



Manufatura de chapas metálicas - corte

A fabricação de peças metálicas através de corte por cisalhamento ainda é muito utilizada na indústria metal-mecânica. As variantes deste processo apresentam características e aplicações diferenciadas.

No processo de corte de chapas metálicas por cisalhamento tem-se, basicamente, uma separação por fratura controlada onde as duas ferramentas apresentam bordas (arestas) cortantes. A deformação plástica imposta na chapa pelas ferramentas vai promover trincas junto às bordas cortantes da matriz e do punção e o corte estará completo quando as trincas se encontrarem (as arestas cortantes das duas ferramentas não precisam necessariamente se encontrar). A profundidade necessária de penetração das pré-trincas depende da ductilidade¹ do material. O objetivo desse artigo é definir os tipos básicos de corte de chapas metálicas e ilustrar os processos de recorte e recorte fino.

As variantes do corte tradicional por cisalhamento (*slitting*, *shearing*) são o recorte (*blanking*), o puncionamento ou perfuração (*punching*), o entalhamento (*notching*), o seccionamento (*parting*) e o aparado (*trimming*). As variáveis principais do processo são a pressão de sujeição da chapa, a folga entre punção e matriz (*clearance*) e a dureza da chapa. Os aspectos importantes do processo são a altura da rebarba produzida e a relação entre a zona cisalhada e a zona lisa. A Figura 1 mostra os tipos de folga no processo tradicional de corte de chapas.

O processo tradicional de corte por cisalhamento apresenta três zonas distintas na superfície cortada, isto é, zona rugosa (superfície da trinca de fratura – faixa arrancada), zona lisa (atrato da peça com as paredes da matriz – corte puro) e região arredondada (deformação plástica inicial), conforme pode ser visto na Figura 2.

No processo de corte por cisalhamento a folga entre punção e matriz vai determinar a qualidade da superfície cortada e a energia consumida no processo.

Com uma folga insuficiente as trincas tendem a se desencontrar no centro da espessura da chapa apresentando um rasgamento secundário para a separação da chapa (Figura 1b). A superfície cortada é de qualidade inferior (degrau) e há maior necessidade de energia para o corte quando comparado com o processo de corte com uma folga apropriada.

Já com uma folga excessiva tem-se um nível de deformação plástica mais intensa (maior área a ser encruada). Neste caso aparecem grandes rebarbas e saliências agudas na borda do produto cortado (Figura 1c). Também neste caso se necessita de maior energia para o corte da chapa comparado ao corte utilizando uma folga apropriada.

A folga apropriada depende do tipo de material (frágil ou dúctil) e da espessura da chapa (normalmente está entre 5 e 10% da espessura da chapa para os aços de baixo e médio carbono) e a superfície cortada é a típica oriunda do cisalhamento do material (Figura 1).

¹ Ductilidade: é a propriedade física dos materiais de suportar a deformação plástica, sob a ação de cargas, sem se romper ou fraturar. Ela é caracterizada pelo fluxo do material sob ação de uma tensão cisalhante (cortante). Um material dúctil é aquele que se deforma sob tensão cisalhante. Ouro, cobre e alumínio são metais muito dúcteis. O oposto de dúctil é frágil, quando o material se rompe sem sofrer grande deformação.

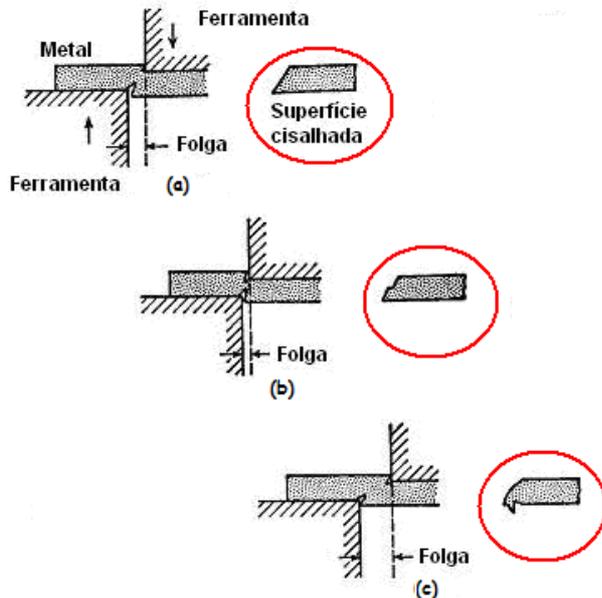


Figura 1 – Mecânica do corte de chapas por cisalhamento: a) folga apropriada, b) folga insuficiente e c) folga excessiva (adaptado de [1])

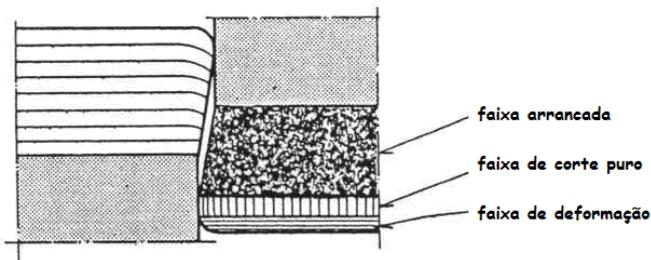


Figura 2 – Zonas da superfície separada pelo corte por cisalhamento (adaptado de [2])

Em um processo de estampagem é importante notar que as matrizes determinarão as dimensões dos recortes e os punções determinarão as dimensões dos furos puncionados. Assim, uma importante regra do projeto de ferramentas de corte é que nas operações de recorte as dimensões do punção devem ser diminuídas da folga e nas operações de puncionamento o valor da folga deve ser adicionado nas dimensões da matriz.

Em geral existem algumas regras gerais de projeto de peças recortadas ou puncionadas que devem ser, sempre que possível, respeitadas. O recorte deve ser disposto na tira de forma a se ter uma maior economia de material. A disposição inclinada das peças na tira, Figura 3b, oferece maior economia de material do que na opção mostrada na Figura 3a. Uma disposição adequada das peças na tira significará maior economia de material e, conseqüentemente, bom aproveitamento da chapa (a utilização de maior número de fiavras de peças também, normalmente, fornece maior

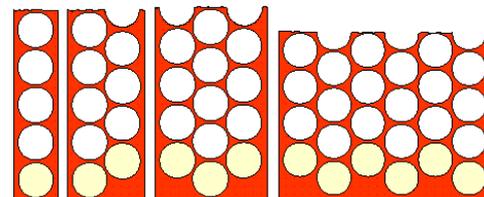
aproveitamento da tira (Figura 3c). Também, sempre que possível, se deve atentar para a máxima utilização dos retalhos do processo (Figura 3d). Ao dispor o recorte na tira é importante observar as operações posteriores de dobramento (aproveitar a anisotropia² de propriedades mecânica da chapa). Sempre se deve projetar a peça de modo a simplificar a construção da matriz e punção (evitando a possibilidade de cortar peças defeituosas pela irregularidade de avanço da tira de chapa). Ainda, deve-se projetar para que as peças admitam às maiores tolerâncias possíveis. Quando se tem acoplamento de peças, os furos oblongos sempre são mais adequados que os furos perfeitamente redondos, pois facilitam o posicionamento das peças na montagem.



(a)



(b)



56,8% 65% Aproveitamento de 67,4%

(c)



(d)

Figura 3 – Regras gerais de projeto de peças recortadas ou puncionadas: a) disposição das peças na tira, b) disposição inclinada das peças na tira, c) aproveitamento da tira e d) aproveitamento de retalhos (adaptado de [3])

² Anisotropia: é a característica que uma substância possui em que certa propriedade física varia com a direção.

Em adição ao processo de recorte tradicional (*blanking*) tem-se também o processo de recorte fino (*fine blanking*). No recorte fino as folgas devem ser da ordem de 1%, ou menos, da espessura do material (tipicamente 0,005 mm). No recorte fino deve-se projetar um ferramental rígido e também utilizar prensas extremamente rígidas (para prevenir as deformações do material durante o corte). O recorte fino produz peças metálicas que não apresentam tensões na borda cortada. O material sofre basicamente três tipos de esforços: uma pressão do punção (esforço principal), uma contra-pressão e uma pressão de sujeição que retêm o material na posição (Figura 4).

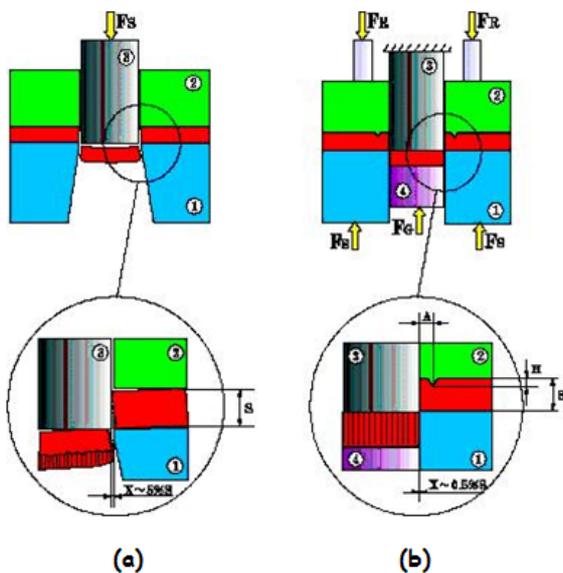


Figura 4 – Variantes de corte: a) recorte tradicional (*blanking*) e b) recorte fino (*fine blanking*)

A diferença de qualidade da superfície cortada com o corte por cisalhamento e o recorte fino é mostrada na Figura 5. Quanto mais espessa é a chapa que irá sofrer o recorte, pior será a qualidade superficial da peça cortada (borda inclinada inerente ao processo de cisalhamento devido a folga), conforme demonstra a Figura 5a. O pequeno espaçamento (folga) é que fornece as características de *fine blanking*, ou seja, o excelente acabamento das bordas (Figura 5b). O processo de recorte fino é adequado para peças com grande grau de dificuldade e é indicado, principalmente, para a indústria automotiva (produção de engrenagens de mecanismos de levantamento de vidros, engrenagens da caixa de troca de marchas, ajustadores do assento reclinável, entre outras), como demonstrado na Figura 6. O processo é também indicado para a produção de tesouras cirúrgicas e peças para a indústria eletrônica e elétrica.

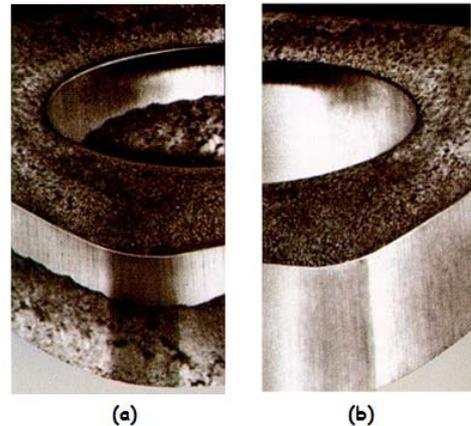


Figura 5 – Qualidade superficial da peça cortada: a) recorte tradicional (*blanking*) e b) recorte fino (*fine blanking*)



Figura 6 – Peças de elevado grau de dificuldades e adequadas a serem produzidas pelo processo de recorte fino (adaptado de [3])

Ainda, no recorte fino a microestrutura do material é de extrema importância para se obter uma boa qualidade superficial e estabilidade dimensional do produto, bem como uma longa vida da ferramenta.

Na Figura 7a tem-se cementita esferoidizada envolvida em uma matriz ferrítica. Os grãos de cementita esferoidizada não necessitam ser separados durante o processo de corte e sim compactados na matriz ferrítica mole. Neste caso não se observa a formação de trinca durante o processo. Na Figura 7b tem-se uma microestrutura de ferrita e perlita. Os componentes duros de cementita (da perlita) necessitam ser separados durante o processo à medida que o punção penetra no material e como resultado se terá o aparecimento de trincas.

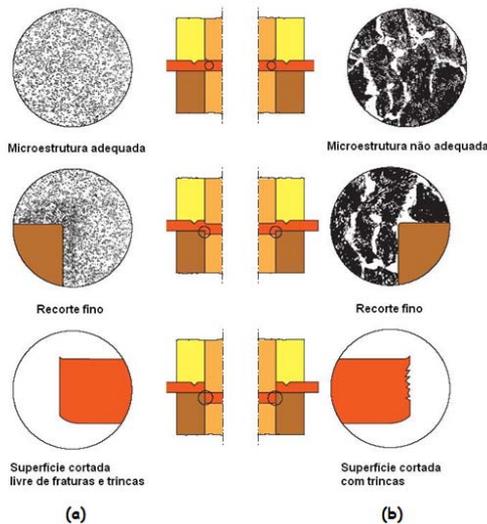


Figura 7 – Representação esquemática da influência da microestrutura do material no processo de recorte fino: a) microestrutura adequada e b) microestrutura não adequada (adaptado [3])

Quando se objetiva a redução dos gargalos de produção, a utilização do corte oblíquo (inclinação dos ângulos de cisalhamento das arestas de corte) em substituição ao corte paralelo é importante para uma redução da força e trabalho para o corte de chapas. No corte oblíquo a força de corte pode ser reduzida usando ferramentas biseladas (ângulo de corte inclinado) ou escalonadas onde somente uma parte do comprimento da linha de corte é ativa de forma simultânea. Esse escalonamento de corte pode ser promovido pelo punção (Figura 8), ou ainda pela matriz. O biselamento nas matrizes apresenta a desvantagem de deformar em maior escala as peças cortadas. Este problema é mais crítico para as chapas finas que apresentam uma resistência a deformação mais baixa.



Figura 8 – Inclinação do ângulo de corte dos punções para corte oblíquo

A Tabela 1 apresenta algumas referências para orientar o projetista para uma melhor seleção de aços para ferramentas de corte.

Tabela 1 – Referência orientativa para seleção de aços para ferramentas de corte de chapa metálica (adaptado de [4])

Processo	Produção	Aço Ferramenta	Dureza Recomendada (HRC)				
			Espessura da Chapa (mm)				
			> 1	1-2	2-4	4-6	> 6,0
Ferramenta Golpe Simples	Baixa	D2	58/60				Não
	Média						
	Alta	MATRIX	60/62			58/60	
Ferramenta Progressiva	Baixa	D2	58/60				
	Média	MATRIX	60/62			58/60	
	Alta	HSS	60/62				
Ferramenta Corte fino		PM	> 66	60/66		60/62	
Caracter. da Chapa	Comum	D2	58/60				
	Alta resistência	D2/MATRIX	58/60 ~ 60/62				
	Siliciosa	HSS/PM	60/62 ~ 62/64				
	Inox	HSS/PM	60/62 ~ > 64				

Finalmente, como concorrentes tradicionais do processo de corte por cisalhamento temos o corte a laser e o corte a jato de água.

Comparado ao corte por cisalhamento, o corte a laser permite com um mesmo equipamento uma maior amplitude de geometrias de corte. Já o corte por cisalhamento necessita de projeto e fabricação de ferramentas específicas para cada tipo de peça e espessura de material. Dependendo da potência do laser, para chapas de aço de baixo e médio carbono, esse processo permite cortar chapas com espessuras um pouco mais grossas que o corte por cisalhamento, porém as velocidades de corte com laser são inferiores as possíveis com o corte por cisalhamento para todas as faixas de espessuras de chapas metálicas.

Já o processo a jato de água permite cortar chapas de aço baixo e médio carbono de grandes espessuras, porém com velocidades extremamente baixas.

Atualmente, os processos de corte a laser, a jato de água e o recorte fino requerem um investimento em infra-estrutura (equipamentos) muito superior quando comparados aos investimentos necessários para o corte por cisalhamento.

Outras variantes mais comuns de corte que exigem um investimento em menor escala que os acima citados são os cortes a plasma e a oxicorte. O processo a oxicorte fornece uma baixa qualidade para a superfície cortada e o plasma oferece uma qualidade de corte satisfatória para muitas aplicações, mas requer uma configuração própria de ponta de eletrodo e uma correta seleção do tamanho do orifício para determinadas

aplicações. Também os ajustes de fluxo de gases devem ser adequados.

Em resumo, o corte por cisalhamento de chapas de aço ainda é bastante competitivo principalmente para a produção de grandes lotes de peças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Costa, H. B. e Mira, F. M., (1987). *Apostila – Processos de Conformação: Conformação Mecânica dos Metais*, Florianópolis, SC.
- [2] Provenza, F., (1986). *Estampos Volumes I, II e III*, Editora PRO-TEC, São Paulo, SP.
- [3] Schuler, (1998). *Metal Forming Handbook*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [4] Yoshida, S., (2001). *Seleção de Aços, Tratamentos Térmicos e Engenharia de Superfícies para Ferramentas de Conformação de Metais*. Congresso de Corte e Conformação 2001, São Paulo, SP.

FONTES CONSULTADAS

- Altan, T., (1999). *Conformação de Metais: Fundamentos e Aplicações*, Publicação EESC-USP, São Carlos, SP.
- Dieter, G. E., (1981). *Metalurgia Mecânica*, 2ª Edição, Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, RJ.
- Kalpakjian, S., (1997). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Wesley.
- Lange, K., 1986, *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill.
- Society of Manufacturing Engineers, (1990). *Die Design Handbook*, SME - Society of Manufacturing Engineers.
- *Relatório Paraná Tecnologia* (2000). Publicação do Sebrae e SINDIMETAL-PR, Curitiba, PR.

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.

