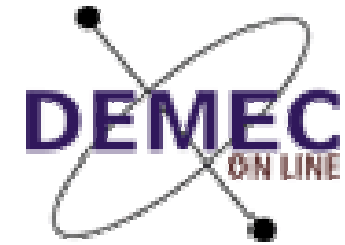




Labconf

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR



Manufatura de Chapas Metálicas

Corte

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

Corte



Operações básicas:

Estampagem

- Corte
 - Dobramento
 - Estiramento (chapa presa pela periferia)
 - Embutimento (não há restrições ao movimento da chapa)
 - Operações combinadas
-
- **Corte** (separação por fratura controlada)
 - **Dobramento** (efeito de flexão além do limite elástico)

Cortar, recortar e furar (puncionar)

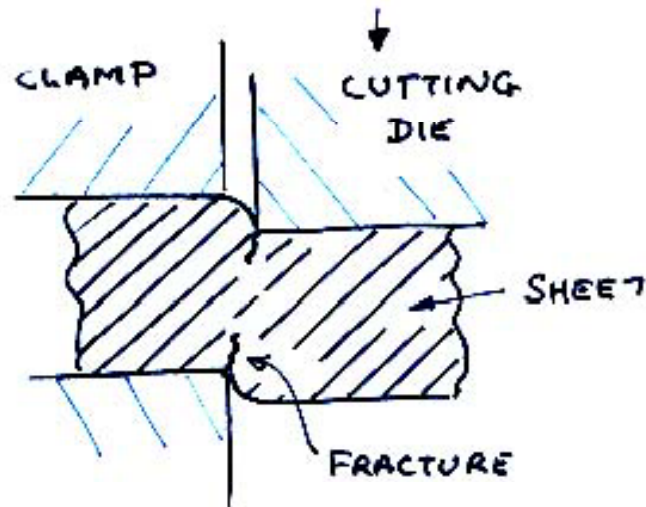


Variáveis:

Pressão de sujeição

Folga

Dureza da chapa
(deformação de fratura)



Considerações do processo:

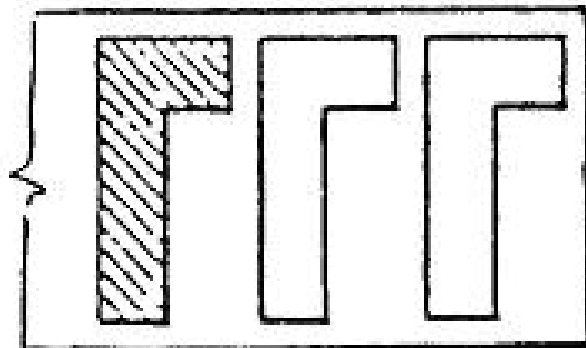
Altura da rebarba

Relação entre zona
cisalhada e cortada

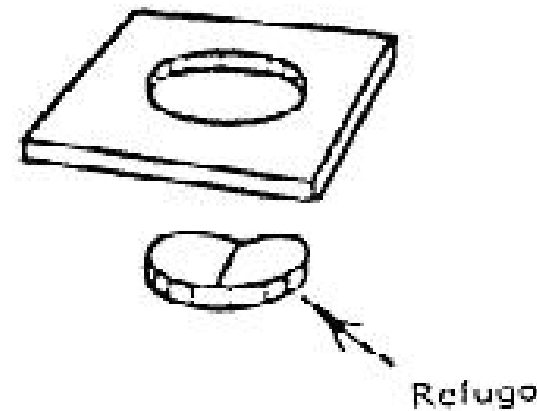
Variedades do corte



Recorte ('blanking')



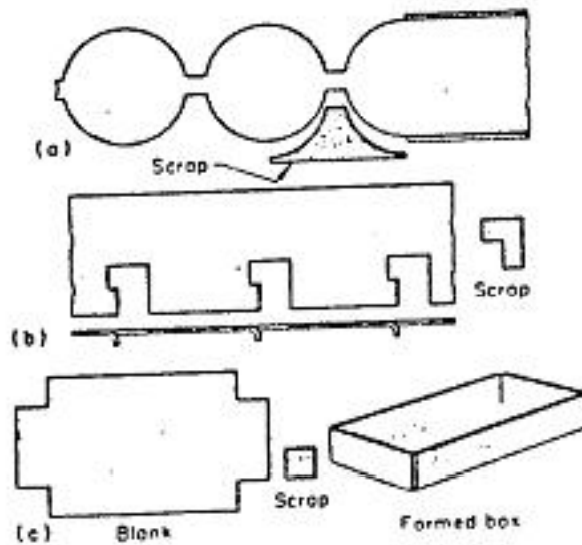
Puncionamento ou perfuração
(‘punching’)



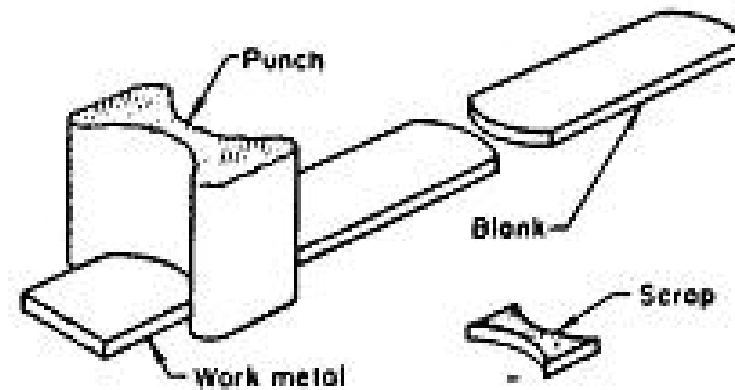
Variedades do corte



Entalhamento ('notching')



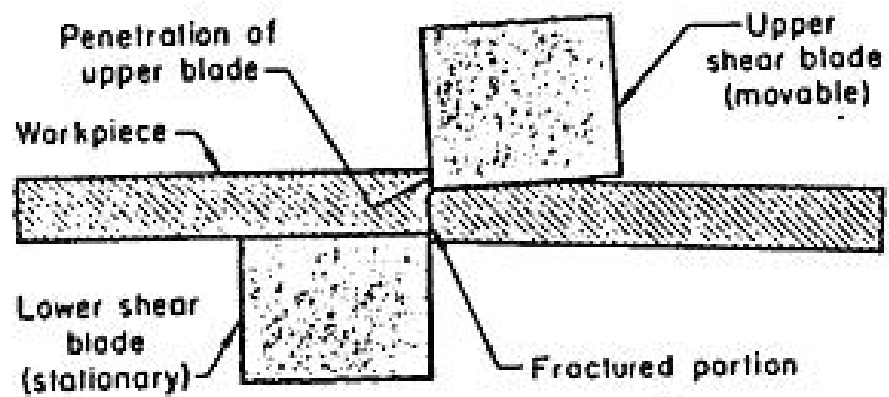
Seccionamento ('parting')



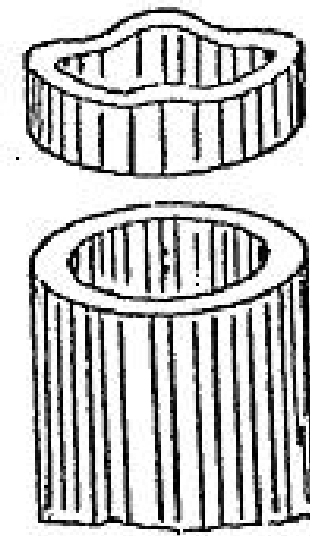
Variedades do corte



Cisalhamento ('slitting', 'shearing')



Aparado ('trimming')

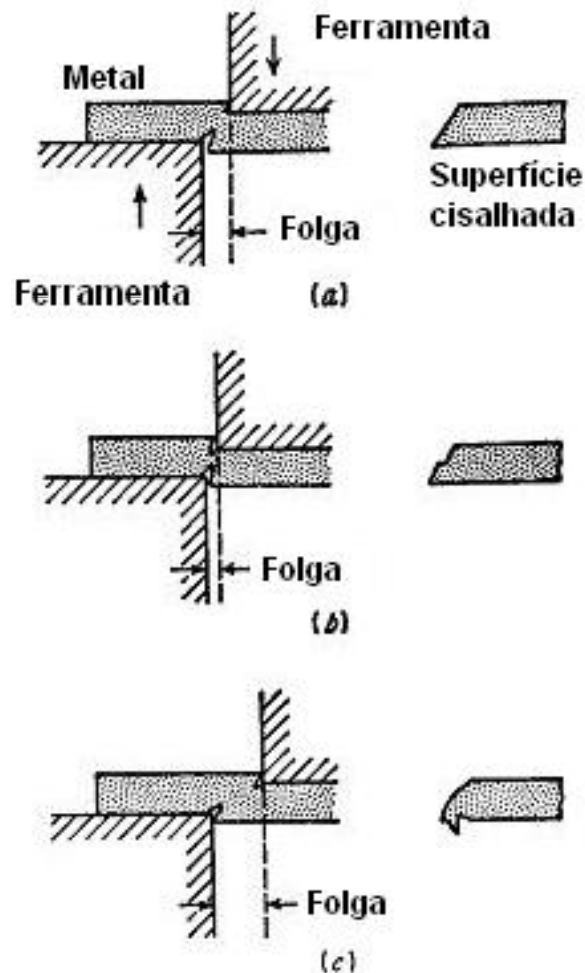


CORTE DE CHAPA ('SHEARING')



Separação por fratura controlada

duas ferramentas com bordas (arestas) cortantes.



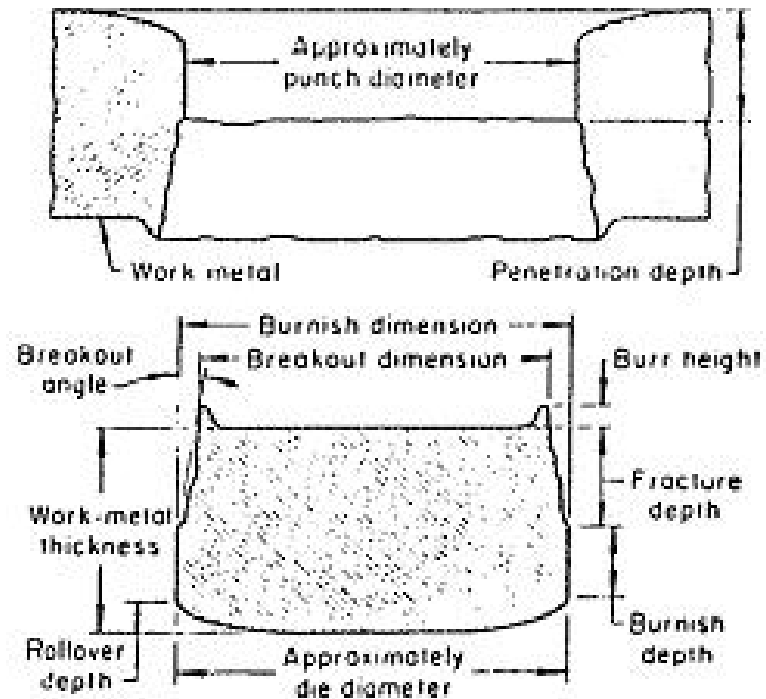
A deformação plástica severa vai promover trincas junto às bordas cortantes das ferramentas

Obs. O corte está completo quando as trincas se encontram (as arestas cortantes não precisam se encontrar).

Importante:

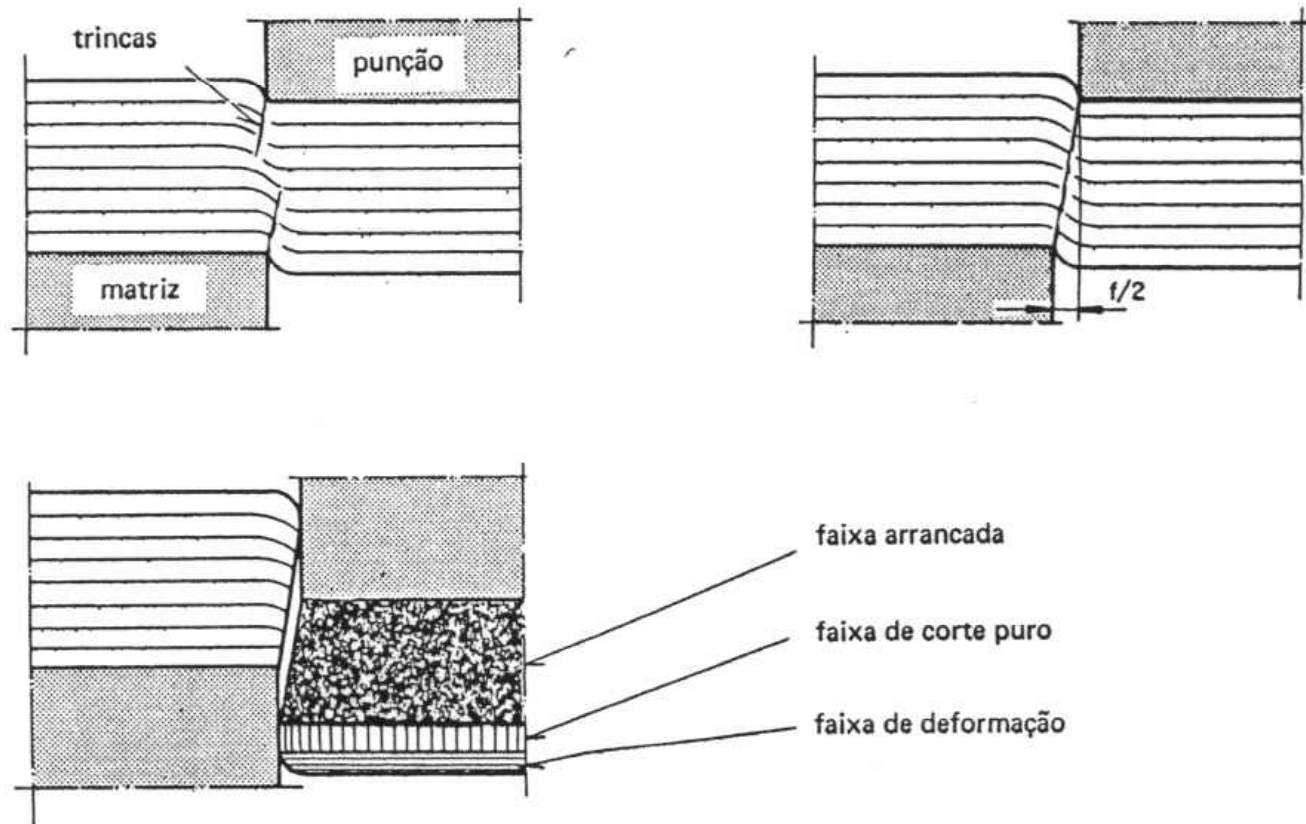
A profundidade de penetração depende da ductilidade.

Corte por cisalhamento



- Zona rugosa (superfície da trinca de fratura)
- Zona lisa (atrimento da peça com as paredes da matriz)
- Região arredondada (deformação plástica inicial)

Folga entre punção e matriz



Corte por cisalhamento



Folga ('Clearence')

Qualidade da superfície

Energia consumida

Folga insuficiente

trincas não se encontram (rasgamento secundário)

Folga excessiva

deformação plástica intensa. As trincas podem se desencontrar (rebarbas e saliências agudas na borda superior)

Folga ótima

depende do material e espessura da chapa (2 a 10% da espessura)

- folgas em materiais dúcteis ?
- folgas em materiais frágeis ?

CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS EM FUNÇÃO DA FOLGA E DA RESISTÊNCIA AO CORTE

Material τ_c (Kg/mm²)

Grupo 0 $f = 3\% e$

Alumínio duro	13 ÷ 16
Zinco macio	12
Papel baquelitizado	10 ÷ 13
Tecido resinado (celeron)	9 ÷ 12
Baquelite com intertela	9

Grupo 1 $f = 4,5\% e$

Zinco duro	20
Cobre macio	18 ÷ 22
Latao macio	22 ÷ 30

Grupo 2 $f = 6\% e$

Duralumínio	38
Cobre duro	25 ÷ 36
Latão duro	35 ÷ 40
Bronze laminado macio	32 ÷ 40
Prata macia	28 ÷ 36
Alpaca macia	28 ÷ 36
Chapa para repuxo	30 ÷ 35
Aço carbono 0,1%	25 ÷ 32
Aço carbono 0,2%	32 ÷ 40

Grupo 3 $f = 7,5\% e$

Aço carbono 0,3%	36 ÷ 48
Aço carbono 0,4%	45 ÷ 56
Aço carbono 0,6%	56 ÷ 72
Aço silício	45 ÷ 56
Aço inoxidável	52 ÷ 56
Alpaca dura	46 ÷ 50
Bronze laminado duro	40 ÷ 60
Prata dura	45 ÷ 50

Material τ_c (Kg/mm²)

Grupo especial $f = (1 \div 1,75) \% e$

Baquelite	2,5 ÷ 3
Mica 0,5 mm	8
Mica 0,2 mm	5
Borracha	0,6 ÷ 6
Papel	
1 fl. de 0,25 mm	16
5 fl. de 0,25 mm	4,5
10 fl. de 0,25 mm	2,3
20 fl. de 0,25 mm	1,4
Papelão	2,2 ÷ 3,5
Papelão prensado	7
Couro	0,6 ÷ 1,5
Madeiras de lei	1 ÷ 3
Madeira macia	1 ÷ 1,5
Celulóide	4 ÷ 6
Resina sintética	2,5 ÷ 3
Chumbo	2 ÷ 3
Estanho	3 ÷ 4
Alumínio macio	4 ÷ 7

Grupo especial $f = (2 \div 10) \% e$

Aço carbono 0,8%	72 ÷ 90
Aço carbono 1%	80 ÷ 105
Aço inoxidável 18-8	70 ÷ 80

Nota:

A folga deve existir no punção para a peça e na matriz para o furo.



Regras gerais do projeto de peças cortadas



1 – O recorte deve ser disposto a se ter a maior economia de material



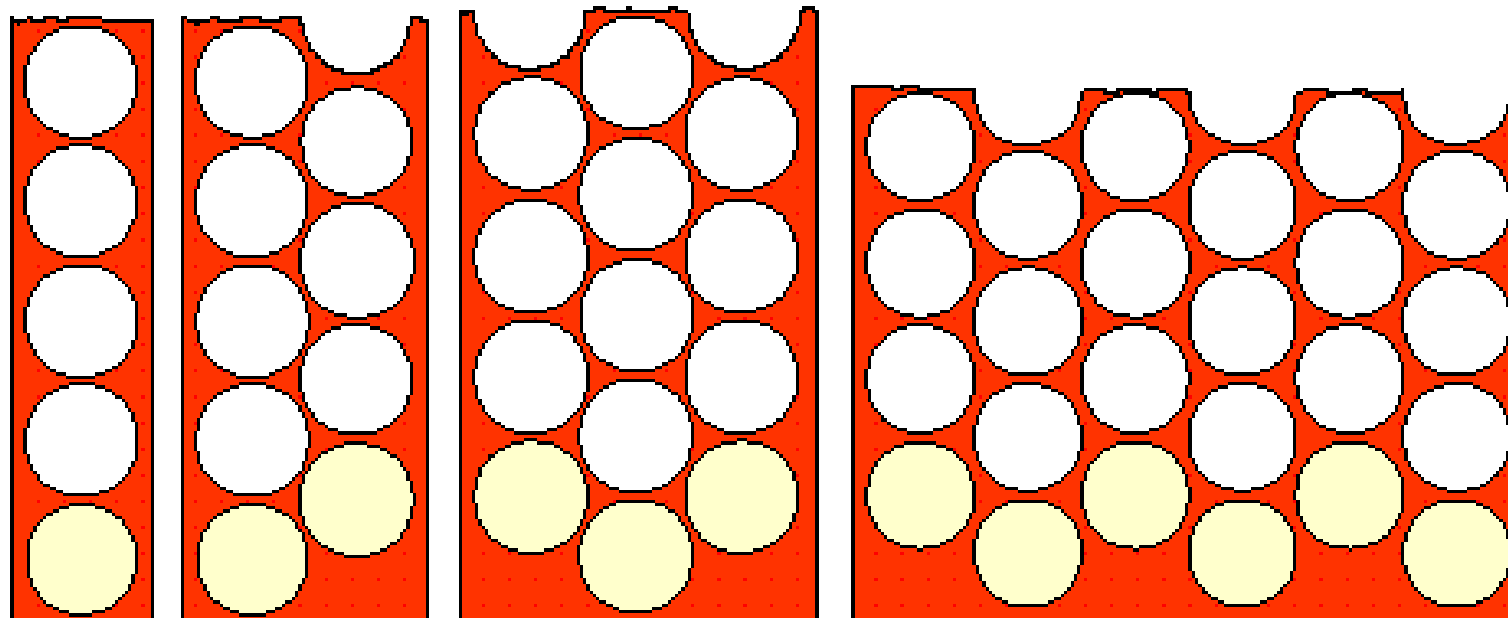
A disposição adequada das peças na tira:

b oferece maior economia de material do que a opção **a**

Regras gerais do projeto de peças cortadas



Disposição edequada = economia de material



56,8%

65,0%

67,4%

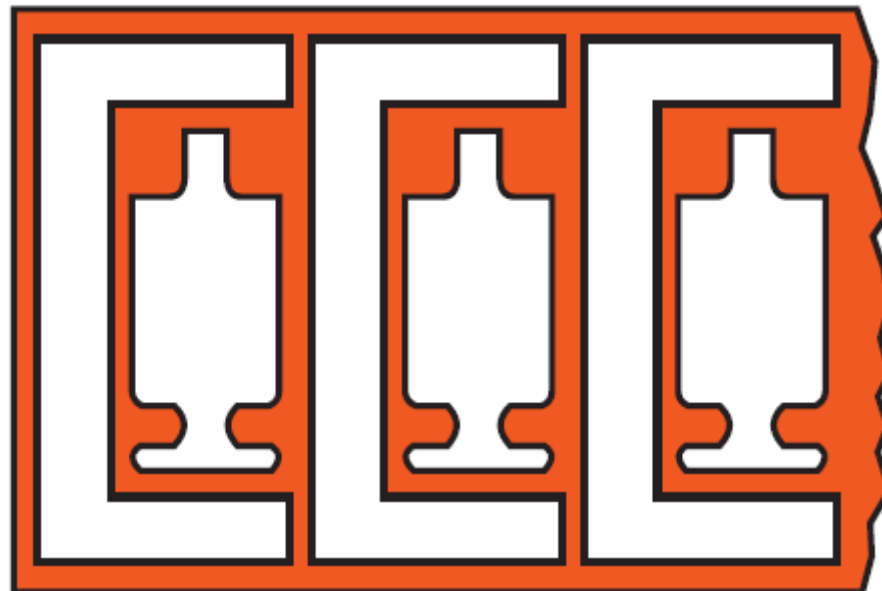
73,2%

Aproveitamento do material da tira.

Regras gerais do projeto de peças cortadas



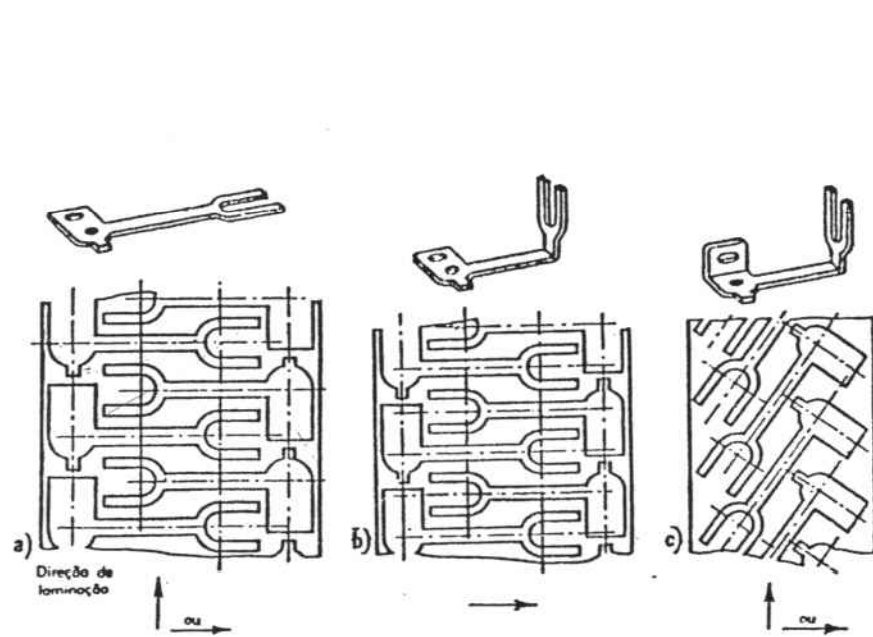
Utilização dos retalhos



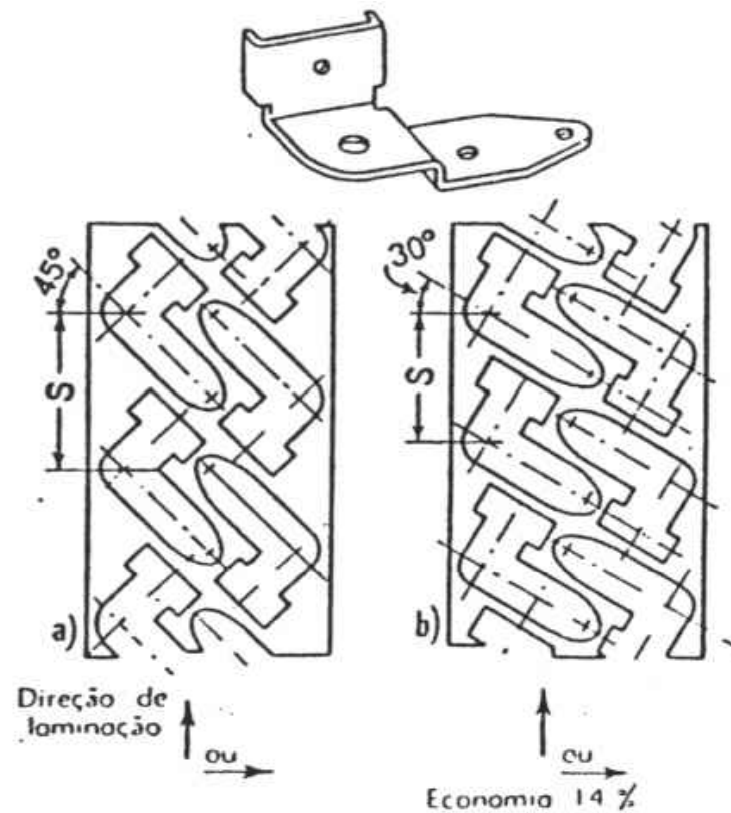
Regras gerais do projeto de peças cortadas



2 - Ao dispor o recorte na tira, observar as operações posteriores de dobramento



Disposição de recorte na tira, em função da posterior operação de dobramento

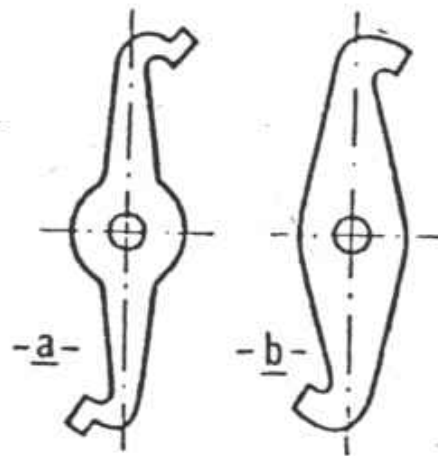


Economia de material por disposição menos inclinada.

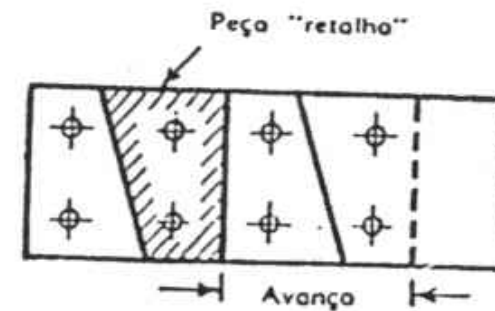
Regras gerais do projeto de peças cortadas



3 – projetar a peça de modo a simplificar a construção da matriz e punção



O custo das ferramentas para o caso da peça de forma *b* é 30% menor que o de forma *a*.

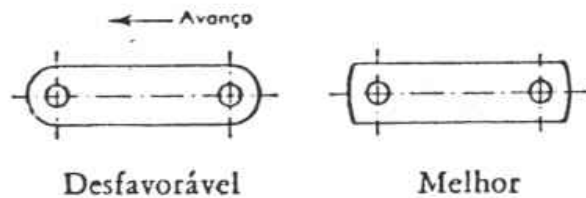


Por conformação apropriada do estampo para seccionamento com retalho obtem-se em cada golpe duas peças.

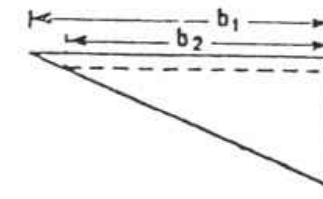
Regras gerais do projeto de peças cortadas



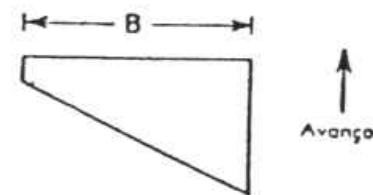
4 – projetar a peça de modo que admita tolerâncias grandes



Em virtude de irregularidade do avanço, os furos podem resultar excêntricos, dando mau aspecto ao projeto "desfavorável".



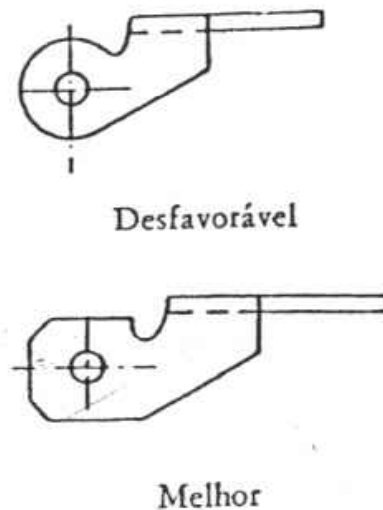
Desfavorável



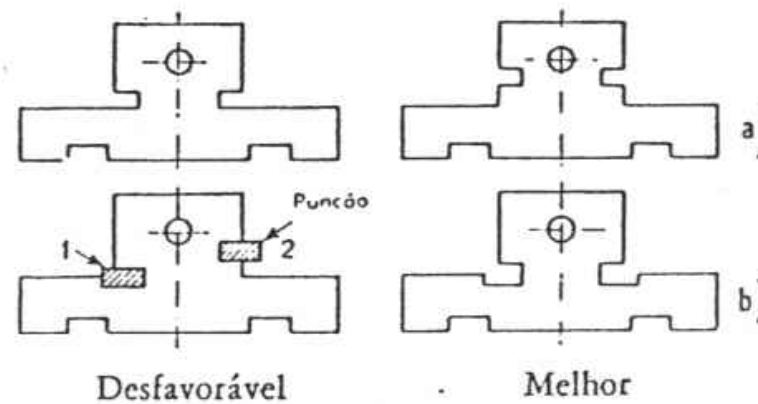
Melhor

A ponta dificulta a execução da ferramenta, e qualquer erro de avanço produz grande diferença de largura.

Regras gerais do projeto de peças cortadas

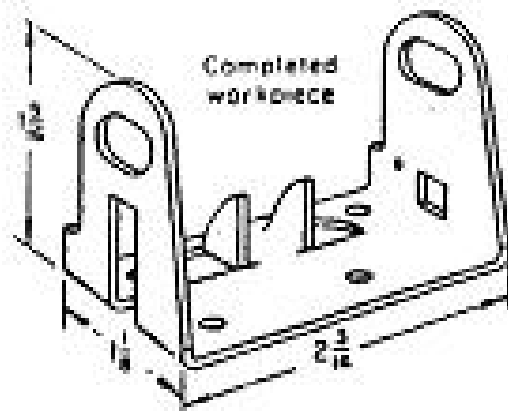


Qualquer excentricidade do furo chama a atenção no projeto "desfavorável", enquanto que, no caso de contornos retílineos é apenas perceptível.



O punção lateral, em virtude de erros de avanço, cortara como em 1 e 2, dando peças de aspecto distinto. É preferível projetar as peças como em a ou b.

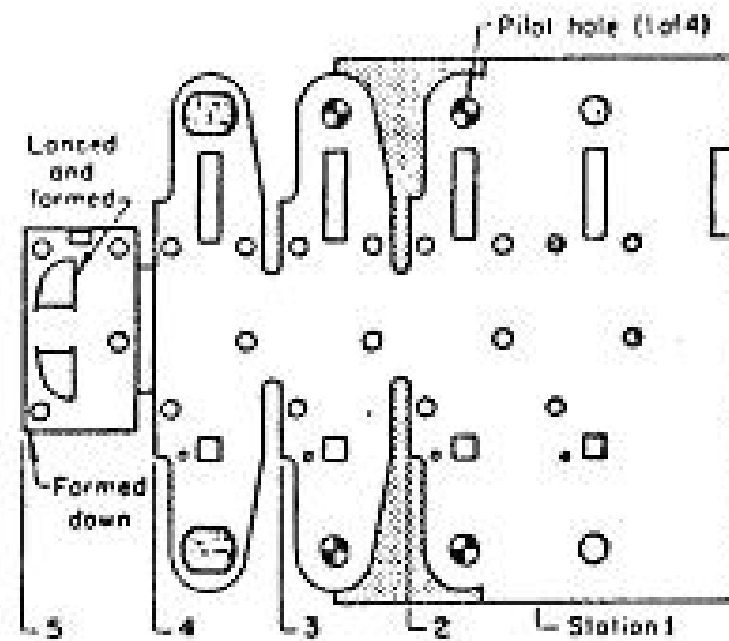
Recorte (recorte progresivo)



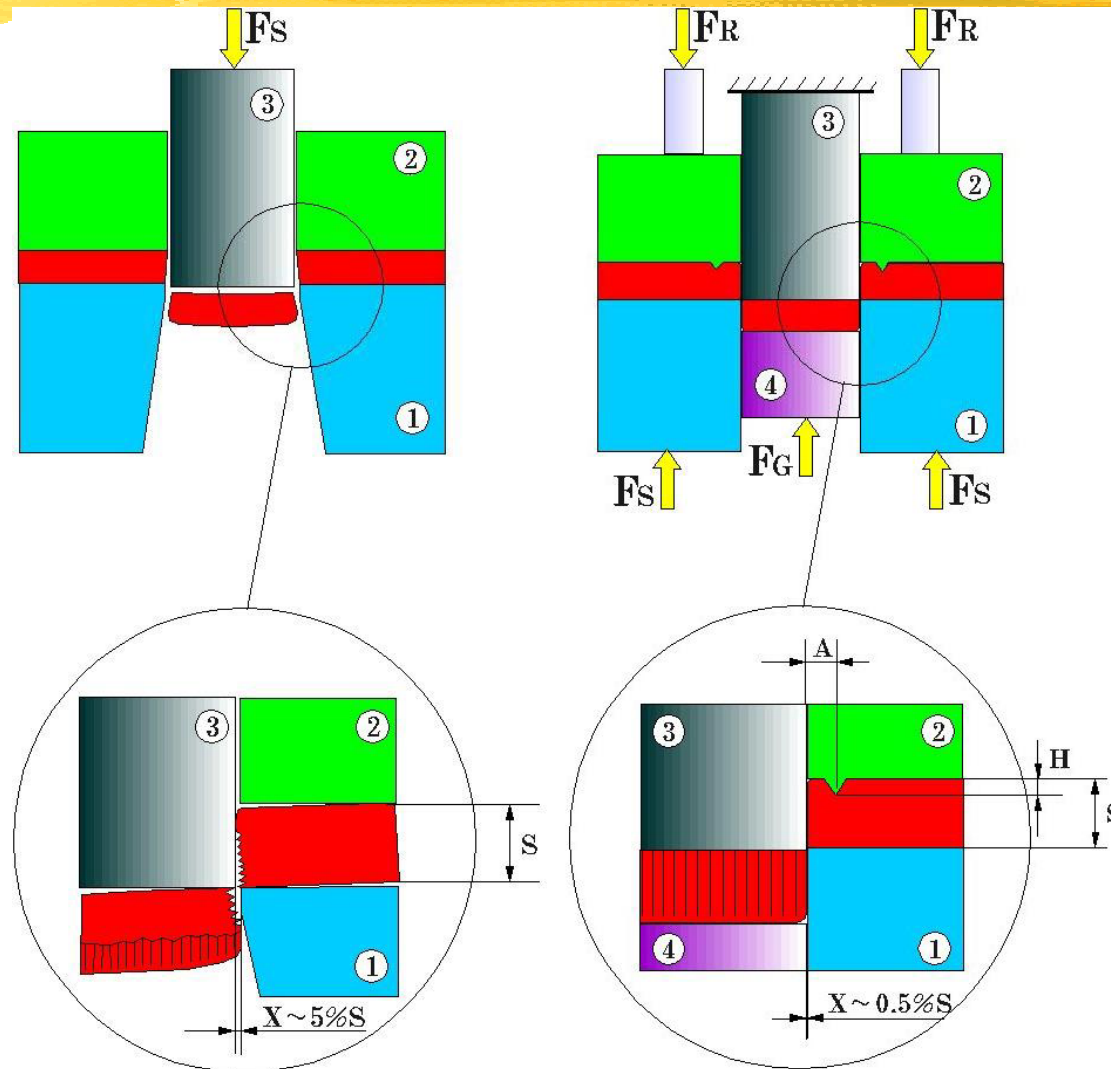
Low-carbon steel
Cold rolled
Half hard
0.095 in.

Material removed:

- Station 1 
- Station 2 
- Station 4 
- Station 5 



Recorte fino (fineblanking)



Recorte fino



- Folgas extremamente fechadas da ordem de de **1% da espessura** do material a ser conformado (tipicamente 0,005 mm)
- Ferramental e matrizes extremamente rígidos (para prevenir o empenamento da chapa)
 - produzem um disco de metal que não apresenta tensões na borda cisalhada.

O material sofre basicamente três tipos de esforços:

pressão do punção (esforço principal);

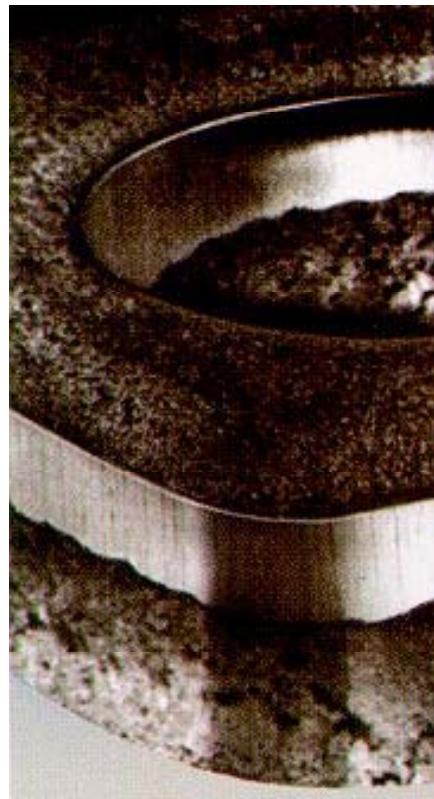
contra-pressão e

pressão de sujeição que retêm o material na posição.

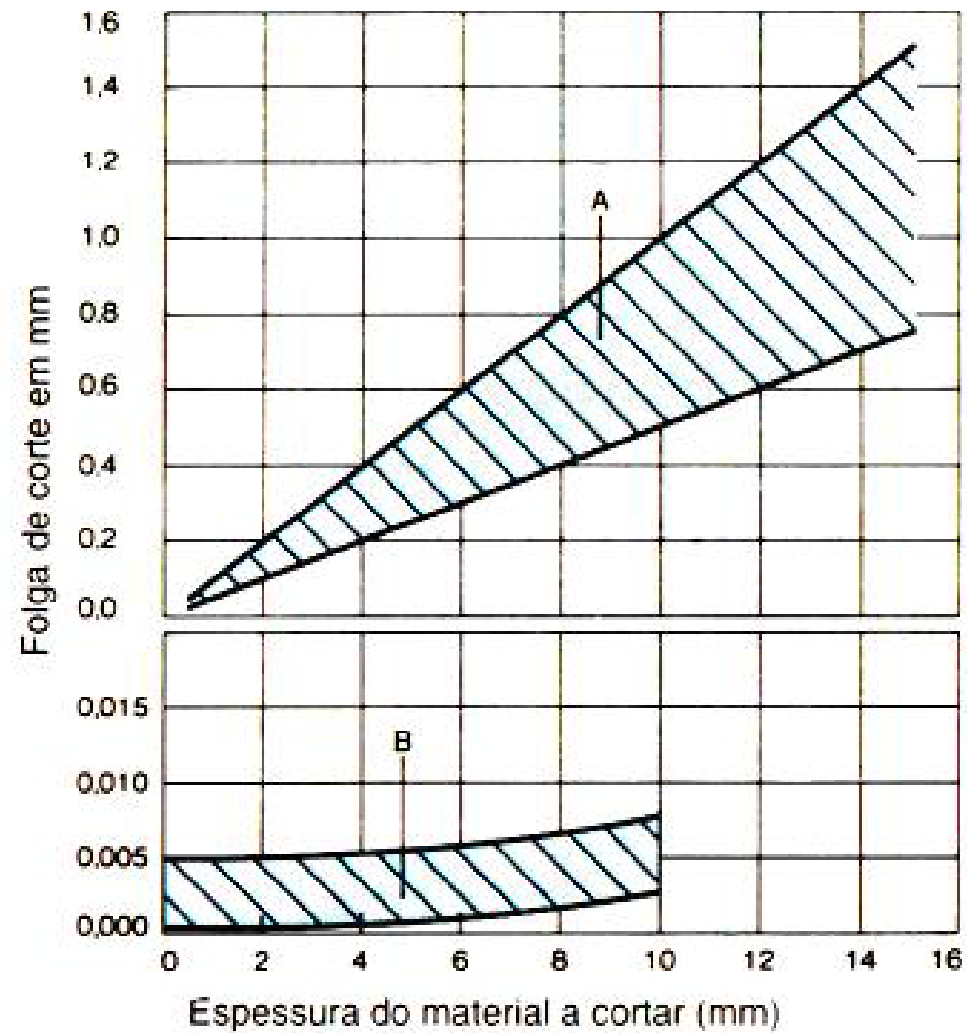
Obs. A peça é **extrudada** da chapa enquanto que uma peça que sofreu estampagem convencional é **cisalhada** apresentando uma deformação no material inerente ao processo.

O pequeno espaçamento é que fornece as características de ‘fineblanking’, ou seja, o excelente acabamento das bordas.

Recorte fino



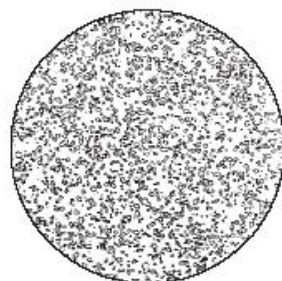
Folga entre recorte (A) e recorte fino (B)



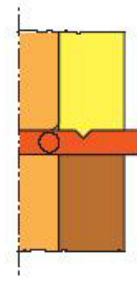
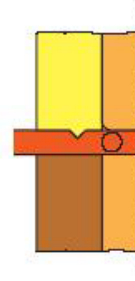
Recorte fino



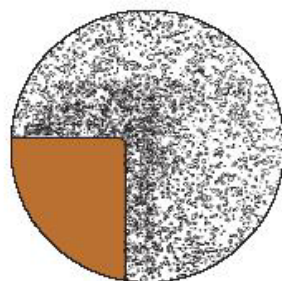
Representação esquemática do processo de recorte fino com a microestrutura do material adequada (esquerda) e não adequada (direita).



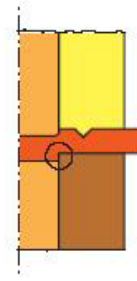
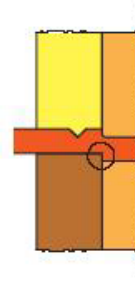
Microestrutura adequada



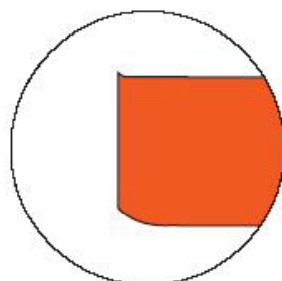
Microestrutura não adequada



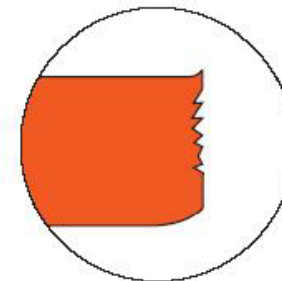
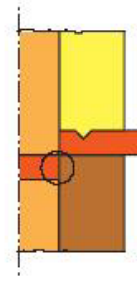
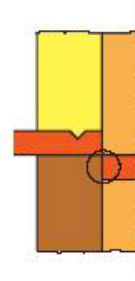
Recorte fino



Recorte fino



Superfície cortada livre de fraturas e trincas

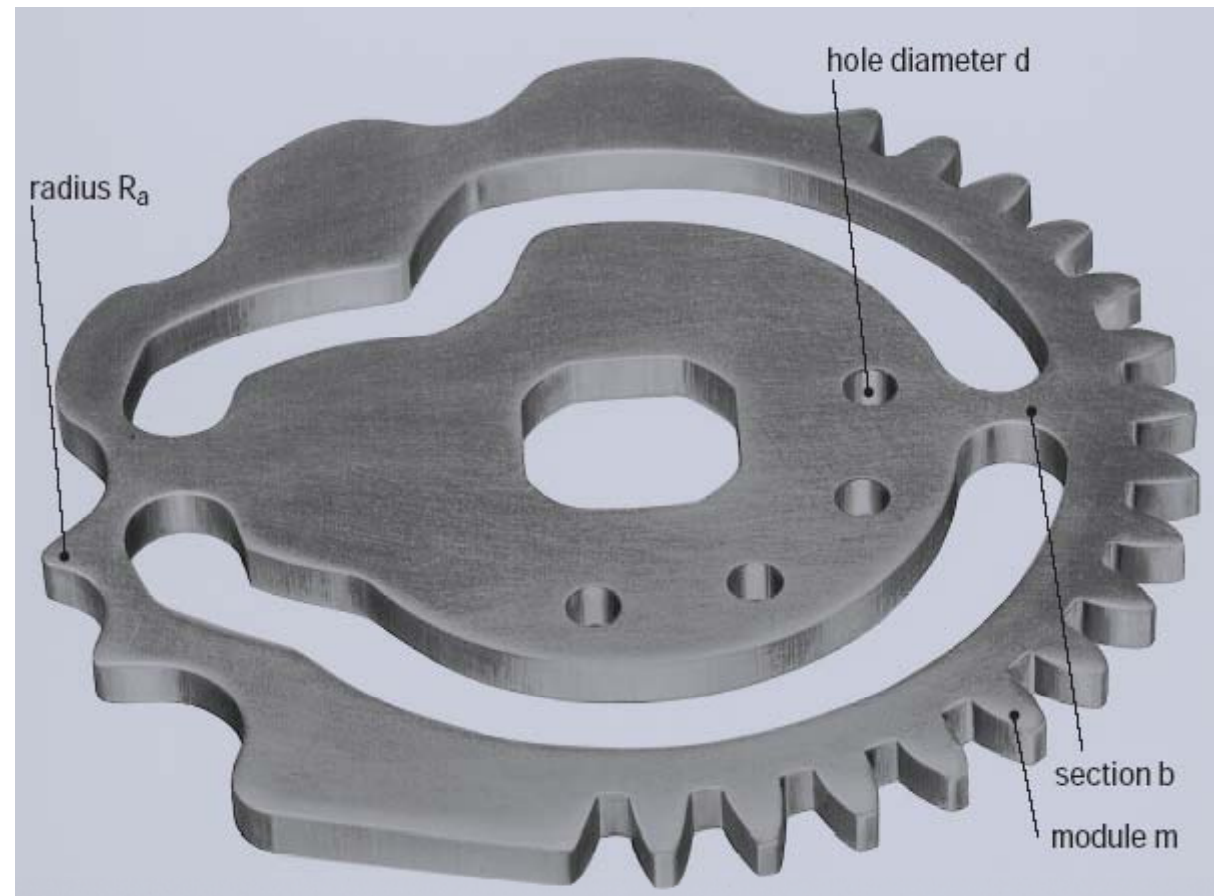


Superfície cortada com trincas

Recorte fino



Came:
peça feita por
recorte fino
com diferentes
graus de
dificuldade.



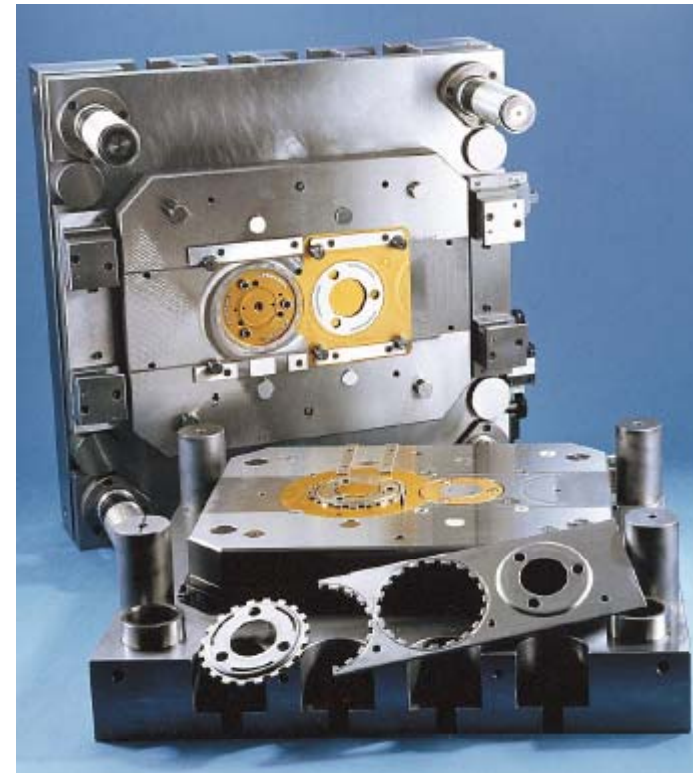
Recorte fino



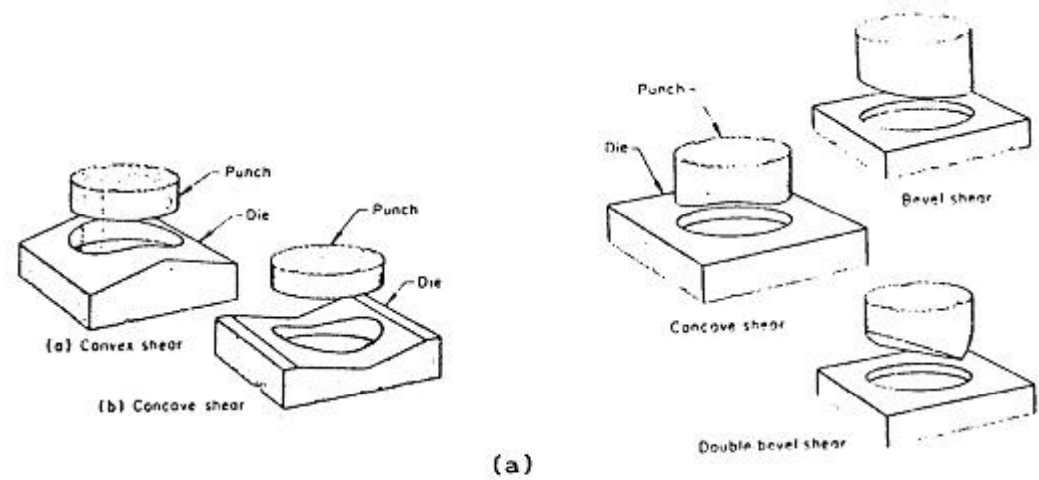
Matriz progressiva de recorte fino
em dois estágios:

1 estação: semi-furamento por baixo e
puncionamento do furo.

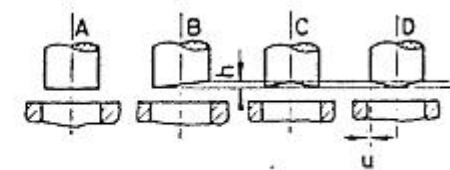
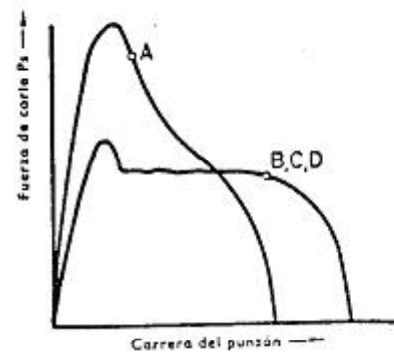
2 estação: escareamento interno dos
furos cilíndricos, recorte dos entalhes e
contorno externo.



Força e trabalho de corte



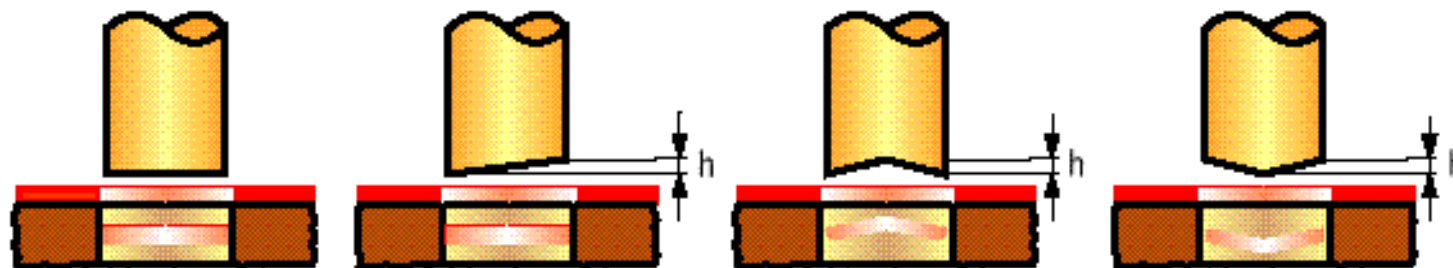
- Corte paralelo
- Corte oblíquo



(b)

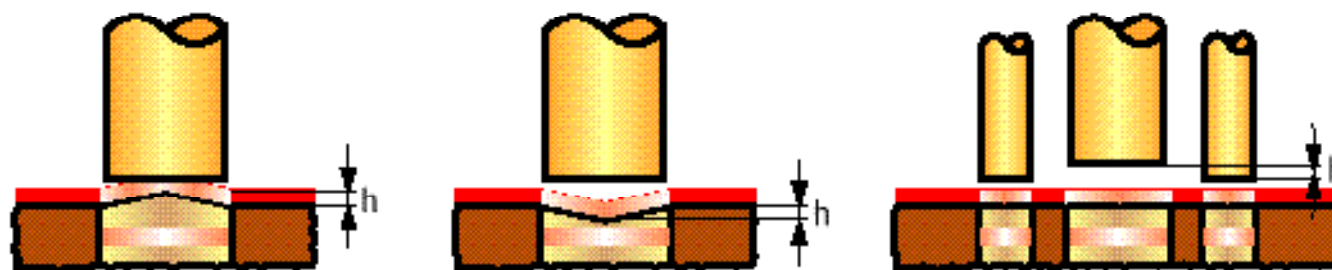
(a) Corte oblíquo: inclinação (ângulo de cisalhamento) nas arestas de corte das ferramentas. (b) Variação esquemática da força de corte com o curso do punzón, para corte paralelo (caso A) e corte oblíquo (casos B, C e D)

Redução da Força de Corte



punção reto

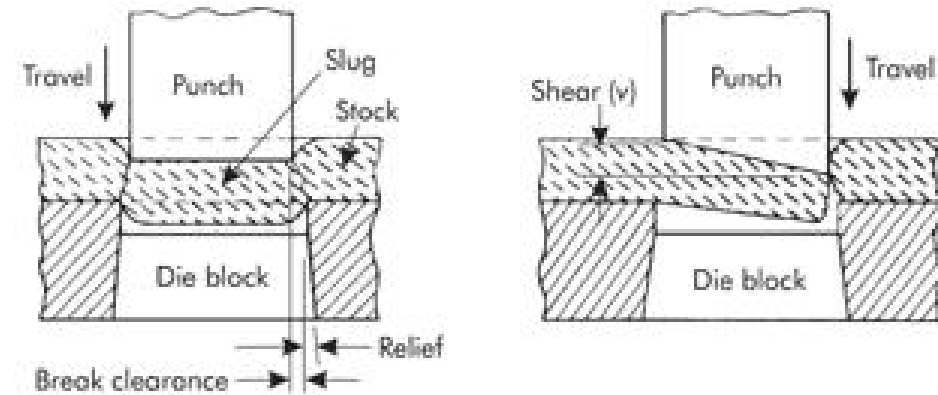
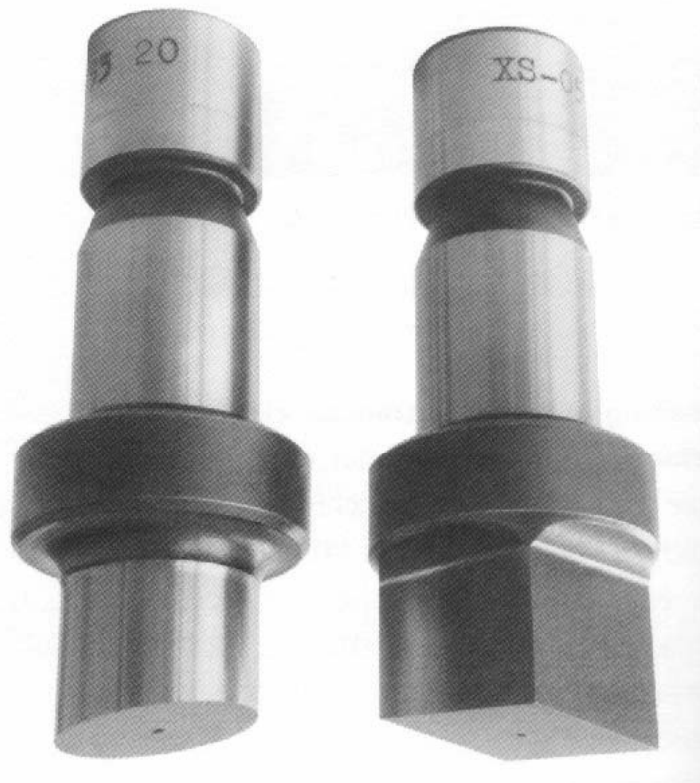
punções escalonados



matrizes escalonadas

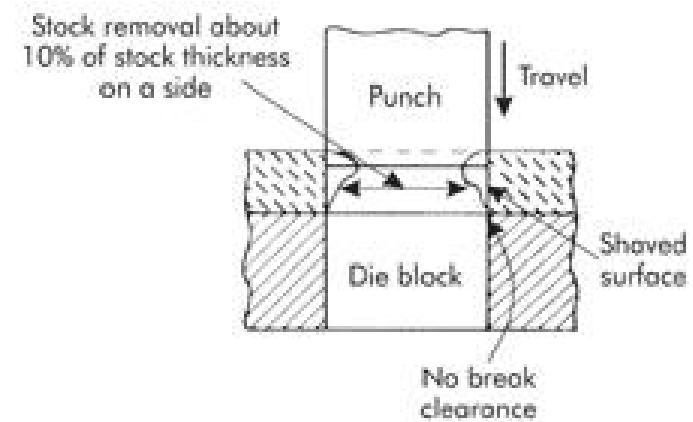
ferramenta escalonada

Punções – Corte Oblíquo



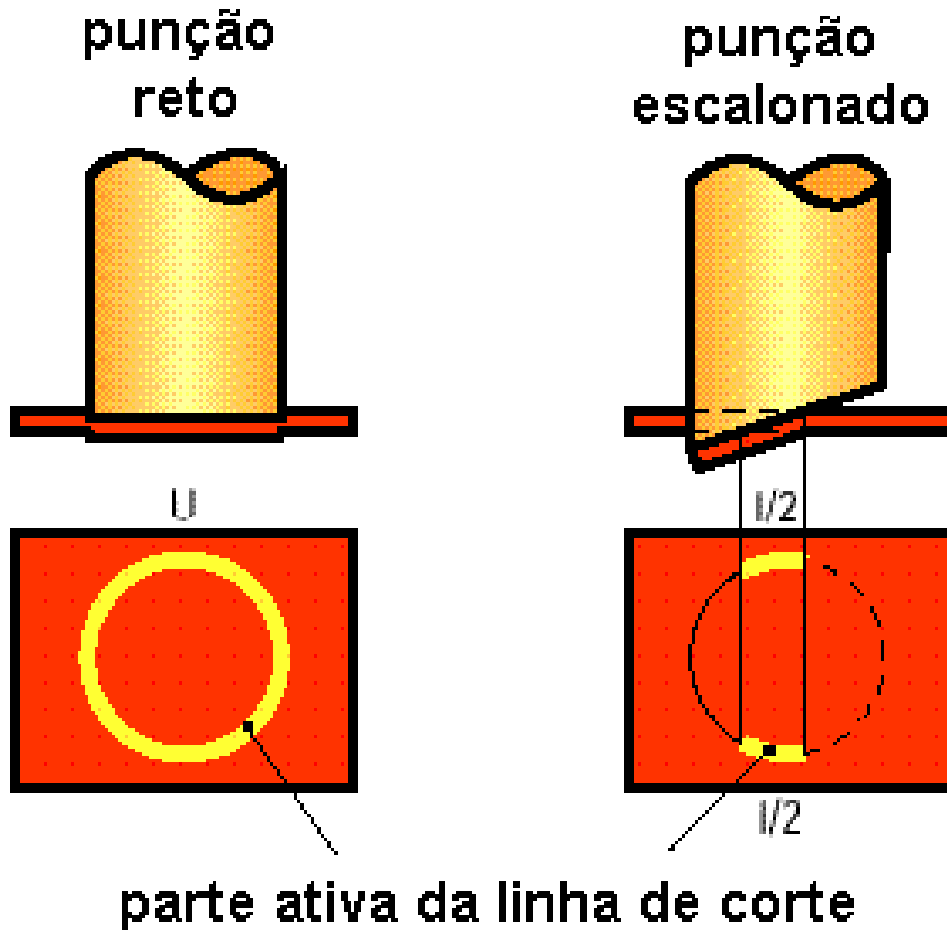
(A) Conventional cutting

(B) Punching with shear



(C) Shaving

Redução da Força de Corte



A força de corte pode ser reduzida usando ferramentas escalonadas em que somente uma parte comprimento da linha de corte é ativo ao mesmo tempo.

Referência para orientar o projetista para a melhor seleção do aço para matrizes de corte:



PROCESSO	PRODUÇÃO	AÇO FERRAMENTA	DUREZA RECOMENDADA(HRC) ESPESSURA DA CHAPA (mm)				
			> 1.0	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	
CARACT. DA CHAPA	COMUM	D2	58/60				
	ALTA RESIST.	D2/MATRIX	58/60 ~ 60/62				
	SILICIOSA	HSS/PM	60/62 ~ 62/64				
	INOX	HSS/PM	60/62 ~ > 64				

RECOMENDAÇÕES PARA ENVIO DE PEÇAS PARA TRATAMENTO TÉRMICO

- Prever sobre metal para re-trabalho posterior, para correção das distorções dimensionais;
- Evitar cantos vivos, marcas de usinagem e qualquer outra fonte de concentração de tensões;
- Informar sempre o tipo de aço, e a faixa de dureza pretendida;
- Informar qualquer processo anterior de tratamento térmico, soldagem ou trabalho mecânico a quente que tenha sido utilizado na ferramenta;
- Certificar-se da correção dos parâmetros utilizados pelos profissionais de tratamento térmico, particularmente as temperaturas utilizadas, tempos previstos em cada etapa e equipamento utilizado
- Preferencialmente, discutir com os profissionais do tratamento térmico as especificações de dureza e seleção do aço, ANTES da execução da ferramenta.

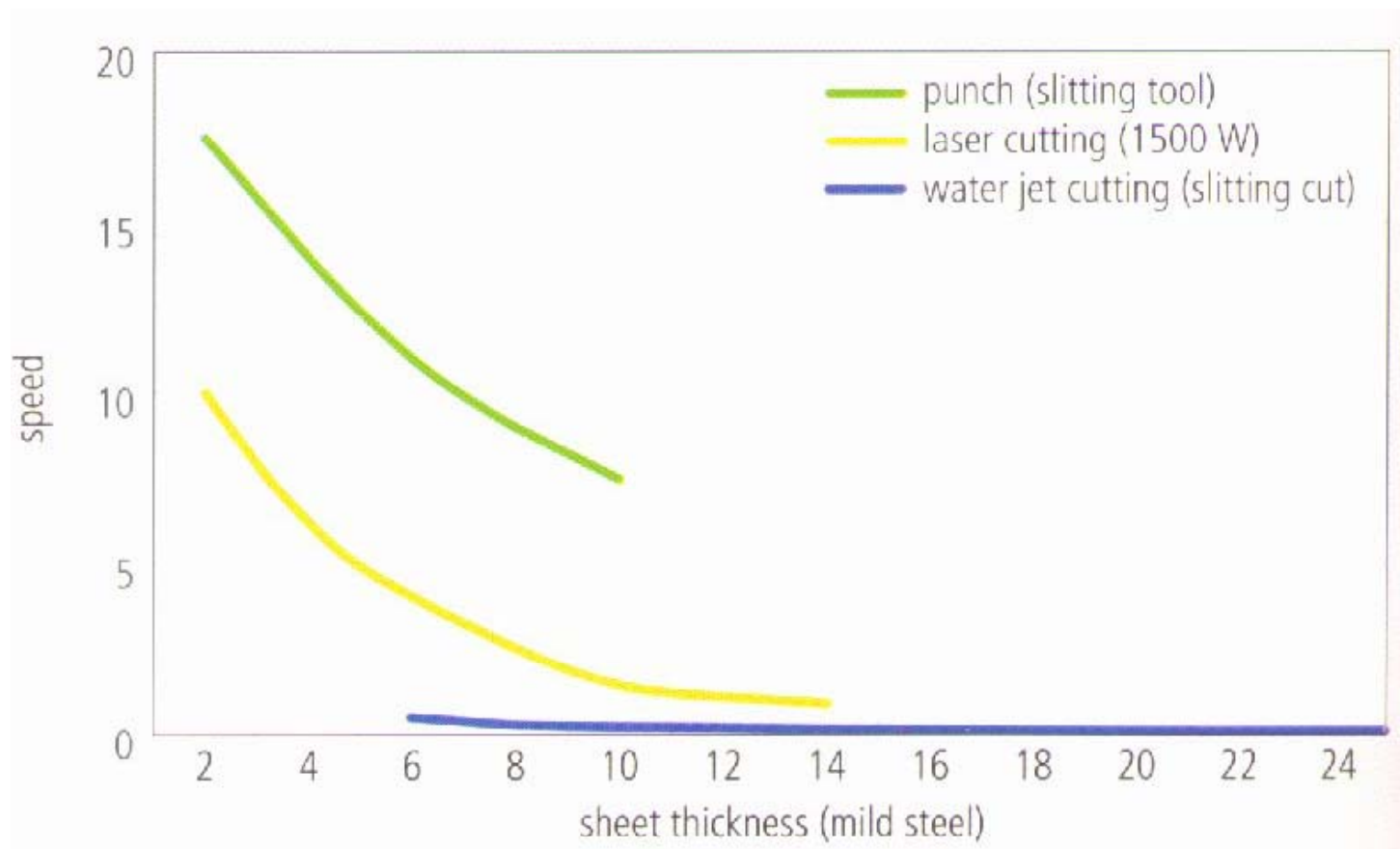


Efeito da expansão volumétrica em corpos de prova de 60 kgs (aço carbono). Peças tiradas da mesma barra original.

A - sem tempera

B - após vários ciclos de tempera (BRASIMET)

Tipos de cortes



Puncionamento de chapas grossas (acima de 6 mm)



Quando chapas espessas são puncionadas o efeito "blow-out" acontece, i.e.

durante a extração do punção os furos ficam mais largos do que o diâmetro puncionado, o que os torna cônicos.

8,0 mm de espessura

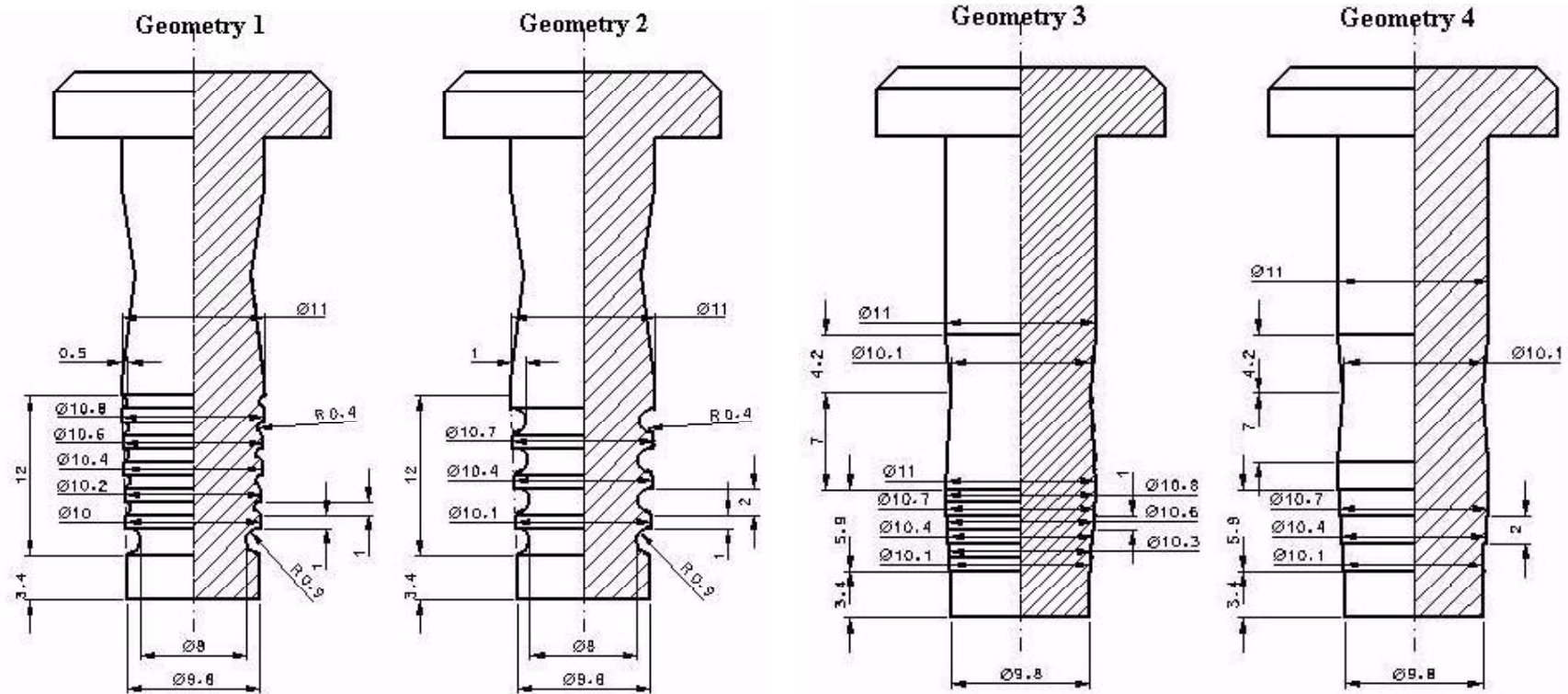


Ferramenta combinada de puncionamento com brochamento de chapas



- ✂ Ferramenta combinada que torna possível um **puncionamento seguido por brochamento** em somente uma operação.
- ☒ Essa ***ferramenta combinada alia as vantagens da alta produção do processo de conformação e usinagem*** em um processo para serviço pesado (chapas metálicas grossas).

Ferramenta combinada de puncionamento com brochamento de chapas



Ferramenta combinada de puncionamento com brochamento de chapas



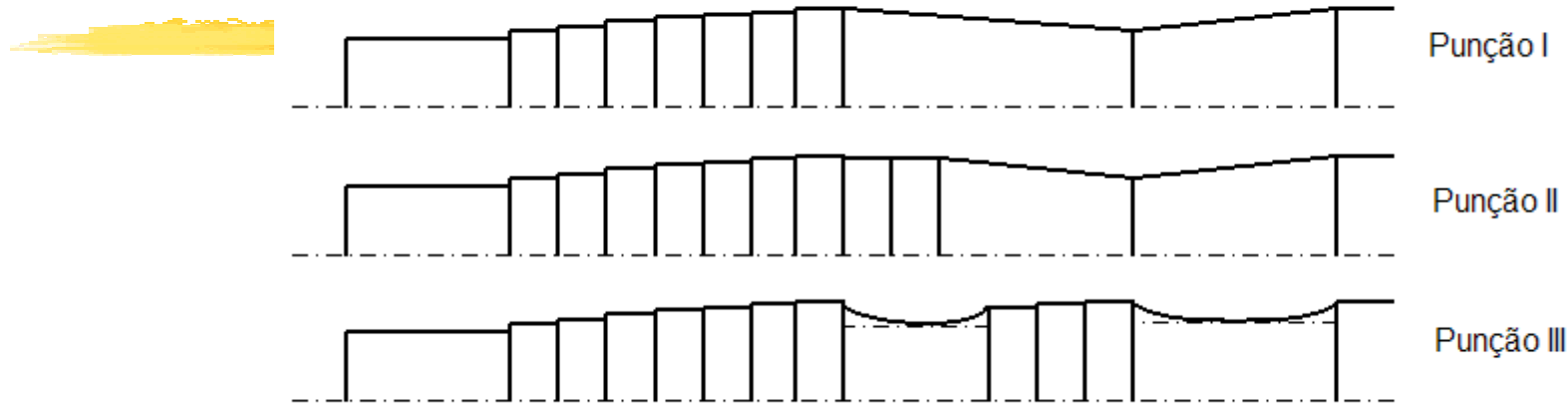
FERRAMENTA Ø 10mm



ACABAMENTO DO FURO



Ferramenta combinada de punçõamento com brochamento de chapas



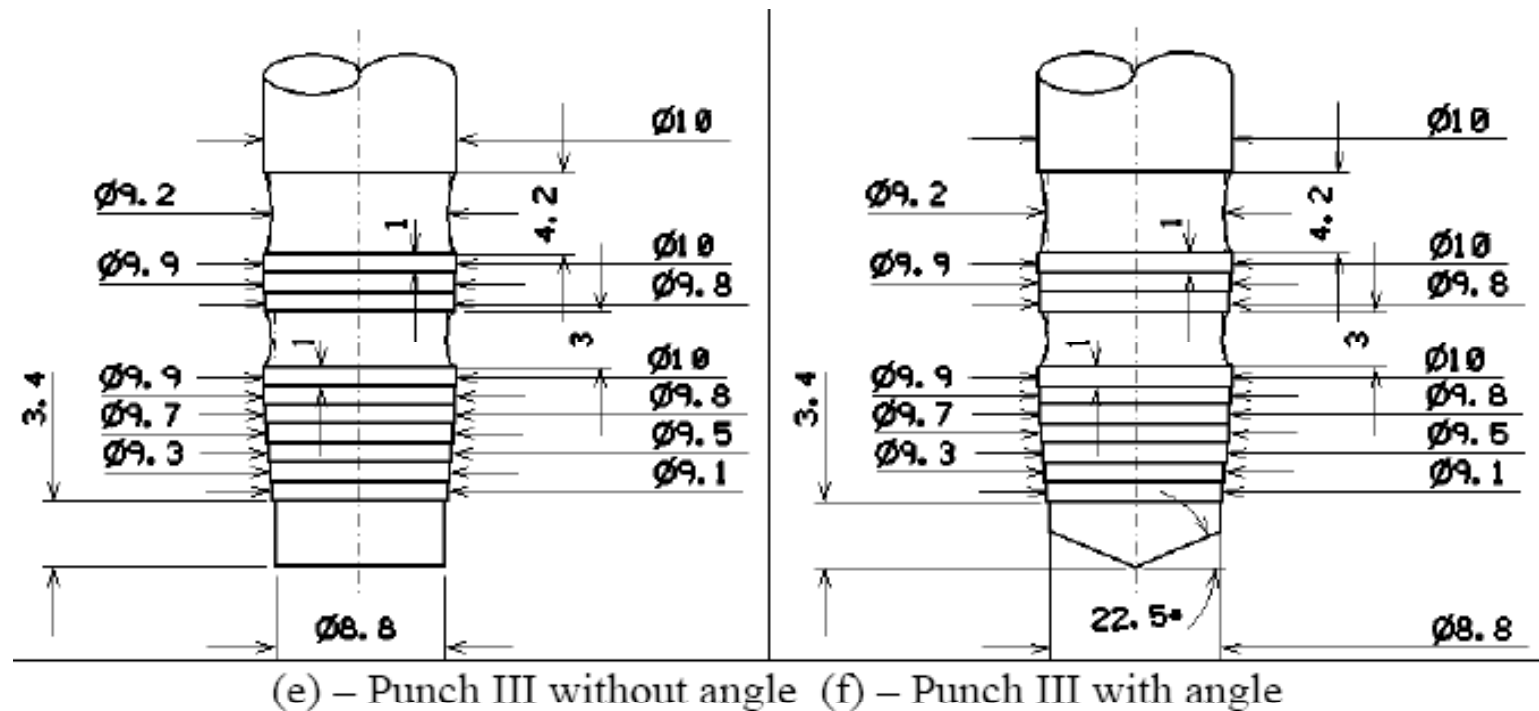
Tipo I (com dentes progressivos na direção de punçõamento)

Tipo II (dentes de corte progressivo na direção da extração) and

Tipo III (dentes de corte progressivo na direção de punçõamento em duas seções do punção)

Nos Tipos I e II os furos são brochados duas vezes.

Ferramenta combinada de puncionamento com brochamento de chapas



Detalhe dos punções:

Ponta sem e com ângulo e

Dentes de corte progressivo na direção do puncionamento (2X).