



Instituto de Emprego e Formação Profissional, IP
Centro de Formação Profissional de Évora

UFCD 4557- Processos de Fabrico



Estampagem

Formador: Rui Romão

Nota: 19

Formandos CNC 12:

Nuno Alves

Rui Dias



Índice

Introdução.....	3
1. Material para estampagem.....	4
2. Vantagens e desvantagens.....	4
3. Nomenclatura básica da ferramenta.....	5
4. Operações básicas da estampagem.....	6
4.1 Corte.....	7
4.2 Dobramento.....	10
4.3 Estampagem profunda ou “repuxo”.....	14
5. Classificação dos processos de estampagem.....	15
6. Características e defeitos dos produtos estampados.....	16
Conclusões.....	18
Bibliografia.....	19



1. Material para Estampagem

As chapas metálicas de uso mais comum na estampagem são: as feitas com as ligas de aço de baixo carbono; os aços inoxidáveis; as ligas alumínio-manganês; alumínio-magnésio; e o latão 70-30, que tem um dos melhores índices de estampagem entre os materiais metálicos.

Além do material, outro factor que se deve considerar nesse processo é a qualidade da chapa. Os itens que ajudam na avaliação da qualidade são:

- ✓ composição química – segregação de elementos químicos pode causar o comportamento irregular do material durante a estampagem;
- ✓ propriedades mecânicas – dureza, resistência à tracção e plasticidade são fundamentais no processo de estampagem, são propriedades geralmente fornecidas pelos fabricantes e padronizados através de normas;
- ✓ especificações dimensionais – conhecer as dimensões específicas das chapas ajuda num melhor aproveitamento do material, o ideal será obter a menor quantidade possível de sobras e retalhos que não podem ser aproveitados.
- ✓ acabamento e aparência da superfície – irregularidades encontradas na superfície do material, não só prejudicam a qualidade da peça, como também influenciam o acabamento que o material possa ter de receber, como pintura ou outro tipo de revestimento, como a cromagem, por exemplo.

2. Vantagens e Desvantagens

Vantagens:

- ✓ Alta produção;
- ✓ Custo reduzido por peça – processo económico;
- ✓ Bom acabamento superficial, não necessita de processamento posterior;
- ✓ Maior resistência das peças à conformação;
- ✓ Baixo custo de controlo de qualidade devido à uniformidade da produção e facilidade na detecção de falhas;
- ✓ Boa precisão dimensional.



Desvantagens:

- ✘ Alto custo das ferramentas e máquinas utilizadas no processo, que só poderá ser amortizado se a quantidade de peças a produzir for elevada.

3. Nomenclatura básica da ferramenta

- ✓ Punção – é o elemento da ferramenta que provoca a moldagem ou perfuração através do movimento e força transmitidos pela prensa;
- ✓ Matriz – é o elemento da ferramenta que fica fixo na base da prensa e sobre o qual se apoia a chapa;
- ✓ Folga – é o espaço existente entre a punção e a matriz na parte paralela ao molde ou corte, o aspecto da peça acabada, a força necessário para corte ou molde e o desgaste da ferramenta dependem da folga aplicada;
- ✓ Alívio da ferramenta – é o ângulo dado à matriz, após a parte paralela ao molde ou corte, para permitir o escape fácil da parte moldada ou cortada.

Existe também a classificação das ferramentas, ou estampos, de acordo com o tipo de operação a ser executada: ferramentas para corte, ferramentas para dobramento e ferramentas para estampagem profunda.

Na prensa, o punção é geralmente preso na parte superior, executando os movimentos verticais de subida e descida. A matriz é presa na parte inferior, constituída por uma mesa fixa. Essas ferramentas devem ser resistentes ao desgaste, ao choque e à deformação, grande dureza e ter a capacidade de serem maquinadas (cortadas, torneadas, fresadas ou furadas).

Os estampos são fabricados com aços ligados, chamados de aços para ferramentas e matrizes. No caso dos estampos de corte, o fio de corte da ferramenta é muito importante e seu desgaste, com o uso, provoca rebarbas e contornos pouco definidos das peças cortadas. A capacidade de corte de uma ferramenta pode ser recuperada por meio de rectificação para obter a afiação.



Imagem 2 e 3 – Prensas utilizadas na indústria automóvel.

Realizadas por meio de prensas que podem ser mecânicas ou hidráulicas, dotadas ou não de dispositivos de alimentação automáticos das chapas, tiras cortadas, ou bobinas. A selecção de uma prensa depende do formato, tamanho e quantidade de peças a serem produzidas e, conseqüentemente, do tipo de ferramenta que será usada.

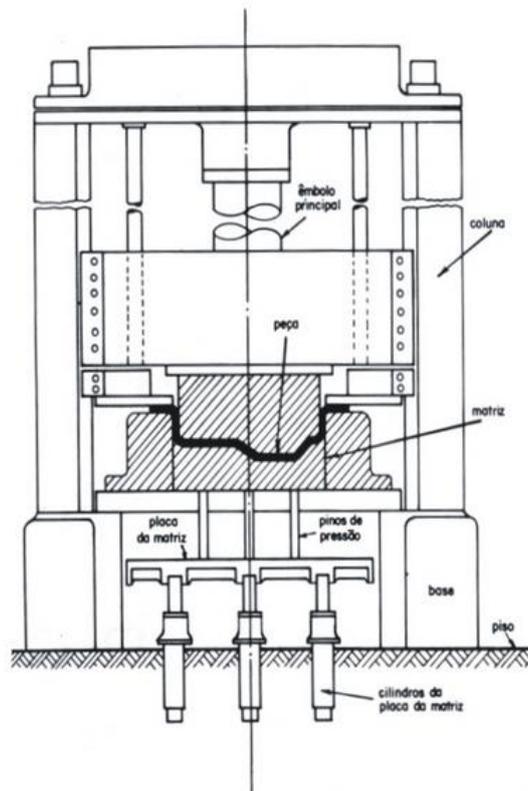


Figura 1 – Esquema de uma prensa hidráulica.



4. Operações básicas de Estampagem

- ✓ Corte;
- ✓ Dobramento;
- ✓ Estampagem profunda ou repuxo.

Normalmente, as prensas mecânicas são usadas nas operações de corte e dobramento. As prensas hidráulicas são mais usadas na estampagem profunda. Isto só é possível devido a plasticidade, nem todo material pode passar pelas operações de estampagem.

4.1. Corte

O processo de estampagem por corte é usado na obtenção de formas geométricas em chapas por meio de uma ferramenta de corte, ou *punção de corte*, por intermédio de uma prensa exercendo pressão na chapa apoiada numa matriz, quando o limite de resistência ao cisalhamento do material é ultrapassado provoca-se a ruptura e por fim a separação.

Existem três etapas fundamentais do corte: deformação plástica, redução de área e fractura. Na etapa da fractura, a mesma se inicia no canto de corte do punção, para logo de seguida começar no canto de corte da matriz. Com o aumento da penetração do punção a fractura prolongar-se-á e as duas fracturas, eventualmente, encontrar-se-ão, podendo assim dizer que o corte ocorreu por cisalhamento puro. Caso isso não aconteça, a parte compreendida entre as duas fracturas iniciadas por cisalhamento será “rasgada”, por esforço de tracção. As peças rompidas por cisalhamento puro terão um acabamento liso e brilhante, enquanto as peças rasgadas por tracção terão um acabamento áspero e sem brilho.

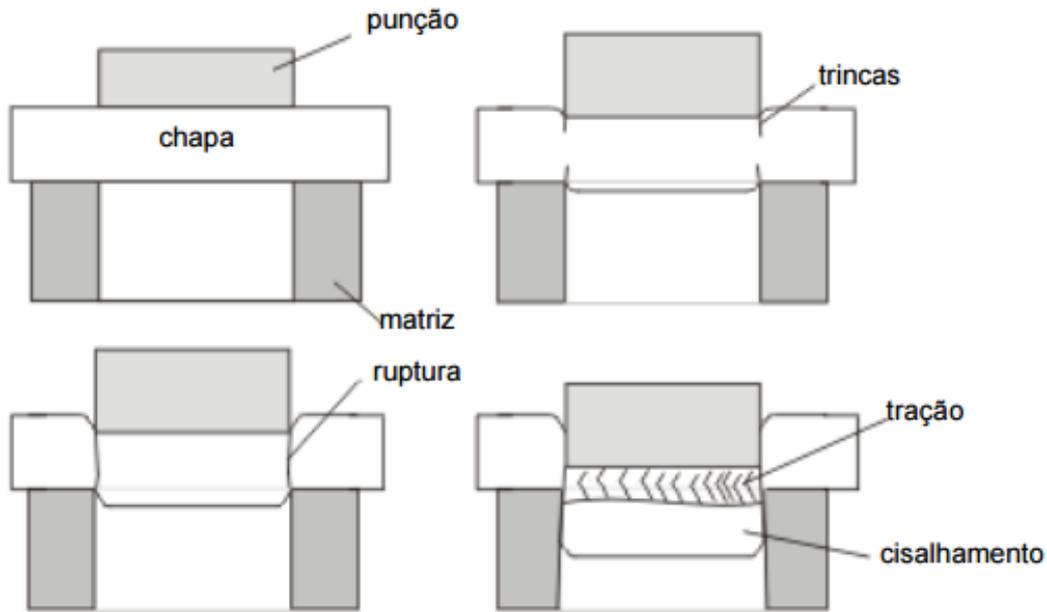


Figura 2 – Esquema da estampagem por corte.

O corte permite a produção de peças nos mais variados formatos. O punção e a cavidade da matriz devem apresentar uma secção conforme o contorno desejado da peça a ser extraída. É muito importante o estabelecimento da folga entre o punção e a matriz. Essa folga depende da espessura da chapa e do tipo de material, que pode ser duro ou mole. Folgas muito grandes provocam rebarbas que podem ferir os operadores. As folgas pequenas provocam fissuras que causarão problemas nas operações posteriores. Quanto menores forem as espessuras das chapas e o diâmetro do punção, menor será a folga e vice-versa.

Um corte, por mais perfeito que seja, sempre apresenta uma superfície de aparência "rasgada". Por isso, é necessário fazer a rebarbação, que melhora o acabamento das paredes do corte.

Existem duas características importantíssimas no processo de estampagem para corte que se deve ter em conta: folga entre o punção e a matriz e força necessária para o corte.

- Folga entre o punção e a matriz – como já foi referido, o aspecto da peça, a força necessária para o corte e o desgaste da ferramenta depende e muito da folga existente entre o punção e a matriz. Quando a folga é a mais correcta, os inícios das



fracturas que começam no canto de corte do punção e da matriz, depois de se prolongarem, encontrar-se-ão no mesmo ponto, produzindo uma peça praticamente sem rebarbas. Essa folga depende do material e da sua espessura. Segundo Oehler, a folga ideal pode ser obtida através das seguintes fórmulas empíricas:

$$\text{Chapas até 3 mm de espessura} \rightarrow f = (0,01 \times e - 0,015) \times \sqrt{K_s}$$

$$\text{Chapas com mais de 3 mm de espessura} \rightarrow f = 0,005 \times e \times \sqrt{K_s}$$

onde,

e = espessura

K_s = tensão de ruptura ao cisalhamento do material

➤ Força necessária para o corte – o esforço de corte é obtido multiplicando-se a área da secção a ser cortada pela resistência ao cisalhamento do material. Como a área da secção a ser cortada é igual à espessura da chapa multiplicada pelo perímetro de corte, podemos dizer que:

$$F_c = e \times L \times K_s$$

onde,

F_c = força de corte (Kgf)

e = espessura (mm)

L = perímetro de corte (mm)

K_s = tensão de ruptura ao cisalhamento do material (Kgf/mm²)

Devido à inexistência de um valor exacto para K_s , pode ser tomado como sendo 70 a 90% da tensão de ruptura à tracção do material. No entanto, alguns valores de K_s são conhecidos e tabelados:



Metal	K_s (Kgf/mm ²)	K_s (Kgf/mm ²)
	<i>recozido</i>	<i>encruado</i>
<i>Aço, 0,1% C</i>	24	32
<i>Aço, 0,2% C</i>	30	40
<i>Aço, 0,3% C</i>	36	48
<i>Aço, 0,4 C</i>	45	56
<i>Aço, 0,6% C</i>	55	72
<i>Aço, 0,8% C</i>	70	90
<i>Aço inoxidável</i>	50	56
<i>Alumínio 99 a 99,5</i>	7 a 9	13 a 16
<i>Prata e Monel (liga de níquel)</i>	28 a 36	45 a 56
<i>Bronze</i>	33 a 40	40 a 60
<i>Cobre</i>	18 a 22	25 a 30
<i>Estanho</i>	3	4
<i>Zinco</i>	12	20
<i>Chumbo</i>	2	3

Tabela 1 – Valores de tensões de ruptura ao cisalhamento de diversos materiais.

Peças obtidas por corte

Peças de computador, componentes de telemóvel, componentes de televisões, componentes de leitores de dvd ou cd, dobradiças, modelos de aviões, régulas milimétricas, componentes internos de jogos de vídeos, molduras, etc.

4.2. Dobramento

No dobramento, a chapa sofre uma deformação por flexão nas prensas que fornecem a energia e os movimentos necessários para realizar a operação. A forma é conferida mediante o emprego de punção e matriz específicas até atingir a forma desejada.

Para comprimentos de dobra considerados pequenos, utilizam-se estampas que possuem a forma a ser dobrada. Para fabricação de perfis dobrados ou alguns tipos de peças



com comprimentos de dobras considerados grandes, utilizam-se prensas quinadeiras com matrizes e machos (punções) universais.

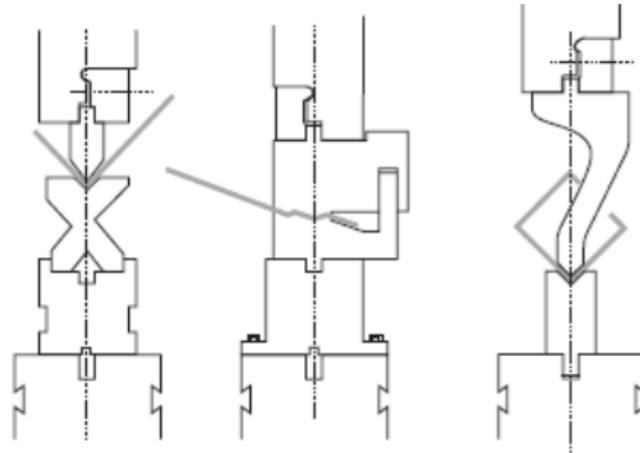
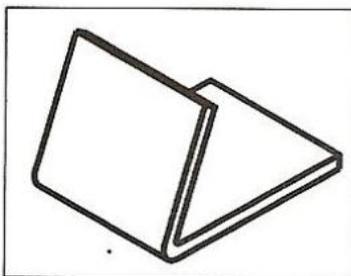


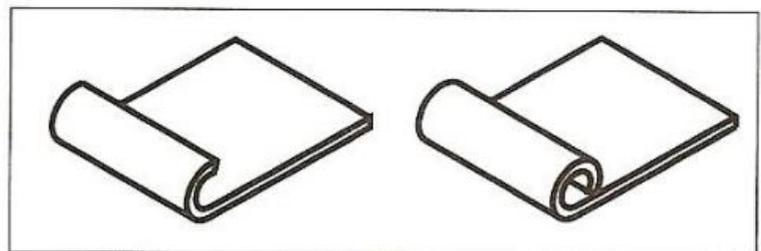
Figura 3 – Esquema da estampagem por dobramento.

Cantos vivos ou raios pequenos podem provocar a ruptura durante o dobramento. Materiais mais dúcteis como o alumínio, o cobre, o latão e o aço com baixo teor de carbono necessitam de raios menores do que materiais mais duros como os aços de médio e alto teores de carbono, aços ligados etc. O dobramento pode ser conseguido numa ou mais operações, colocando-se uma ou mais peças de cada vez e de forma progressiva ou em operações individuais.

Para obter os variados formatos que o dobramento proporciona, realizam-se as seguintes operações:

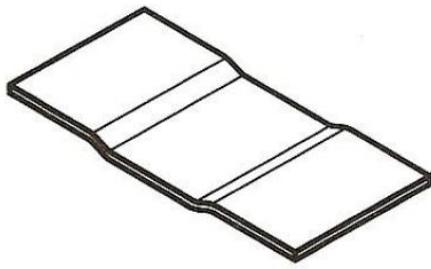


Dobramento simples e duplo

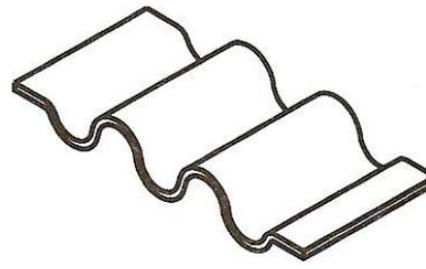


Dobramento em anel (aberto ou fechado)

Figura 4 e 5 – Esquemas de formatos que a estampagem por dobramento proporciona.



Nervuramento



Corrugamento

Figura 6 e 7 – Esquemas de formatos que a estampagem por dobramento proporciona.

Como foi referido alguns processos necessitam de várias operações para chegar ao formato final pretendido, nas imagens seguintes pode-se observar dois exemplos.

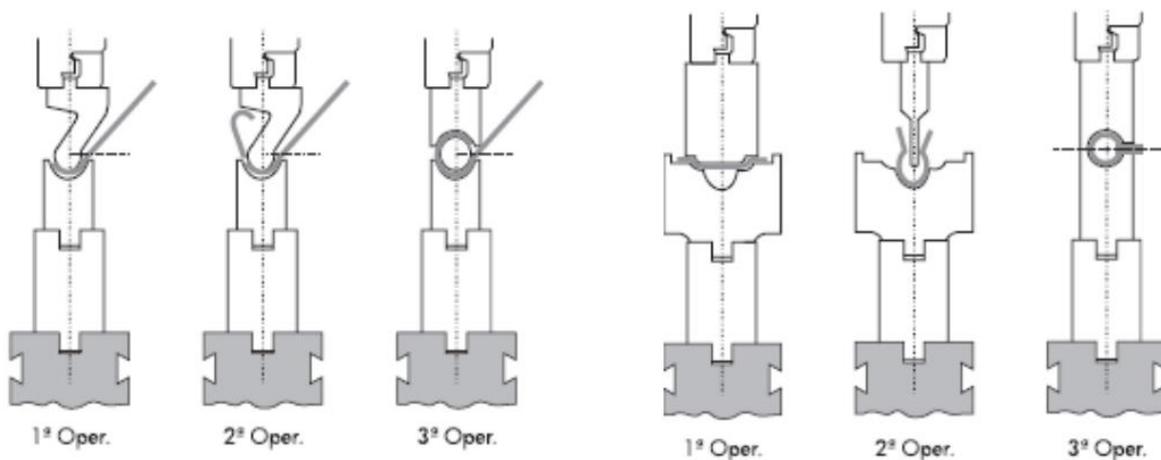


Figura 8 e 9 – Esquemas de processos de estampagem com mais de uma fase de conformação.

➤ Características da operação de dobramento – como todo o material submetido ao movimento de flexão, na chapa dobrada é exercida uma força de tracção no lado externo da dobra e uma força de compressão no lado interno, este efeito é denominado por estado duplo de tensão. Portanto, existindo tensões no material em direcção ao centro da peça e também tensões no sentido inverso, haverá uma linha onde essas tensões se anulam, que é a chamada **linha neutra**. Essa linha é extremamente importante no processo de dobramento, pois como não sofre tensões também não existe alteração de comprimento durante a



deformação. É através da linha neutra que se calculam as dimensões do **desenvolvimento**, ou seja, as dimensões da tira antes do dobramento.

➤ Determinação da posição da linha neutra e desenvolvimento – o cálculo da posição exacta da linha neutra exige a utilização duma fórmula matemática, no entanto é possível utilizar a seguinte tabela com valores práticos para a localização da linha, em função da espessura da chapa, em relação ao lado interno da dobra.

Espessura da chapa (<i>e</i>)	Posição em relação ao lado interno da dobra
<i>até 2 mm</i>	$1/2 \times e$
<i>entre 2 e 4 mm</i>	$3/7 \times e$
<i>acima de 4 mm</i>	$1/3 \times e$

Tabela 2 – Valores tabelados da posição da linha neutra.

No que toca ao cálculo do desenvolvimento, este é feito a partir da linha neutra da peça, porque como já foi referido, essa não muda de comprimento após a deformação da chapa. Assim, para calcular o desenvolvimento, basta calcular o comprimento da linha neutra.

Um dos aspectos mais importantes na estampagem por dobramento é ter a noção de que a chapa depois do dobramento, devido à elasticidade do material, tem tendência para voltar à sua forma inicial, sendo necessário construir as matrizes com ângulos mais acentuados do que os pretendidos e também realizar a operação várias vezes em uma ou mais matrizes.

Assim como na estampagem por corte, na estampagem por dobramento é essencial ter em conta não só a folga entre o punção e a matriz, mas também a força do dobramento. No caso da folga, é normal e costume que a folga seja 10% superior à espessura, no que à força de dobramento diz respeito, é necessário ter sempre em conta o tipo de dobramento que vai ser efectuado e também as várias características dos materiais, seja resistência à tracção ou à compressão, plasticidade, elasticidade e ponto de ruptura.

Peças obtidas por dobramento

Torre de computador, estojos, molduras, caixa de máquinas de café.



4.3. Estampagem Profunda ou “repuxo”

A estampagem profunda ou “repuxo” é uma operação de estampagem na qual uma chapa plana é transformada num objecto oco sem que haja aparecimento de rugas ou fissuras, não havendo, portanto, deformação da superfície ou espessura. É uma operação realizada a frio, numa ou mais fases de conformação.

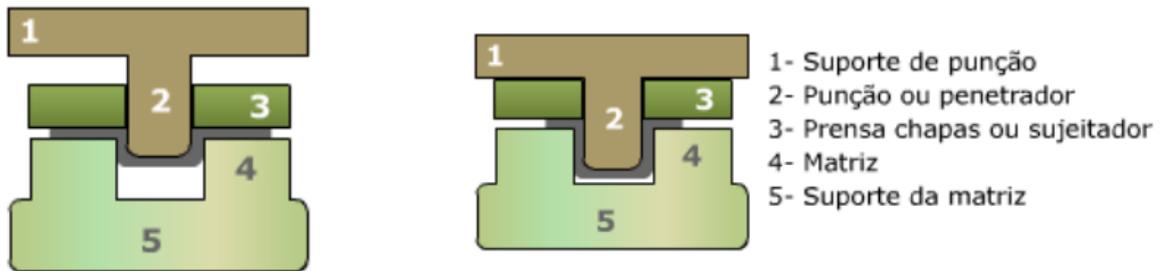


Figura 10 – Esquema de estampagem profunda ou “repuxo”.

A análise das forças exercidas no metal nesta operação é bastante complexa, isto porque existem estados duplos e triplos de tensão. Neste processo, ao contrário das anteriores, praticamente todo o volume da peça sofre tensões e é trabalhado a frio, excepto no fundo da peça, que serviu de apoio à face de punção.

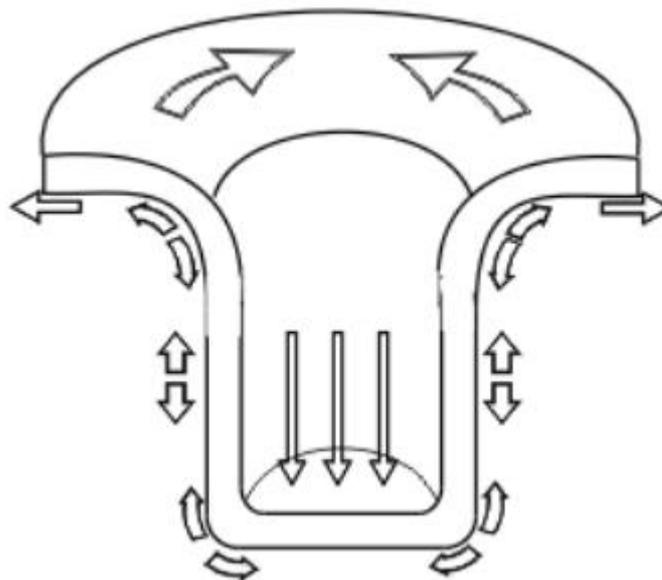


Figura 11 – Esquema das forças exercidas no material aquando da estampagem profunda.



Na figura acima, pode-se verificar todas as tensões a que a peça está sujeita, com as paredes verticais a serem submetidas a forças de tracção e a área plana do desenvolvimento tem a circunferência a ser reduzida através de forças de compressão. Visto que normalmente a chapa utilizada é fina, as forças de compressão tendem a originar ondulações e rugas nessa área, para evitar esse fenómeno utilizam-se prensas-chapas, que implica o aparecimento também de forças de atrito.

Na operação de estampagem profunda é necessário ter em conta o cálculo do desenvolvimento, para determinação das dimensões da peça iniciais e é também importante ter em atenção o cálculo da força de repuxo, ou de embutimento. Esta força de embutimento não é de fácil determinação, tendo em conta todos os factores envolvidos, desde o tipo de material, a espessura da chapa, a profundidade do embutimento, os raios da matriz e do punção, o acabamento superficial ou a lubrificação, no entanto é sempre verdade que a força de embutimento é inferior à força necessário para o corte do fundo da peça. Portanto, de um modo muito simplista, podemos afirmar que a força de embutimento pode ser calculada multiplicando a força de corte por um coeficiente inferior a 1.

Peças obtidas por repuxo

Copos, painéis de pressão, frigideiras, lixeiras, caixas de relógio, instrumentos musicais, tanques de radiadores, cartuchos, forma para bolo, componentes de carburador, capôs, portas, antenas parabólicas, etc.

5. Classificação dos processos de estampagem

Para além da divisão tendo em conta a operação utilizada, é possível dividir os processos de estampagem relativamente à geometria das peças fabricadas e também relativamente à tecnologia empregue para deformar plasticamente a chapa.

❖ Geometria

- ✓ Estampagem de peças cilíndricas;
- ✓ Estampagem de peças cónicas;
- ✓ Estampagem de peças rectangulares;
- ✓ Estampagem de peças com geometria complexa.



❖ Tecnologia

- ✓ Estampagem convencional em prensa – punção exerce força sobre a chapa, obrigando-a a tomar a forma definida pelo par punção/matriz. Faz parte da ferramenta de estampagem o encostador, cuja função é manter a chapa encostada à matriz durante todo o processo, impedindo deslocações verticais que originariam defeitos na peça final;
- ✓ Estampagem por explosão – a chapa é posicionada sobre a matriz e uma carga explosiva é colocada a uma distância pré-determinada. A onda de choque causada pela explosão provoca a deformação da chapa até tomar a forma da matriz;
- ✓ Estampagem por forças electromagnéticas – a chapa é conformada por acção de forças electromagnéticas induzidas. Não há necessidade de punções e, tal como no caso anterior, a chapa toma a forma da matriz;
- ✓ Estampagem por acção de um fluido – hydroforming – O *hydroforming* é utilizado sobretudo para o fabrico de tubos de secção variável e complexa, ou em peças ocas cujo fabrico seria impossível por outros processos. Injecta-se um fluido, normalmente óleo, a elevada pressão, essa pressão interior no tubo causa a deformação do material por expansão, obrigando-o a adquirir a forma das matrizes. Neste processo não existe punção, mas sim duas matrizes;
- ✓ Estampagem com punções/matrizes deformáveis.

6. Características e defeitos dos produtos estampados

Os produtos estampados apresentam defeitos característicos estreitamente ligados às várias etapas do processo de fabrico. O quadro a seguir relaciona esses defeitos com a respectiva etapa dentro do processo e indica as maneiras de evitá-los.



Etapa do Processo	Defeito	Causa	Correcção
Chapa	Pregas, ou gretas, transversais ao corpo da peça	Inclusões na chapa. Trepadura de laminação.	Usar chapas com controlo de qualidade mais rigoroso.
Chapa	Furos alongados ou gretas.	Poros finos ou corpos estranhos duros (como grãos de areia) que penetram na chapa no momento da estampagem.	Limpar cuidadosamente os locais de armazenamento das chapas.
Chapa	Diferenças de espessura na chapa.	Aba de largura irregular, formação de gretas entre as regiões de diferentes espessuras.	Exigir produtos laminados com tolerâncias dimensionais estreitas
Projecto ou construção da matriz.	Desprendimento do fundo.	O punção de embutir atua como punção de corte, o raio de curvatura é muito pequeno no punção e na aresta embutida.	Arredondar melhor as arestas no punção de embutir e na matriz.
Projecto ou construção da matriz.	Ruptura no fundo.	O fundo embutido é unido ao resto da peça apenas por um lado; a relação de embutimento é grande demais para a chapa empregada.	Introduzir mais uma etapa de embutimento ou escolher uma chapa de maior capacidade de embutimento.
Projecto ou ferramentaria	Trincas no fundo depois que o corpo está quase todo pronto (mais frequentemente em peças rectangulares).	Variação de espessura na chapa ou folga muito estreita entre punção e matriz. Em peças rectangulares, o estreitamento da folga é devido à formação de uma pasta de óxidos.	Revisar espessura da chapa. Alargar o orifício de embutimento. Em peças rectangulares, limpar sempre as arestas das ferramentas.
Projecto ou ferramentaria.	Formato abaulado - corpo arqueado para fora e arqueamento do canto superior do recipiente.	Folga muito larga de embutimento.	Aumentar a pressão de sujeição. Trocar a matriz ou o punção.
Ferramentaria, conservação.	Estrias de embutimento.	Desgaste da ferramenta e chapa oxidada.	Fazer tratamento de superfície para endurecer as arestas da matriz. Melhorar o processo de decapagem. Melhorar as condições de lubrificação.
Conservação, ferramentaria.	Pregas e trincas na aba.	Folga de embutimento muito larga, ou arredondamento muito grande das arestas de embutimento.	Trocar a matriz.
Conservação, ferramentaria.	Ampolas no fundo. Às vezes abaulamento no fundo.	Má aeração.	Melhorar a saída do ar, distribuindo melhor o lubrificante.
Conservação, ferramentaria.	Relevos de um só lado nas rupturas do fundo.	Posição excêntrica do punção em relação à matriz de embutimento.	Soltar a sujeição da ferramenta e centrar a matriz correctamente com relação ao punção.
Conservação, ferramentaria.	Formação de pregas na aba.	Pressão de sujeição insuficiente.	Aumentar a pressão do sujeitador.





Conclusões

De um modo geral, pode-se concluir que o processo de estampagem é um dos processos de conformação mecânica mais utilizados no mundo para o fabrico de peças em metais, principalmente na indústria automóvel e alimentar, com a criação de todo o tipo de utensílios de cozinha, como panelas, copos ou recipientes em metal, assim como peças de automóveis como painéis ou jantes. Este processo é muito utilizado nestas indústrias devido à produção em grande escala, não só porque é uma das grandes vantagens da estampagem como também porque a produção em grande massa ser a única forma de tornar o processo de estampagem rentável.

Em resumo, existem três operações básicas de estampagem: estampagem de corte, estampagem de dobramento e estampagem profunda ou “repuxo”.

No processo de estampagem é fundamental ter a noção das características de cada material e também das ferramentas a utilizar. Características como a resistência à tracção e à compressão, a elasticidade, a plasticidade e o ponto de ruptura do material são essenciais para conseguir realizar uma operação de estampagem de forma correcta. A folga entre punção e matriz, o cálculo da força necessária para o corte, a determinação da linha neutra e do desenvolvimento, assim como a força de dobramento ou a força de embutimento são medidas ou valores indispensáveis para um bom processo de conformação nas várias operações de estampagem existentes.

Em síntese pode-se afirmar que os processos de estampagem podem ser classificados não só quanto aos tipos de operações mas também quanto à geometria do produto fabricado: peças cilíndricas; peças cónicas; peças rectangulares e peças com geometria complexa; mas também quanto à tecnologia utilizada no fabrico: convencional em prensa; por explosão; por forças electromagnéticas; por acção de um fluido – *hydroforming*; e com punções/matrizes deformáveis.



Bibliografia

<http://wiki.ued.ipleiria.pt/wikiEngenharia/index.php/Estampagem>

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Estampagem>

<https://professormarciogomes.files.wordpress.com/2008/11/aulas-8-e-9-estampagem.pdf>

<http://bmalbert.yolasite.com/resources/Estampagem.pdf>