

Repuxo

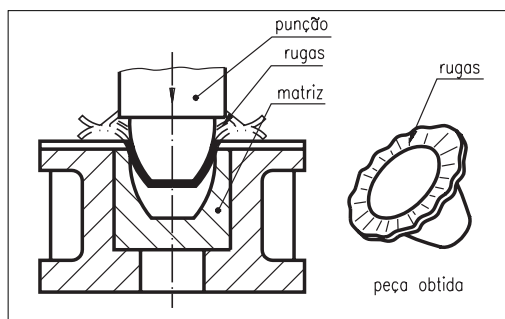
Nesta aula você vai saber o que é o processo de fabricação conhecido pelo nome de **repuxo** ou **embutimento**. Por meio dele é que são feitos utensílios domésticos de uso diário como bacias, canecas e panelas de alumínio. Você vai saber como funciona um estampo de repuxo e ter uma idéia geral do processo.

Vamos lá ?

Estampos de repuxo

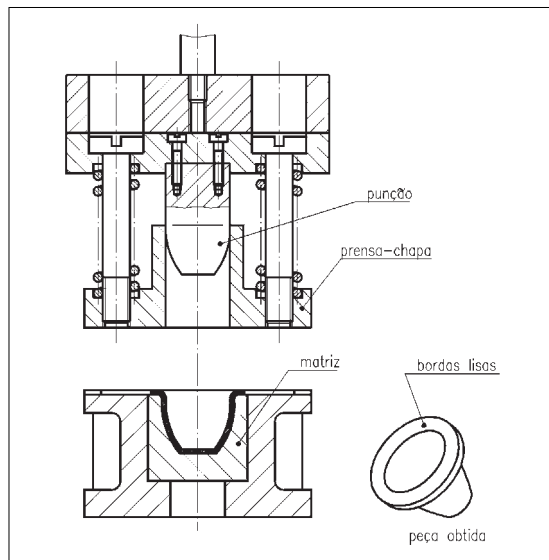
Nossa aula

Repuxo é um processo de fabricação, pelo qual uma chapa metálica adquire forma volumétrica, oca, previamente definida. As ferramentas que executam esse trabalho têm as mesmas características dos estampos de corte e dobra. São formadas basicamente por um punção e uma matriz. Na figura a seguir, vemos uma ferramenta de repuxo simples, utilizada para a fabricação de um recipiente.



Observe que o embutimento com esta ferramenta simples produz rugas na peça.

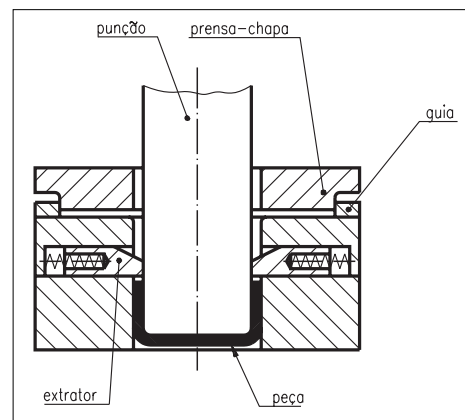
Os estampos de **repuxo simples** têm custo mais baixo que outros estampos de repuxo. Eles são pouco usados devido à formação de rugas nas bordas durante a operação. Os estampos de repuxo mais elaborados possuem um **sujeitador**, também conhecido como **prensa-chapas**. Este dispositivo evita que as bordas, após repuxadas, apresentem rugas. Embora o custo seja mais elevado, são os tipos mais usados na operação de repuxar. Veja, a seguir, um exemplo de estampo com prensa-chapas.



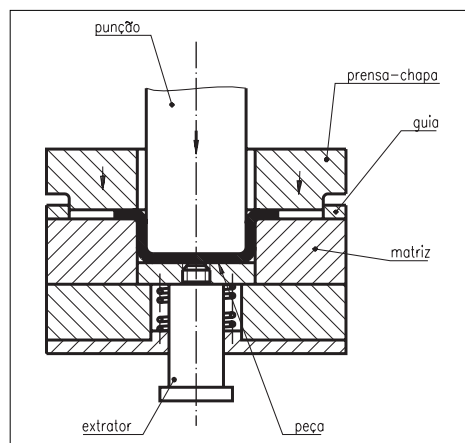
O prensa-chapas tem a função de manter a chapa sob pressão para fazer com que ela deslize apenas para o interior da cavidade da matriz, sem formar rugas. Para evitar a formação de trincas ou fissuras, vários fatores devem ser observados: o cálculo do raio da matriz, a lubrificação do material da peça, a folga entre o punção e a matriz, a regulação da pressão exercida pelo prensa-chapas etc.

Ao terminar a operação de repuxo, a peça já moldada fica presa à matriz do estampo de repuxar devido à propriedade de recuperação elástica do material. Para que a peça se desloque da cavidade da matriz, existe um dispositivo chamado **extrator**, que tem a função de liberar a peça.

Na figura ao lado vemos um estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte inferior do estampo.



Vemos, na figura ao lado, um estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte superior do estampo.



Folga

Quando se planeja fabricar uma peça pelo processo de repuxo, tem-se que levar em conta a **folga** que deve ser deixada entre o punção e a matriz de repuxo. Calcula-se a folga, representada pela letra grega minúscula delta (δ) em função do tipo e da espessura do material a ser repuxado.

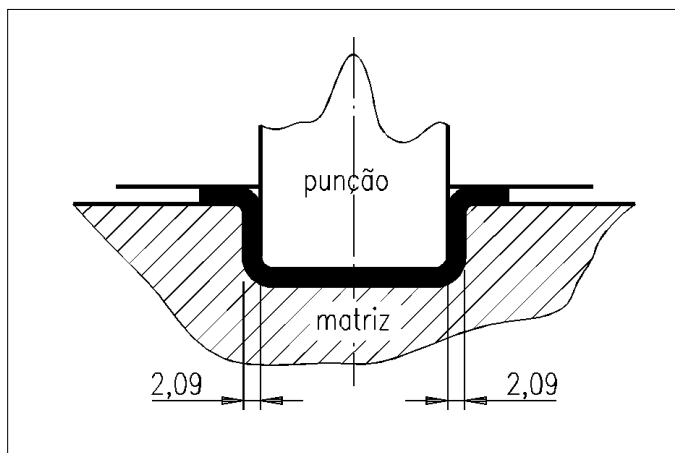
A folga corresponde ao valor da espessura do material mais um coeficiente determinado empiricamente para grupos de materiais, como mostram as fórmulas a seguir.

FÓRMULA	GRUPOS DE MATERIAIS (CHAPAS)
$\delta = e + 0,07 \sqrt{10 \times e}$	aço
$\delta = e + 0,04 \sqrt{10 \times e}$	metais não ferrosos
$\delta = e + 0,02 \sqrt{10 \times e}$	alumínio
$\delta = e + 0,20 \sqrt{10 \times e}$	metais resistentes ao calor

Por exemplo, para calcular a folga entre a matriz e o punção de um estampo que vai repuxar uma chapa de alumínio com 2 mm de espessura, basta substituir o valor da espessura na fórmula $\delta = e + 0,02 \sqrt{10 \times e}$.

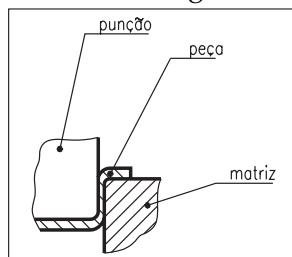
$$\text{Deste modo: } \delta = 2 + 0,02 \sqrt{10 \times 2} \Rightarrow \delta = 2 + 0,09 \Rightarrow \delta = 2,09 \text{ mm}$$

Ou seja, como você vê na figura a seguir, a folga entre o punção e a matriz deve ser de 2,09 mm.

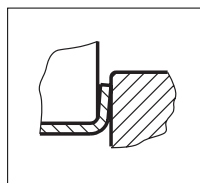


Desse modo, evita-se o excesso de atrito, que provoca rachaduras e marcas na peça repuxada.

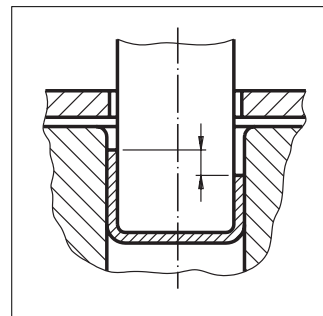
A folga deve ser calculada de modo correto. Se houver erro de cálculo e a folga for menor que o necessário, o material repuxado tende a esticar-se, podendo até romper-se, como mostra a figura.



Se a folga for maior que o necessário, pode haver deformações no perfil.
Se a folga for mal distribuída, pode ocorrer variação da altura.



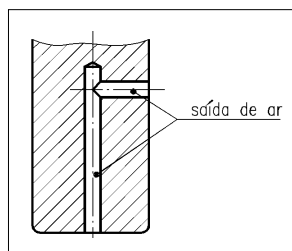
deformação no perfil



variação na altura

Entrada e saída de ar

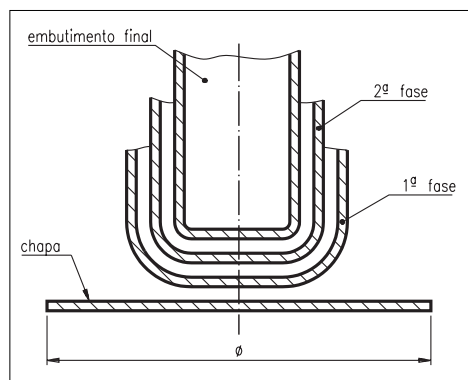
Para facilitar a saída de ar, durante o repuxo, é utilizado um punção provido de orifícios. Eles permitem a livre passagem do ar que se acha debaixo do punção quando ele desce sobre a matriz para moldar a peça e permitem a entrada de ar quando o punção retrocede.



Estágios de uma operação de repuxo

Muitas vezes, uma operação de repuxo durante a produção industrial necessita ser executada em etapas, por meio das quais o produto final vai se completando aos poucos.

Quando não se consegue realizar o repuxo em uma única vez, porque a relação entre o diâmetro do embutimento final e o diâmetro da chapa, conhecido como **blank**, é muito grande, divide-se a operação em estágios até a peça tomar, aos poucos, sua forma final. A figura a seguir apresenta uma representação esquemática dos estágios de conformação de uma peça, por repuxo.



O número de operações necessárias para se obter um repuxo depende da severidade do repuxo β_0 (lê-se beta zero).

Severidade do repuxo (β_0) é a relação entre o diâmetro do blank (D) e o diâmetro do punção (d), ou seja:

$$\beta_0 = \frac{D}{d}, \text{ onde a menor severidade é maior que 1.}$$

A severidade máxima ($\beta_0 \text{ max}$) é a condição limite para determinar se o repuxo pode ser feito numa única operação. É função do tipo de material, da sua espessura (e) e do diâmetro interno (d) da peça a ser repuxada. Para calcular o $\beta_0 \text{ max}$ usam-se as fórmulas a seguir:

$\beta_0 \text{ MAX}$	MATERIAIS (ADEQUADOS AO REPUXO)
$2,15 - 0,001 \times \frac{d}{e}$	Aços com baixa porcentagem de carbono (1006 - 1008) Aços inoxidáveis Ligas de cobre Alumínio Ligas de latão
$2 - 0,0011 \times \frac{d}{e}$	Aços com alta porcentagem de carbono (1020 -1030) Ligas de cobre e alumínio com maior dureza Brinell

Se a severidade do repuxo for menor ou igual à severidade máxima que o material suporta, é possível fazer a peça em uma única operação. Mas, se a severidade do repuxo for maior que a severidade máxima, será necessário dividir o processo em estágios.

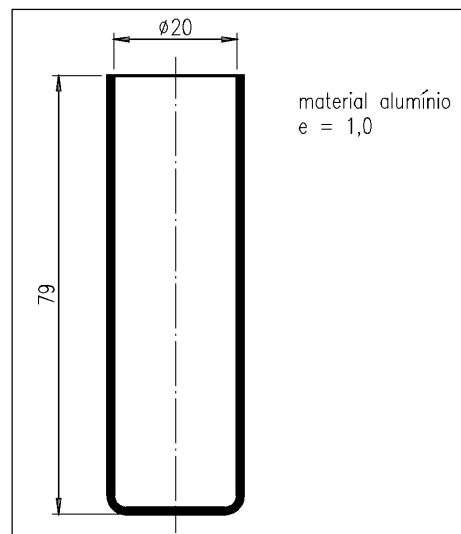
Em resumo:

se $\beta_0 \leq \beta_0 \text{ max} \Rightarrow$ uma operação de repuxo

se $\beta_0 > \beta_0 \text{ max} \Rightarrow$ mais de uma operação de repuxo

Procedimento de repuxar

Se a peça for como a da figura mostrada abaixo, o ponto de partida para a conformação é obter um blank com as dimensões apropriadas.



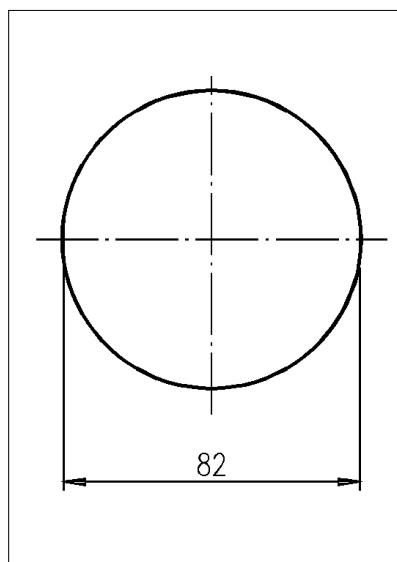
As dimensões do blank podem ser calculadas por gráfico ou por fórmula matemática. Para calcular matematicamente o diâmetro do blank de uma peça simples, sem abas, utilizamos a fórmula abaixo:

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \times d \times h}$$

Substituindo os termos da fórmula pelos valores conhecidos, temos:

$$D = \sqrt{20^2 + 4 \times 20 \times 79} \Rightarrow D = 81,97 \Rightarrow D \approx 82 \text{ mm}$$

Consegue-se assim uma chapa com forma e dimensões adequadas ao repuxo.



O passo seguinte é determinar a quantidade de estágios necessários para realizar a operação. Para isso, devemos calcular a severidade do repuxo e a severidade máxima usando as fórmulas:

$$\beta_0 = \frac{D}{d} \quad \text{e} \quad \beta_{0\text{max}} = 2,15 - 0,001 \times \frac{d}{e}$$

Que tal fazer esses cálculos e depois conferir os resultados?

Pare! Pesquise! Resolva!

$$\beta_0 =$$

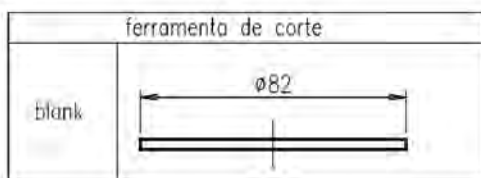
$$\beta_{0\text{max}} =$$

Se você fez os cálculos corretamente, deve ter chegado à conclusão que β_0 é igual a 4,1 mm e $\beta_{0\text{max}}$ é igual a 2,13 mm.

Ora, uma vez que β_0 é maior que $\beta_{0\text{max}}$, ou seja, 4,1 mm > 2,13 mm, a operação de repuxo deverá ser feita em mais de um estágio.

Para determinar o número de estágios, deve-se levar em conta que no primeiro estágio deve haver uma redução de 40% (ou 0,6) do diâmetro do blank. Nos demais estágios, a redução deve ser de 20% (ou 0,8), até que se obtenha o diâmetro interno desejado (d_n).

Agora já podemos calcular quantos estágios são necessários para conformar a peça mostrada anteriormente. Acompanhe a demonstração dos cálculos, passo a passo, a seguir.



estágios	cálculos	ferramentas de repuxo
1º	$d_1 = D \times 0,6$ $d_1 = 82 \times 0,6 = 49,2$ $d_1 = 49$	
2º	$d_2 = d_1 \times 0,8$ $d_2 = 49 \times 0,8 = 39,2$ $d_2 = 39$	
3º	$d_3 = d_2 \times 0,8$ $d_3 = 39 \times 0,8 = 31,2$ $d_3 = 31$	
4º	$d_4 = d_3 \times 0,8$ $d_4 = 31 \times 0,8 = 24,8$ $d_4 = 25$	
5º	$d_5 = d_4 \times 0,8$ $d_5 = 25 \times 0,8 = 20$ $d_5 = 20$	

Neste caso será necessária uma ferramenta para cortar o diâmetro do blank e mais 5 ferramentas, uma para cada estágio, até chegar ao produto final.

Lubrificação

Na operação de repuxar, utilizam-se diferentes lubrificantes, cada um correspondendo a um material de trabalho. A função da lubrificação é diminuir a resistência ao deslizamento, reduzir esforços desnecessários, evitar peças defeituosas e desgaste prematuro do estampo.

Para o emprego dos lubrificantes devem-se usar apenas produtos de qualidade comprovada. Além disso, é recomendável seguir as indicações do fabricante.

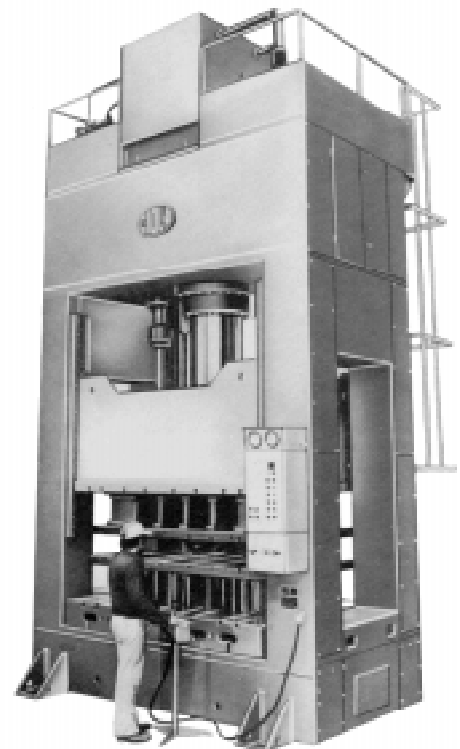
Os produtos de lubrificação podem ser usados puros ou diluídos. De modo geral, empregam-se os produtos diluídos. Observe, a seguir, o quadro que relaciona os materiais e seus lubrificantes correspondentes.

MATERIAL	LUBRIFICANTE
Aços	Sabão em pasta, óleo de rícino, talco, emulsões de óleos minerais
Alumínio e suas ligas	Querosene, óleo de coco, vaselina, sebo, óleo grafitado
Zinco, estanho, chumbo e metal branco	Sebo
Cobre, bronze e latão	Óleo mineral grosso, pasta de sabão com água, petróleo grafitado
Aço inoxidável	Água grafitada

Prensas

A operação de repuxar pode ser realizada em tipos diferentes de prensa. Dependendo da força necessária, das dimensões da peça e da produção desejada, a seleção da prensa correta é um fator de grande produtividade. Existem vários tipos de prensa, com diferentes estruturas e funcionamento. Exemplos: prensa de fricção, prensa excêntrica, prensa de alavanca e prensa hidráulica. Dessas, a **hidráulica** é a mais indicada para a operação de repuxo. Ela permite grandes pressões em grandes profundidades de repuxo.

A prensa hidráulica (figura ao lado) apresenta a vantagem de facilitar a regulagem da pressão do óleo, evitando com isso a formação de rugas. Como já foi explicado, isso permite utilizar somente a força necessária do prensa-chapas, de modo controlado.



Agora, vamos ver o que você aprendeu. Faça os exercícios e confira suas respostas com as do gabarito.

**Pare! Estude!
Responda!**

Marque com X a resposta correta.

Exercício 1

Repuxo é:

- a) ☐ processo de cortar chapas metálicas;
- b) ☐ processo pelo qual uma chapa adquire forma volumétrica;
- c) ☐ operação de esticar metal até formar uma peça;
- d) ☐ operação de dobrar chapas metálicas.

Exercício 2

Os estampos de repuxo são formados basicamente por:

- a) ☐ punção e matriz;
- b) ☐ torno repuxador e morsa;
- c) ☐ extrator e prensa-chapas;
- d) ☐ prensa e matriz.

Exercício 3

Sujeitador é o mesmo que:

- a) ☐ repuxo
- b) ☐ prensa-chapas
- c) ☐ porta-punção
- d) ☐ extrator

Exercício 4

Severidade máxima ($\beta_0 \text{max}$) é:

- a) ☐ a relação entre o diâmetro do blank e o diâmetro da matriz;
- b) ☐ a condição limite para repuxar a peça de uma só vez;
- c) ☐ a relação entre o diâmetro do punção e o diâmetro do blank;
- d) ☐ a diferença entre o diâmetro do punção e o diâmetro da matriz.

Exercício 5

A prensa mais adequada para repuxar chama-se:

- a) ☐ excêntrica
- b) ☐ hidráulica
- c) ☐ de manivela
- d) ☐ de fricção

