

SEP282 – PROCESSOS PARA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

- **AULA 5**
- **PROCESSOS PRIMÁRIOS DE
CONFORMAÇÃO 3**

PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Forjabilidade de materiais para matrizes fechadas

Aumento da resistência ao escoamento →

	Baixo	Médio	Alto
Bom	1030 (aço C) 4340 (aço liga) H11 (aço ferr.) 6061 (Liga Al)	304 (aço inóx) Ti-6Al-4V	Molibdênio 16-26-6 (aço inóx)
Moderado	AZ80 (liga Magnésio) 7075 (liga Al)	A286 (Aço Inóx) INCO901 (liga Ni) 17-7PH (Inóx) Ti-5Al-26Zn	WASPALOY (liga Ni) Ti-13V-11Cr-3Al Ni55 (Liga Ni-Cr-Co)
Pobre	1130 (aço liga) Aços Resulfurados	321 (Inóx) 15-7 Mo (Inóx)	RENE 41 (liga de Ni) HASTELLOY (liga de Ni) HASTELLOY B (liga de Ni)

Diminui forjabilidade ↓

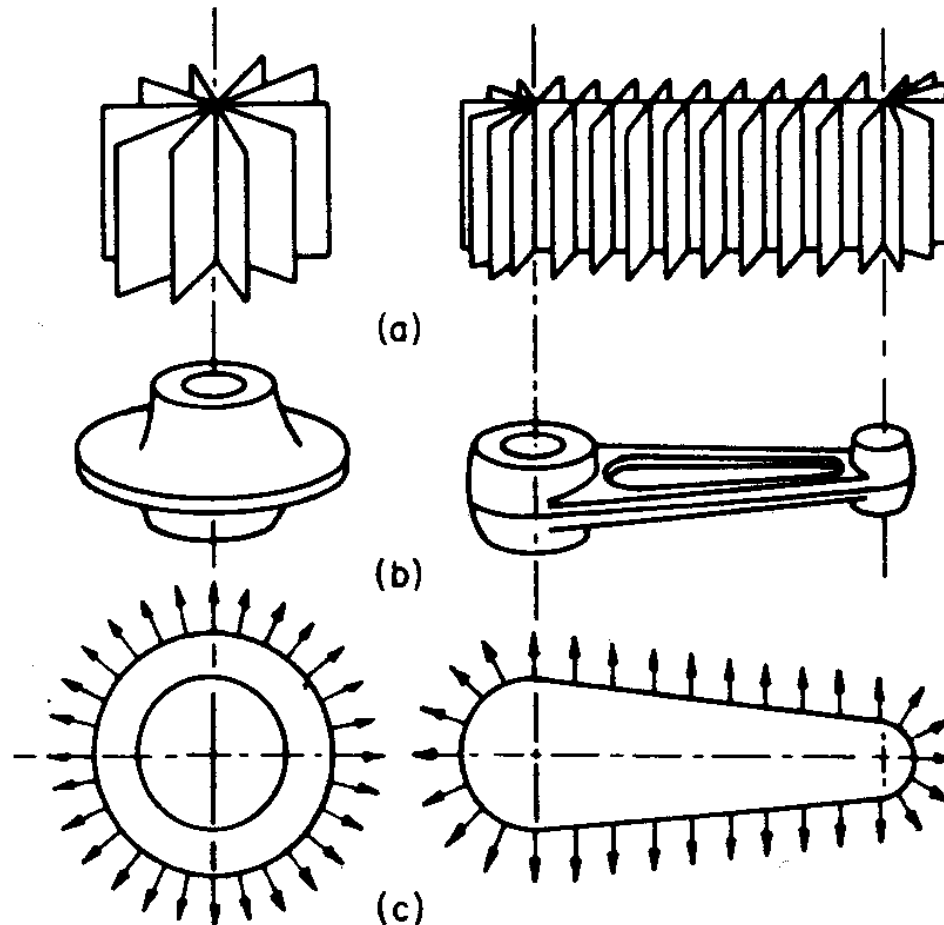
PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Temperaturas típicas de forjamento

Metal ou liga forjamento °C	Faixa aproximada de temperatura de
Ligas de alumínio (menos difícil)	400-550
Ligas de Magnésio	250-350
Ligas de cobre	600-900
Aços carbono e de baixa liga	850-1150
Aços inoxidáveis martensíticos	1100-1250
Aços “Maraging”	1100-1125
Aços inoxidáveis austeníticos	1100-1125
Ligas de níquel	1000-1150
Aços inoxidáveis semi-austeníticos PH	1100-1250
Ligas de titânio	700-950
Superligas a base de ferro	1050-1180
Superligas a base de cobalto	1180-1250
Ligas de nióbio	950-1150
Ligas de Tântalo	1050-1350
Ligas de molibdênio	1150-1350
Superligas a base de níquel	1050-1200
Ligas de tungstênio (mais difíceis)	1200-1300

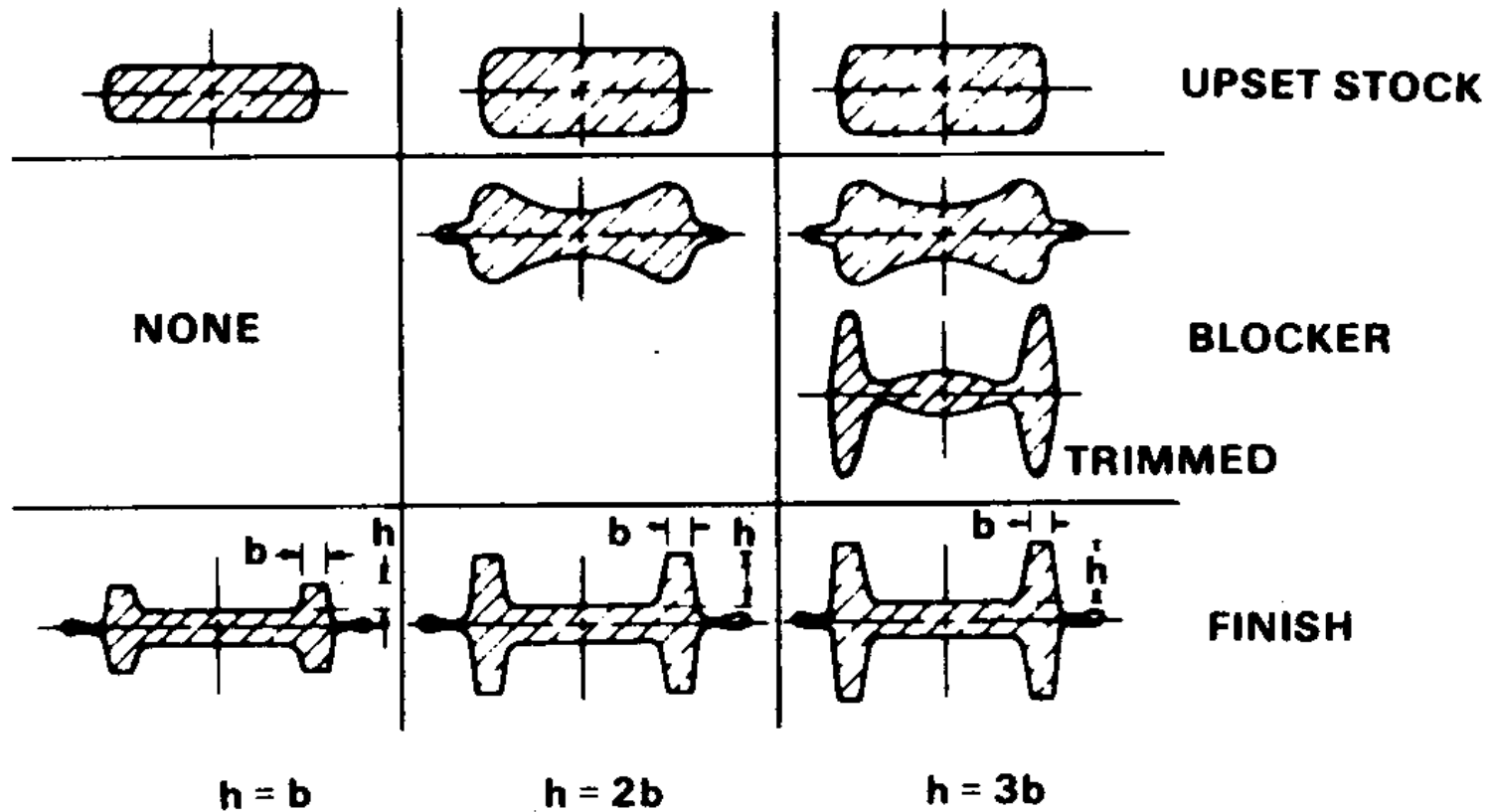
PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Planejamento adequado do fluxo de material



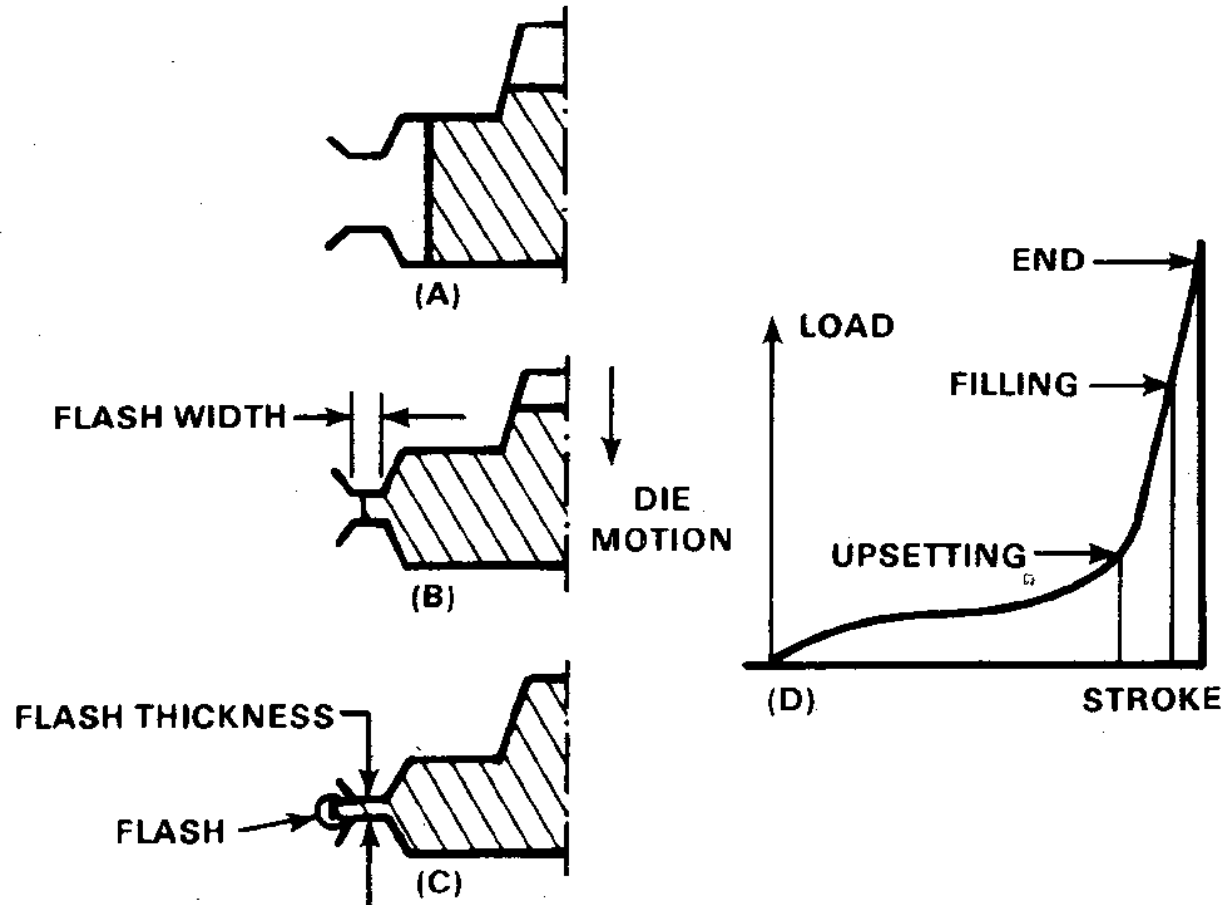
PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Projeto da pré-forma



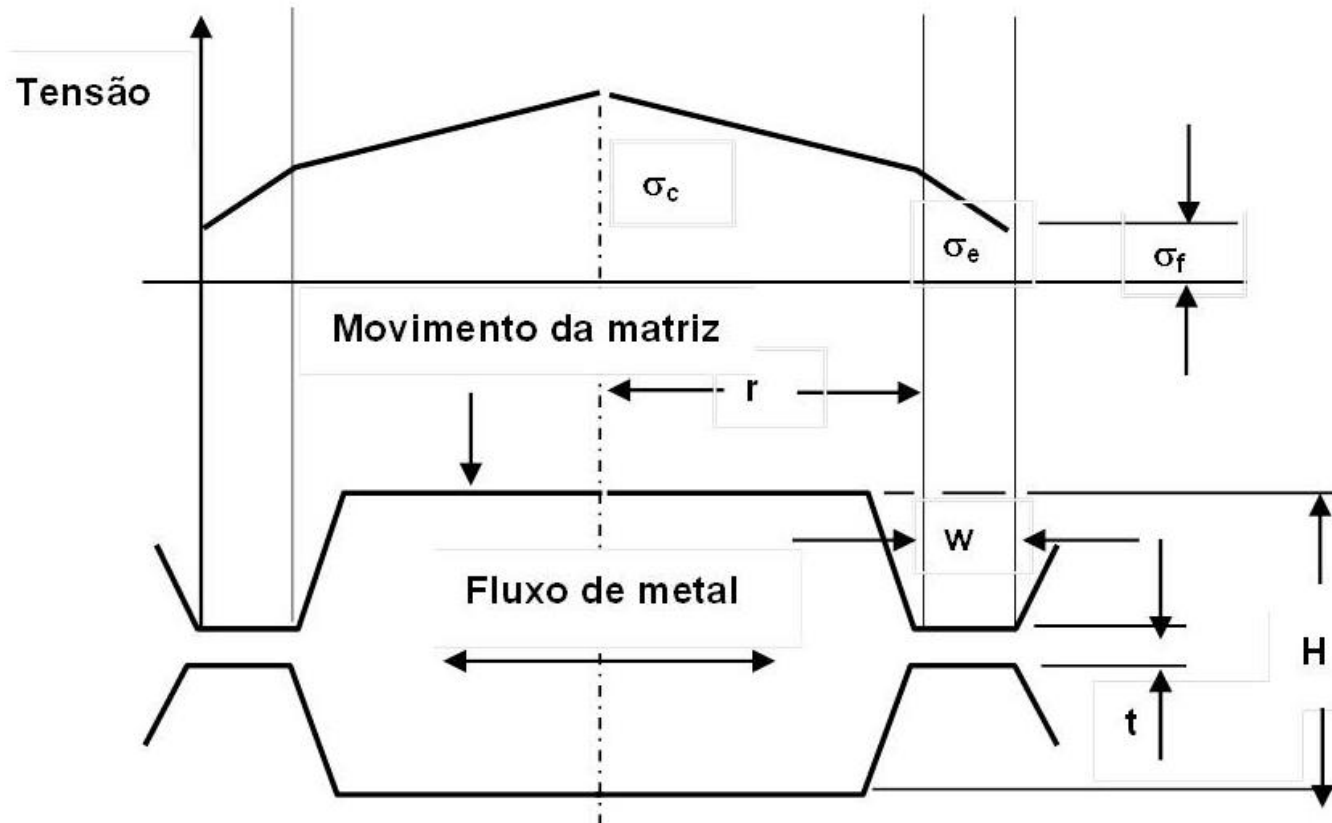
PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Relação entre o
fluxo de material
e a carga na
máquina



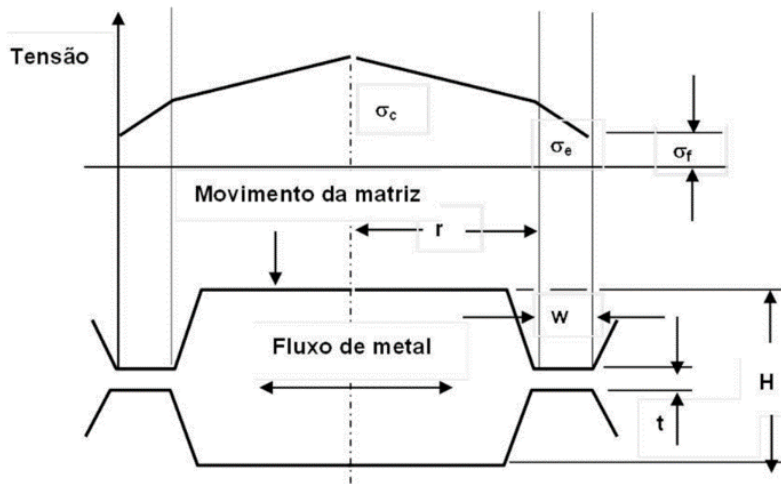
PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Carga para o forjamento em matriz fechada



PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Matriz fechada caso axissimétrico



$$\sigma_{ea} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} m \frac{w}{t} + 1 \right) \sigma_f$$

Sendo σ_f a tensão de escoamento do material
 σ_{ea} a tensão de escoamento da rebarba (*flash*)

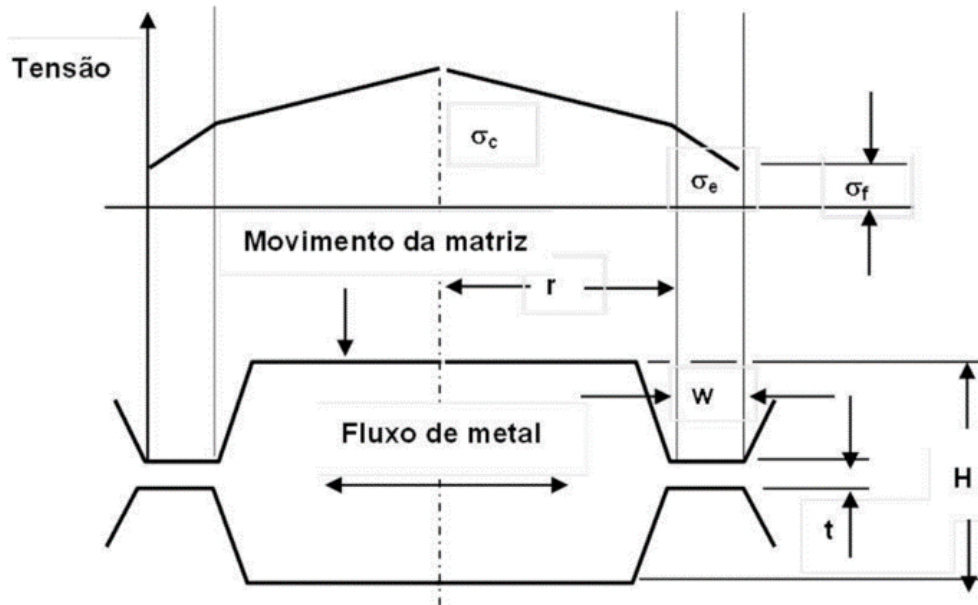
$$P_{fa} = 2\pi\sigma_f \left[-\frac{2}{3} \frac{m}{\sqrt{3}} \frac{1}{t} (R^3 - r^3) + \left(1 + 2 \frac{m}{\sqrt{3}} \frac{R}{t} \right) \left(\frac{R^2 - r^2}{2} \right) \right] \quad R = r + w$$

$$P_{ca} = 2\pi r^2 \left(\frac{m}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_c}{3} \frac{r}{H} + \frac{\sigma_{ea}}{2} \right)$$

$$P_{ta} = P_{fa} + P_{ca}$$

PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Matriz fechada caso plano



$$\sigma_{ep} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f \left(1 + m \frac{w}{t} \right)$$

$$P_{fp} = \frac{2}{\sqrt{3}} w \sigma_f \left(2 + \frac{mw}{t} \right)$$

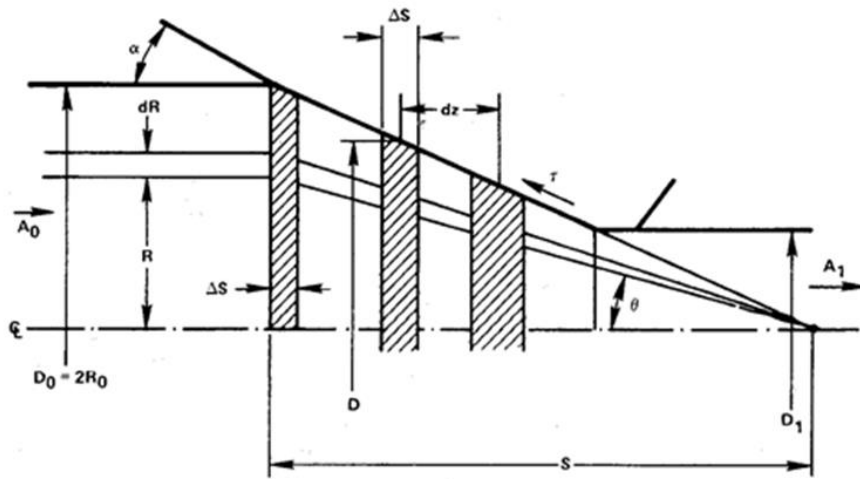
$$P_{cp} = \left(\sigma_{ep} + \frac{L}{2H} \frac{m}{\sqrt{3}} \sigma_c \right) L$$

$$L = 2r$$

$$P_{tp} = P_{fp} + P_{cp}$$

PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Trefilação de barras e arames



Energia de deformação homogênea

$$E_{dh} = V \bar{\sigma}_a \ln(A_0/A_1)$$

$$\bar{\sigma}_a = (\bar{\sigma}_\theta + \bar{\sigma}_\alpha)/2$$

Energia de atrito

$$E_f = V \tau_f \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) \frac{1}{\cos \alpha \operatorname{sen} \alpha}$$

Energia de deformação por cisalhamento

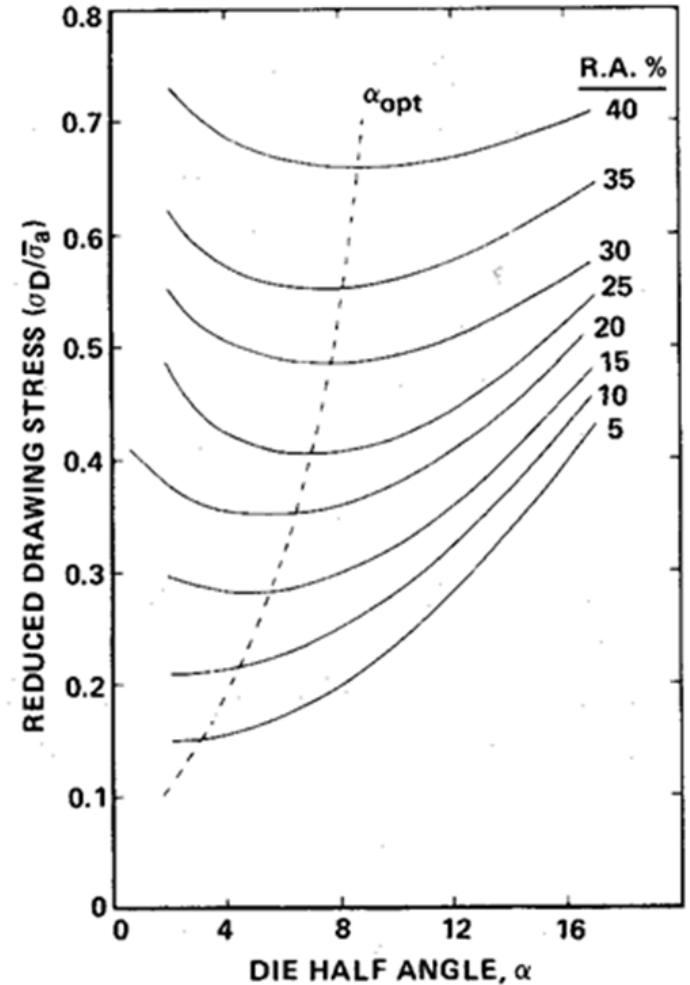
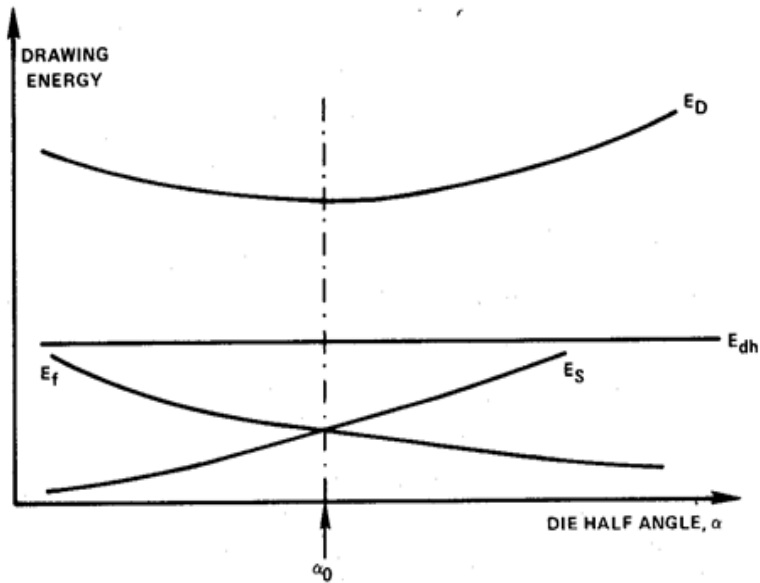
$$E_s = \frac{2}{3} V \alpha \left(\frac{2\bar{\sigma}_a}{\sqrt{3}} \right)$$

Tensão total de trefilação

$$\sigma_D = (E_{dh} + E_f + E_s)/V$$

PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Ângulo ótimo da fieira

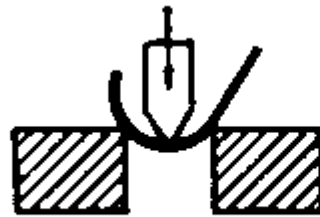


PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

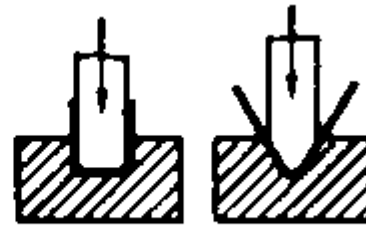
Dobramento



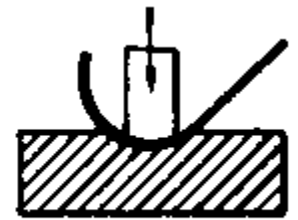
A



B



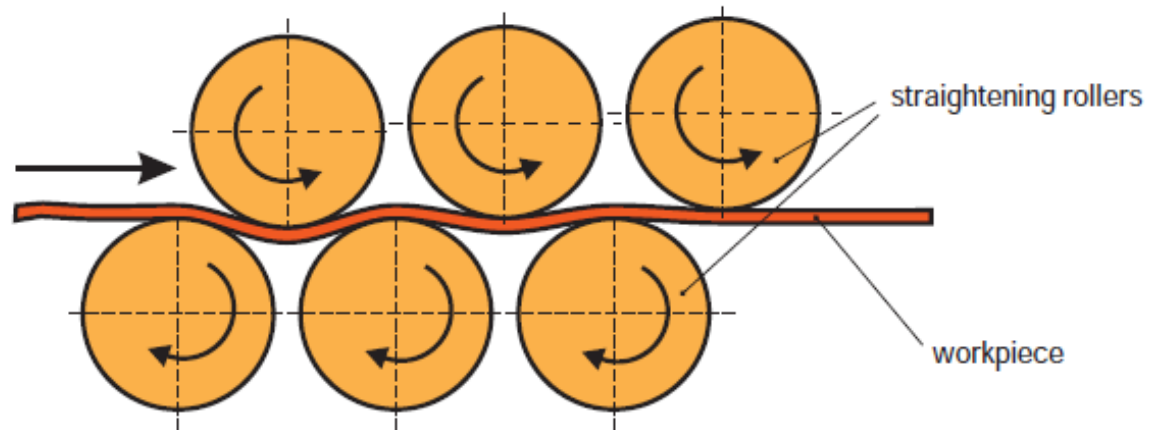
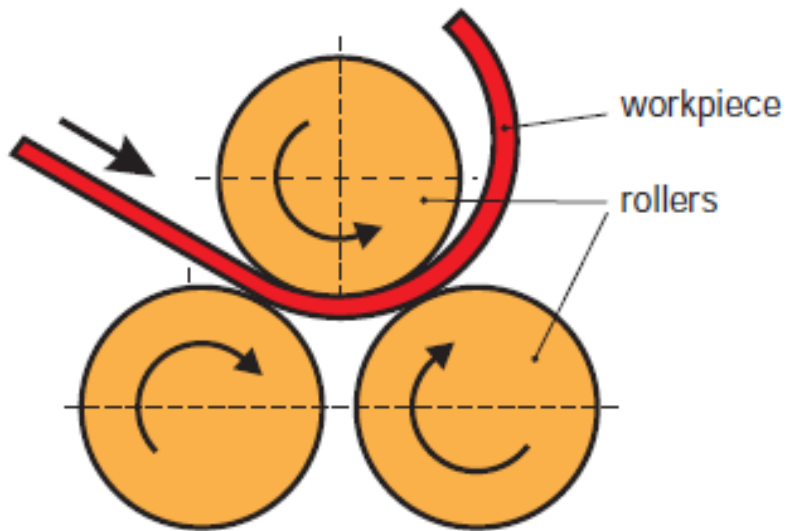
C



D

PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Calandragem e endireitamento de chapas



PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Repuxo profundo de chapas

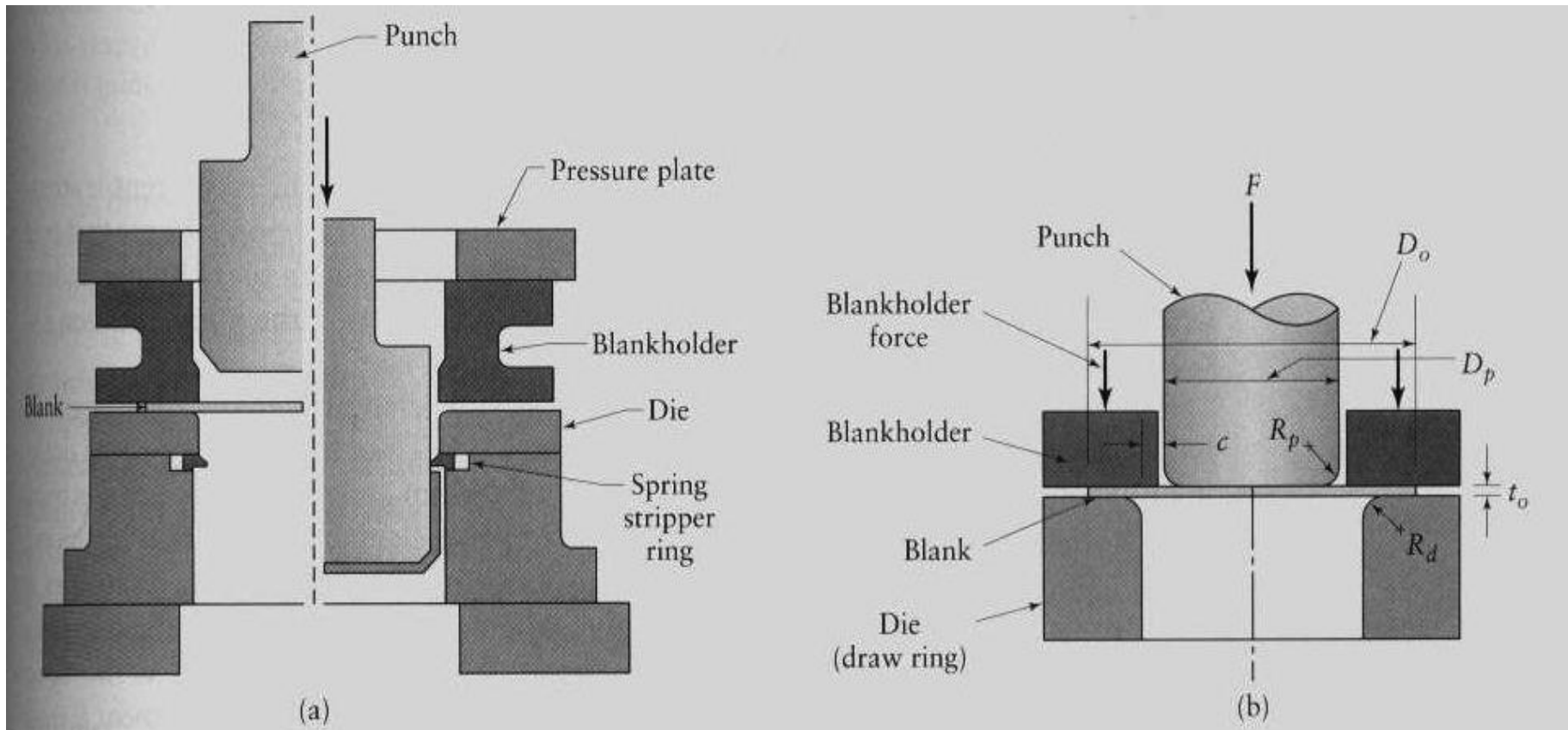
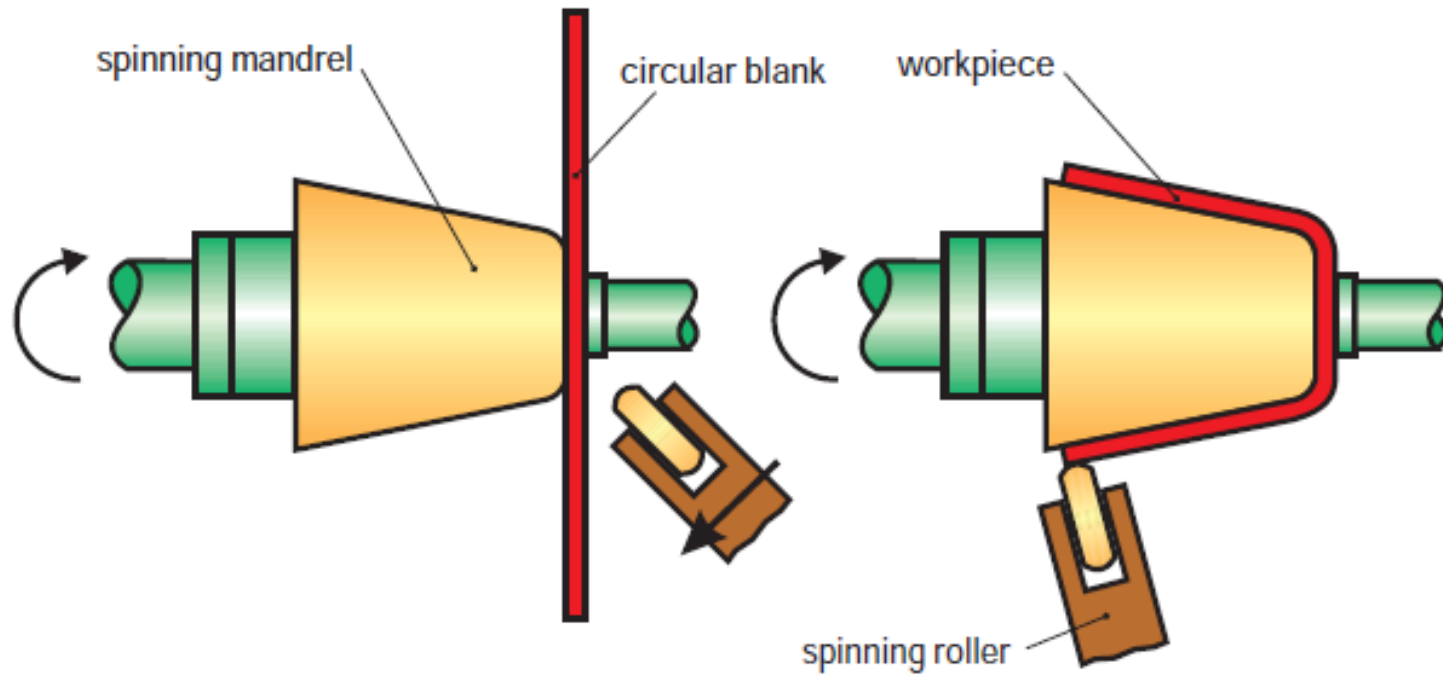


FIGURE 7.50 (a) Schematic illustration of the deep-drawing process. This procedure is the first step in the basic process by which aluminum beverage cans are produced today. The

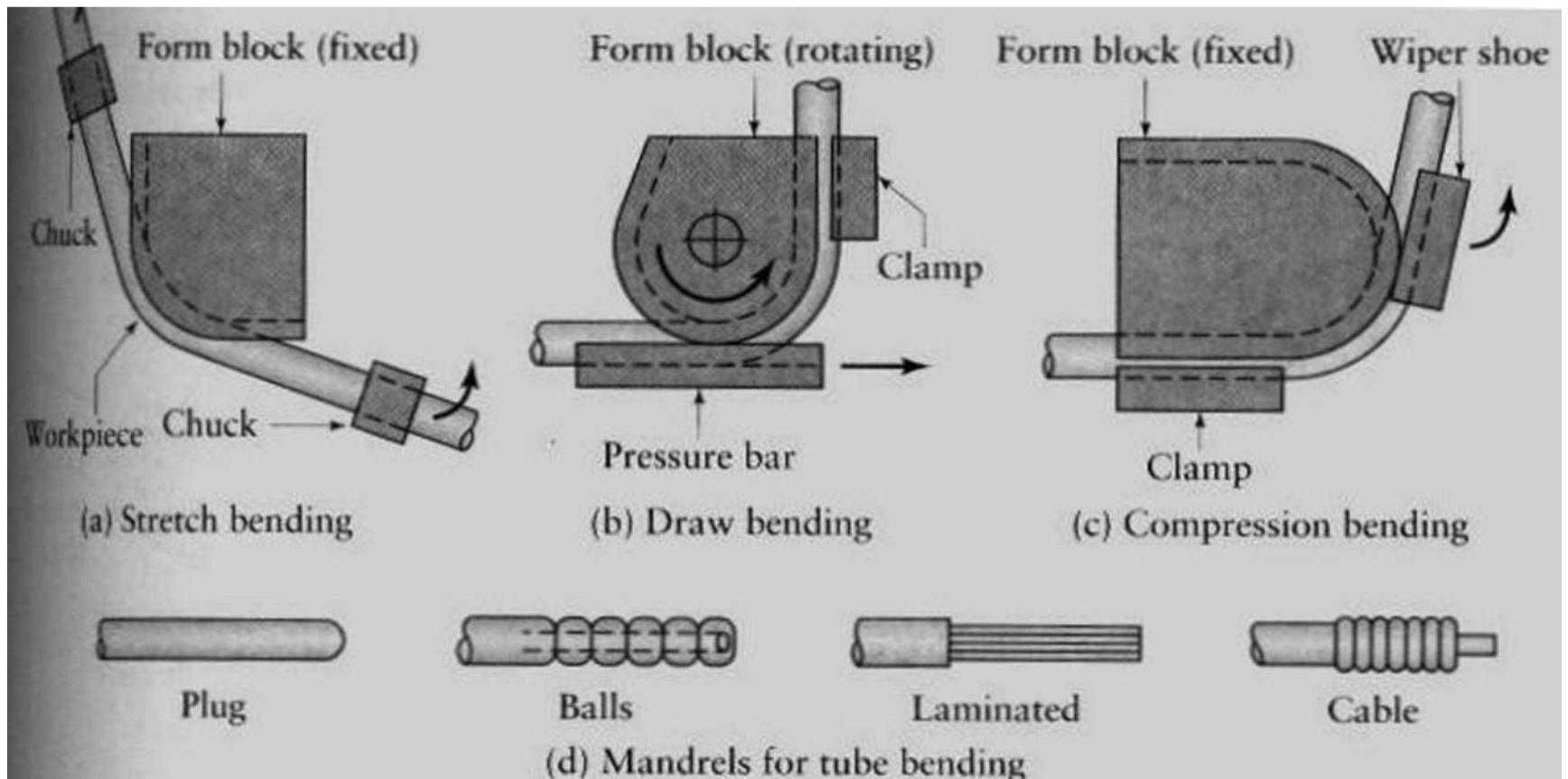
PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Repuxo por torneamento



PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Curvamento de tubos a frio



PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

HYDROFORMING

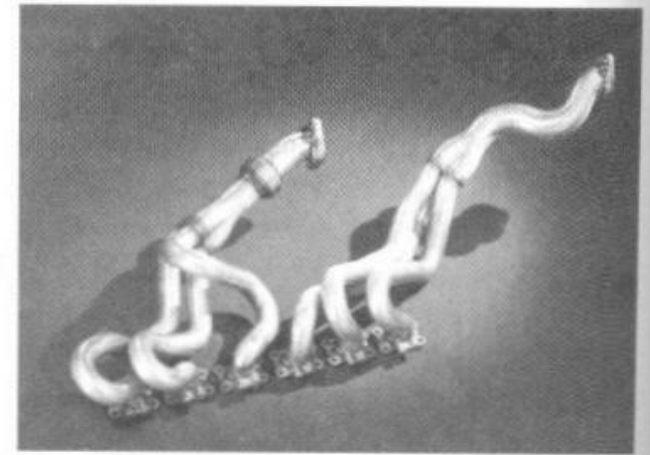
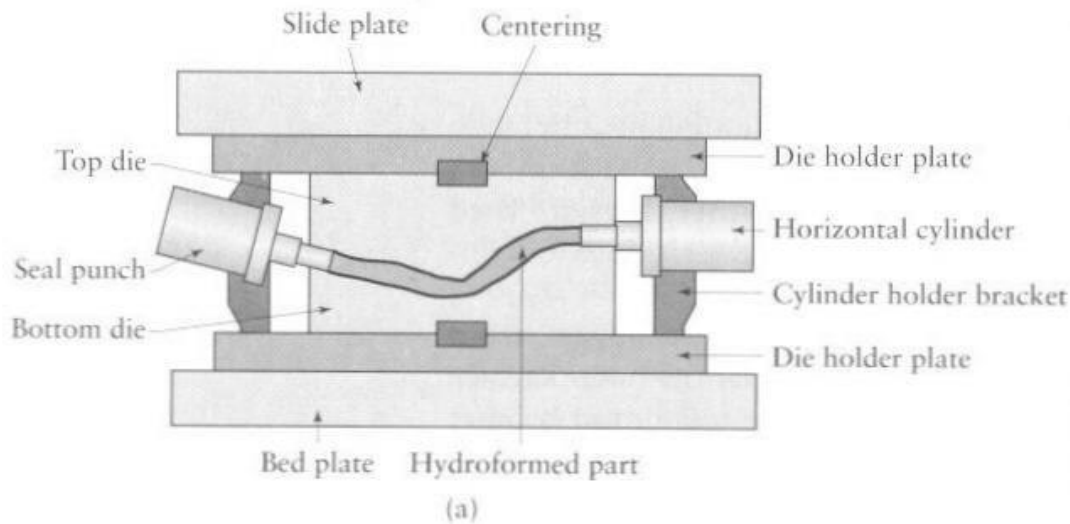


FIGURE 7.35 (a) Schematic illustration of the tube-hydroforming process. (b) Example of tube-hydroformed parts. Automotive exhaust and structural components, bicycle frames, and hydraulic and pneumatic fittings are produced through tube hydroforming. *Source:* Schuler GmbH.