

# **TECNOLOGIA DA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA**

## **VOL II – APLICAÇÕES INDUSTRIAIS (Enunciados de Exercícios Complementares)**

### **Nota Introdutória**

Este documento é um anexo ao livro Tecnologia Mecânica – Tecnologia da Deformação Plástica, Vol. 2 (Aplicações Industriais) editado pela Escolar Editora e contém enunciados de exercícios destinados a complementar o auto-estudo dos leitores.

Os exercícios não estão resolvidos e, portanto, aconselha-se que os leitores efectuem um estudo detalhado dos problemas resolvidos que se encontram incluídos no livro antes de tentarem resolver os problemas que são propostos neste documento.

A numeração dos enunciados inicia-se no número imediatamente seguinte ao do último exercício resolvido que se encontra disponível no correspondente capítulo do livro.

## CAPÍTULO 14

### Forjamento

#### Problema 14.10

Explique a razão pela qual é importante controlar a geometria e o volume das pré-formas de forjamento.

#### Problema 14.11

Proceda à representação gráfica da evolução da força com a redução em altura que resulta do forjamento a frio em matriz aberta de uma pré-forma cilíndrica de Cobre recozido com 25 mm de altura e 25 mm de diâmetro.

Considere valores de redução até 75% da altura inicial e analise três situações de atrito distintas recorrendo ao método da fatia elementar:

- a) Sem atrito
- b) Com atrito  $\mu = 0.1$
- c) Com atrito  $\mu = 0.2$

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Cobre recozido a 25°C:  $\sigma = 315 \varepsilon^{0.54}$  MPa

#### Problema 14.12

Uma pré-forma rectangular com 100 mm de comprimento, 20 mm de largura e 25 mm de espessura é forjada a frio em matriz aberta com atrito.

Utilize o método da fatia elementar para calcular o valor da força que é necessário aplicar para reduzir a altura inicial da pré-forma em 20%. Admita condições de deformação plástica plana e um valor do coeficiente de atrito de Amonton-Coulomb  $\mu = 0.3$ .

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do material da pré-forma:  $\sigma = 400 \varepsilon^{0.5}$  MPa.

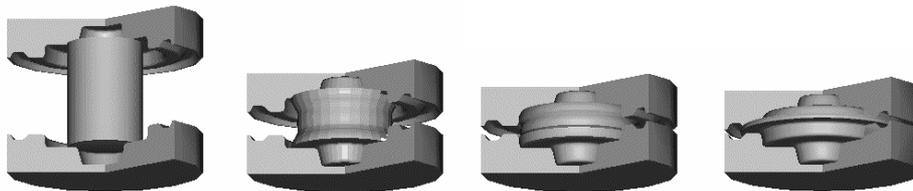
### Problema 14.13

Considere o forjamento em matriz aberta sem atrito de uma pré-forma de um material rígido-perfeitamente plástico realizado num martelo de queda por gravidade.

Estabeleça uma relação quantitativa entre a altura da peça que está a ser forjada e a velocidade instantânea do martelo de queda e proceda à sua representação gráfica.

### Problema 14.14

Considere a operação de forjamento a quente (1000°C) em matriz fechada que se encontra representada na figura.



A pré-forma utilizada no fabrico da flange é num cilindro de Aço AISI 1045 com 25 mm de diâmetro e 35 mm de altura.

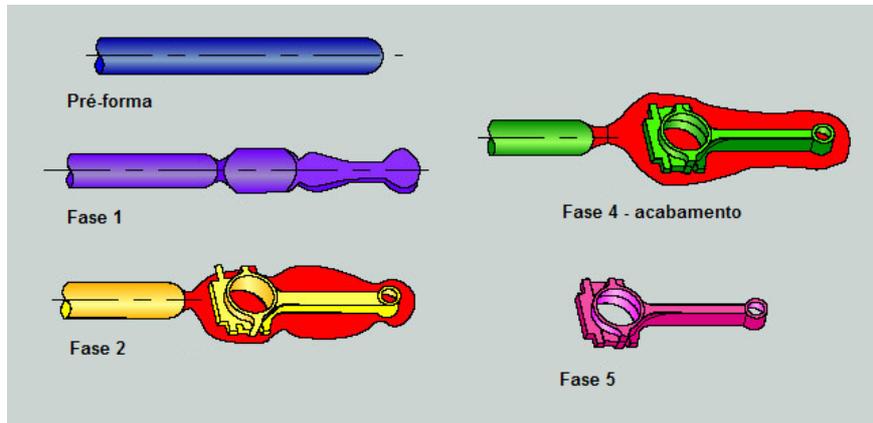
- Determine a força que é necessária para forjar a flange numa prensa hidráulica com uma velocidade de actuação constante  $v = 30$  mm/s considerando que a área projectada da peça pode ser aproximada por intermédio de um círculo com 50 mm de diâmetro. Utilize o método da energia uniforme e admita  $Q_f = 2.5$ .
- Determine a potência que é exigida à prensa no instante final da operação.
- Determine o tempo que é necessário para forjar uma peça.

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Aço AISI 1045 (1000°C):  $\sigma = 244 \dot{\epsilon}^{0.082}$  MPa

### Problema 14.15

Considere o instante correspondente à última operação de forjamento de uma biela de Aço AISI 1020 que se encontra representada na figura (fase 4 – acabamento, antes do corte de rebarba). A biela é forjada a quente em matriz fechada numa prensa mecânica a uma temperatura próxima dos 1200°C.



Estima-se que o volume total de material que é necessário para forjar a biela seja igual a 29000 mm<sup>3</sup> tendo no cálculo deste valor sido utilizado um excesso de 20% para contabilizar o material que é expelido para o canal e cavidade de rebarba. A área total projectada da biela na última operação de forjamento é igual a 5800 mm<sup>2</sup>, sendo 2300 mm<sup>2</sup> correspondentes à área projectada do canal e da cavidade de rebarba. A velocidade da matriz superior no instante de impacto com o material é igual a 0.25m/s.

- Calcule a carga de forjamento utilizando o método da energia uniforme.
- Determine a potência que é exigida à prensa no instante final da operação.

*Informações adicionais:*

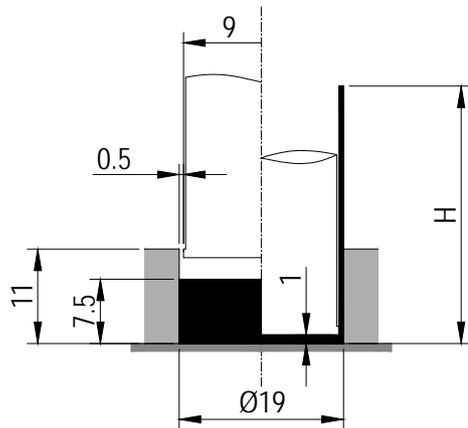
Comportamento mecânico do Aço AISI 1020 (1200°C):  $\sigma = 50 \dot{\epsilon}^{0.17}$  MPa

## CAPÍTULO 15

### Extrusão e trefilagem

#### Problema 15.6

Considere a operação de extrusão inversa a frio de um cartucho de Alumínio AA1100 que se encontra representada na figura.



(dimensões em mm)

- Determine a relação de extrusão.
- Determine a altura  $H$  do cartucho no final da operação (ver lado direito da figura).
- Calcule o valor da pressão aplicada no punção e na matriz.
- Calcule o valor da força de extrusão.
- Proceda a uma estimativa do valor da força de atrito que se desenvolve entre o material do cartucho e a superfície interior do contentor na fase final da operação de extrusão. Admita que o facto de atrito  $m = 0.1$ .

*Sugestão:*

Recorra à aplicação do método da energia uniforme

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Alumínio AA1100:  $\sigma = 140 \varepsilon^{0.25}$  MPa

### Problema 15.7

Um varão de Alumínio AA6060 com uma secção inicial igual a  $100 \text{ mm}^2$  sofre uma redução de área igual a 20 % durante uma operação de extrusão directa a frio.

- a) Determine o diâmetro final do varão.
- b) Calcule a tensão limite de elasticidade do varão extrudido.
- c) Calcule a força de extrusão, admitindo que não existe atrito entre o material e as paredes do contentor.
- d) Repita a alínea anterior admitindo que existe atrito. Considere para efeitos de resolução do problema que o comprimento inicial do varão no interior do contentor é igual a 125 mm, e que a tensão de corte devida ao atrito pode ser expressa através de  $\tau_{\text{atrito}} = 0.1 \sigma_{0.2}$ .

*Sugestão:*

Recorra à aplicação do método da energia uniforme

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Alumínio AA6060:  $\sigma = 290 \varepsilon^{0.09} \text{ MPa}$  e  $\sigma_{0.2} = 160 \text{ MPa}$

## CAPÍTULO 16

### Laminagem

#### Problema 16.5

Considere a operação de laminagem a frio de uma chapa de Alumínio (99.95%) com 2 mm de espessura e 300 mm de largura. O laminador disponível para efectuar esta operação possui as seguintes características:

Tipo: 2 rolos

Diâmetro dos rolos – 400 mm

Largura dos rolos – 500 mm

Velocidade de rotação – 30 r.p.m.

Potência do motor – 40 kW

Rendimento – 75%

- a) Proceda à dedução da expressão que permite determinar a máxima redução de espessura admissível na laminagem de chapas planas em função do coeficiente de atrito  $\mu$  e do raio  $R$  do rolo de laminagem.
- b) Aplique a expressão deduzida na alínea anterior ao laminador que se encontra disponível para efectuar a operação de laminagem a frio considerando que o coeficiente de atrito  $\mu$  entre a chapa e os rolos é igual a 0.15. Comente o resultado obtido.
- c) Calcule a potência necessária para efectuar a máxima redução de espessura que foi determinada na alínea b) e discuta qual deverá ser a viabilidade desta operação poder ser realizada com o laminador que se encontra disponível.

*Sugestão:*

Recorra à aplicação do método da energia uniforme

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Alumínio (99.95%):  $\sigma = 177.46 \epsilon^{0.190}$  MPa

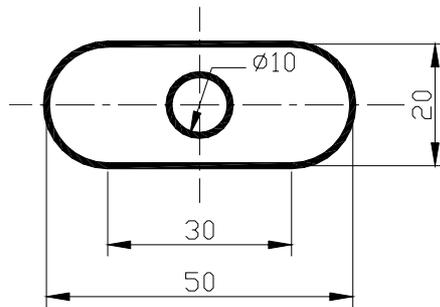
O valor de  $Q_{fs}$  deve ser obtido por consulta da figura 16.6 do livro.

## CAPÍTULO 17

### Corte por arrombamento

#### Problema 17.4

Pretende-se fabricar o 'espelho' de uma fechadura que se encontra representado na figura, através de corte por arrombamento convencional.



A peça deverá ser fabricada em Latão o qual será fornecido em chapas com 1 mm de espessura.

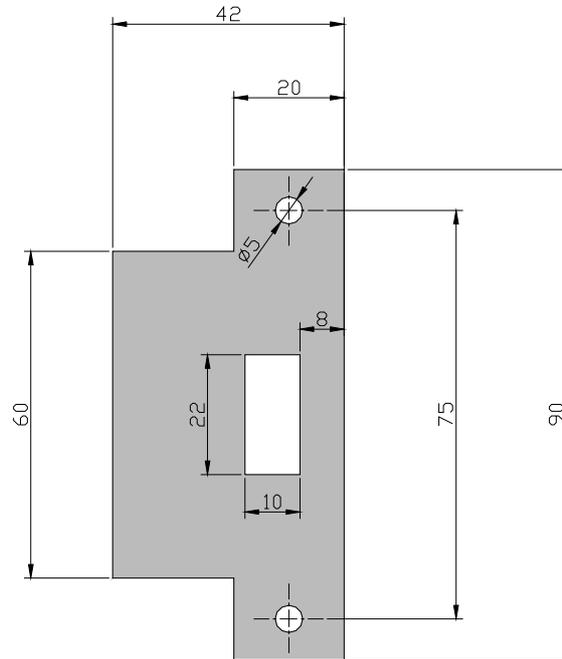
- Calcule a força máxima de corte admitindo que o contorno exterior e o furo interior da peça são cortados numa ferramenta progressiva com punções que possuem a mesma altura.
- Proceda a uma representação gráfica esquemática da evolução da força de corte com o deslocamento dos punções. Justifique a sua resposta.
- Estabeleça as dimensões nominais do punção e da matriz que deverão ser utilizados para cortar o furo central da peça admitindo que o valor da folga radial deverá ser igual a 7% da espessura da chapa.

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Latão:  $\sigma_R = 380$  MPa

### Problema 17.5

Considere a operação de corte por arrombamento destinada a fabricar a peça que se encontra representada na figura.



A peça deverá ser fabricada numa liga de Alumínio a qual será fornecida em chapas com 2 mm de espessura.

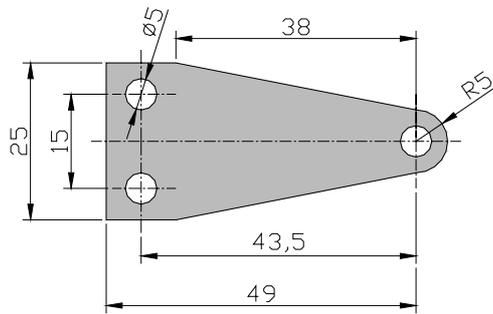
- Determine o valor da força de corte, admitindo que a solução escolhida para o fabrico da peça consiste na produção de uma peça em cada golpe da prensa.
- Calcule o valor da potência média que é exigida à prensa caso se pretenda fabricar um lote de peças com uma cadência de produção igual a 100 peças/min.
- Explique quais seriam as principais diferenças na sequência de fabrico caso se procedesse ao fabrico da peça numa ferramenta de corte em fases progressivas ou, alternativamente, numa ferramenta de corte composto ou simultâneo.
- Discuta as vantagens e desvantagens que decorrem da utilização de cada um dos tipos de ferramenta da alínea c).

*Informações adicionais:*

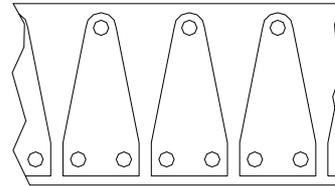
Comportamento mecânico da liga de Alumínio:  $\sigma_R = 350$  MPa

### Problema 17.6

Pretendem-se fabricar 500 000 peças iguais à que se encontra representada na figura.



(peça)



(implantação proposta)

As peças deverão ser fabricadas em Latão com 2 mm de espessura e a ferramenta irá ser instalada numa prensa mecânica com uma força nominal de 1.2 MN e uma cadência de 80 golpes/min.

- Determine a força de corte admitindo que se fabrica uma peça a cada golpe da prensa.
- Determine a potência média que é necessário exigir ao motor da prensa admitindo que se fabrica uma peça a cada golpe da prensa. Considere que a prensa tem um rendimento  $\eta = 0.8$ .
- Apresente uma estimativa do tempo de produção indispensável ao fabrico das 500 000 peças tendo por base a implantação proposta e o corte de uma peça a cada golpe da prensa.
- Apresente uma implantação alternativa que propicie um aproveitamento mais racional da chapa e que viabilize o fabrico de duas peças em cada golpe da prensa. Apresente um esboço da sequência de fabrico correspondente à solução proposta.

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Latão:  $\sigma_R = 330$  MPa.

### Problema 17.7

Uma chapa de aço carbono com 3 mm de espessura e 2 m de comprimento é cortada, numa guilhotina, segundo a direção do comprimento.

Calcule a força de corte nas seguintes condições:

- Utilizando lâminas direitas.
- Utilizando lâminas inclinadas a  $6^\circ$ .



*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Aço Carbono:  $\sigma_R = 450$  MPa.

## CAPÍTULO 22

### Estampagem

#### Problema 22.9

Um recipiente cilíndrico de Alumínio AA5052-H24 com 200 mm de diâmetro, 175 mm de altura e 1.5 mm de espessura, é fabricado por estampagem. A estampa plana tem uma geometria circular e é obtida por intermédio de corte por arrombamento convencional.

- a) Indique as dimensões da estampa plana. Comente as simplificações efectuadas.
- b) Determine a força de corte máxima indispensável ao fabrico da estampa plana.
- c) Indique, justificando, se existe necessidade de proceder a estampagem múltipla.
- d) Indique a geometria da peça após ter sido realizada a primeira operação de estampagem.
- e) Calcule o valor da força correspondente à primeira operação de estampagem.

#### *Sugestão:*

Os valores do coeficiente de correcção  $Q_f$  e dos coeficientes limite de estampagem devem ser obtidos por consulta das tabelas 22.XI e 22.I do livro.

#### *Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Alumínio AA5052-H24:  $\sigma_R = 190$  MPa

**Problema 22.10**

Pretende-se fabricar um recipiente cilíndrico de Aço carbono com 150 mm de diâmetro, 70 mm de altura e 1.2 mm de espessura.

- a) Indique a geometria e dimensões da estampa plana.
- b) Calcule o valor da força de estampagem.
- c) Concluído o fabrico deste recipiente foi tentado, sem sucesso, o fabrico de um recipiente análogo a partir de uma estampa plana circular com 290 mm de diâmetro e 1.2 mm de espessura. Indique, justificando, o que deverá ter provavelmente acontecido.

*Sugestão:*

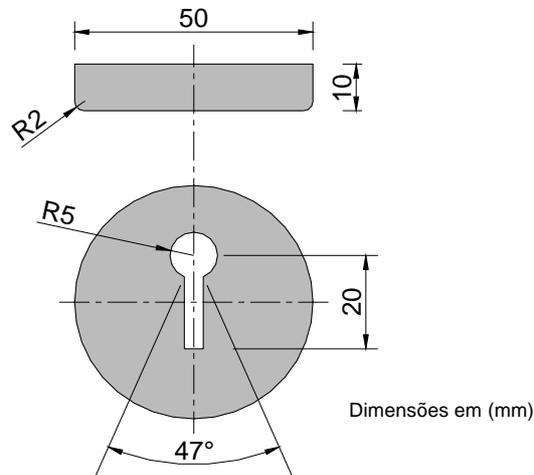
Os valores do coeficiente de correcção  $Q_f$  e dos coeficientes limite de estampagem devem ser obtidos por consulta das tabelas 22.XI e 22.I do livro.

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Aço Carbono:  $\sigma_R = 380$  MPa

### Problema 22.11

Pretende-se fabricar o 'espelho' de uma fechadura que se encontra representado na figura através de um processo de fabrico que envolve operações de estampagem e de arrombamento. A peça deverá ser fabricada em Latão com uma espessura de 0.5 mm.



- Considere a operação de estampagem e determine a dimensão da estampa plana, o número de fases indispensáveis ao fabrico da peça e a força máxima que é necessário aplicar na primeira operação de estampagem. Justifique as aproximações efectuadas.
- Considere a operação de corte por arrombamento destinada à abertura do orifício para a entrada da chave. Determine o valor da força e do trabalho de corte.
- Apresente um esboço da peça e da ferramenta de corte por arrombamento tendo em consideração que a rebarba deverá ficar situada na parte interior do espelho (região voltada para a porta).

*Sugestão:*

Os valores do coeficiente de correcção  $Q_f$  e dos coeficientes limite de estampagem devem ser obtidos por consulta das tabelas 22.XI e 22.I do livro.

*Informações adicionais:*

Comportamento mecânico do Latão:  $\sigma_R = 350 \text{ MPa}$

### Problema 22.12

As ferramentas convencionais de estampagem incluem encostadores. Explique as principais funções desempenhadas pelos encostadores e discuta quais são as principais vantagens e desvantagens que estão associadas à sua utilização.