entre estampo (ou punção) e matriz

- A folga deve variar entre 4 e 8% da espessura da chapa
- Se a folga for muito pequena causa força excessiva e o surgimento de linhas de fratura
- Se for muito grande o metal é pinçado entre as arestas (bordas) de corte e causa o surgimento de rebarbas em excesso





Estampagem

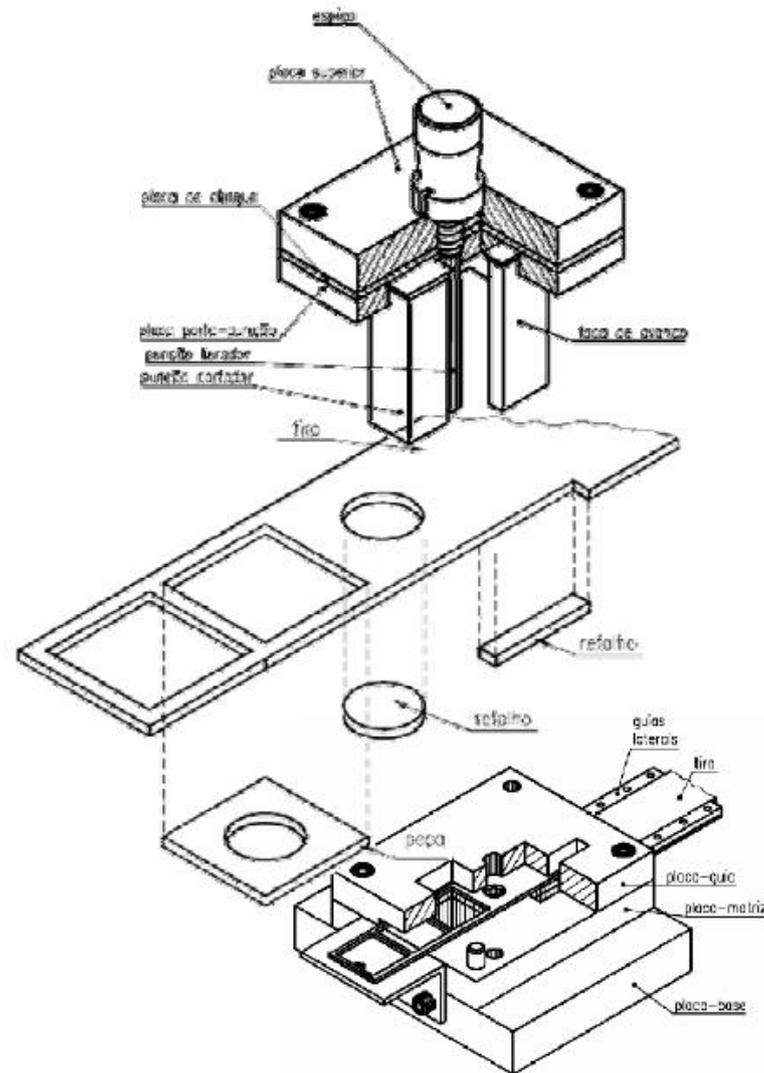
► Características do corte

- A qualidade das bordas e superfícies geradas por corte mecânico não é a mesma das usinadas, entretanto quando as lâminas são mantidas afiadas e ajustadas é possível obter arestas aceitáveis para uma grande faixa de aplicações.
- A qualidade das bordas cortadas geralmente melhora com a redução da espessura da chapa



Estampagem

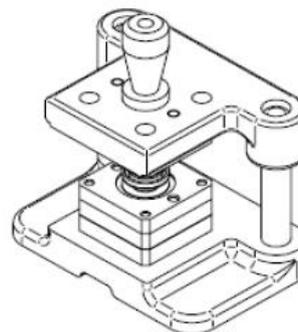
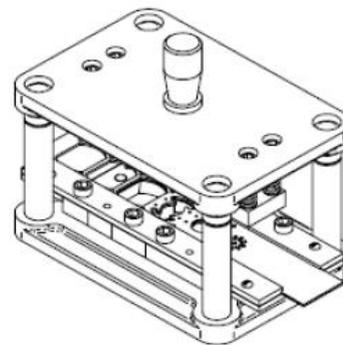
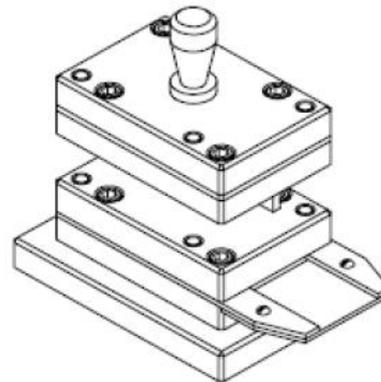
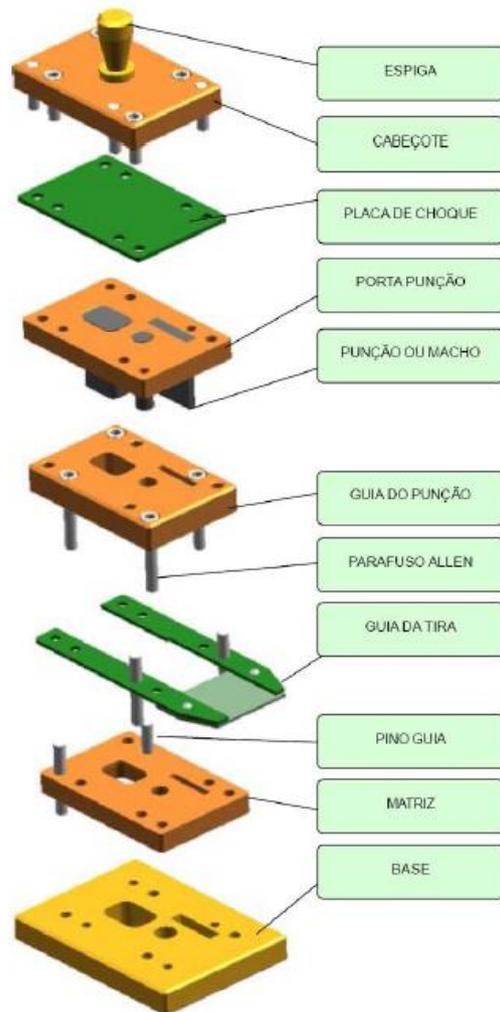
Ferramental



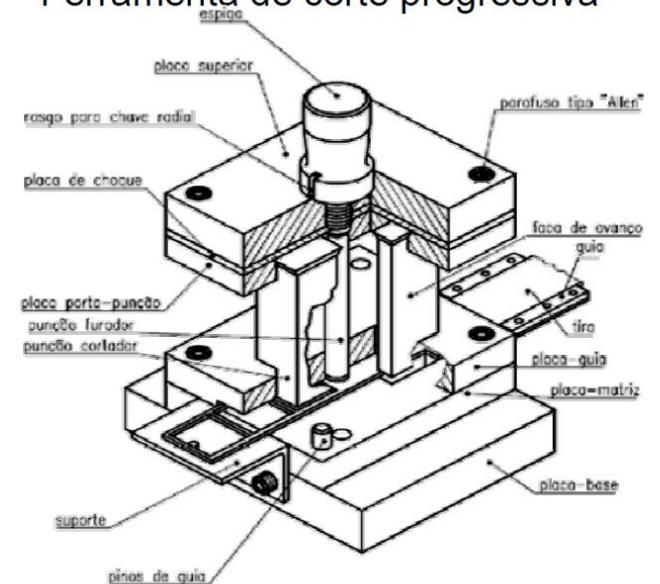


Estampagem

Ferramental

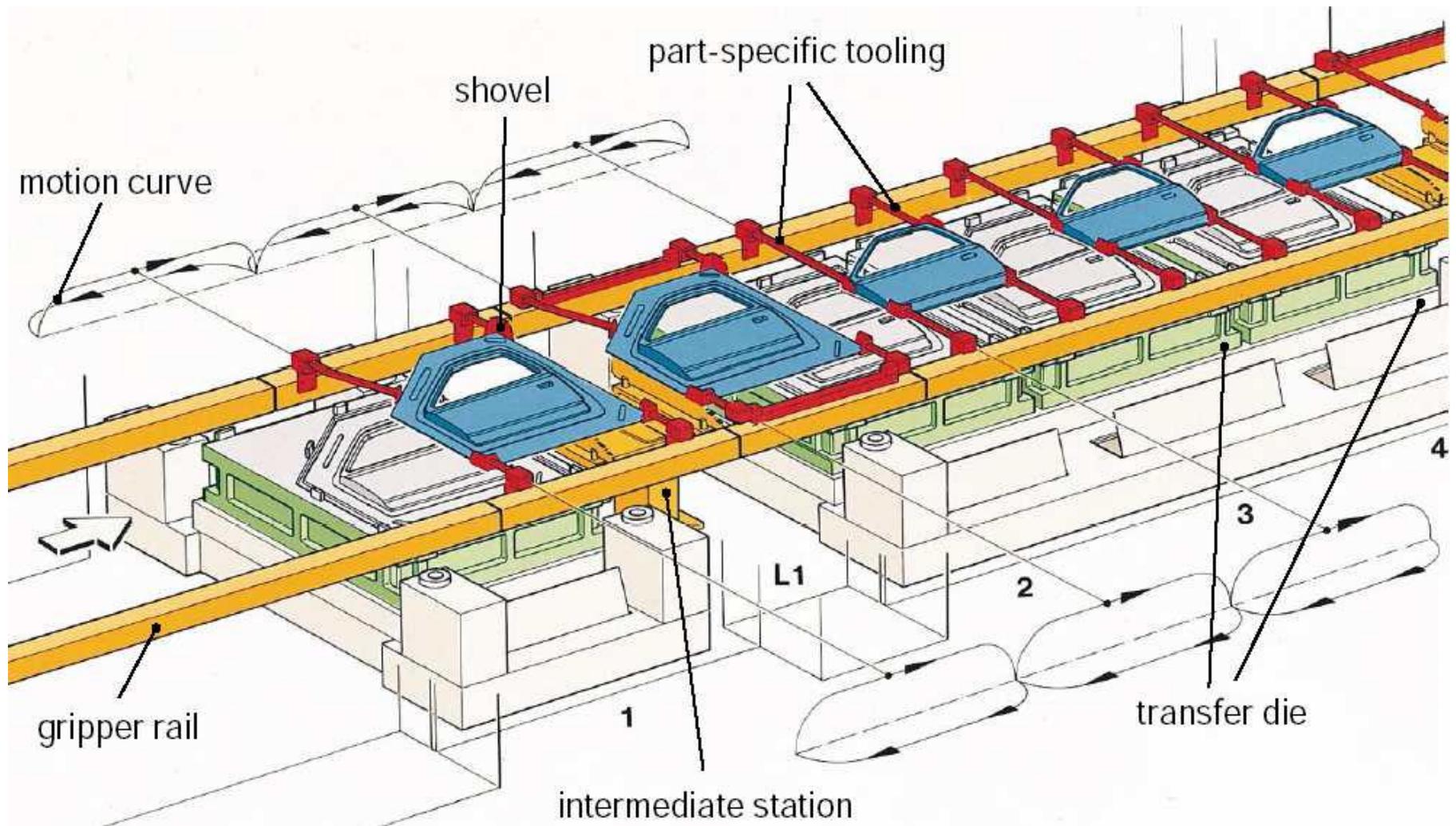


Ferramenta de corte progressiva





Estampagem





Vídeo exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=gvQsfHzCOjY>

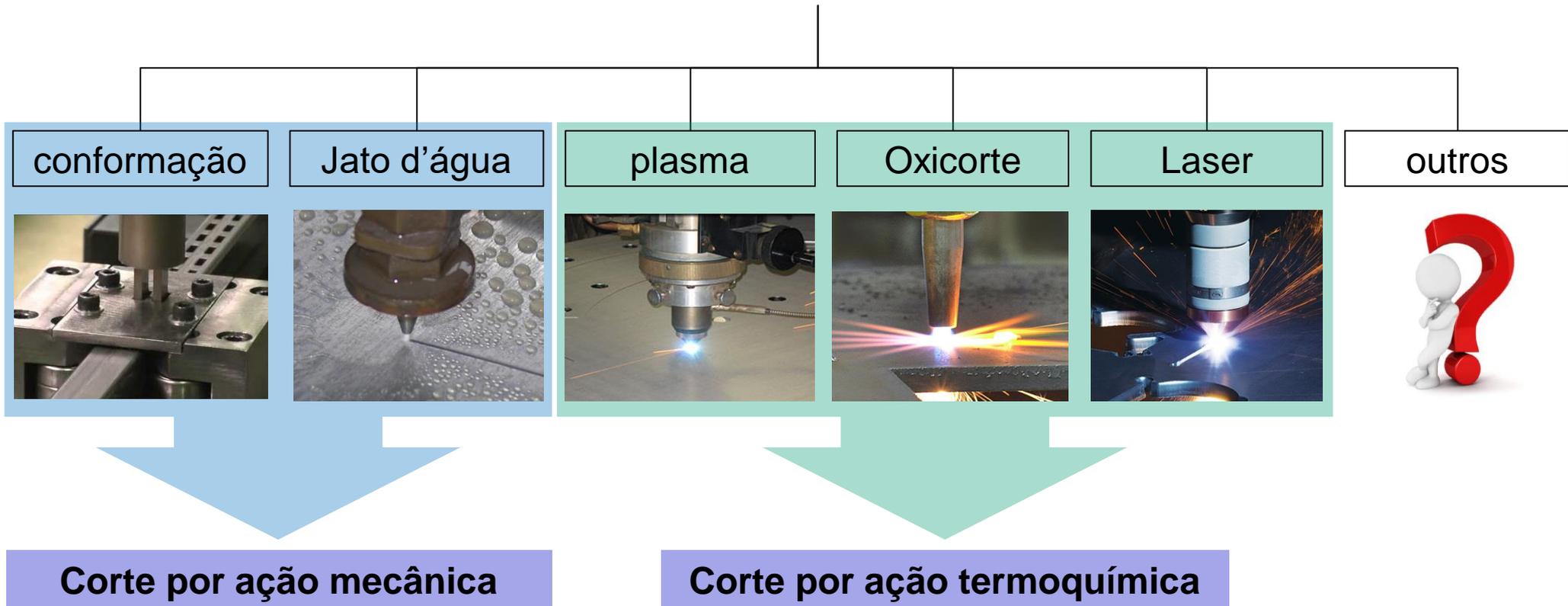
https://www.youtube.com/watch?v=uz1G3z_puug

<https://www.youtube.com/watch?v=U8d3YCtr5pA>

<https://www.youtube.com/watch?v=whzmOIHH1ml>

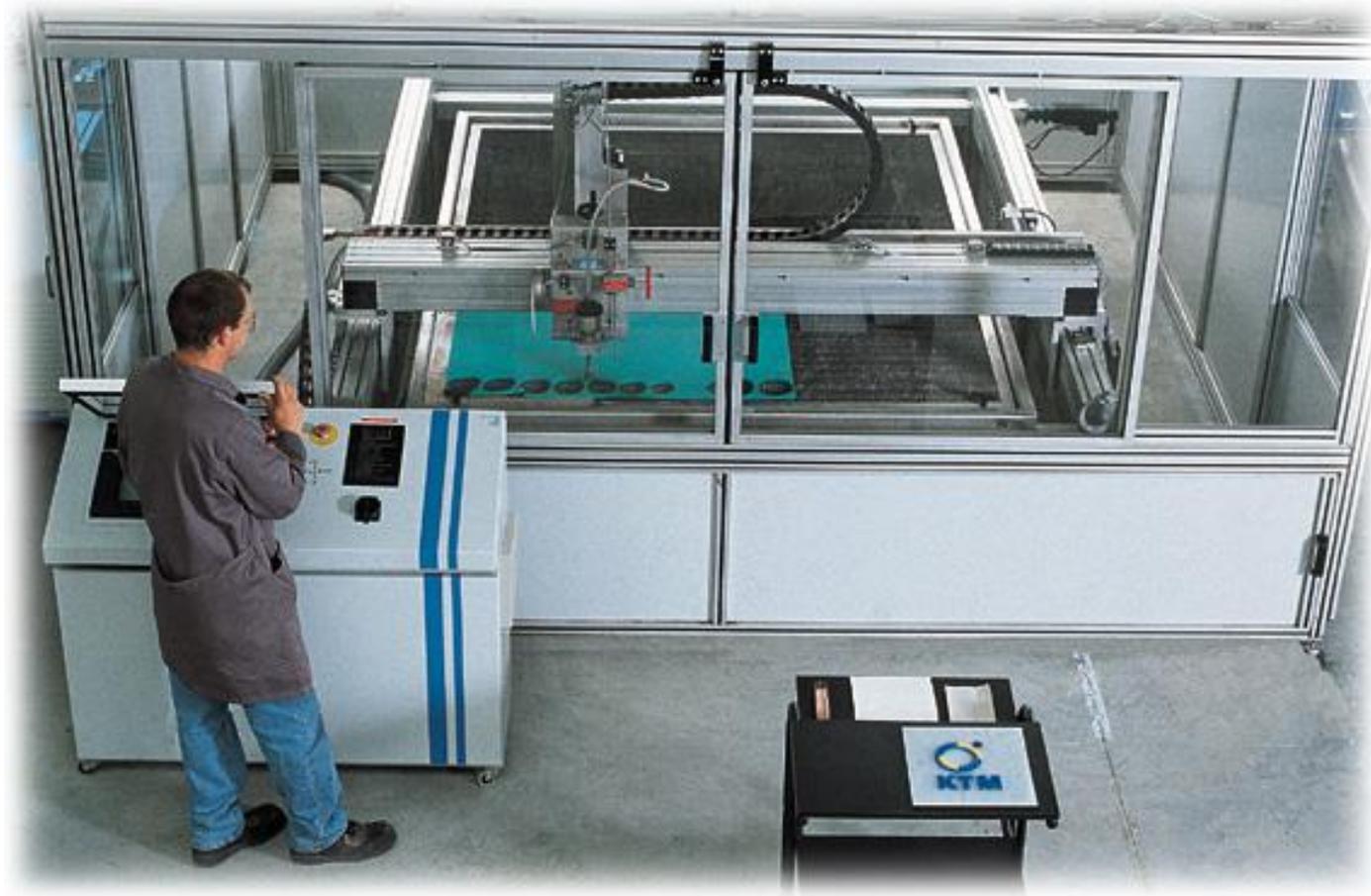


Outras forma de corte de chapas





Corte por Jato d'água





Corte por Jato d'água

- ▶ Generalidades
 - Aproveitamento da ação erosiva do jato de água de alta pressão para processos de corte
 - Pressões atingidas de até 400 MPa e fluxo de líquido de até 10 l/min
 - Principais atuações no trabalho de materiais plásticos, corte de tapeçaria e tecidos, indústria de alimentos
 - A aplicação de materiais abrasivos permite o corte de materiais metálicos, vidro e cerâmica



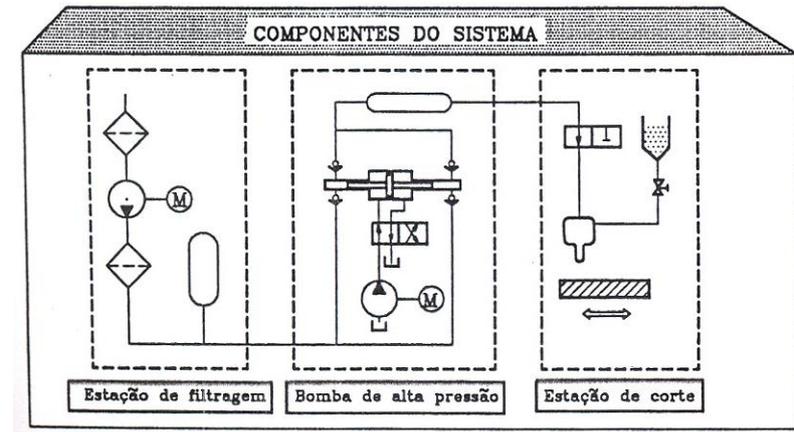
Corte por Jato d'água

- ▶ Características
 - Pequena solicitação mecânica do material da peça
 - Nenhuma influência térmica da camada limite
 - Não á formação de poeira de corte, produtos fundidos ou gases
 - Possibilidade de corte em qualquer direção normal ao eixo do jato
 - Pequeno desgaste da ferramenta
 - Fendas de corte estreitas



Corte por Jato d'água

- ▶ Instalação e Componentes
- Subdivisões
 - ⇒ Bomba de alta pressão
 - ⇒ Instalação de corte
 - ⇒ Estação de filtragem



- Para o trabalho de superfícies tridimensionais grandes são largamente empregados robôs de braços ou robôs de portal
- Normalmente estes sistemas têm instalações auxiliares (paredes de proteção, cubas de água etc.)



Corte por Jato d'água

- ▶ Mecanismos de Ação
- Parâmetros de entrada
 - ⇒ Pressão da bomba
 - ⇒ Afastamento da tubeira
 - ⇒ Diâmetro da tubeira
 - ⇒ Velocidade de avanço



Corte por Jato d'água

- ▶ Mecanismos de Ação
 - Parâmetros de entrada determinam a energia efetiva local no ponto de impacto do jato
 - As propriedades do material influem de forma qualitativa e quantitativa no resultado de trabalho
 - A densidade de energia é significativamente influenciada pela pressão, determinando a resistência máxima do material que pode ser cortado
 - Para materiais finos e dúcteis é observada uma taxa de corte máxima para um certo afastamento da tubeira em relação à superfície da peça



Corte por Jato d'água

▶ Variações do Processo

➤ Jato de água com pó abrasivo

- ⇒ A pressão negativa produzida pelo jato livre logo após a tubeira é aproveitada para misturar o jato de água com ar e pó abrasivo
- ⇒ Há desgaste considerável dos componentes do misturador em função do material abrasivo
- ⇒ Os tubos de focalização são normalmente construídos de metal duro ou cerâmica
- ⇒ Fendas de trabalho mais largas do que no jato de água puro



Corte por Jato d'água

- ▶ Variações do Processo
- Jato de água com pó abrasivo
 - ⇒ Materiais de adição do jato: areia de quartzo, granada, escória de silicato ou de óxido de alumínio, microesferas de vidro, pó de ferro e outros, dependendo da aplicação
 - ⇒ Possibilidade de cortar materiais de alta resistência e duros
 - ⇒ Parâmetros adicionais em relação ao jato de água puro: tipo de material abrasivo; granulometria do material abrasivo; fluxo do material abrasivo; diâmetro do tubo de focalização; comprimento do tubo de focalização



Corte por Jato d'água

▶ Exemplos de aplicações

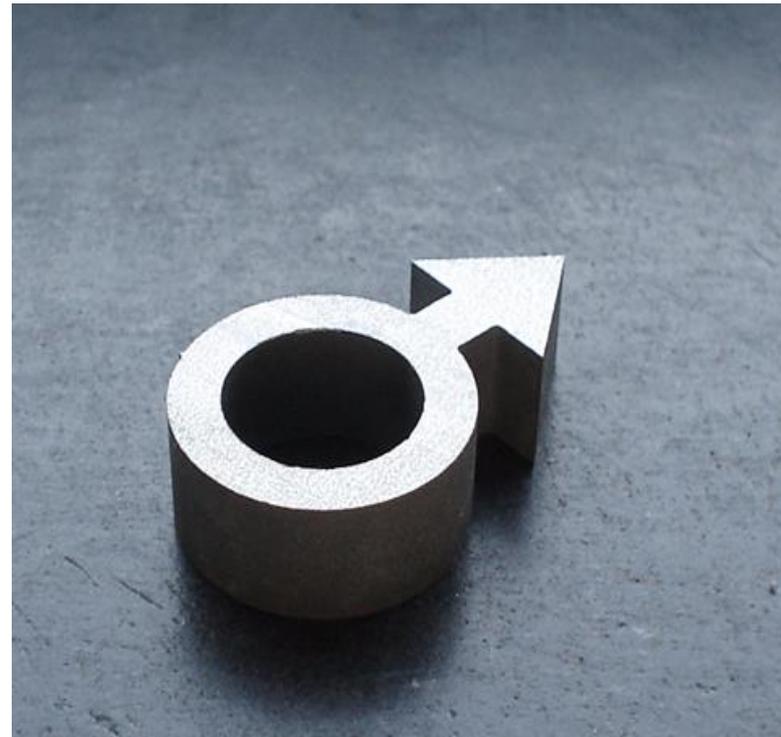


- ▶ Corte de materiais plásticos, couro, tecidos, borracha, papelão, papel, espuma, alimentos (inclusive supercongelados) etc.
- ▶ Materiais visco-elásticos sem comportam de forma rígida no corte, evitando o desvio da linha de corte
- ▶ No corte de materiais plásticos pode ser feita rebarbação, recorte de contornos e introdução de furos
- ▶ Utilizado na fabricação de componentes 3D da indústria automobilística (painéis, consoles, revestimentos internos, tapetes etc.)³³



Corte por Jato d'água

Exemplo de chapa de Alumínio cortada por jato d'água com abrasivo





Corte por Jato d'água

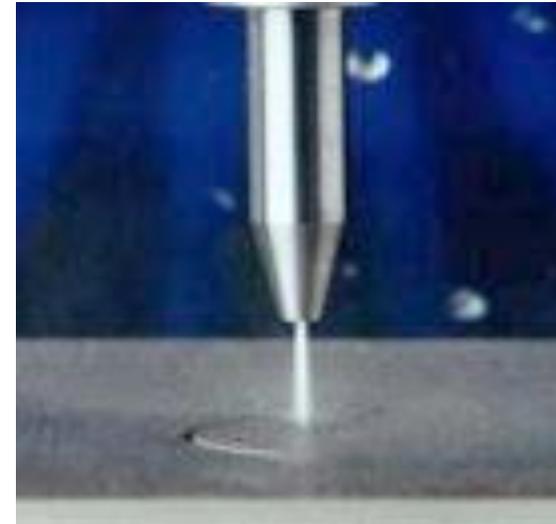
Exemplo de chapa de Alumínio cortada por jato d'água com abrasivo





Corte por Jato d'água

▶ **Exemplos**





Vídeo exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=sIEqXbXpfg>

<https://www.youtube.com/watch?v=XfGkLsUm92Q>

<https://www.youtube.com/watch?v=YIacOX68OME>



Corte por Plasma

- ▶ Introdução
- ▶ O plasma é definido como um gás que foi aquecido suficientemente a uma alta temperatura até tornar-se ionizado. Muitos equipamentos que utilizam um arco elétrico para aquecer o gás até o estado de plasma vêm sendo desenvolvidos desde o ano de 1900 .
- ▶ No corte por plasma o arco plasma é obtida pela fusão do metal mediante um arco constringido, e então o metal fundido é “soprado” para fora da superfície de corte por um jato de gás ionizado de alta velocidade.



Corte por Plasma

- ▶ Introdução
- ▶ O plasma é utilizado para o corte de materiais que não podiam ser cortados pelo processo oxicorte, como aço inoxidável, alumínio e cobre.
- ▶ A grande vantagem está na velocidade de corte ao cortar chapas metálicas finas, quando comparado com o oxicorte.
- ▶ Esta característica esta associada a redução dos custos dos equipamentos de corte, o que tornou o processo plasma a ser mais atrativo economicamente.



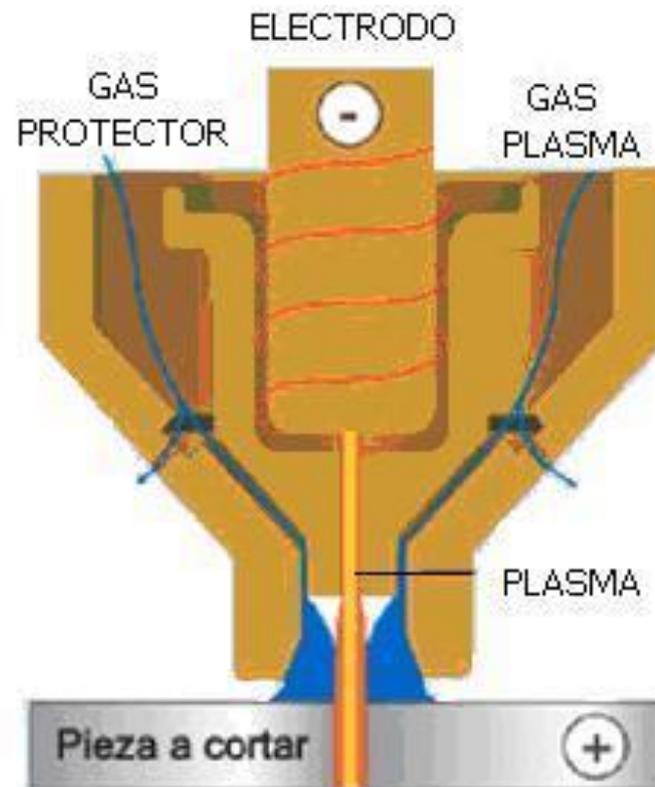
Corte por Plasma

- ▶ As características do arco plasma variam de acordo com:
 - O tipo de gás de corte (Hidrogênio, argônio, nitrogênio, Hélio e Oxigênio)
 - A quantidade de vazão
 - O diâmetro do bocal (bico de corte)
 - A tensão do arco elétrico



Corte por Plasma

- ▶ Bico de corte a plasma





Vídeo exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=VAvqJBaz9I4>

<https://www.youtube.com/watch?v=rIragHjvHLC>

<https://www.youtube.com/watch?v=P-wUI4AAhWw>

https://www.youtube.com/watch?v=XBv8_FVI-Rc



Corte por Laser

► Introdução

- LASER é uma abreviação para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*
- O feixe de Laser é uma luz coerente (um única fase) monocromático (um único comprimento de onda), com pouca divergência e concentra alta densidade de energia.
- O corte a Laser é uma técnica que permite a separação permanente de duas ou mais peças utilizando como fonte de energia um feixe de Laser.
- Geralmente a ação do feixe é na ordem de milissegundos



Corte por Laser

► Introdução

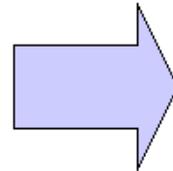
- A incidência do feixe de laser provoca um aquecimento rápido da região a ser soldada promovendo a fusão entre as peças, ou entre essas e o material de adição
- É um processo sem contato que necessita de acesso a região de soldagem por um dos lados (vareta de material de adição)
- A soldagem a Laser é empregada geralmente em materiais de difícil soldagem por outros processos ou áreas extremamente pequenas



Corte por Laser

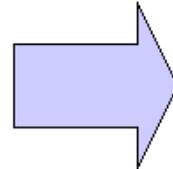
▼ Vantagens

Alta densidade de energia



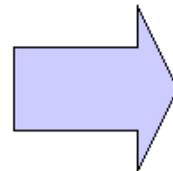
- ⇒ Elevada velocidade de trabalho
- ⇒ Região termicamente afetada pequena
- ⇒ Pequena distorção
- ⇒ Raios pequenos

Trabalho sem contato



- ⇒ Sem desgaste
- ⇒ Trabalho de peça delgada
- ⇒ Manuseio simples da peça

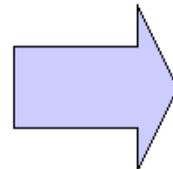
Fácil controle



- ⇒ Pequenas massas
- ⇒ Elevada automação
- ⇒ Integração em sistemas flexíveis
- ⇒ Trabalho de contornos

▼ Desvantagens

Custos elevados



- ⇒ Fonte
- ⇒ Condução de formação
- ⇒ Manuseio
- ⇒ Comando



Corte por Laser

► Características

- As velocidades de corte obteníveis são aproximadamente proporcionais à potência do LASER e inversamente proporcionais à espessura do material
- Com o aumento do teor dos elementos de liga no material cortado, por regra, há diminuição da velocidade de corte



Corte por Laser

- ▶ Tipos de corte com Laser
 - Vaporização
 - Sublimação
 - Corte por fusão / fusão reativa
 - Fratura controlada
 - Gravação (Scribing)
 - Corte oxiacetileno assistido por Laser



Corte por Laser

- ▶ Tipos de fontes de Laser
 - EXCIMER - baixa taxa de remoção, utilizado na microusinagem de polímeros e materiais cerâmicos
 - Nd:YAG - laser com até 500 W de potência, com aplicação ampla
 - CO₂ - possibilidade de corte com laser de vários kW de potência, com aplicação ampla



Corte por Laser

- ▶ Corte por fusão

- ⇒ Fusão contínua e expulsão do material da fenda de trabalho por sopro de um gás inerte ou um gás inativo

- ⇒ O fluxo de gás (argônio, nitrogênio ou hélio) evita a oxidação na fenda de corte

- ⇒ Exemplo de material de corte: cobre



Corte por Laser

▶ Corte oxidação

⇒ Aquecimento do material a temperatura de ignição pela adição de oxigênio

⇒ Formação de óxido de ferro com liberação complementar de energia, que é soprado para fora da fenda de corte

⇒ Exemplo de material de corte: materiais ferrosos



Corte por Laser

▶ Corte por sublimação

- ⇒ Evaporação do material na região do corte e expulsão dos vapores pela adição de gases inertes
- ⇒ O fluxo de gás no corte tem a função de expulsar o material evaporado para evitar que este se condense novamente na zona periférica
- ⇒ Exemplo: materiais plásticos



Corte por Laser

▶ Exemplos de Aplicações

- Indústria automobilística: número de séries muito grande, contornos complexos e uma grande gama de variantes, exigindo tempo de fabricação muito curtos. O CO₂ é usado sem concorrência.
- Dentes de serra: não há necessidade de tratamento térmico posterior e há possibilidade de obtenção de cantos vivos para peças com espessuras inferiores a 10 mm.



Vídeo exemplos

<https://www.youtube.com/watch?v=UYtGb59aipo>

<https://www.youtube.com/watch?v=pMSyGOoesfM>

<https://www.youtube.com/watch?v=gyhOlvnfD5M>

<https://www.youtube.com/watch?v=yKYt4BxtAxY>

https://www.youtube.com/watch?v=SIjUVCho_xU



- Fim da Aula 05 -