

Se a família dos processos de fabricação fosse um objeto que se pudesse tocar, com certeza, ela seria uma corrente na qual cada elo representaria um determinado processo que estaria encadeado em outro, que, por sua vez, estaria encadeado em outro, e assim por diante.

Senão, vejamos: alguns produtos da fundição como lingotes e tarugos podem ser forjados e laminados; os produtos da laminação podem ser cortados, dobrados, curvados, estampados. As peças resultantes podem passar por etapas de usinagem, soldagem, rebitagem... e por aí vai.

Isso porque, quando alguma coisa é produzida, você nunca tem apenas uma operação envolvida nessa fabricação. Geralmente, o que se tem são produtos intermediários, como na laminação, em que as chapas laminadas, após bobinadas, são usadas na fabricação de peças para a indústria automobilística, naval, eletroeletrônica e mecânica em geral.

E para que as chapas adquiram o formato desejado, é necessário que elas passem por um processo de conformação mecânica que visa dar-lhes forma final. Esse processo você ainda não estudou. Ele é chamado de estampagem.

Estampagem

Estampagem é um processo de conformação mecânica, geralmente realizado a frio, que engloba um conjunto de operações.

Por meio dessas operações, a chapa plana é submetida a transformações que a fazem adquirir uma nova forma geométrica, plana ou oca. Isso só é possível por causa de uma propriedade mecânica que os metais têm: a plasticidade.

As operações básicas de estampagem são:

- corte
- dobramento
- estampagem profunda (ou "repuxo")

Assim como nem todo material pode ser laminado, nem todo material pode passar pelas operações de 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 estampabilidade entre os materiais metálicos.

O **latão 70-30** é uma liga com 70% de cobre e 30% de zinco.

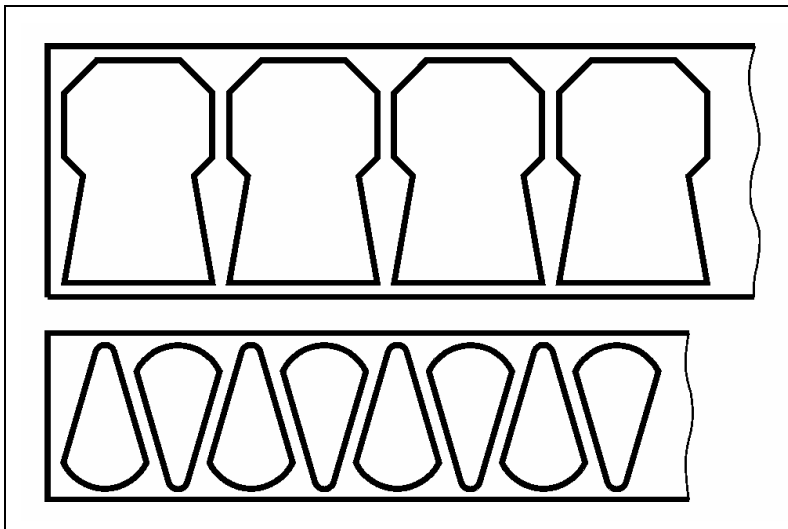
Além do material, outro fator que se deve considerar nesse processo é a qualidade da chapa. Os itens que ajudam na avaliação da qualidade são: a composição química, as propriedades mecânicas, as especificações dimensionais, e acabamento e aparência da superfície.

A composição química deve ser controlada no processo de fabricação do metal. A segregação de elementos químicos, por exemplo, que pode estar presente no lingote que deu origem à chapa, causa o comportamento irregular do material durante a estampagem.

As propriedades mecânicas, como dureza e resistência à tração, são importantíssimas na estampagem. Elas são determinadas por meio de ensaios mecânicos que nada mais são do que testes feitos com equipamentos especiais. Esses dados, juntamente com dados sobre a composição química, geralmente são fornecidos nas especificações dos materiais, presentes nos catá-

logos dos fabricantes das chapas e padronizados através de normas.

As especificações das dimensões ajudam no melhor aproveitamento possível do material, quando é necessário cortá-lo para a fabricação da peça. Uma chapa fora dos padrões de dimensão impede seu bom aproveitamento em termos de distribuição e quantidade das peças a serem cortadas. O ideal é obter a menor quantidade possível de sobras e retalhos que não podem ser aproveitados. Esse aproveitamento ideal envolve também o estudo da distribuição das peças na chapa.

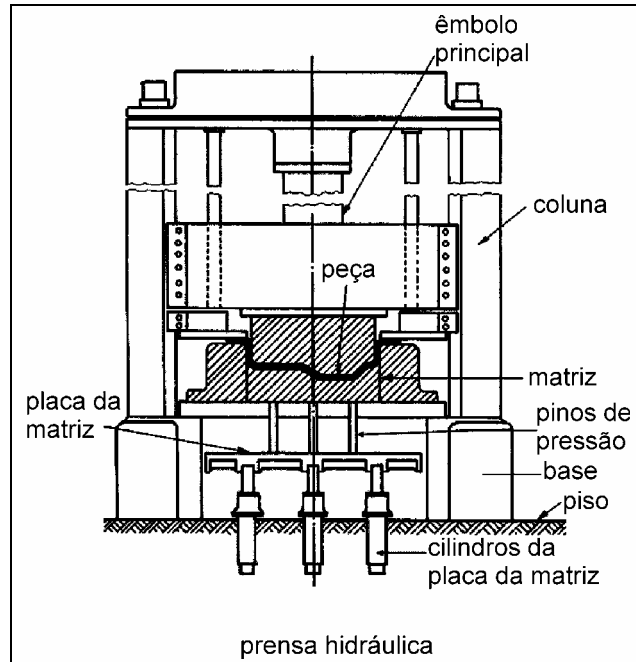
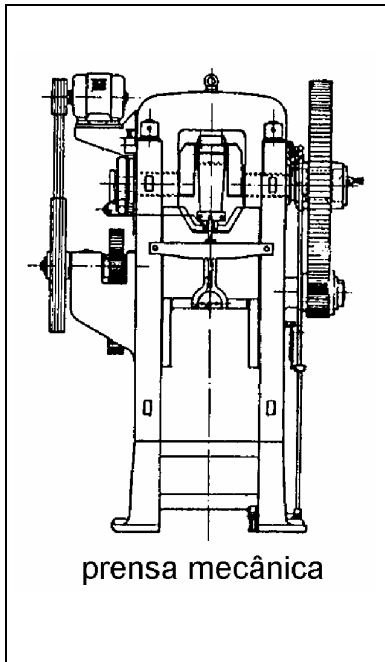


Os defeitos de superfície prejudicam não só a qualidade da peça estampada, como também influenciam na acabamento quando o produto deve receber pintura ou algum tipo de revestimento como a cromação, por exemplo. Por isso, esse é um fator que também deve ser controlado.

As operações de estampagem são realizadas por meio de prensas que podem ser mecânicas ou hidráulicas, dotadas ou não de dispositivos de alimentação automática das chapas, tiras cortadas, ou bobinas.

A seleção de uma prensa depende do formato, tamanho e quantidade de peças a serem produzidas e, conseqüentemente, do tipo de ferramental que será usado. Normalmente, as prensas mecânicas são usadas nas operações de corte, dobramento e estam-

pagem rasa. As prensas hidráulicas são mais usadas na estampagem profunda.



Na estampagem, além das prensas, são usadas ferramentas especiais chamadas **estampo** que se constituem basicamente de um punção (ou macho) e uma matriz. Essas ferramentas são classificadas de acordo com o tipo de operação a ser executada. Assim, temos:

- ferramentas para corte
- ferramentas para dobramento
- ferramentas para estampagem profunda

Na prensa, o punção geralmente é preso na parte superior que executa os movimentos verticais de subida e descida. A matriz é presa na parte inferior constituída por uma mesa fixa.

Esse ferramental deve ser resistente ao desgaste, ao choque e à deformação, ter usinabilidade e grande dureza. De acordo com a quantidade de peças e o material a serem estampados, os estampos são fabricados com aços ligados, chamados de aços para ferramentas e matrizes.

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 retificação para obter a afiação.

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

1. Assinale a alternativa que completa corretamente as afirmações a seguir.

a) A estampagem é um processo de
que produz peças a partir de

- 1) () Laminação a frio – chapas planas
- 2) () Conformação mecânica – chapas planas
- 3) () Laminação – sucata de aço
- 4) () Conformação mecânica – tarugos
- 5) () Conformação mecânica – laminados em geral

b) A propriedade dos materiais que possibilita a estampagem é a:

- 1) () dureza.
- 2) () resistência à tração
- 3) () plasticidade
- 4) () elasticidade
- 5) () composição química

2. Relacione as colunas.

Coluna A

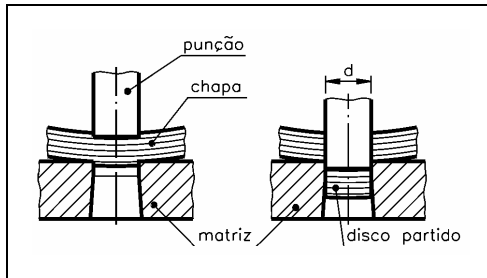
- a) () O defeito de superfície
- b) () A composição química
- c) () A especificação das dimensões
- d) () Uma propriedade mecânica

Coluna B

- 1) Causa o comportamento irregular do metal
- 2) É determinada por ensaios mecânicos.
- 3) Possibilita melhor aproveitamento da chapa.
- 4) Influencia no acabamento.
- 5) Deve ser controlada no processo de fabricação do metal.

Corte de chapas

O corte é a operação de cisalhamento de um material na qual uma ferramenta ou **punção de corte** é forçada contra uma **matriz** por intermédio da pressão exercida por uma prensa. Quando o punção desce, empurra o material para dentro da abertura da matriz.



Dica tecnológica

Em princípio, a espessura da chapa a ser cortada deve ser **igual** ou **menor** que o diâmetro do punção.

As peças obtidas por corte, podem, eventualmente, ser submetidas a uma operação posterior de estampagem profunda, que será estudada mais adiante nesta aula.

O corte permite a produção de peças nos mais variados formatos. Estes são determinados pelos formatos do punção e da matriz. A folga entre um e outra é muito importante e deve ser controlada, já que o aspecto final da peça depende desse fator. Ela está relacionada também com a espessura, a dureza e o tipo de material da chapa.

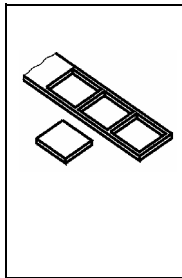
Dica tecnológica

Para o aço, a folga é de 5 a 8% da espessura da chapa; para o latão, ela fica entre 4 e 8%; para o cobre, entre 6 e 10%; para o alumínio, em torno de 3% e para o duralumínio, entre 7 e 8%.

Folgas muito grandes provocam rebarbas que podem ferir os operadores. As folgas pequenas provocam fissuras, ou seja, rachaduras, que causarão problemas nas operações posteriores. Quanto

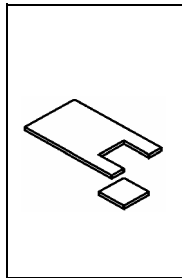
menores forem as espessuras das chapas e o diâmetro do punção, menor será a folga e vice-versa.

Dependendo da complexidade do perfil a ser cortado, o corte pode ser feito em uma única etapa ou em várias etapas até chegar ao perfil final. Isso determina também os vários tipos de corte que podem ser executados:



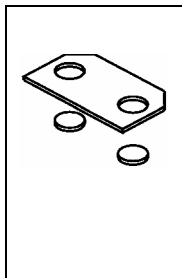
Corte (simples)

Produção de uma peça de um formato qualquer a partir de uma chapa.



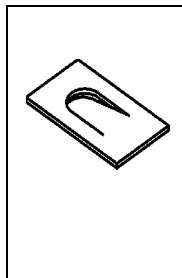
Entalhe

Corte de um entalhe no contorno da peça.



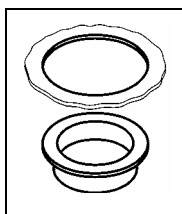
Puncionamento

corte que produz furos de pequenas dimensões.



Corte parcial

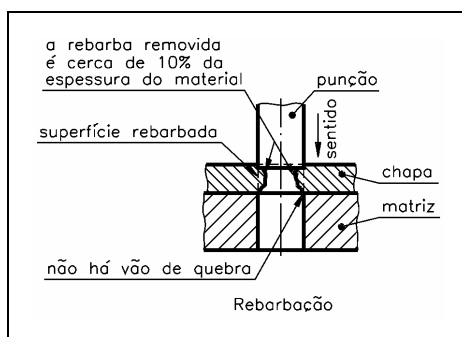
corte incompleto no qual uma parte da peça cortada fica presa à chapa.



Recorte

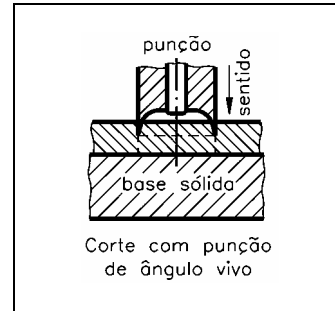
Corte de excedentes de material de uma peça que já passou por um processo de conformação.

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.



Fique por dentro

Pode-se cortar papel, borracha e outros materiais não-metálicos com um punção de ângulo vivo. Nesse caso, o material fica apoiado sobre uma base sólida de madeira ou outro material mole.



Pare! Estude! Responda!

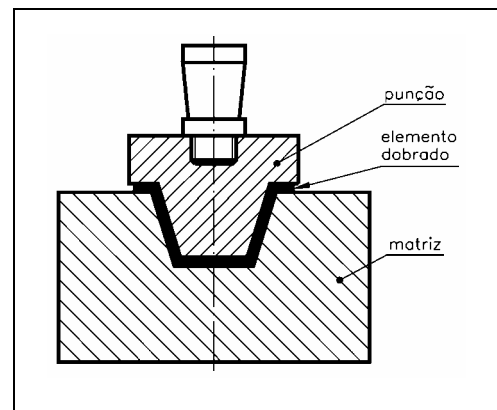
Exercício

3. Complete as seguintes afirmações.

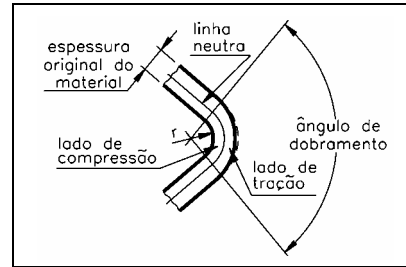
- a) O corte é uma operação de de um material.
- b) Para o corte, usamos um que é forçado contra uma por intermédio da pressão exercida por uma
- c) Depois do corte, efetua-se uma operação de para melhorar o acabamento das paredes do corte.

Dobramento e curvamento

O dobramento é a operação pela qual a peça anteriormente recortada é conformada com o auxílio de **estampos de dobramento**. Estes são formados por um punção e uma matriz normalmente montados em uma prensa. O material, em forma de chapa, barra, tubo ou vareta, é colocado entre o punção e a matriz. Na prensagem, uma parte é forçada contra a outra e com isso se obtém o perfil desejado.



Em toda e qualquer operação de dobramento, o material sofre deformações além do seu limite elástico. No lado externo há um esforço de tração, o metal se alonga e há uma redução de espessura. No lado interno, o esforço é de compressão.



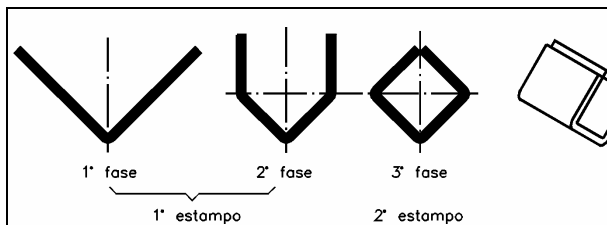
Por causa da elasticidade do material, sempre há um pequeno retorno para um ângulo ligeiramente menor que o inicial, embora a chapa tenha sido dobrada além de seu limite elástico. Por causa disso, quando se constrói o estampo, o cálculo do ângulo de dobramento deve considerar esse retorno e prever um dobramento em um ângulo levemente superior ao desejado.

Dica tecnológica

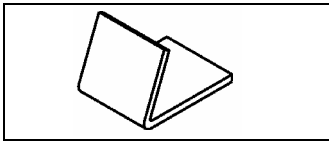
Existe uma região interna do material que não sofre nenhum efeito dos esforços de tração e compressão aos quais a chapa é submetida durante o dobramento. Essa região é chamada de **linha neutra**.

Outro fator a considerar é a existência dos raios de curvatura. Cantos vivos ou raios pequenos podem provocar a ruptura durante o dobramento. Em geral, a determinação do raio de curvatura é função do projeto ou desenho da peça, do tipo de material usado, da espessura da peça e do sentido da laminação da chapa. 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.

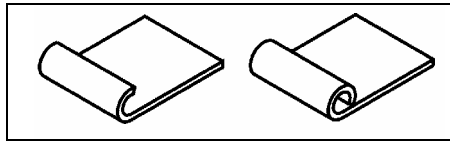
Até atingir o formato final, o produto pode ser dobrado com o auxílio de apenas um estampo em uma única ou em mais fases ou, então, com mais de um estampo.



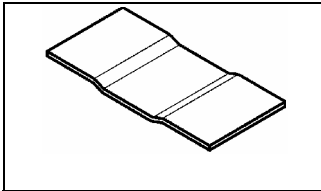
E para obter os variados formatos que o dobramento proporciona, realizam-se as seguintes operações:



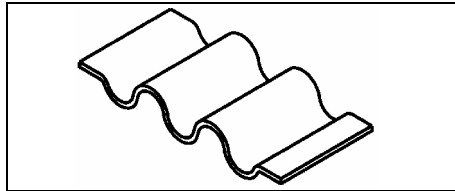
Dobramento simples e duplo.



Dobramento em anel (aberto ou fechado).



Nervuramento



Corrugamento

Pare! Estude! Responda!

Exercício

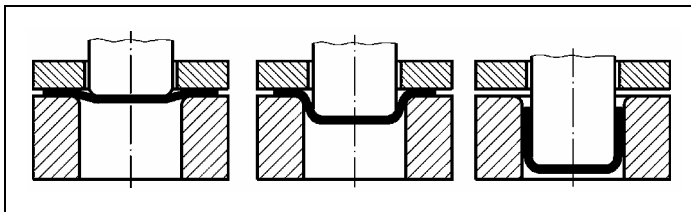
3. Responda às seguintes perguntas.
 - a) O que é dobramento?
 - b) Por que no dobramento há um retorno do material para um ângulo ligeiramente menor que o inicial?
 - c) O que é linha neutra?
 - d) Quais são os fatores que determinam o raio de curvatura no dobramento?
 - e) Quais são os fatores que podem provocar a ruptura durante o dobramento?

Estampagem profunda

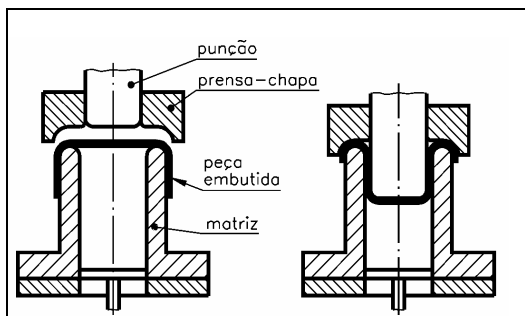
A estampagem profunda é um processo de conformação mecânica em que chapas planas são conformadas no formato de um copo. Ela é realizada a frio e, dependendo da característica do produto, em uma ou mais fases de conformação. Por esse processo, produzem-se painéis, partes das latarias de carros como pára-lamas, capôs, portas, e peças como cartuchos e refletores parabólicos.

Na estampagem profunda, a chapa metálica sofre alongamento em ao menos uma direção e compressão em outra direção. Geralmente, um compensa o outro e não há mudança na espessura da chapa.

Assim como no dobramento, a estampagem profunda também é realizada com o auxílio de estampos formados por um punção, uma matriz e um sujeitador presos a prensas mecânicas ou hidráulicas. A chapa, já cortada nas dimensões determinadas, é presa entre a matriz e o sujeitador que mantém sobre ela uma pressão constante durante o embutimento. Isso evita que ocorra o enrugamento da superfície da peça. O punção é acionado, desce e força a chapa para baixo, através da matriz. Nessa operação, também é necessário um controle sobre a folga entre o punção e a matriz.



Quando a profundidade do embutimento é grande, ou seja, tem a altura maior que o diâmetro da peça, e são necessárias várias operações sucessivas para obtê-la, tem-se a reestampagem. Isso pode ser feito com o mesmo punção, ou com punções diferentes quando o perfil da peça deve ser alterado numa segunda ou terceira estampagem.



A ferramenta deve ter uma superfície lisa e bem acabada para minimizar o atrito entre matriz-chapa-punção e, desse modo, diminuir o esforço de compressão e o desgaste da ferramenta. Para diminuir o atrito pode-se usar também um lubrificante.

Características e defeitos dos produtos estampados

Os produtos estampados apresentam defeitos característicos estreitamente ligados às várias etapas do processo de fabricação. 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	Correção
Chapa	Pregas, ou gretas, transversais ao corpo da peça	Inclusões na chapa. Trepadura de laminação.	Usar chapas com controle de qualidade de 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.
Projeto 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.
Projeto 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.
Projeto ou ferramentaria	Trincas no fundo depois que o corpo está quase todo pronto (mais frequentemente em peças retangulares).	Variação de espessura na chapa ou folga muito estreita entre punção e matriz. Em peças retangulares, o estreitamento da folga é devido à formação de uma pasta de óxidos.	Revisar espessura da chapa. Alargar o orifício de embutimento. Em peças retangulares, limpar sempre as arestas das ferramentas.
Projeto 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 corretamente com relação ao punção.
Conservação, ferramentaria.	Formação de pregas na aba.	Pressão de sujeição insuficiente.	Aumentar a pressão do sujeitador.

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

4. Responda às seguintes perguntas.
- O que é estampagem profunda?
 - O que acontece com a chapa metálica na estampagem profunda?
5. Assinale **V** ou **F** conforme as sentenças indiquem ou não defeitos de estampagem originados pelo projeto ou construção da matriz.
- Pregas transversais.
 - Furos alongados.
 - Desprendimento do fundo.
 - Trincas no fundo.
 - Diferenças de espessura na chapa.
 - Ruptura do fundo.
 - Formato abaulado.
 - Estria de embutimento.
6. Indique a origem dos defeitos onde você assinalou F.
7. Cite abaixo os nomes de produtos que estão em sua casa ou no teleposto e que foram fabricados por:
- Corte.....
 - Dobramento.....
 - Estampagem profunda
8. Relacione os defeitos com sua origem.
- | Coluna A | Coluna B |
|---|-------------------------------------|
| a) <input type="checkbox"/> Pregas, trincas na aba, estrias de embutimento. | 1. Chapa. |
| b) <input type="checkbox"/> Ruptura ou desprendimento do fundo. | 2. Projeto ou construção da matriz. |
| c) <input type="checkbox"/> Diferenças de espessura. | 3. Projeto ou ferramentaria. |
| d) <input type="checkbox"/> Trincas no fundo, principalmente em peças. | 4. Conservação, ferramentaria. |
| e) <input type="checkbox"/> Estrias de embutimento | |

Gabarito

1. a) (2) b) (3)
2. a) (4) b) (5) c) (3) d) (2)
3. a) Cisalhamento
b) punção de corte, matriz, prensa
c) rebarbação
4. a) É a operação na qual a peça é conformada com o auxílio de estampos de dobramento.
b) Por causa da elasticidade do material.
c) É a região interna do material que não sofre nenhum efeito dos esforços de tração e compressão.
d) Tipos do material usado, espessura da peça e do sentido de laminação da chapa.
e) Cantos vivos, raios pequenos.
5. a) É um processo de conformação mecânica de chapas planas no formato de um copo.
b) A chapa sofre alongamento em ao menos uma direção e compressão em outra direção.
6. a) (F) b) (F) c) (V) d) (V)
e) (F) f) (V) g) (V) h) (F)
7. a) Inclusões na chapa.
b) Poros finos ou corpos estranhos duros que penetram na chapa ao estampar.
c) Aba de largura irregular, formação de gretas entre as regiões de diferentes espessuras.
d) Desgaste da ferramenta e chapa oxidada.
8. a) Tampa de exaustor, moldura de janela (alumínio).
b) Talheres, tampas de vasilhames, cantoneiras.
c) Copos, componentes de compressor de geladeira, canecas.
9. a) (4) b) (2) c) (1)
d) (3) e) (4)