



## Manufatura de chapas metálicas - puncionamento

**A** fabricação de peças metálicas através do puncionamento é ainda muito utilizada na indústria metal-mecânica. Alguns detalhes do processo devem ser bem compreendidos para que seja possível obter uma ferramenta produtiva.

Dentre os processos de conformação mecânica, o puncionamento tem grande importância por sua facilidade de executar furos em processos de produção intensiva. O processo de puncionamento consiste em furar pela remoção de um retalho e o diâmetro do furo é determinado pelo diâmetro da ponta do punção. Neste processo faz-se o furo na chapa e a peça aproveitada (mantida) é a própria chapa. A parte que foi cortada é descartada. Já no processo de estampagem (*blanking*), também largamente aplicado na produção mecânica, a peça aproveitada é a que foi cortada e a chapa é descartada. O objetivo desse artigo é ilustrar as etapas do puncionamento e definir os tipos básicos de folga de corte.

### O PROCESSO DE PUNCIONAMENTO

Quando um furo deve ser puncionado ou então executado por outro processo? Basicamente é uma questão econômica. Os furos feitos a laser (principal processo

concorrente) são perfeitos, mas bastante caros. Teoricamente pode ser feito qualquer tipo de puncionamento em qualquer material.

#### Etapas do processo

A dinâmica do processo de puncionamento é muitas vezes considerada como uma operação em dois passos. O primeiro na condução de um punção através da chapa de aço e o segundo na retirada do punção do interior do furo.

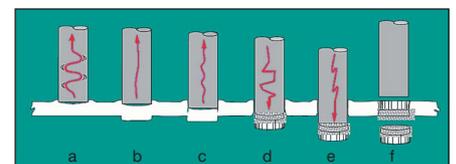
Na verdade existem seis etapas para se obter um furo por puncionamento. Elas podem ser vistas na figura 1.

As seis etapas contêm os elementos críticos de todo o processo. O entendimento desses passos pode ajudar na construção da ferramenta e na seleção dos aços ferramenta e da folga entre matriz e punção.

A primeira etapa é a fase de impacto onde o punção faz o contato inicial com o material. Um carregamento de compressão rapidamente aparece enviando uma onda

de choque através da punção. Essas ondas de choque estão representadas na figura 1 para cada etapa do processo. O material começa um bojamento<sup>1</sup> em torno da ponta do punção, como mostra a figura 1a.

A fase de penetração se dá quando a tensão de escoamento do material é ultrapassada e a ponta do punção começa a adentrar a superfície do material. Ambos, punção e matriz começam a cortar seus respectivos lados como pode ser visto na figura 1b. A alavanca criada pela folga da ferramenta permite que o punção dobre o retalho. O centro do retalho é arcado para fora do punção criando um bolsão de vácuo.



**Figura 1** - Etapas do processo: a) impacto, b) penetração, c) e d) ruptura, e) estouro e f) retirada - 200x - adaptado de [1]

<sup>1</sup>Bojamento: ato ou efeito de formar uma protuberância abaulada, uma saliência arredondada.

Na fase de ruptura uma parte do material é deformada e estirada até seu limite de resistência. O material começa a ruptura entre as arestas de corte do punção e da matriz, conforme demonstra a figura 1c. Esse mecanismo gerará a ruptura observada no furo final e no diâmetro externo do retalho.

O estouro (*snap thru*) acontece quando a tensão limite do material é excedida e o retalho repentinamente se separa da chapa. A figura 1d representa essa fase. O súbito descarregamento de pressão sobre o punção gera uma onda de choque inversa que freqüentemente pode levar a quebra da cabeça do punção. O choque gerado pelo estouro tem uma relação direta com a dureza do material. Quanto mais duro o material maior a onda de choque. O retorno elástico fica na chapa visto que o retalho quebrou de forma livre. Com folga ótima o furo produzido na chapa se fecha na ponta do punção. Normalmente o retalho irá se expandir e ficará preso na matriz.

Quando o cilindro da prensa alcança seu fim de deslocamento, isto é, atinge o ponto morto inferior, o punção deve penetrar na matriz aproximadamente 0,5 a 0,8 mm (figura 1e). Uma maior penetração irá propiciar desgaste excessivo no punção particularmente quando se utiliza a folga ótima. Quanto mais profundamente o punção penetrar, mais vácuo ele criará na saída (na figura 1a, 1b e 1c é possível visualizar a região de vácuo entre a superfície plana do punção e chapa deformada). Esse vácuo provavelmente irá puxar e prender o retalho. A retirada do punção (*withdrawal*) pode gerar cerca de 2/3 do desgaste do punção e ser responsável pela retenção

do retalho. A figura 1f representa esse mecanismo. Em função de a folga ótima produzir furos menores que a dimensão da ponta do punção (retorno elástico do material furado), se cria uma condição que tende a prender a ponta do punção a cada batida. Assim, o desgaste abrasivo<sup>2</sup> na matriz e punção será excessivo.

### FOLGA DE CORTE

A folga de corte tem um papel importante no processo e existem duas maneiras para determiná-la: a total e a por lado (figura 2). A folga total é igual ao dobro da folga por lado.

Normalmente se utiliza a folga por lado como padrão e o símbolo delta para indicar a folga por lado. Neste caso, a folga por lado é a distância entre as arestas cortantes do punção e da matriz. Esta distância deve ser mantida homogênea em

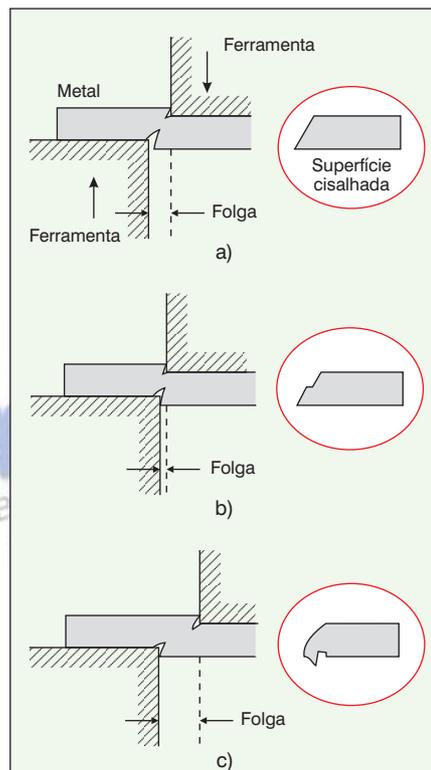


Figura 2 - Mecânica do corte de chapas por cisalhamento: a) folga ótima, b) folga insuficiente e c) folga excessiva (adaptado de [2])

torno de todo o perímetro.

No puncionamento de chapas de aços convencionais para estampagem, uma regra geral de ferramentaria é utilizar folga de corte entre 2,5 a 6% da espessura da chapa por lado. Isto proporciona rebarbas de altura aceitável e um bom controle do retalho.

### PROBLEMAS TÍPICOS DO PUNCIONAMENTO

Alguns problemas típicos do puncionamento acontecem quando o carregamento de compressão é rapidamente aliviado e o punção passa através da chapa. A tensão se concentra no ponto de junção da cabeça do punção e isto poderá levar a quebrá-la, como representado na figura 3.

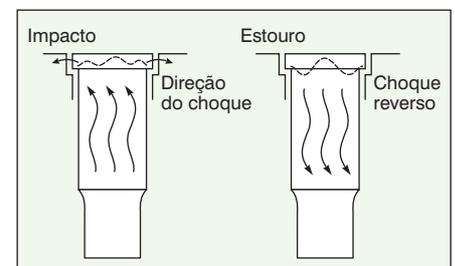


Figura 3 - Problemas típicos do puncionamento (adaptado de [3])

As formas clássicas de se evitar a quebra na região da cabeça do punção são mostradas na figura 4.

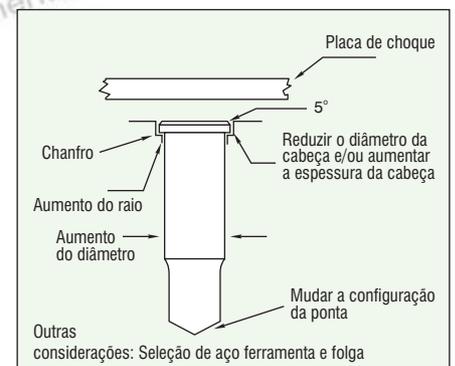


Figura 4 - Formas clássicas de evitar a quebra da cabeça do punção (adaptado de [3])

<sup>2</sup>Abrasão: é o ato ou efeito de raspar ou desgastar por atrito.

A figura 5 mostra um método clássico de extração do punção, uma vez que atualmente se tem a tendência de usar poliuretano ao invés de molas para a extração.

A força de extração do punção durante o puncionamento pode ser obtida pela expressão:

$$F = L \times T \times 1,5 \quad (1)$$

onde:

F = força de extração (Kgf);

L = comprimento de corte ou perímetro do furo (mm) e;

T = espessura do material (mm).

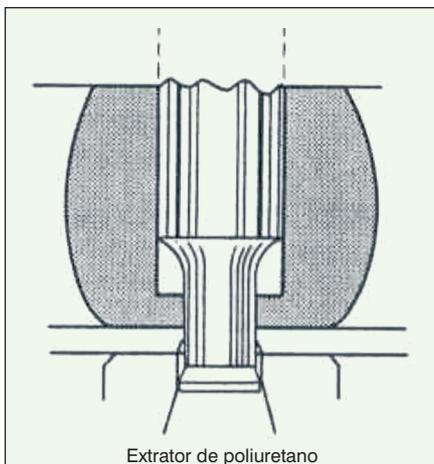


Figura 5 - Método de extração do punção durante o puncionamento (adaptado de [3])

Quando a folga é pequena (abaixo da apropriada), aparecem marcas em forma de anéis na ponta do punção indicando que a chapa teve recuperação elástica durante a etapa de estouro. A redução do diâmetro do furo acarretará, consequentemente, o agarramento da ponta do punção. Essa folga insuficiente também gera aquecimento, descolorindo a área junto à ponta do punção e prejudicando, possivelmente, o tratamento térmico. Ainda, a vida da ferramenta será reduzida devido aos danos causados pelo calor gerado.

Adicionalmente, é importante

realizar uma análise detalhada do efeito da folga de puncionamento nas características do furo (percentual de cisalhamento de aspecto polido), na geração de rebarba (altura da rebarba) e na relação entre tamanho do furo e espessura da chapa. A superfície polida e a região de ruptura visualizadas no retalho serão observadas da mesma maneira no furo puncionado (todos os retalhos apresentados na figura 6 são o resultado da utilização de folga de 6% por lado do punção para a matriz).



Figura 6 - Aparência da superfície dos retalhos, adaptado de [1]

Os retalhos de maior diâmetro mostram a região polida de aproximadamente 25%. Isto é típico para a maioria de aplicações onde o diâmetro do furo é maior do que 1,5x a espessura da chapa. Quando o tamanho do furo é menor do que 1,5x a espessura do material, o retalho se torna mais difícil de dobrar e quebrar.

Note que os retalhos de diâmetros menores têm consideravelmente uma maior região polida e uma menor região de ruptura. Sob estas circunstâncias a altura da rebarba é também aumentada.

No puncionamento de chapas grossas de aço de alta resistência (acima de 6 mm) acontece o efeito *blow-out*<sup>3</sup>, ou seja, os furos ficam mais largos na parte superior, o que os torna cônicos como demonstra a figura 7.

### PUNÇÃO COMBINADO

A construção de uma ferramen-



Figura 7 - Forma cônica dos retalhos no puncionamento de chapas grossas de aço de alta resistência (chapa de aço NBR 6656 LNE 38, 8mm de espessura)

ta combinada de puncionamento com brochamento de chapas está demonstrada na figura 8 [4, 5]. Essa ferramenta torna possível que as duas operações sejam realizadas em uma única operação, aliando vantagens da alta produção dos processos de conformação e usinagem para serviços pesados (chapas metálicas grossas).

Nesta proposta, o brochamento é realizado no final do processo combinado, definindo a qualidade

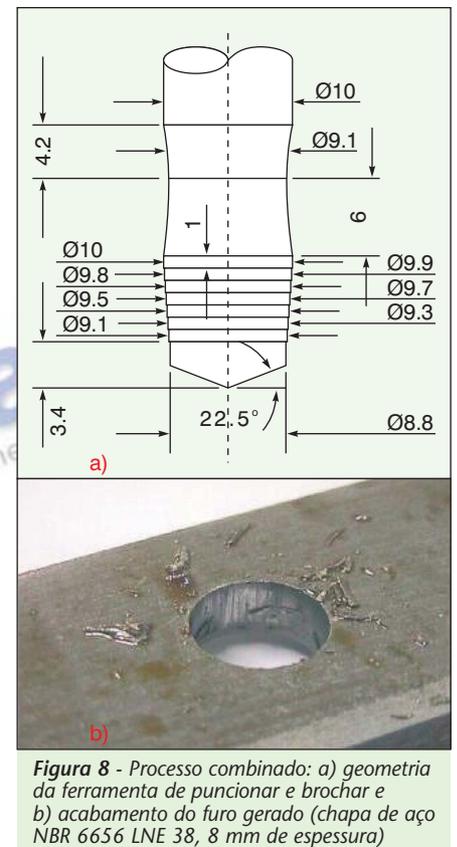


Figura 8 - Processo combinado: a) geometria da ferramenta de puncionar e brochar e b) acabamento do furo gerado (chapa de aço NBR 6656 LNE 38, 8 mm de espessura)

<sup>3</sup>Blow-out: do inglês, blow = inchar, out = fora. No processo de puncionamento, é o efeito de inchar da parte superior do retalho.

superficial do furo (rugosidade). A rugosidade também é influenciada pelo ângulo de ponta da ferramenta de puncionar.

Já a precisão dimensional do furo é dependente de uma combinação da geometria do punção, na

etapa de puncionamento, e da estratégia de brochamento.

A variável mais importante nesse processo combinado é a superfície não paralela de corte dos punções. Com relação à conicidade dos fu-

ros, o ângulo positivo dos punções não afeta de forma significativa a geometria dos furos. Neste caso, quem determina a conicidade dos furos é o brochamento (geometria dos dentes de brochamento).

#### FONTES CONSULTADAS

- *Relatório Paraná Tecnologia* (2000). Publicação do Sebrae e Sindimetal-PR, Curitiba, PR.
- Benazzi Jr., I.; Aio, L. H.; *Tecnologia de estampagem*, Apostila de curso da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Julho de 2007.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tarkany, N.; *Improving perforating die performance - The effects of stress, clearance, material*, Stamping Journal, vol. 15, nº 2, Março/Abril, 2003.
- [2] Costa, H. B. e Mira, F. M., (1987). *Apostila - Processos de Conformação: Conformação Mecânica dos Metais*, Florianópolis, SC.
- [3] Society of Manufacturing Engineers, *Die Design Handbook*, SME - Society of Manufacturing Engineers, 1990.
- [4] Mello, L. B.; Marcondes, P. V. P.; *Punching and broaching combos - a new stamping tool*, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, v. xxviii, 94-98, 2006.
- [5] Marcondes, P. V. P.; Eto, A. M.; Beltrão, P. A. C.; Borges, P. C.; *A smart stamping tool for punching and broaching combination*, Journal of materials processing technology, v. 206, 184-193, 2008.

**Paulo Victor Prestes Marcondes** - Possui pós-doutorado pela Universidade de Deakin, em Geelong, na Austrália (2007) e Universidades da Califórnia em San Diego (1996) e Pennsylvania (1996) nos EUA. Obteve seu doutoramento em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade de Birmingham na Inglaterra (1995). Mestrado em Engenharia Mecânica (1991) e graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1989). Atualmente é professor associado I da Universidade Federal do Paraná atuando na graduação e pós-graduação (mestrado e doutorado) do Departamento de Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Conformação Mecânica, atuando principalmente nas áreas de conformação de chapas, ferramentas de conformação (matrizes e moldes) e simulação computacional.