

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

---

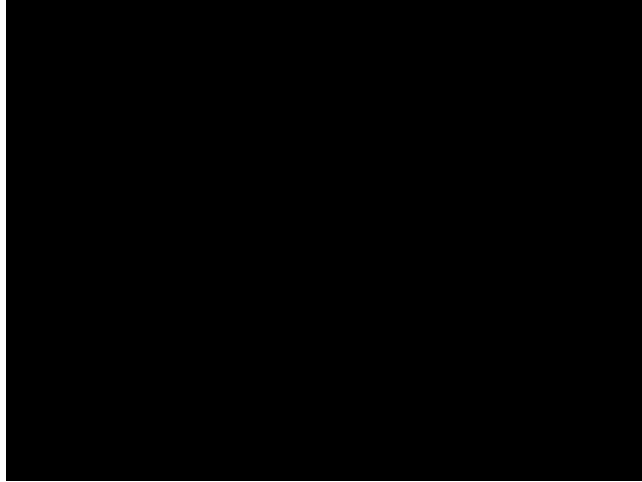
**SEP277 – PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO E  
NÃO-CONVENCIONAIS**

**AULA 5  
CORTE E DOBRA DE CHAPAS**

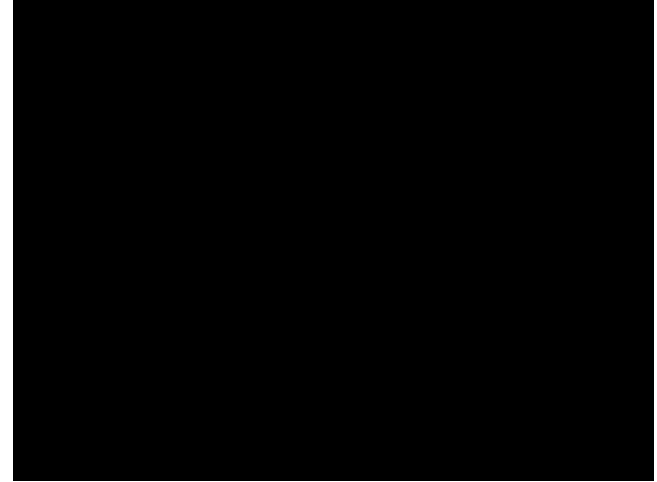
# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

---

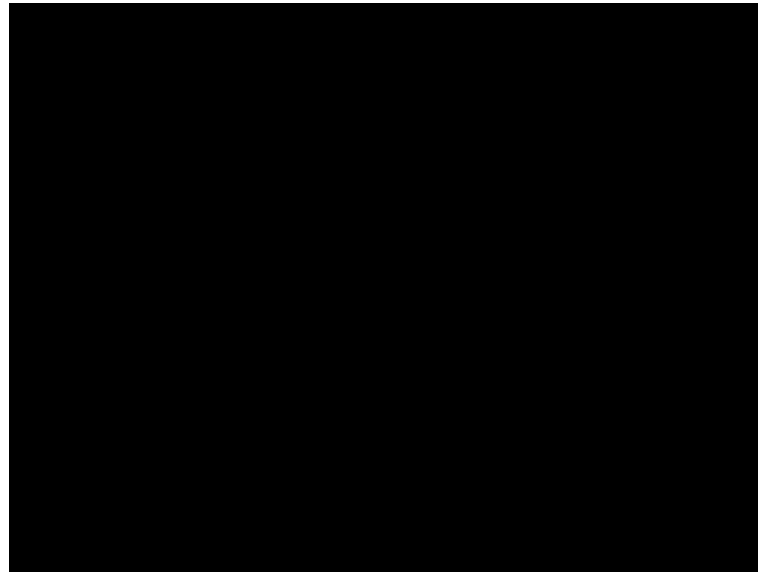
**Corte e dobra de chapas**



**Furação por cisalhamento**

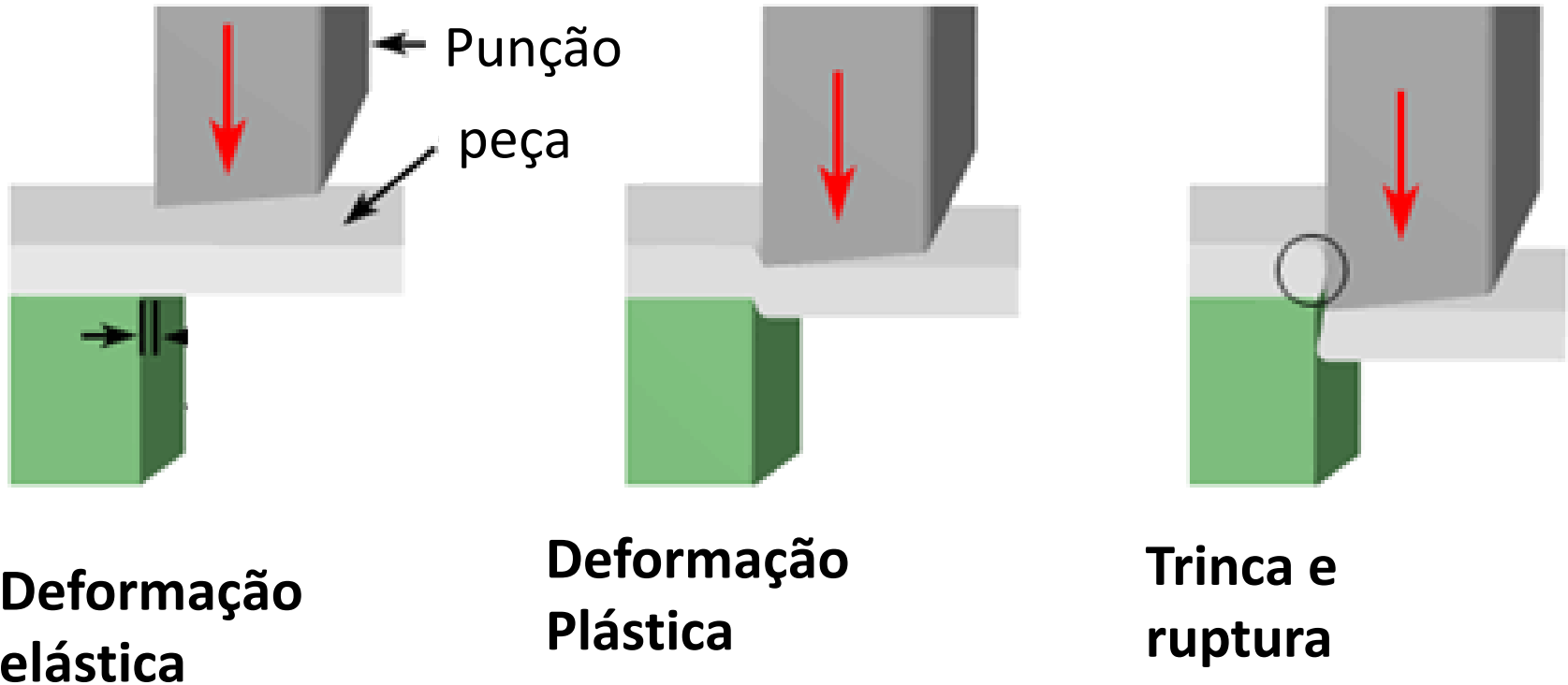


**Dobra de chapas com matriz em "V"**



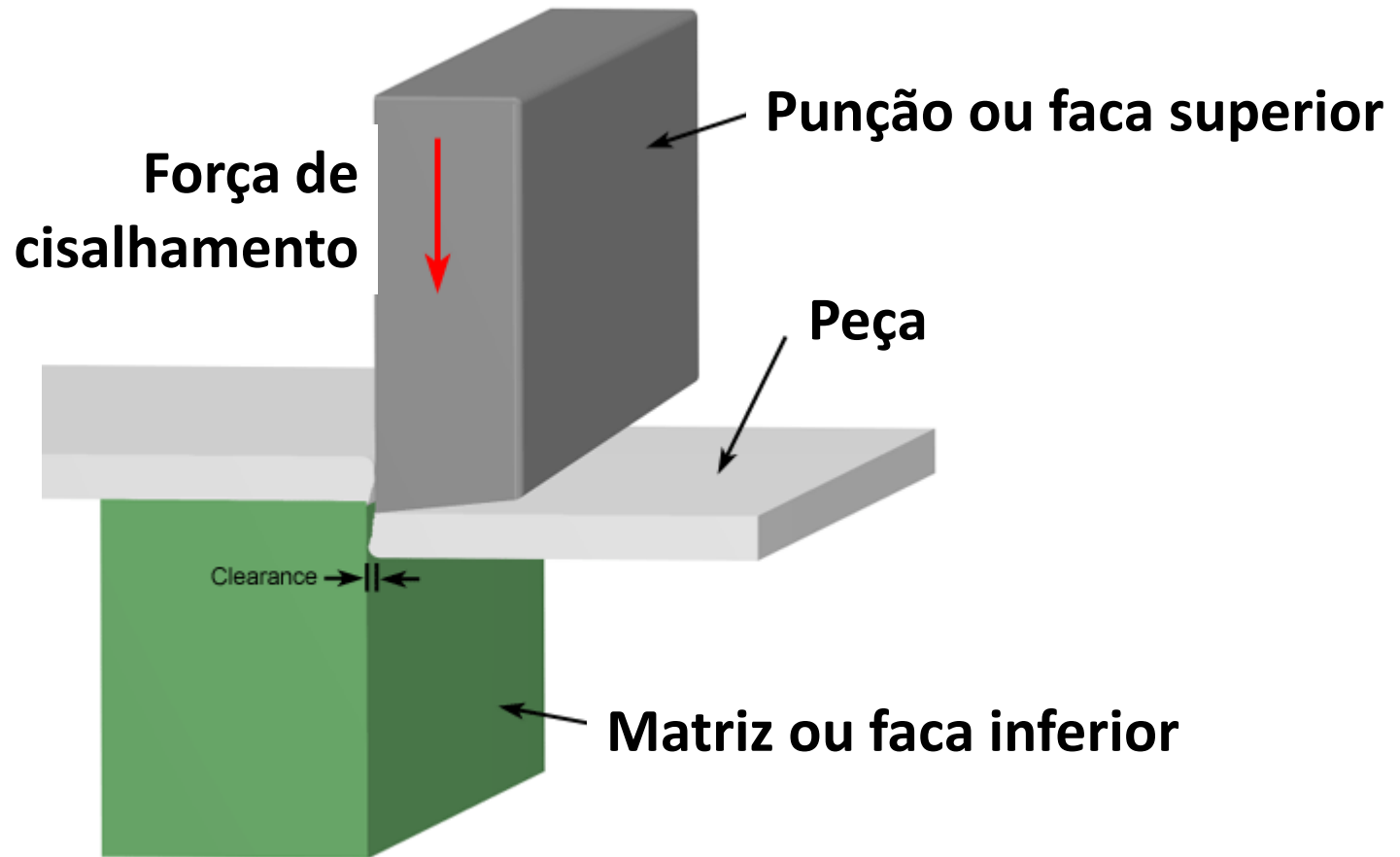
# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Fases do processo



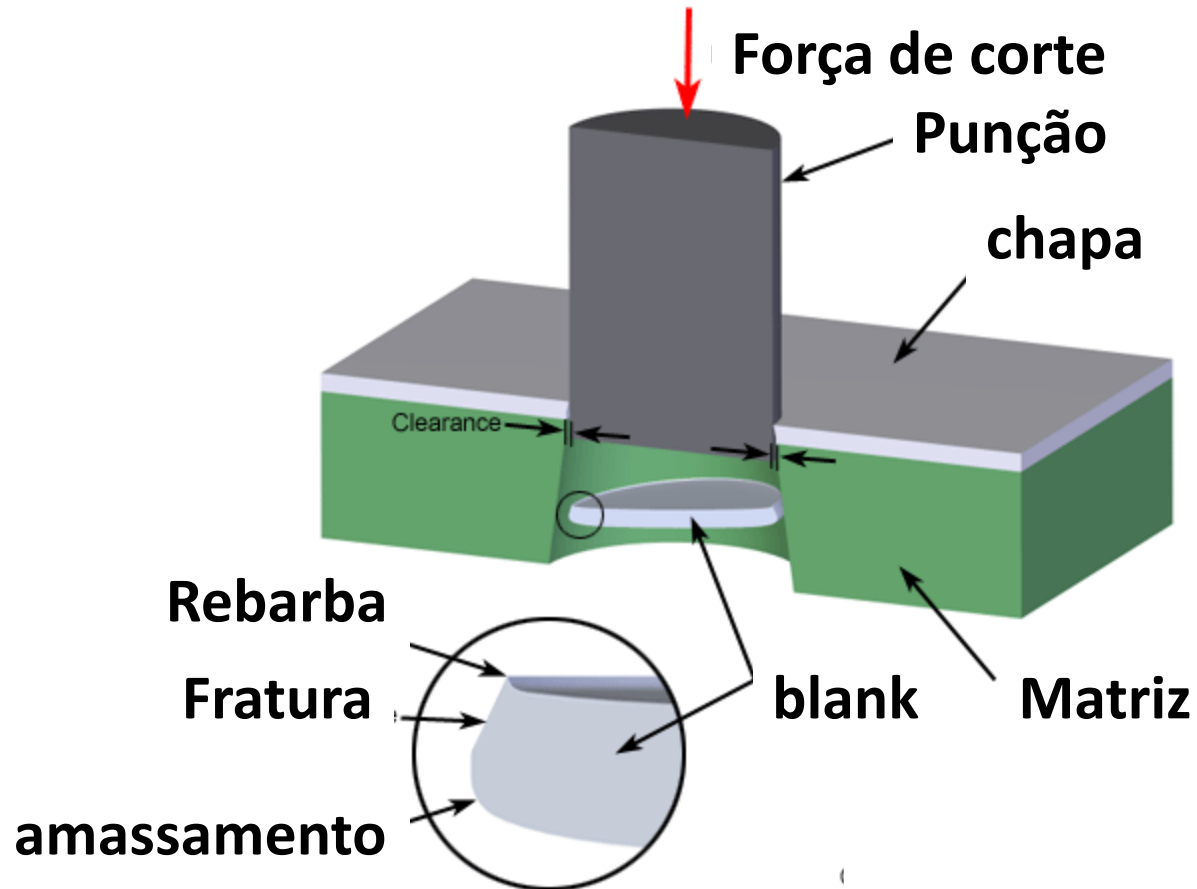
# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Nomenclatura do processo



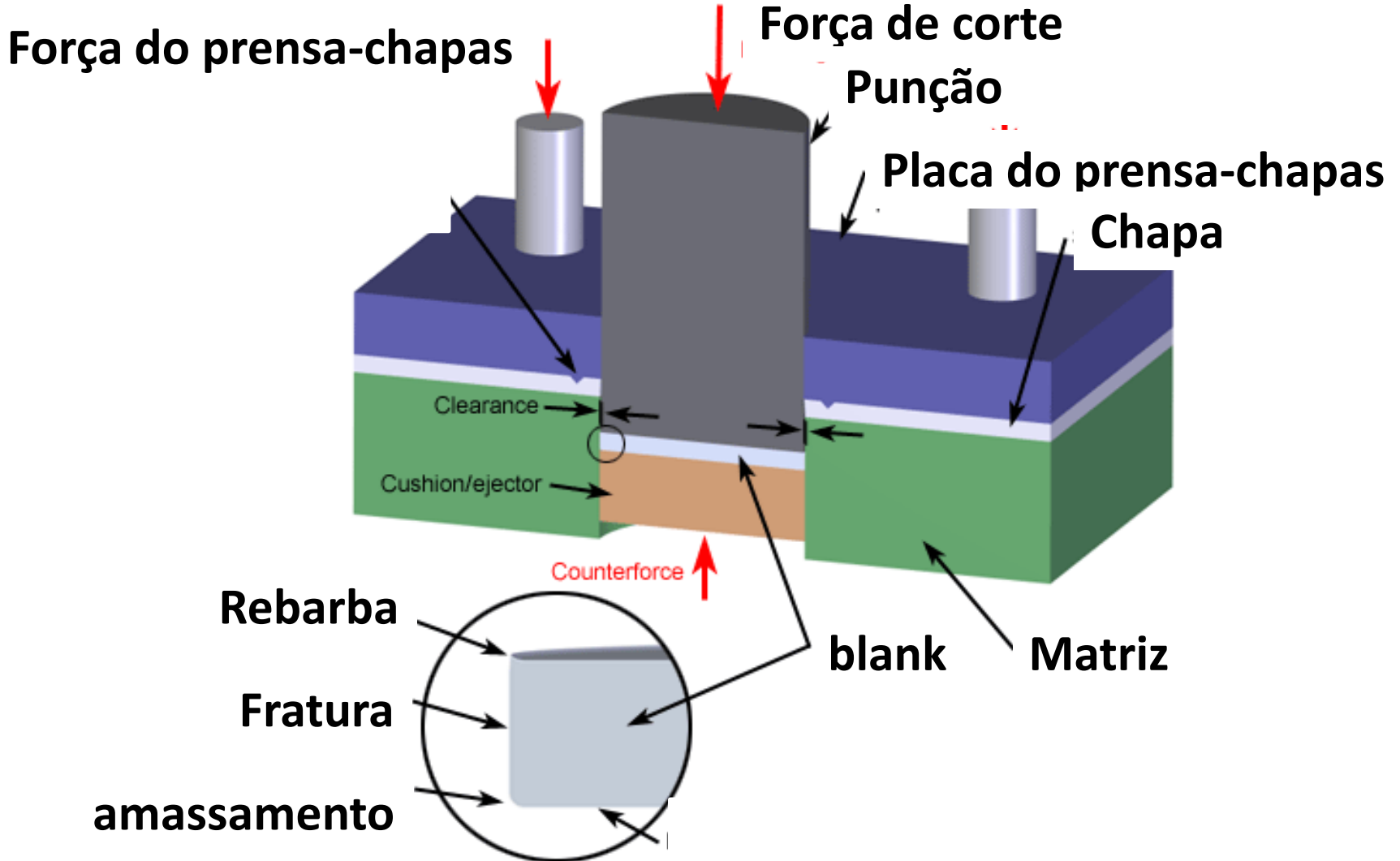
# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Nomenclatura do processo



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Corte com prensa-chapas



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

---

## Exemplos de peças cortadas por cisalhamento



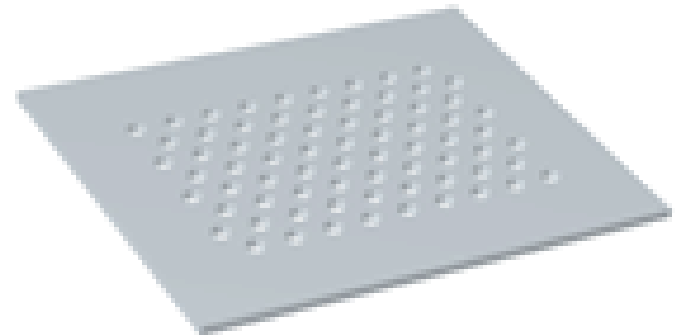
**Furo simples**



**Cortes laterais diversos**



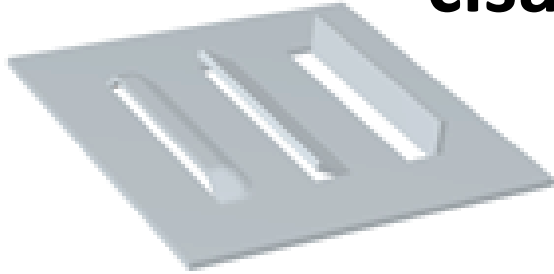
**Rasgos cantos vivos**



**Perfurações**

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

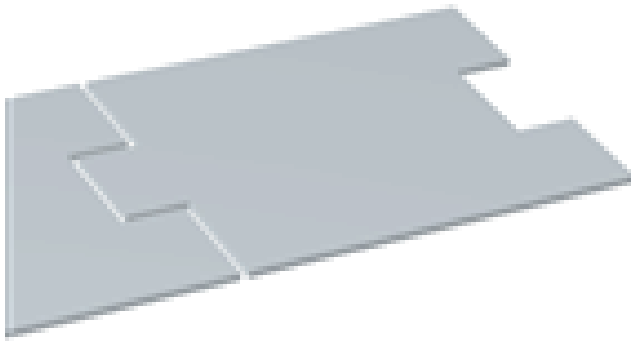
## Exemplos de peças cortadas por cisalhamento e dobradas



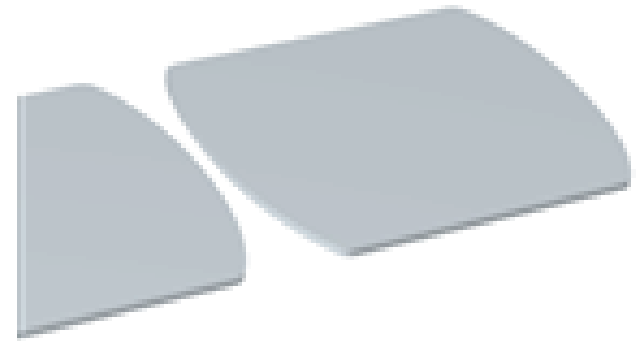
**Rasgos e dobras**



**Rasgo e Repuxo**



**Cortes em encaixes**



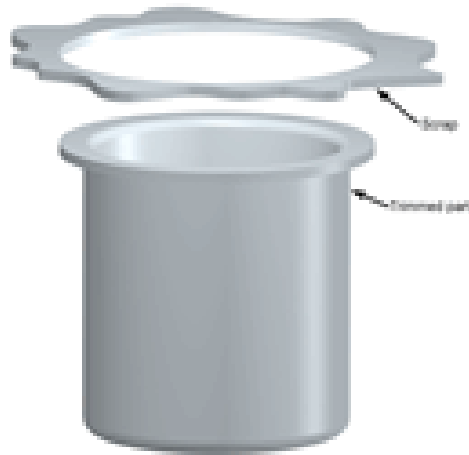
**Cortes em raios**



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Exemplos de peças cortadas por cisalhamento e dobradas

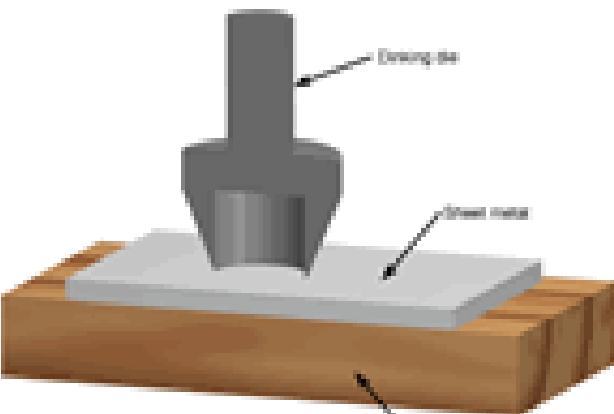
Repuxo e corte



Puncionamento

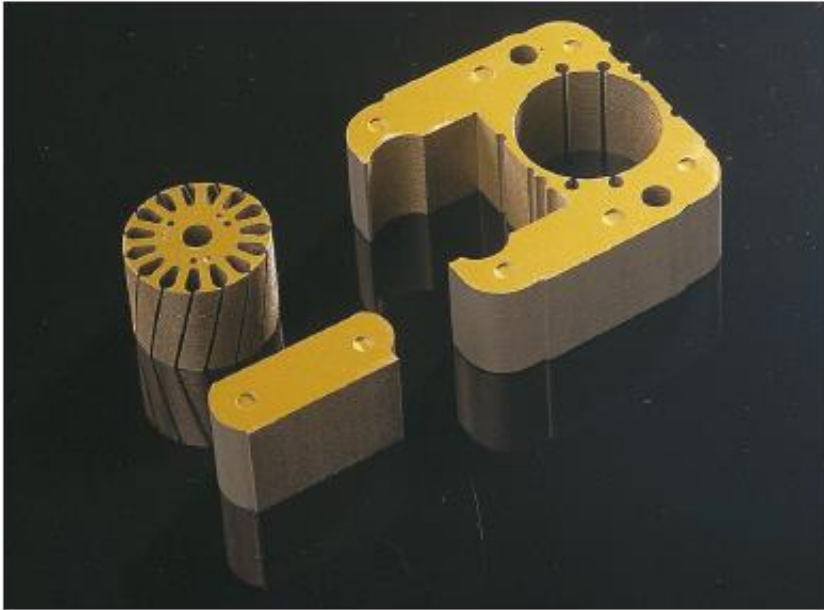


Corte parcial



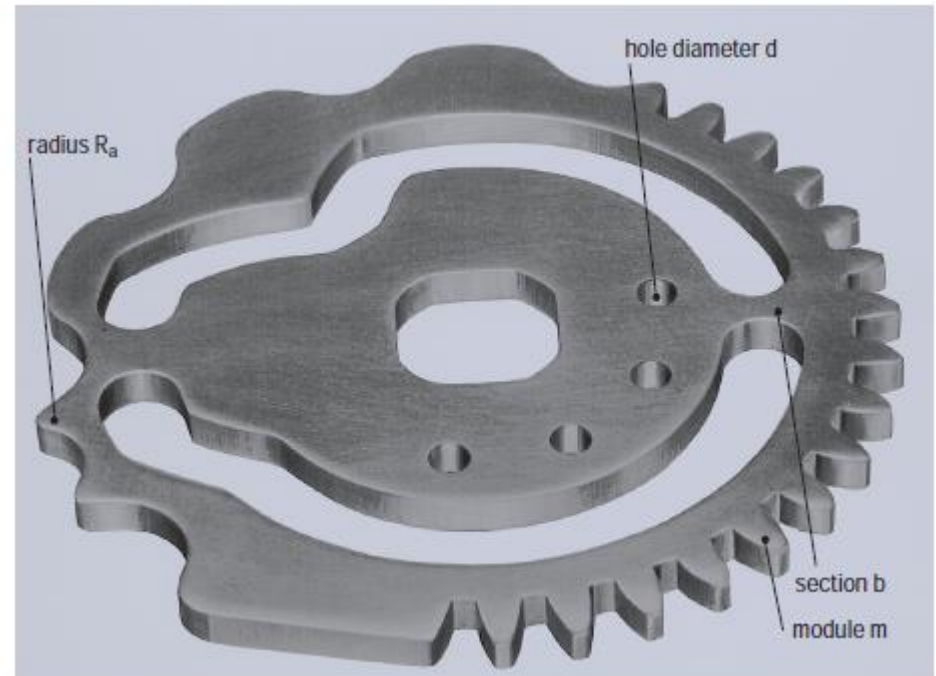
# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Exemplos de peças cortadas por cisalhamento



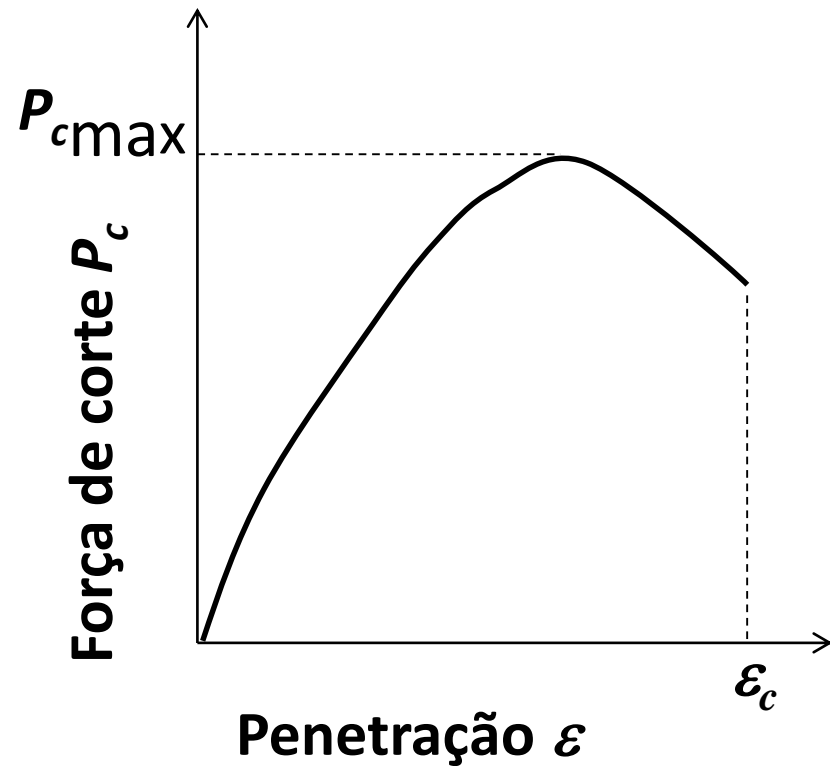
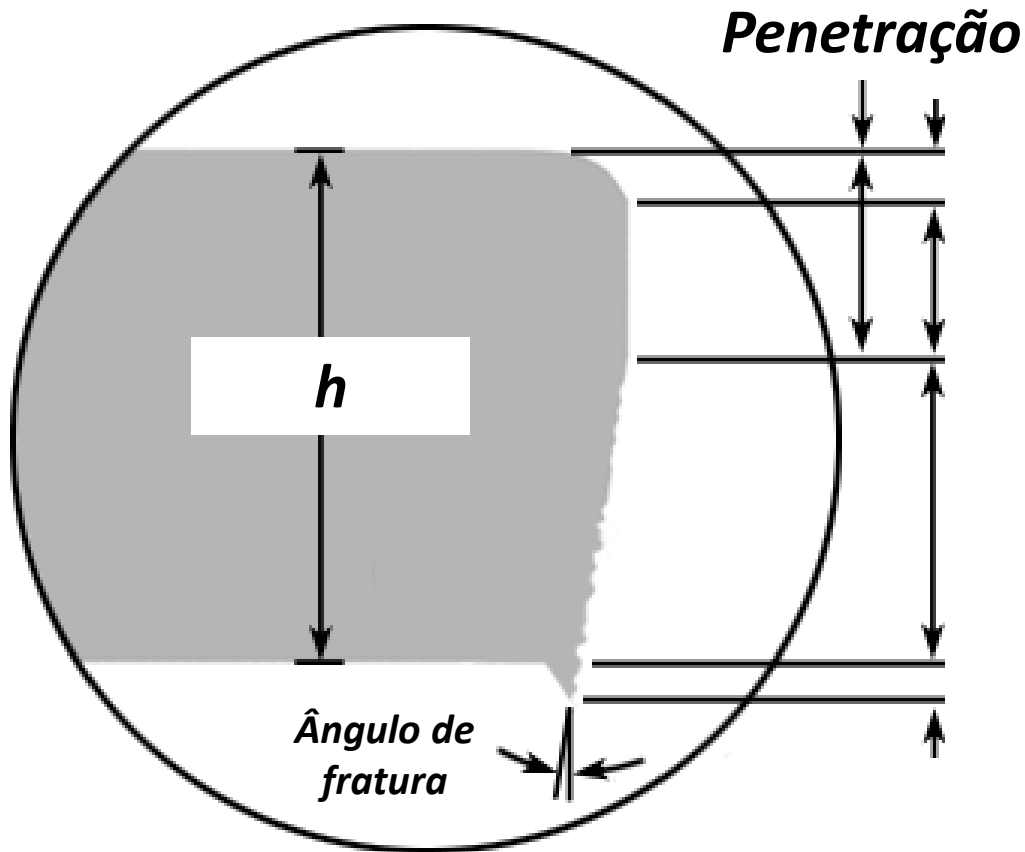
Núcleo e estatores de motores

## Cortes de engrenagens



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Carga para corte de chapas



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Carga para corte de chapas

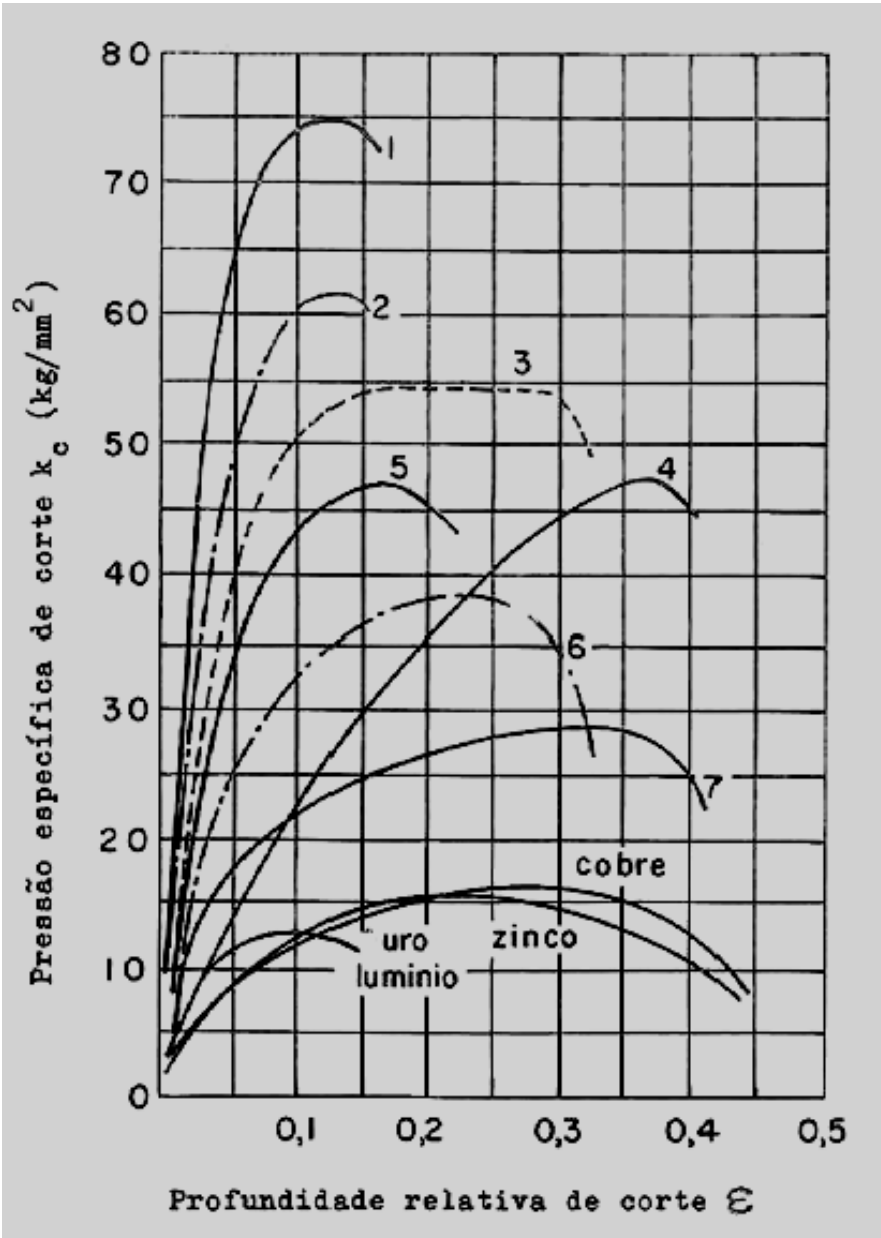
$$P_c = k_c \cdot b \cdot h$$

$P_c$  = Carga máxima [N]

$k_c$  = Pressão específica de corte por cisalhamento [N/mm<sup>2</sup>]

$b$  = perímetro de corte [mm]

$h$  = espessura de corte [mm]



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

MATERIAL	Composição química em por cento							$\sigma_s$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_r$ kg/mm <sup>2</sup>
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni		
1	0,16	0,23	0,34	0,018	0,006	1,42	4,31	58,5	110,0
2	0,75	0,31	0,63	0,028	0,220	0,15	-	58,5	100,8
3	0,40	0,33	0,55	0,024	0,027	1,10	0,13	44,8	83,8
4	0,14	0,70	0,50	0,020	0,020	13,00	8,50	-	60,0
5	0,47	0,23	0,58	0,027	0,030	0,050	-	35,4	67,3
6	0,20	0,24	0,52	0,026	0,030	0,040	-	42,6	53,7
7	0,15	0,20	0,40	0,040	0,040	0,200	0,30	18,0	38,0

Pressão específica de corte

Apostila:

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

MATERIAL	$k_{cmx}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\zeta$ (%)	$\epsilon_c$	$\rho$ (kgmm/mm <sup>3</sup> )
1	75	9	0,16	9,7
2	61	10,8	0,16	7,4
3	54	16,6	0,33	15,0
4	47	45,0	0,40	12,4
5	46	19,7	0,23	8,5
6	38	21,7	0,35	10,4
7	28	32,0	0,41	9,7
Cobre	16	-	0,42	5,7
Zinco	15	-	0,41	5,2
Duro- alumínio	13	-	0,13	1,3

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Qualidade de material	C Máxima %	Mn %	Alongamento (h=3mm) $\delta_{50mm}$ (%)	Resistência a ruptura $\sigma_r$ (kg <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup> )	Pressão específica de corte $k_{cmx}$ (kg*/mm <sup>2</sup> )	Profundidade relativa de corte $\xi_c$	Trabalho específico de corte $\rho$ (kg*mm/mm <sup>3</sup> )
Chapa fina laminada a quente CFQ (p/estampagem)							
EM	0,1	0,2-0,5	32	32	26	0,55	11
EP	0,1	0,2-0,5	36	30	24	0,6	12
EEP	0,1	0,2-0,5	39	29	23	0,7	13
Chapa fina laminada a frio CFF (p/estampagem)							
EM	0,1	0,2-0,5	26	38	31	0,4	10
EP	0,1	0,2-0,5	31	36	29	0,45	10,5
EEP	0,1	0,2-0,5	34	34	28	0,5	11

**Pressão específica de corte**

**Apostila:**

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica  
de corte

Qualidade de material	C Máxima %	Mn %	Alongamento (h=3mm) $\delta_{50mm}$ (%)	Resistência a ruptura $\sigma_r$ (kg <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup> )	Pressão específica de corte $k_{cmx}$ (kg*/mm <sup>2</sup> )	Profundidade relativa de corte $\epsilon_c$	Trabalho específico de corte $\rho$ (kg*mm/mm <sup>3</sup> )
Chapa fina laminada a quente CFQ (comum)							
Comum	0,15	0,2-0,6	26	38	31	0,45	12
1020	0,18	0,3-0,6	25	39	33	0,45	12,5
1035	0,38	0,6-0,9	18	51	40	0,40	12,5
1050	0,55	0,6-0,9	15	63	50	0,35	13,5
Chapa fina laminada a frio CFF (comum)							
Comum	0,15	0,2-0,6	17	42	34	0,4	9,5
1020	0,18	0,3-0,6	15	44	37	0,35	10,5
1035	0,38	0,6-0,9	12	56	45	0,3	10,5

Apostila:

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

Apostila:  $k_c \cong 0,75\sigma_r$

MATERIAL ABNT	Composição química (1)		Pressão específica de corte (2) $k_{cmx}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Profundidade relativa de corte (3) $e_c$	Trabalho especifico de corte (3) $\rho$ (kgmm/mm <sup>3</sup> )
	C %	Mn %			
1006 c/recozimento s/recozimento	0,08 mx	0,25 - 0,40	24 26	0,9 0,6	12 11,0
1008 c/recozimento s/recozimento	0,10 mx	0,25 - 0,50	25 28	0,9 0,6	12,4 11,4
1010 c/recozimento s/recozimento	0,08-0,13	0,30 - 0,60	26 30	0,8 0,6	13,2 12,0
1015 c/recozimento s/recozimento	0,13-0,18	0,30 - 0,60	28 33	0,8 0,6	14,0 13,0
1020 c/recozimento s/recozimento	0,18-0,23	0,30 - 0,60	32 39	0,7 0,5	15,6 13,2
1025 c/recozimento s/recozimento	0,22-0,28	0,30 - 0,60	33 41	0,7 0,5	16,4 13,5
1030 c/recozimento s/recozimento	0,28-0,34	0,60 - 0,90	36 48	0,6 0,5	15,0 12,0
1035 c/recozimento s/recozimento	0,32-0,38	0,60 - 0,90	40 50	0,5 0,4	15,0 12,0
1040 c/recozimento s/recozimento	0,37-0,44	0,60 - 0,90	45 55	0,5 0,4	16,5 13,5
1045 c/recozimento s/recozimento	0,43-0,50	0,60 - 0,90	46 58	0,5 0,4	15,0 14,0



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

Apostila:

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

MATERIAL ABNT	Composição química (1)		Pressão específica de corte (2) $k_{c\text{mx}}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Profundidade relativa de corte (3) $e_c$	Trabalho específico de corte (3) $\rho$ (kgmm/mm <sup>3</sup> )
	C %	Mn %			
1050 c/recozimento s/recozimento	0,48-0,55	0,60 - 0,90	50	0,5	15,0
			64	0,3	13,5
1060 c/recozimento s/recozimento	0,55-0,65	0,60 - 0,90	56	0,4	13,0
			72	---	---
1080 c/recozimento s/recozimento	0,75-0,88	0,60 - 0,90	72	0,3	15,0
			80	---	---

(1) O teor de enxofre máximo é 0,05%, o de fósforo máximo é 0,04%; no caso dos aços Bessemer 1006 e 1010 o teor de fósforo é de 0,07 à 0,12%, estando indicado o processo de refino (ex. 1010 B).

(2) A pressão específica de corte máxima  $k_{c\text{mx}}$ , é tomada aqui igual à tensão de ruptura ao cisalhamento.

(3) Os valores de profundidade relativa de corte  $e_c$  e do trabalho específico de corte são para chapas de espessura iguais ou maiores de 3mm; para chapas mais finas, acrescer de 10 a 20%. Os valores de  $k_{c\text{mx}}$  e  $\rho$  referem-se a facas afiadas e jogos normais; no caso de facas sem corte, multiplicar por 1,3.

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

Apostila:

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

VALORES MEDIOS. - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

Nº AISI	Tensão de ruptura kg/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento kg/mm <sup>2</sup>	alongamento em 2" %	redução em área %	Dureza Brinell
301 A	70	25	50	60	180
302 A	56	21	50	60	180
304 A	56	21	50	60	180
305 A	53	18	50	60	180
308 A	56	21	40	50	200
310 A	53	21	40	50	180
316 A	53	21	40	50	200
317 A	53	21	40	50	200
321 A	53	21	40	50	200
347 A	56	21	40	50	200
403 M	42	23	20	50	200
410 M	42	23	20	50	200
430 F	42	25	20	40	200
442 F	56	32	20	40	200
446 F	53	32	20	40	200

Os aços inoxidáveis austeníticos estão representados pela letra A, os martensíticos por M e os ferríticos por F.

Os austeníticos adquirem dureza trabalhados a frio; os martensíticos pegam - têmpera e os ferríticos não pegam têmpera.

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

Apostila:

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

(VALORES MEDIO) PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS LIGAS DE ALUMINIO)

Liga	Têmpera	Tensão de ruptura kg/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento kg/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 2" %	Tensão de cisalhamento kg/mm <sup>2</sup>
2S	0	9,1	3,5	35	6,3
	1/4 H	11,2	10,6	12	7,0
	1/2 H	12,6	12,0	9	7,7
	3/4 H	14,8	14,1	6	8,4
3 S Alclad 3 S	H	16,9	15,5	5	9,1
	0	11,2	4,2	30	7,7
	1/4 H	13,4	12,6	10	8,4
	1/2 H	15,5	14,8	8	9,9
4 S	3/4 H	18,3	17,6	5	10,6
	H	20,4	19,0	4	11,3
	0	18,3	7,0	20	11,3

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

Apostila:

(VALORES MEDIOS) PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS LIGAS DE ALUMÍNIO. (cont.)

Liga	Têmpera	Tensão de ruptura kg/mm <sup>2</sup>	Limite de escoamento kg/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 2" %	Tensão de cisalhamento kg/mm <sup>2</sup>
Alclad 4 S	1/4 H	21,8	17,6	10	12,0
	1/2 H	24,6	20,4	9	12,7
	3/4 H	26,8	23,2	5	14,1
	H	28,9	25,3	5	14,8
	T 4	43,0	26,0	22	26,1
24 S	T 6	47,9	42,2	20	28,8
	0	19,0	7,7	20	12,7
	T 3	49,3	35,2	18	28,8
Alclad 24 S	T 4	47,9	33,1	20	28,8
	0	18,3	7,7	10	12,7
	T 3	45,8	31,7	18	28,2
Alclad 50 S	T 4	45,0	29,6	19	28,2
	0	14,8	5,6	24	10,6
	1/4 H	17,6	14,8	9	12,0
52 S	1/2 H	19,7	16,9	8	12,7
	3/4 H	21,2	18,3	7	13,4
	H	22,5	20,4	6	14,1
	0	19,7	9,2	25	12,7
	1/4 H	24,7	19,7	12	14,1
61 S	1/2 H	26,7	21,8	10	14,8
	3/4 H	28,2	24,7	8	16,2
	H	29,6	26,0	7	16,9
Alclad 61 S	0	12,7	5,6	25	8,4
	T 4	24,7	14,8	22	16,9
	T 6	31,7	28,2	12	21,2
75 S	0	12,0	4,9	25	7,7
	T 4	23,2	13,4	22	15,5
	T 6	29,6	26,0	12	19,0
Alclad 75 S	0	23,2	10,6	17	15,5
	T 6	58,3	51,5	11	33,8
	0	22,6	9,9	17	15,5
	T 6	53,5	47,2	11	32,4

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

Apostila:

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

(VALORES MEDIOS) PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS LAMINADOS DE COBRE E DE LATÃO

SAE	Têmpera	Composição	Mód. de elast. kg/mm <sup>2</sup>	Tens. ruptur kg/mm <sup>2</sup>	Limite escoam. kg/mm <sup>2</sup>	Along. em 2" %	Dureza Rockwell	Press. espec. corte kg/mm <sup>2</sup>
71	0	99,90% Cu min. Oxy. cêrca 0,04	12000	22,5	7,0	45	F 40	15,5
	1/2 H			29,5	25,3	14	F 40	18,3
	H			35,2	31,7	8	B 50	19,7
71 Chapa	0	99,90% Cu min. P	12000	22,5	7,0	45	F 40	15,5
	1/2 H			35,2	31,7	8	B 50	19,7
75 tubos	H	0,015 - 0,040		38,7	35,2	8	B 60	20,4

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

Apostila:

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

(VALORES MEDIOS) PRESSÕES ESPECÍFICAS DE CORTE DE ALGUNS MATERIAIS

<u>Material</u>	<u>Kc (kg/mm<sup>2</sup>)</u>	<u>Material</u>	<u>Kc (kg/mm<sup>2</sup>)</u>
- Chumbo .....	2 - 3	Cartolina .....	7 - 9
- Estanho .....	3 - 4	Papel isolante .....	10 - 13
- Couro .....	0,7 - 1,5	Fibra isolante .....	9 - 12
- Mica 0,5 espessura .....	8	Madeira .....	1 - 3
- Mica 2,0 espessura .....	5	Magnésio Liga .....	11 - 16
- Celuloide .....	4 - 6	Klingerit .....	4 - 6
- Borracha mole .....	0,7	Aço 0,1 % C .....	24 - 30
- Borracha dura .....	2 - 6	0,2 % C .....	32 - 40
- Papel 0,25 espessura .....	6	0,3 % C .....	36 - 48
- Papel 5 x 0,25 espessura .....	4,5	0,4 % C .....	45 - 56
- Papel 10 x 0,25 espessura .....	2,3	0,6 % C .....	55 - 70
- Papel 20 x 0,25 espessura .....	1,4	0,8 % C .....	70 - 90
- Papelão .....	2 - 3,5	Aço silício .....	45 - 55

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Table 4.2.3: Summary of the more commonly used sheet metal materials

## Unalloyed steels

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0.2}$ or $R_{el}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{g0}$ [%]	Fields of application, examples
St 12	10330	270...410	max. 280	28	automotive engineering
USt 13	10333	270...370	max. 250	32	automotive engineering
St 14	10338	270...350	max. 225	38	automotive engineering

## Phosphor-alloyed steels

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0.2}$ or $R_{el}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{g0}$ [%]	Fields of application, examples
ZStE 220 P	10397	340...420	220...280	30	automotive engineering
ZStE 260 P	10417	380...460	260...320	28	car body work: doors, hoods, roofs
ZStE 300 P	10448	420...500	300...360	26	automotive engineering

## Bake-hardening steels

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0.2}$ or $R_{el}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{g0}$ [%]	Fields of application, examples
ZStE 180 BH	10395	300...380	180...240	32	automotive engineering
ZStE 220 BH	10396	320...400	220...280	30	automotive engineering
ZStE 260 BH	10400	360...440	260...320	28	automotive engineering
ZStE 300 BH	10444	400...480	300...360	26	automotive engineering

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,8R_m$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Ferritic chromium steels

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ or $R_{eL}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{80}$ [%]	Fields of application, examples
X 6 Cr 17	14016	450...600	250...270	20	automotive engineering: bumpers, hub caps, food industry, household, appliances: deep-drawing parts with high corrosion resistance properties: sink unit panelling cutlery
X 6 CrMo 17 1	14113	480...630	260...280	20	hub caps, bumpers, car window frames radiator grille surrounds
X 6 CrTi 12	14512	390...560	200...220	20	automotive engineering: shock absorbers, exhaust system components
X 6 CrNb 17	14511	450...600	250...260	20	dairy, brewery, food industry, soap industry and dyeing plants: parts (containers) requiring welding and which are exposed to weak acid solutions

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,8R_m$$



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Austenitic CrNi steels

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ or $R_{el}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{80}$ [%]	Fields of application, examples
X 5 CrNi 18 10	14301	500...700	min. 195	$s < 3$ mm $A_{80}$ : lengthwise: 35; transversely: 40 / $3 < s < 75$ mm $A_5$ : 40	household items, food industry: wear-resistant, deep-drawable, weldable appliances, devices, containers
X 5 CrNi 18 12	14303	490...690	min. 185	$s < 3$ mm $A_{80}$ : lengthwise: 35; transversely: 40 / $3 < s < 75$ mm $A_5$ : 40	chemical industry, paper and textile industry: cold extruded parts, screws, nuts

## Micro-alloyed steels

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ or $R_{el}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{80}$ [%]	Fields of application, examples
ZStE 260	10480	350...450	260...340	24	automotive engineering: car body parts
ZStE 300	10489	380...480	300...380	22	automotive engineering
ZStE 340	10548	410...530	340...440	20	automotive engineering
ZStE 380	10550	460...600	380...500	18	automotive engineering
ZStE 420	10556	480...620	420...540	16	automotive engineering

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,8R_m$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Copper and copper alloys

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0.2}$ or $R_{eL}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{80}$ [%]	Fields of application, examples
SF-Cu F 22	2.0090.10	220...260	max. 140	42	semi-finished products with very good welding and brazing properties
CuZn 28 F 27	2.0261.10	270...350	max. 160	50	all types of deep-drawing parts, all types of instruments and sleeves
CuZn 33 F 28	2.0280.10	280...360	max. 170	50	wire mesh, radiator strips, tubular rivets
CuZn 36 F 30	2.0335.10	300...370	max. 180	48	metal and wood screws, printing cylinders, radiator strips, zip fasteners, cup springs, hollow goods, ball-point pen cartridges
CuZn 37 Pb 0,5 F 29	2.0332.10	290...370	max. 200	50	deep-drawing parts
CuZn 40 F 34	2.0360.10	min. 340	max. 240	43	good hot and cold forming properties: hot extruded parts, suitable for bending, riveting, upsetting and flanging

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,8R_m$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Table 4.2.3 (continuation)

## Aluminium and aluminium alloys

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ or $R_{eL}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{80}$ [%]	Fields of application, examples
Al 99,5 W7	3.0255.10	65...95	max. 55	40	equipment construction, electrical installations, electrical construction, high-frequency engineering, aerials, coaxial cables screening; aluminium foils in capacitors, as packaging material, for heat insulation; household equipment
AlMg 1 W 10	3.3319.10	100...140	35...60	23	architecture, automotive engineering, metal goods: sheet metals, strips, profiles, rods, wires, pipes, forgings, extremely good cold forming properties, weldable, highly seawater resistant
Al 99,9 Mg 1 W 10	3.3318.10	100...140	35...60	23	dito
Al 99,85 Mg 1 W 10	3.3317.10	100...140	35...60	23	dito
AlMg 2,5 G 25	3.3523.29	250...290	min. 180	7	car body work, pull-tab can lids

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,8R_m$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Aluminium and aluminium alloys

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ or $R_{eL}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{80}$ [%]	Fields of application, examples
AlMg 3 W 19	3.3535.10	190...230	min. 80	20	food industry, equipment construction, automotive engineering and shipbuilding, architecture: semi-finished products, roofing, packaging, screws, rivets
AlMn 1 F 12	3.0515.24	120...160	min. 90	7	equipment construction, refrigeration, technology, heat exchangers, roofing, panelling
AlCuMg 1 W	3.1325.10	max. 215	max. 140	13	mining, automotive engineering, aircraft construction, mechanical engineering: sheet metals, profiles, rods, pipes, forgings, screws, rivets
AlMg 2 Mn 0,8 F 22	3.3527.24	220...260	max. 165	9	automotive engineering, shipbuilding, equipment construction: parts resistant to stress at high temperatures
AlMgSi 0,8 F 28	3.2316.71	min. 275	min. 200	12	mechanical engineering, automotive engineering
AlMgSi 1 W	3.2315.10	max. 150	max. 85	18	architecture, mining, automotive engineering, shipbuilding, mechanical engineering, food and textile industries: all types of semi-finished products, screws

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,8R_m$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,8R_m$$

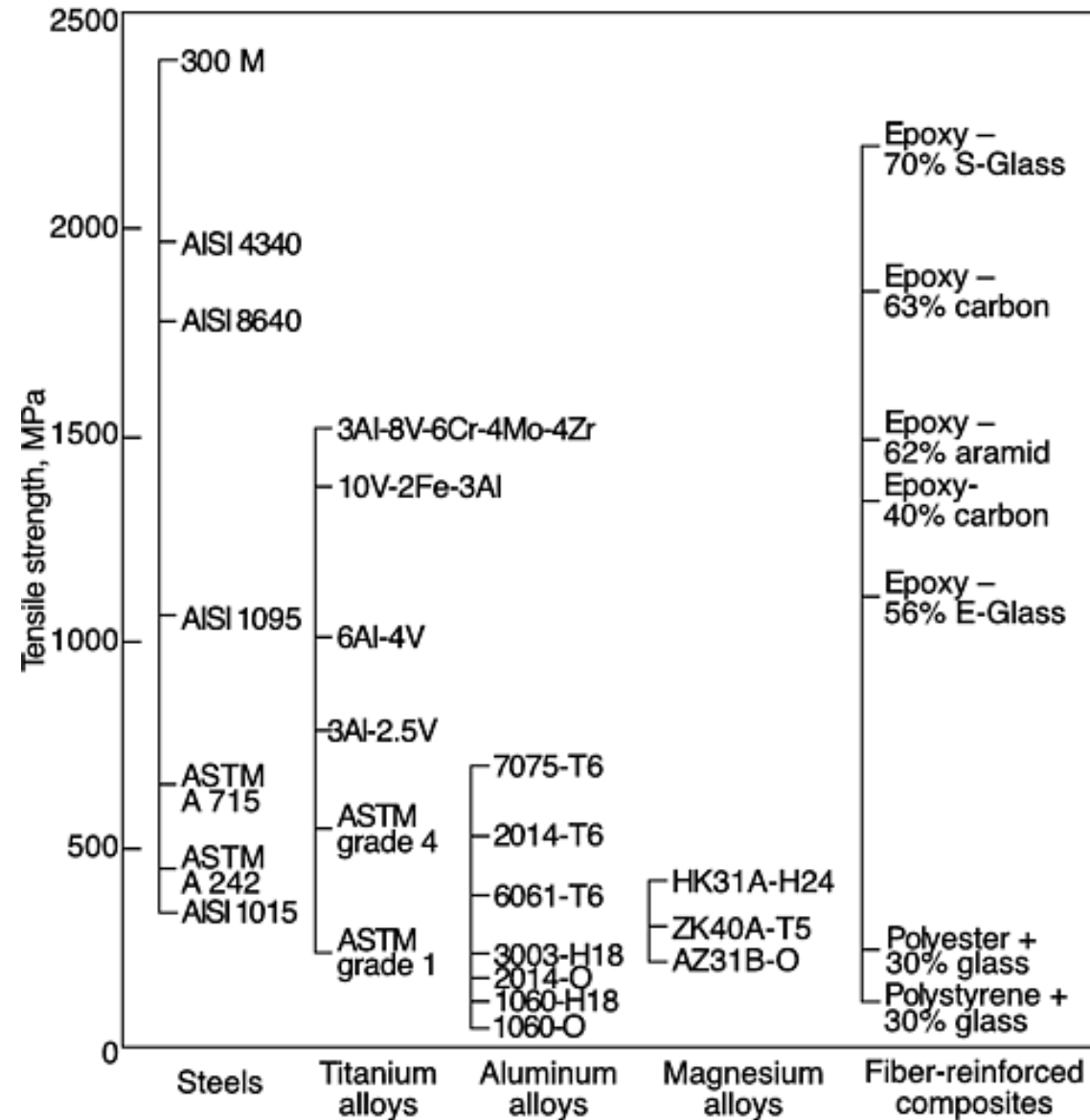
## Titanium and titanium alloys

	Material No.	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ or $R_{eL}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$A_{90}$ [%]	Fields of application, examples
Ti 99,8	3.7025.10	290...410	min. 180	30	chemical equipment construction, electro-deposition, aircraft and spacecraft construction, surgery and orthopaedics: protheses, bone screws, implants and splints
Ti 99,7	3.7035.10	390...540	min. 250	22	dito
TiAl 6 V 4 F 89	3.7165.10	min. 890	min. 820	6	mechanical engineering, aircraft and spacecraft construction, electrical engineering, optics, precision mechanical engineering, medicine technology, fittings
TiAl 5 Sn 2 F 79	3.7115.10	min. 790	min. 760	6	mechanical engineering, aircraft and spacecraft construction, fittings

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

Pressão específica de corte

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

VALORES DE  $\tau_c$  EM Kg/mm<sup>2</sup> PARA CADA MATERIAL

Pressão específica de corte

		Recozido	Cru
Aço laminado	0,1% C.....	25	32
	0,2% C.....	32	40
	0,3% C.....	36	48
	0,4% C.....	45	56
	0,6% C.....	56	72
	0,8% C.....	72	90
	1,0% C.....	80	105
	inoxidável.....	52	60
	silício.....	45	56
Alumínio.....		7 ÷ 9	13 ÷ 16
Alpaca (Cu – Ni – Zn).....		28 ÷ 36	45 ÷ 46
Amianto em folha.....		3,15	
Prata.....		23,5	
Bronze fosforoso.....		32 ÷ 40	40 ÷ 60
Papel	1 folha de 0,25 mm de espessura.....	16	
	5 folhas de 0,25 mm de espessura.....	4,5	
	10 folhas de 0,25 mm de espessura.....	2,3	
	20 folhas de 0,25 mm de espessura.....	1,4	

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

VALORES DE  $\tau_c$  EM Kg/mm<sup>2</sup> PARA CADA MATERIAL

Pressão específica de corte

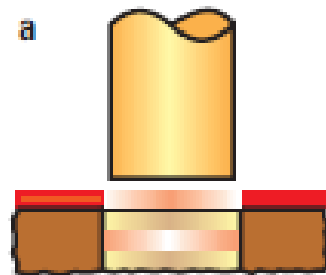
	Recozido	Cru
Papelão de espessura variável.....	2,0 ÷ 3,5	
Cartão duro.....	7	
Cartão baquelitizado (resinoso).....	10 ÷ 13	
Celulóide.....	4 ÷ 6	
Couro.....	0,6 ÷ 0,8	
Duralumínio.....	22	38
Fibra dura.....	19	
Borracha.....	0,6 ÷ 0,8	
Compensado de madeira.....	1 ÷ 2	
Mica de 0,5 mm de espessura.....	8	
Mica de 2 mm de espessura.....	5	
Latão.....	22 ÷ 30	35 ÷ 40
Chumbo.....	2 ÷ 3	
Cobre.....	18 ÷ 22	25 ÷ 30
Resina artificial pura.....	2,5 ÷ 3	
Estanho.....	3 ÷ 4	
Zinco.....	12	20
Baquelite.....	2,5 ÷ 3	
Tecido baquelitizado.....	9 ÷ 12	
Baquelite com entretela.....	9	

$$k_c \cong 0,75\sigma_r$$

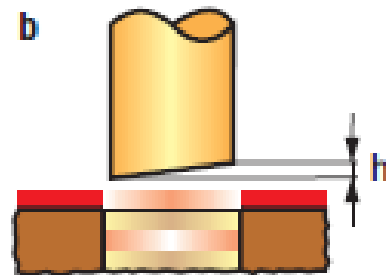


# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

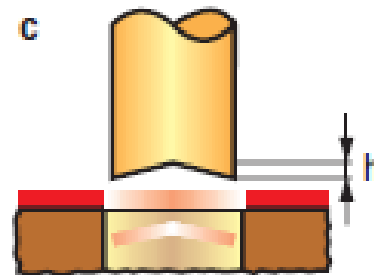
## Técnicas para reduzir a força de corte por cisalhamento



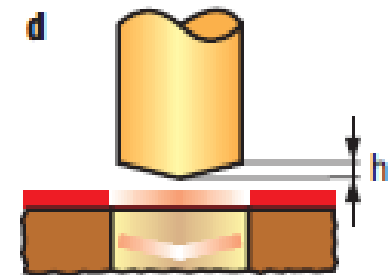
flat  
punch



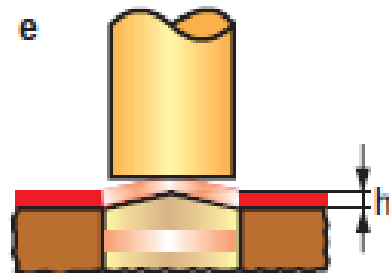
bevelled  
punch



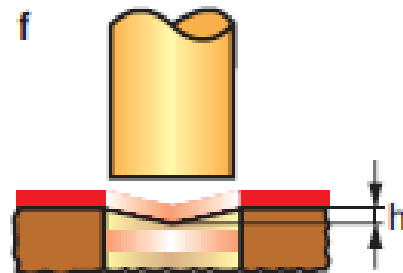
punch with  
groove



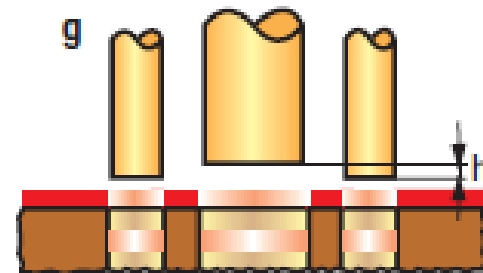
punch with  
pointed finish



pointed female  
die



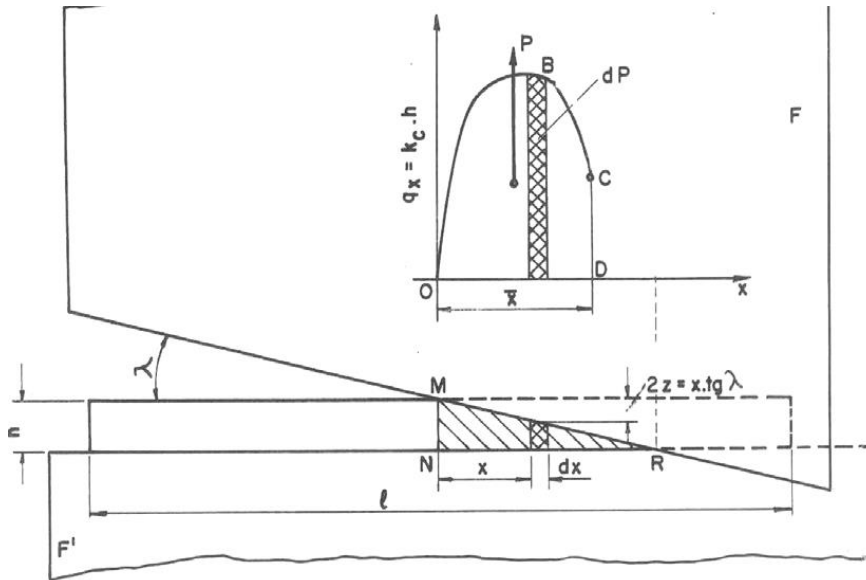
hollowed female  
die



offset punches

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Técnicas para reduzir a força de corte por cisalhamento



$$P_c = \frac{h^2}{\operatorname{tg} \lambda} \int_0^{\varepsilon_c} k_c \cdot d\varepsilon = \frac{h^2 \cdot \rho}{\operatorname{tg} \lambda}$$

$\rho$  = tabelas da apostila

$$\rho = x P_c h \quad x = 0,4 \text{ a } 0,7$$

$h$  = espessura da chapa

$\rho$  = trabalho específico de corte

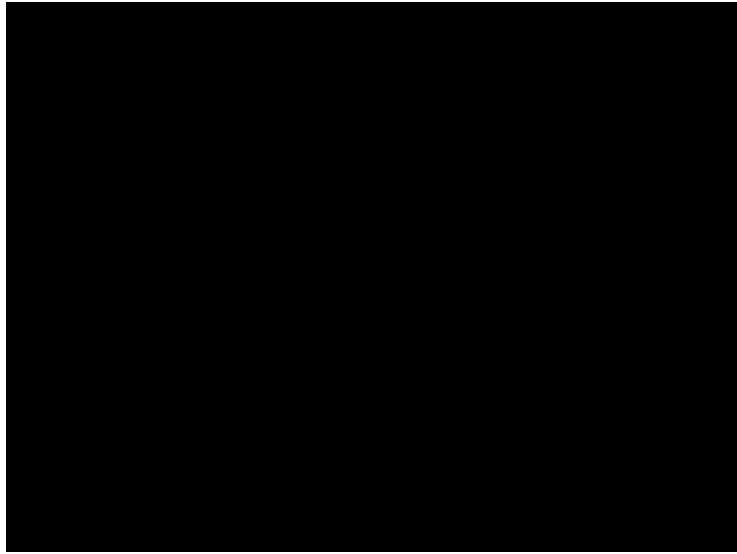
$\lambda$  = ângulo de inclinação da faca

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

---

---

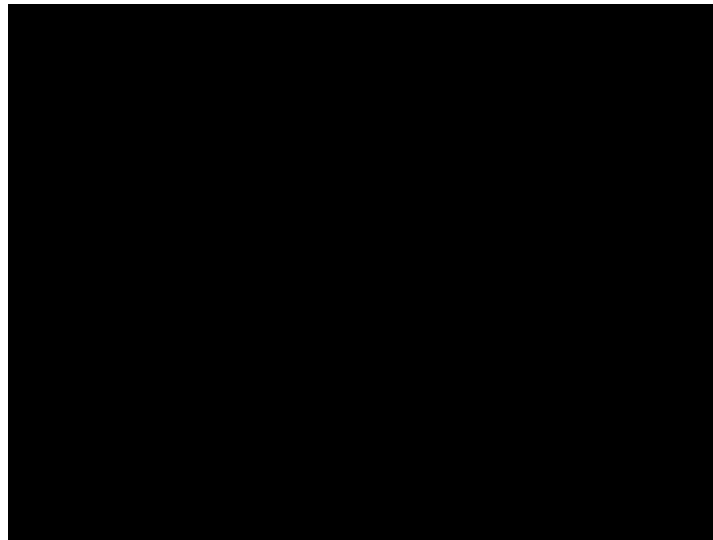
## Processo de Dobra de chapas



Dobras simples



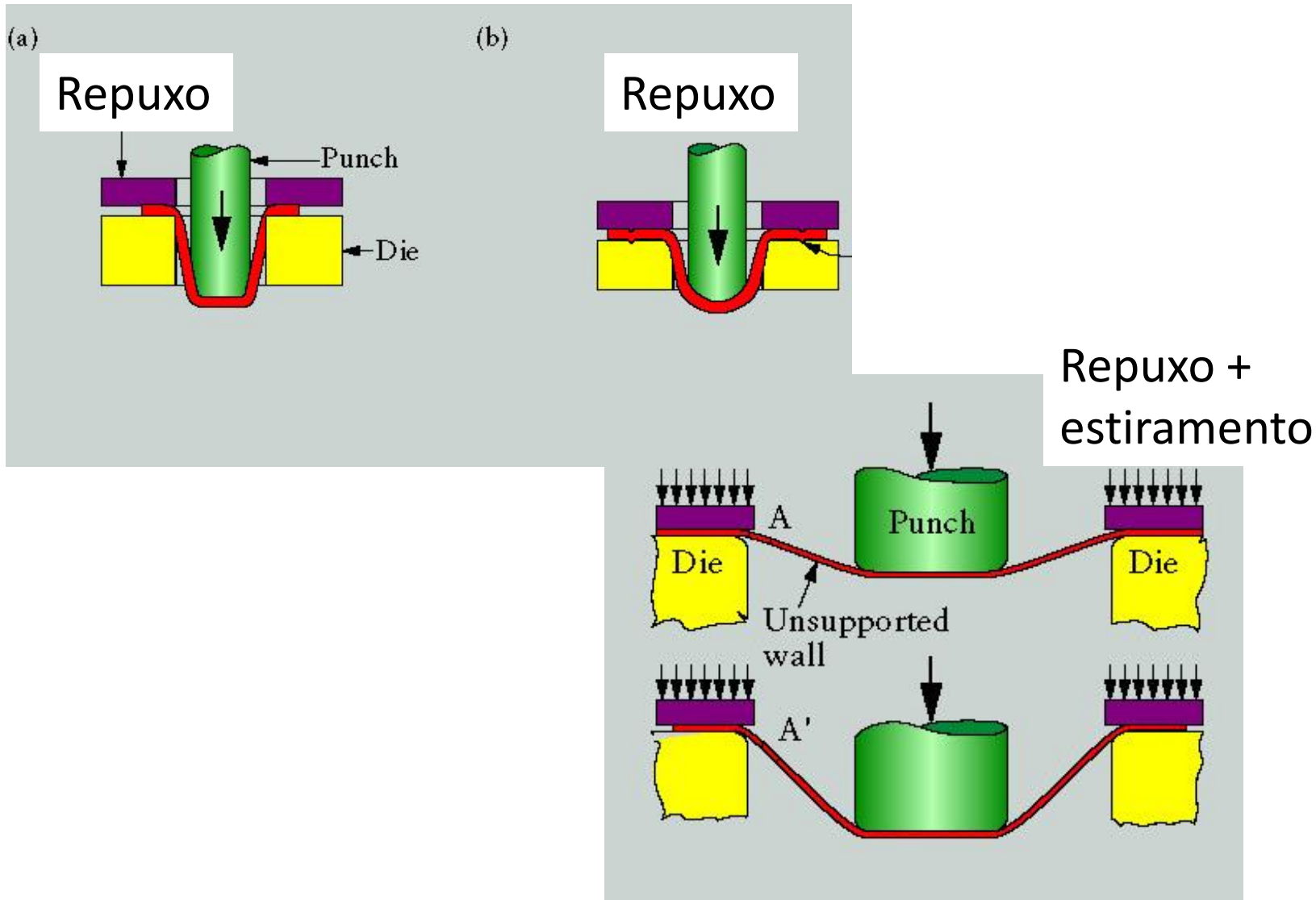
Dobras com CNC



Dobras com matriz  
rotativa

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

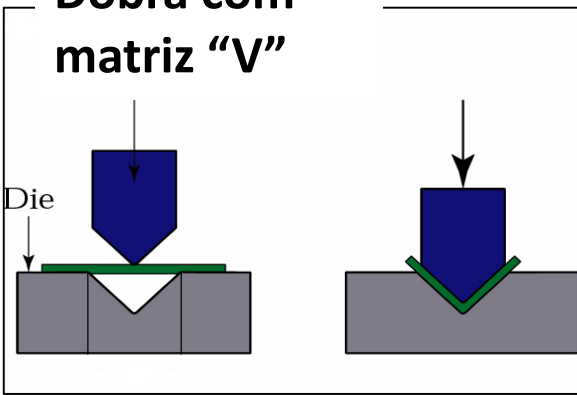
## Operações de dobra de chapas



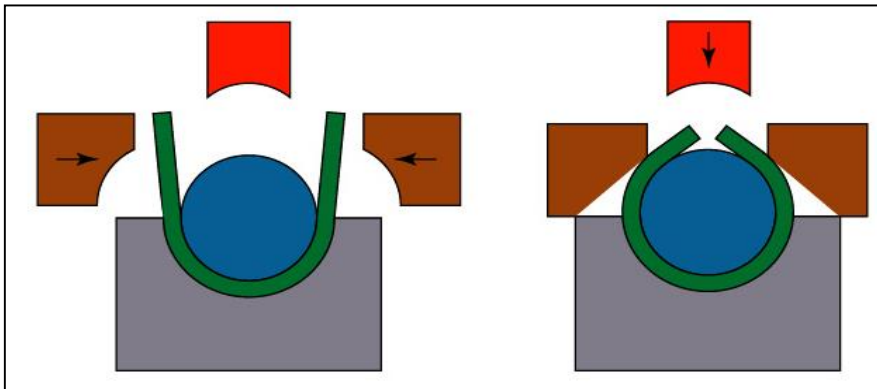
# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Operações de dobra de chapas

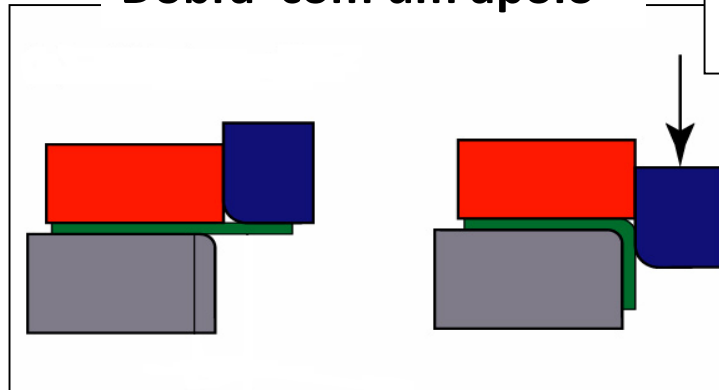
Dobra com matriz "V"



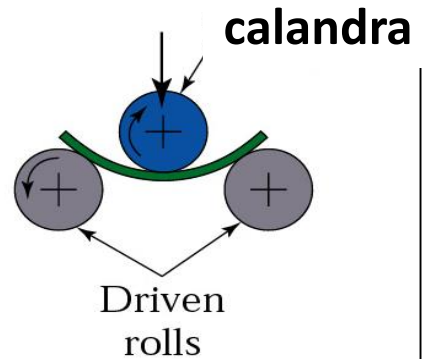
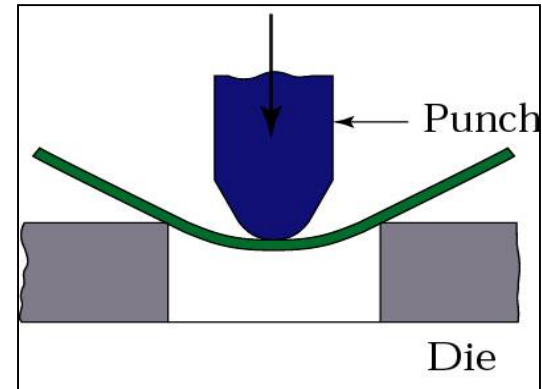
Dobra com dupla ação



Dobra com um apoio



Dobra em matriz aberta

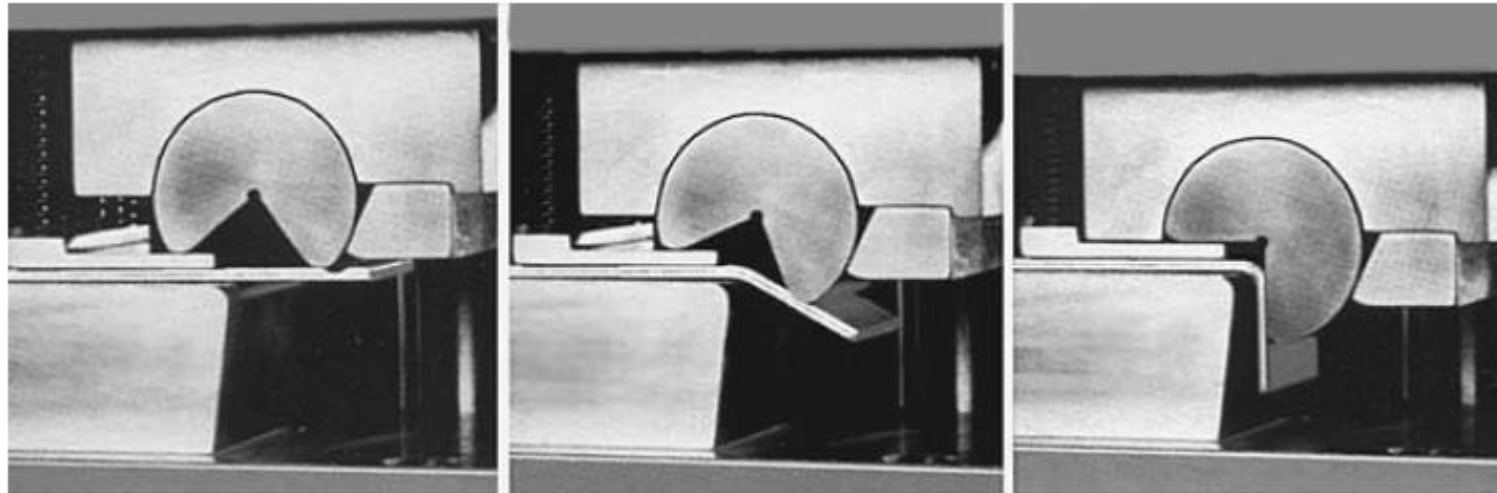
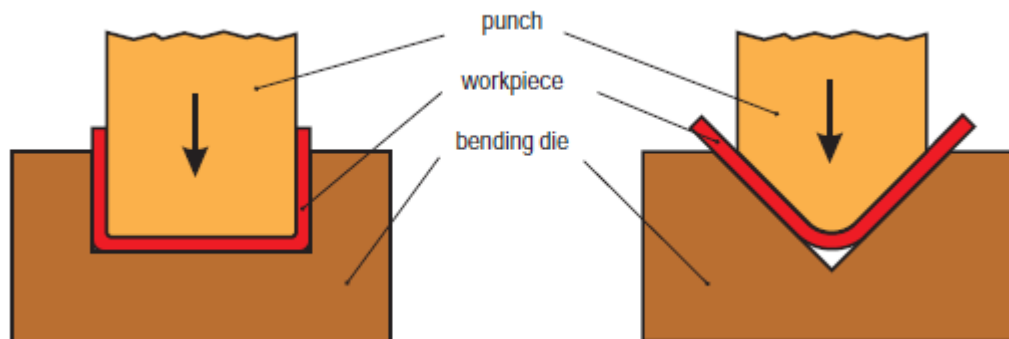


# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Operações de dobra de chapas

Dobra em "U"

Dobra em "V"

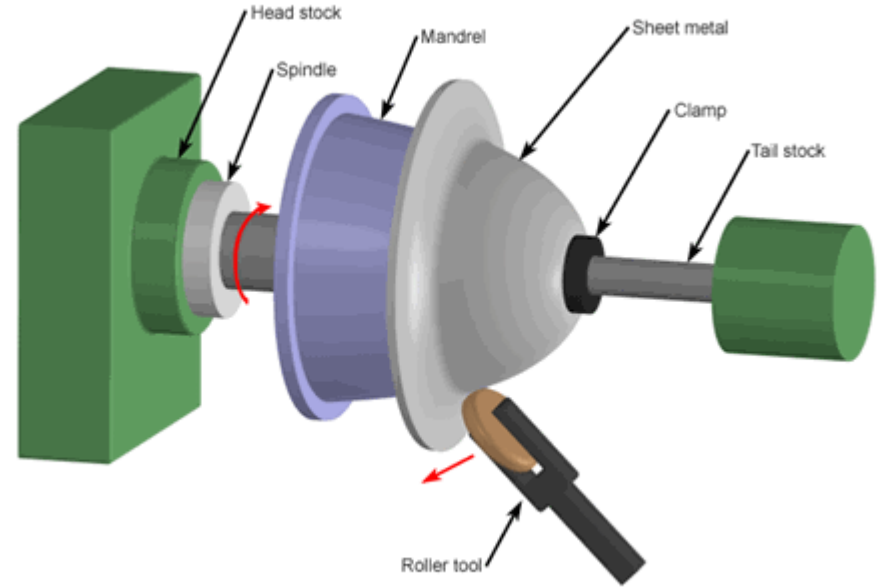
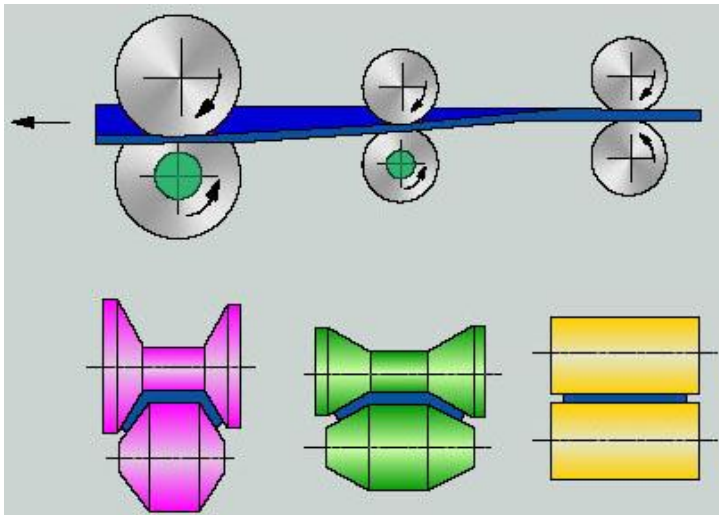


Dobra com punção rotativo

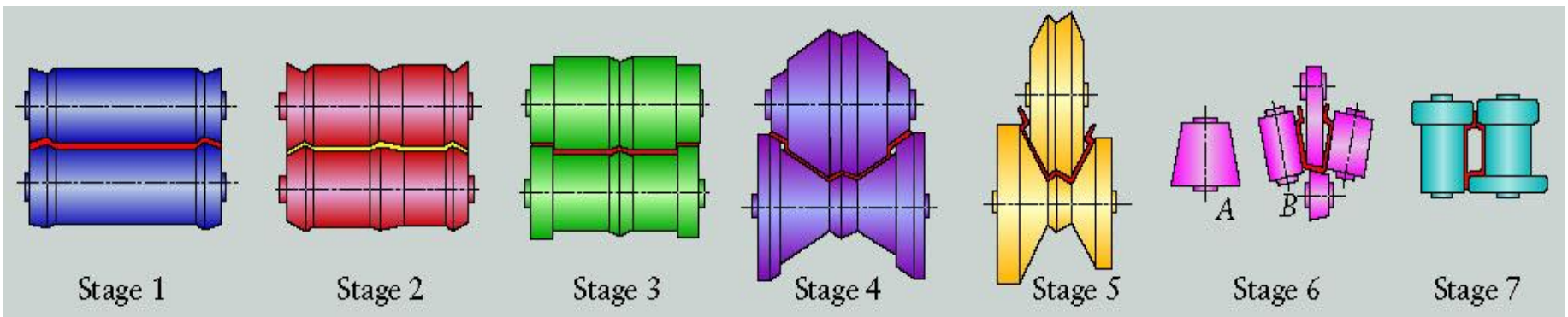
# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Operações de dobra de chapas

### Dobra contínua por rolos



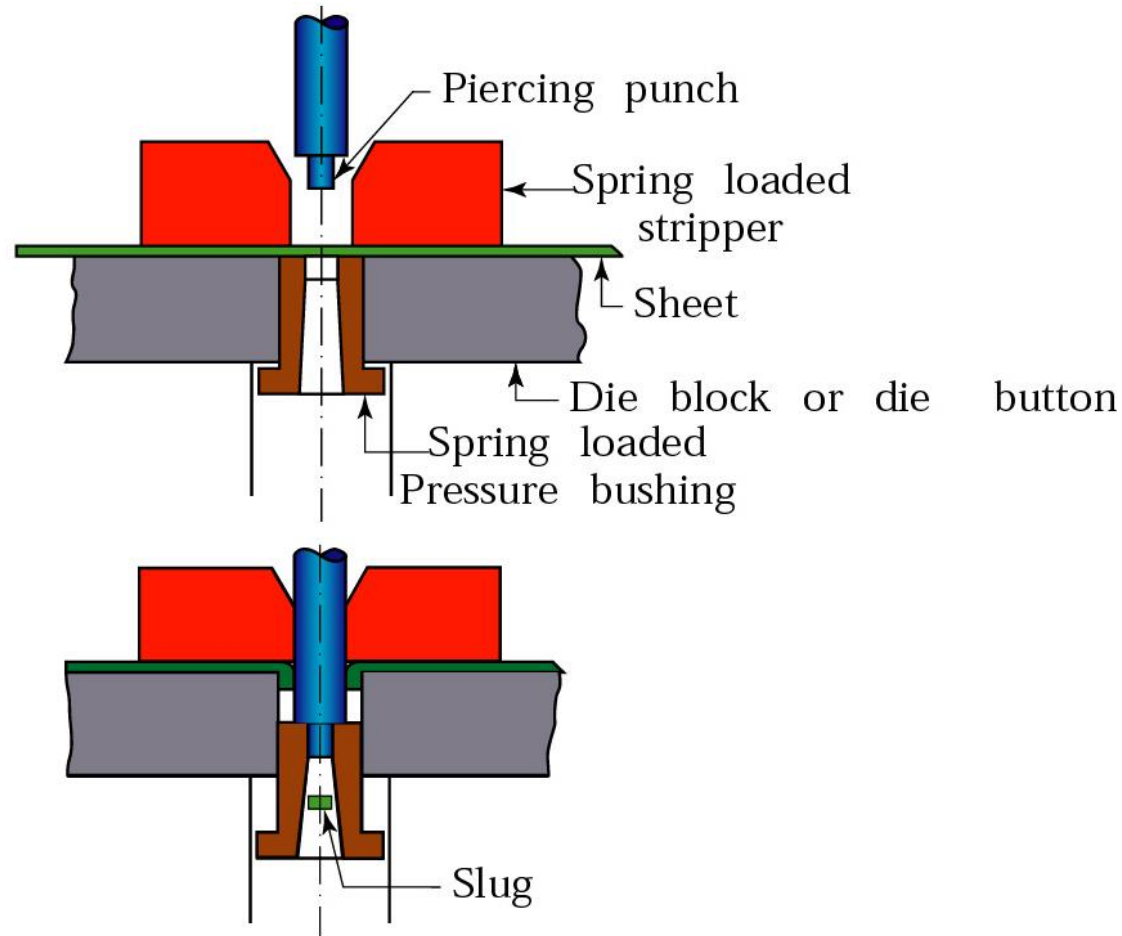
### Dobra em torneamento com puñção



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Operações de dobra de chapas

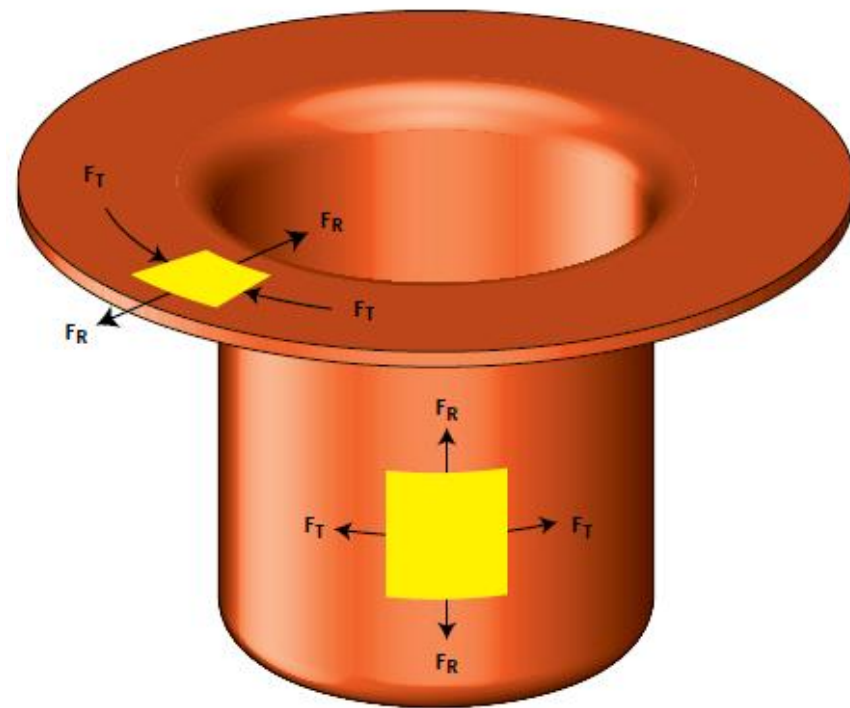
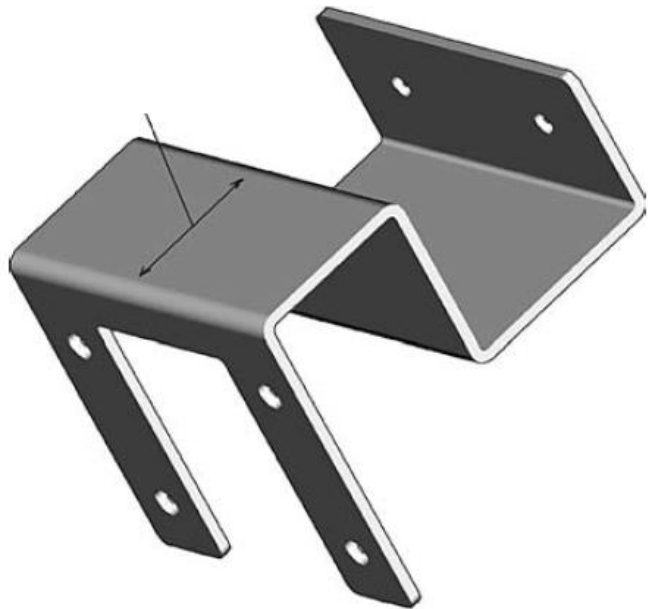
### Furo e dobra progressivos





# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Exemplos de peças com dobra de chapas



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Raio mínimo para a dobra

Table 4.8.1: Minimum bending radius  $r_{i,min}$  for bending angles  $\alpha$  under  $120^\circ$

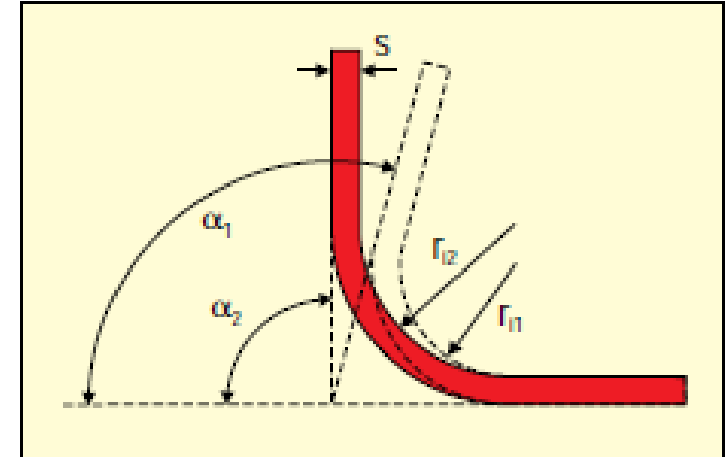
		Smallest admissible bending radius $r_{i,min}$ for sheet metal thickness $s$ [mm]							
Steel sorts with a minimum tensile strength [N/mm <sup>2</sup> ]	Bending direction compared to roller direction of sheet	1	> 1 to 1,5	> 1,5 to 2,5	> 2,5 to 3	> 3 to 4	> 4 to 5	> 5 to 6	> 6 to 7
		to 390	transverse	1	1.6	2.5	3	5	6
	longitudinal	1	1.6	2.5	3	6	8	10	12
over 390 to 490	transverse	1.2	2	3	4	5	8	10	12
	longitudinal	1.2	2	3	4	6	10	12	16
over 400 to 640	transverse	1.6	2.5	4	5	6	8	10	12
	longitudinal	1.6	2.5	4	5	8	10	12	16
		Smallest admissible bending radius $r_{i,min}$ for sheet metal thickness $s$ [mm]							
Steel sorts with a minimum tensile strength [N/mm <sup>2</sup> ]	Bending direction compared to roller direction of sheet	> 7 to 8	> 8 to 10	> 10 to 12	> 12 to 14	> 14 to 16	> 16 to 18	> 18 to 20	
		to 390	transverse	12	16	20	25	28	36
	longitudinal	16	20	25	28	32	40	45	
over 390 to 490	transverse	16	20	25	28	32	40	45	
	longitudinal	20	25	32	36	40	45	50	
over 400 to 640	transverse	16	20	25	32	36	45	50	
	longitudinal	20	25	32	36	40	50	63	

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Retorno elástico (spring back)

Table 4.8.2: Springback factor  $k_R$

Material	Springback factor $k_R$	
	$r_{i2}/s = 1$	$r_{i2}/s = 10$
St 0-24, St 1-24	0.99	0.97
St 2-24, St 12	0.99	0.97
St 3-24, St 13	0.985	0.97
St 4-24, St 14	0.985	0.96
stainless austenitic steels	0.96	0.92
high temperature ferritic steels	0.99	0.97
high temperature austenitic steels	0.982	0.955
nickel w	0.99	0.96
Al 99 5 F 7	0.99	0.98
Al Mg 1 F 13	0.98	0.90
Al Mg Mn F 18	0.985	0.935
Al Cu Mg 2 F 43	0.91	0.65
Al Zn Mg Cu 1.5 F 49	0.935	0.85

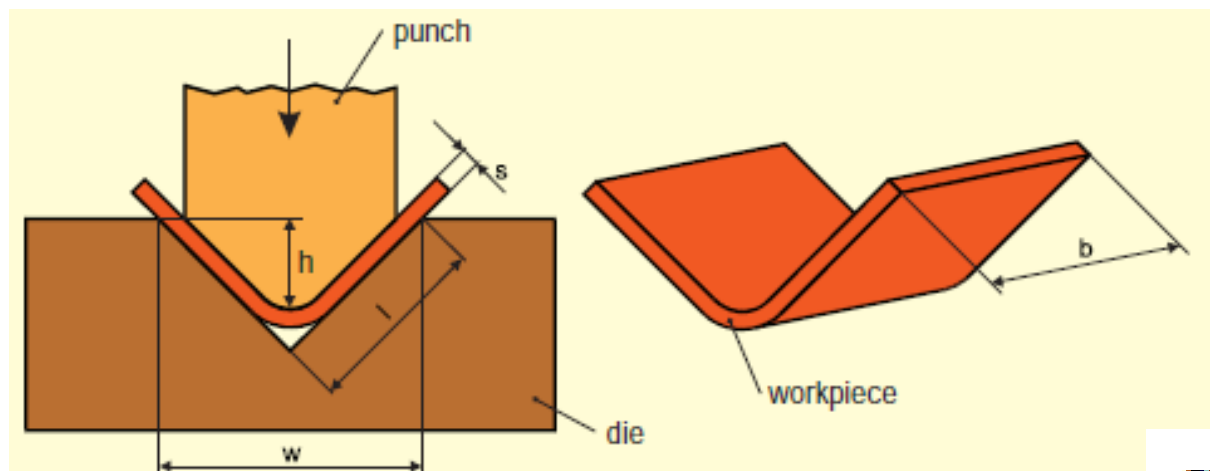


$$k_R = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_{i1} + 0.5 \cdot s}{r_{i2} + 0.5 \cdot s} [-],$$

- With  $\alpha_1$ : angle at the die (required bending angle) [°],
- $\alpha_2$ : desired angle at the workpiece (after springback) [°],
- $s$ : sheet metal thickness [mm],
- $r_{i1}$ : inside radius at the die [mm],
- $r_{i2}$ : inside radius at the workpiece [mm].

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Força e trabalho para dobrar em matriz "V"



$$l = 6 \cdot s \quad [\text{mm}]$$

$$F_b = \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_m}{w} \quad [\text{N}] \quad \text{for } w/s \geq 10$$

or

$$F_b = \left(1 + \frac{4 \cdot s}{w}\right) \cdot \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_m}{w} \quad [\text{N}] \quad \text{for } w/s < 10$$

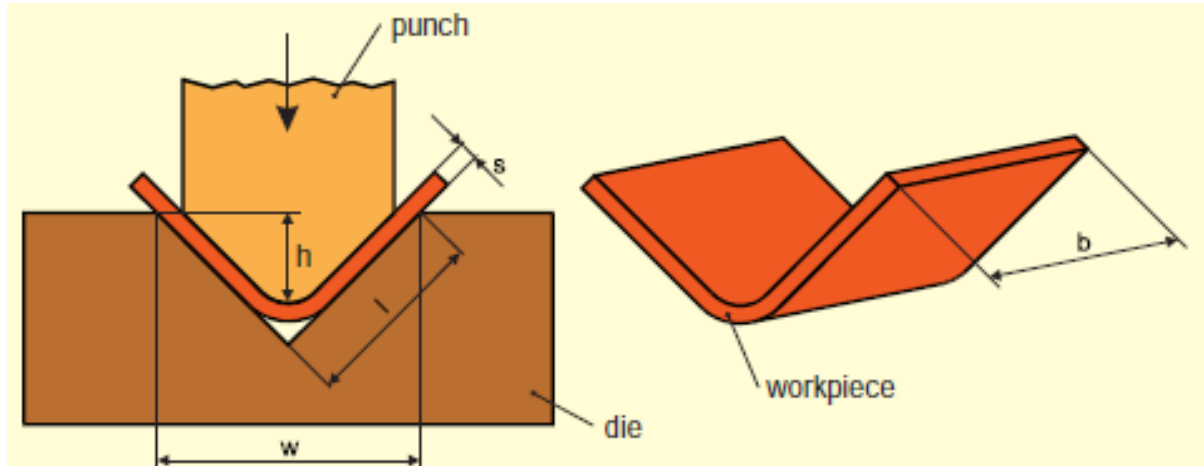
$$W_b = x \cdot F_b \cdot h \quad [\text{Nm}],$$

$$x = 0,3 \text{ a } 0,6$$

$$R_m = \text{Tabela}$$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Força para dobrar em matriz "V"



$$r \geq ks$$

$$k = 0,85 \frac{\sigma_r}{\delta} + 0,5$$

$r$  = raio min. de dobra

$\delta$  = alongamento (%)

$$F_b = \frac{2}{3} \frac{bs^2 \sigma_b}{w}$$

$\sigma_b$  = tensão de dobra dada por

$$\sigma_b = 2\sigma_r$$

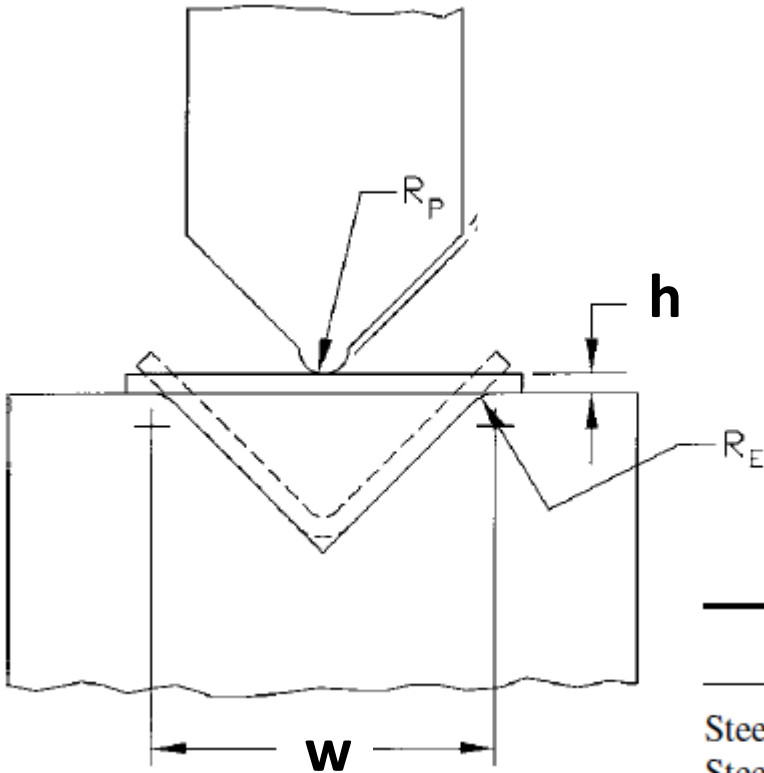
Para  $w/s \geq 10$

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Força para dobrar em matriz "V"

$$F_b = k_v \frac{bh^2 \sigma_d}{w}$$

$k_v = 0,75$  a  $2,5$  (valores maiores para menores razões  $R_p/h$ ). O valor de  $1,33$  é usado se  $W > 8h$

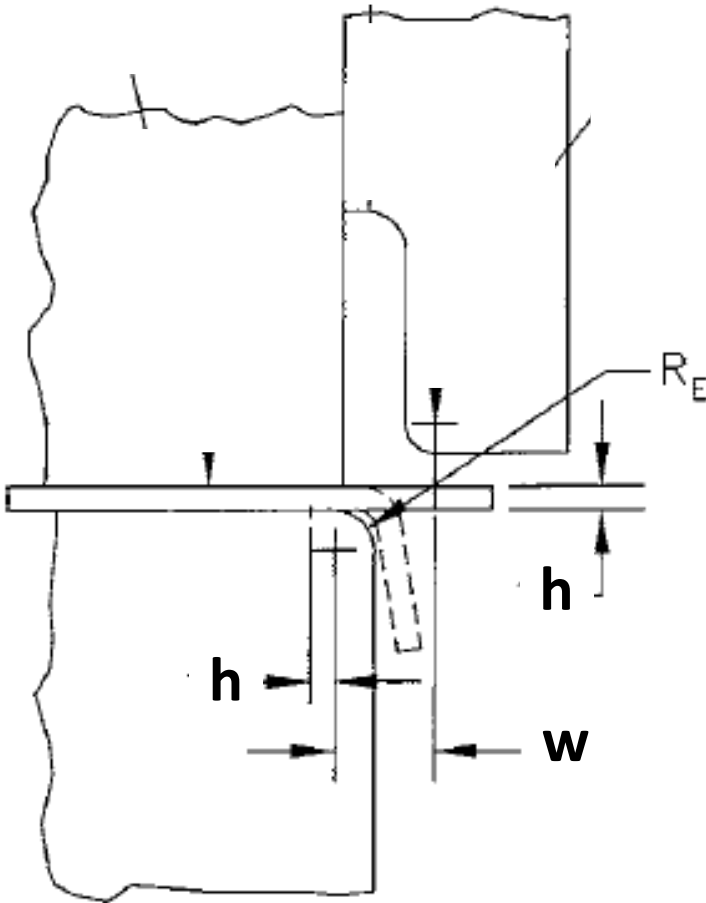


	Tons/In. <sup>2</sup>	MPa [N/mm <sup>2</sup> ]
Steel, low carbon, 1025	30–51.5	410–710
Steel, medium carbon, 1045	40–91	550–1,250
Steel, high carbon, 1095	45–106.5	620–1,470
Steel, stainless, 303	42.5–62.5	585–860
Aluminum alloy, cold worked	6.0–31.5	80–435
Aluminum alloy, heat treated	11.0–41.5	150–570
Copper	16–28.5	220–390
Phosphor bronze	20–64	275–880
Zinc	9.75–15.5	135–215

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Força para dobrar em matriz com um ponto de apoio

$$F_b = \frac{bh^2\sigma_d}{w}$$



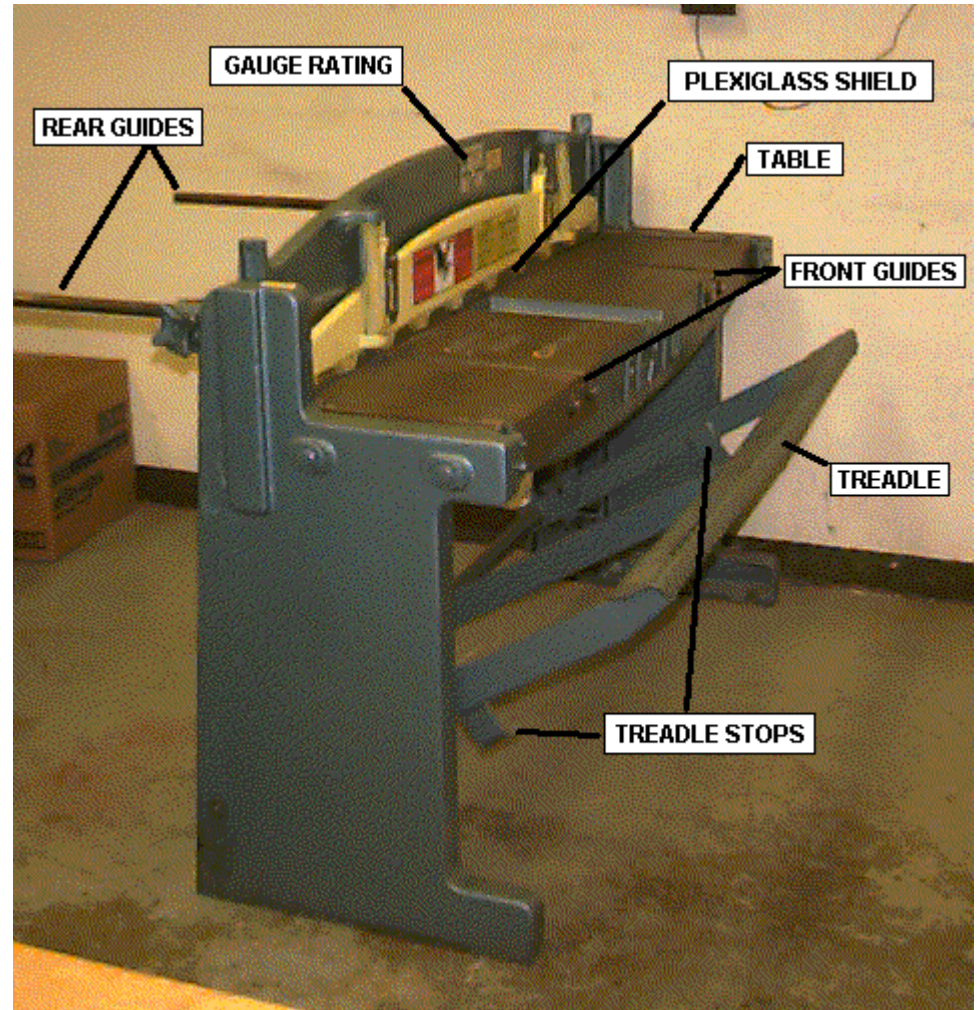
**Handbook of Die  
Design -2nd ed. 2006**

	Tons/In. <sup>2</sup>	MPa [N/mm <sup>2</sup> ]
Steel, low carbon, 1025	30–51.5	410–710
Steel, medium carbon, 1045	40–91	550–1,250
Steel, high carbon, 1095	45–106.5	620–1,470
Steel, stainless, 303	42.5–62.5	585–860
Aluminum alloy, cold worked	6.0–31.5	80–435
Aluminum alloy, heat treated	11.0–41.5	150–570
Copper	16–28.5	220–390
Phosphor bronze	20–64	275–880
Zinc	9.75–15.5	135–215

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Máquinas para corte de chapas

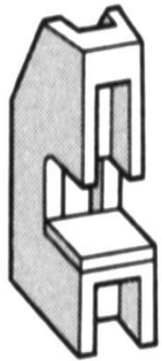
Máquina manual de cortar



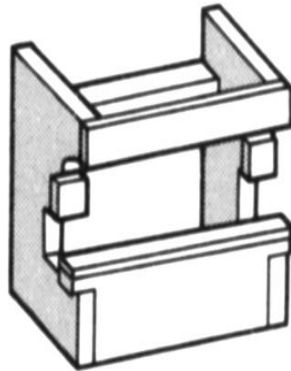


# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

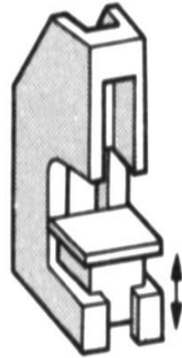
## Modelos esquemáticos de prensas para corte e dobra de chapas



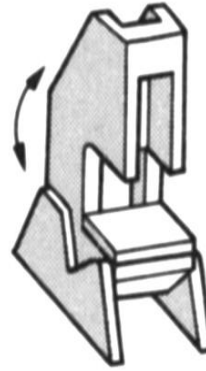
Basic  
C-frame  
design



Wide  
design



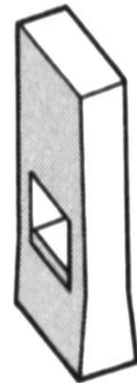
Adjustable  
bed



Open-back  
inclinable



Pillar



Double column

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Ferramentas e prensas para corte e dobra de chapas

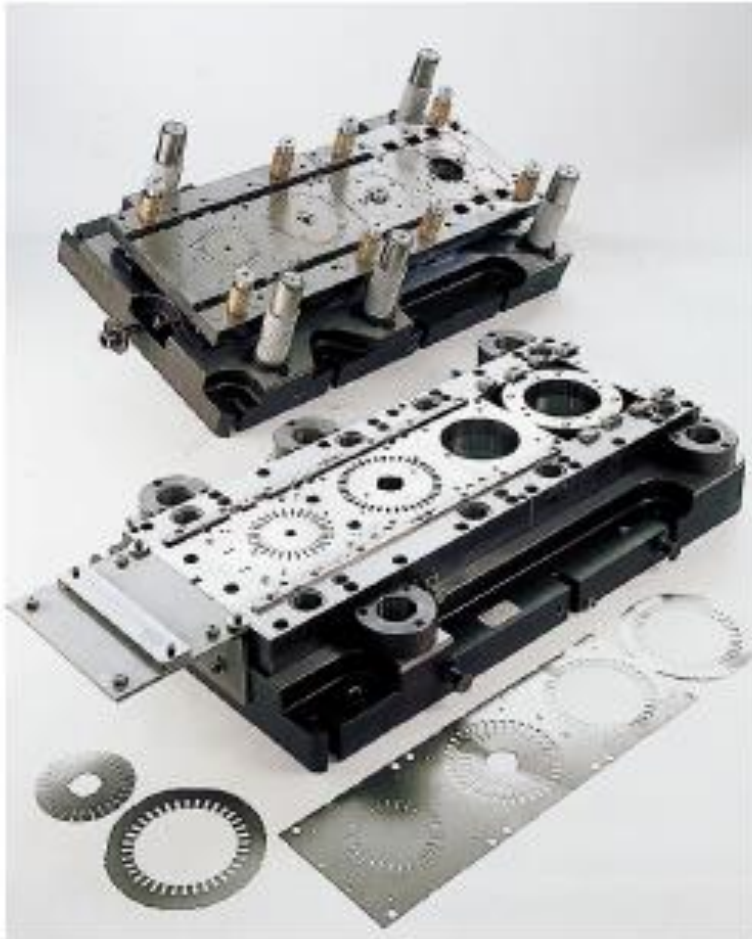


**Estampo de corte com 4 guias**



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Ferramentas e prensas para corte e dobra de chapas



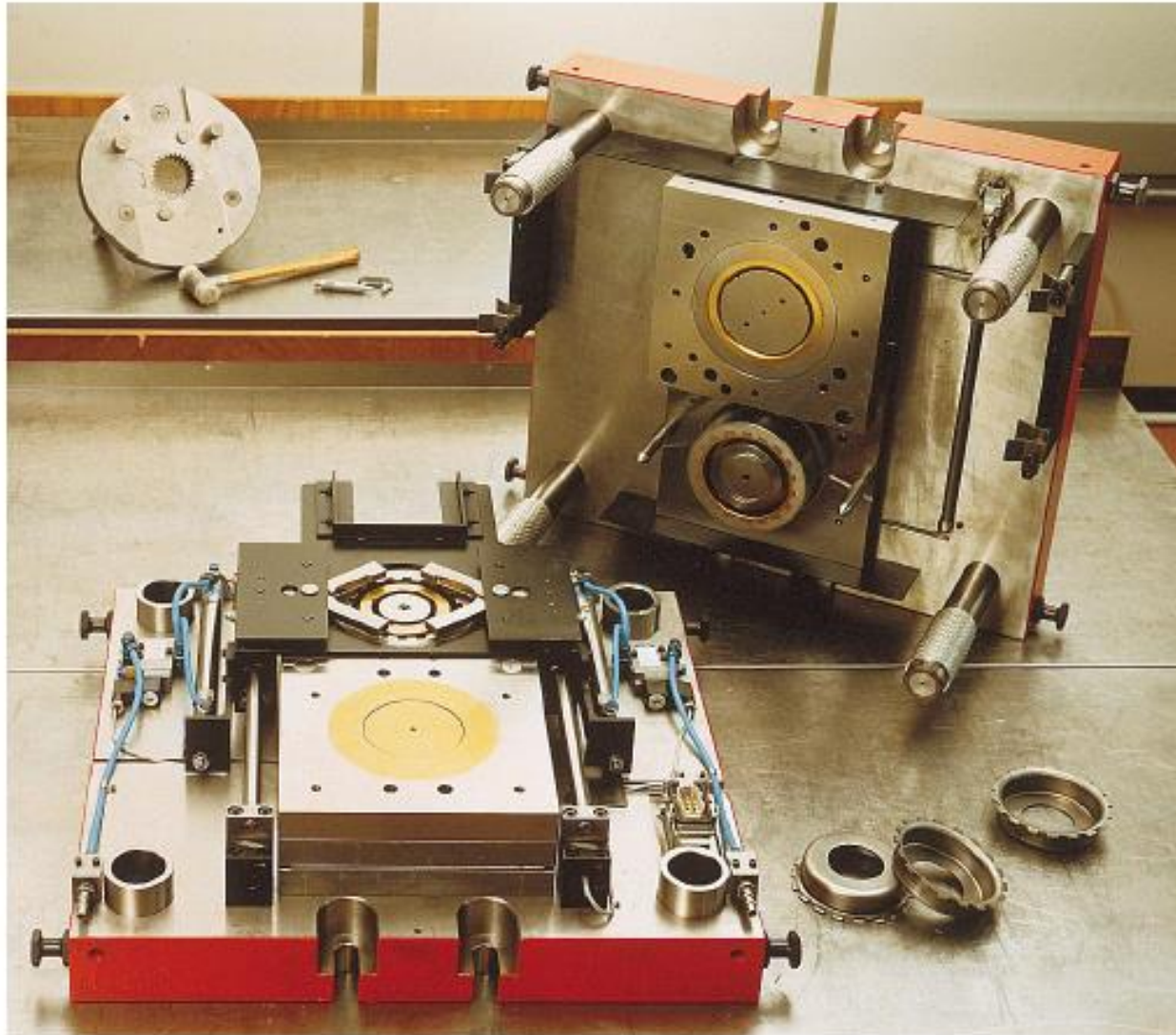
**Estampo de corte progressivo**

## Prensa com alimentador automático



# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Ferramentas para corte e dobra de chapas



**Estampo com  
corte e repuxo**

# CORTE E DOBRA DE DE CHAPAS

## Prensas de corte e dobra de chapas

