

DEPARTAMENT:	FAB. MECANICA	PROFESSOR:	MIGUEL-ANGEL COPADO
MATÈRIA/UNITAT:	M3-UF2	GRUP:	MS3
DATA:		CONVOCATÒRIA:	
ALUMNE/A:			

EJERCICIOS DE FORJA

1. Una pieza cilíndrica es recalca en un troquel abierto. El diámetro inicial es de 45 mm y la altura inicial es de 40 mm. La altura después del forjado es de 25 mm. El coeficiente de fricción en la interfaz troquel-trabajo es de 0.20. El material de trabajo tiene una curva de fluencia definida por un coeficiente de resistencia de 600 MPa y un exponente de endurecimiento por deformación de 0.12. Determine la fuerza instantánea en la operación: a) en el momento en que se alcanza el punto de fluencia (fluencia a la deformación de 0.002). b) si $h = 35$ mm y c) si $h = 25$ mm.

$$D = 45 \text{ mm}$$

$$h = 40 \text{ mm}$$

$$K = 600 \text{ Mpa}$$

$$n = 0.12$$

$$\mu = 0.2$$

$$a) V = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 45^2}{4} \cdot 40 = 63617 \text{ mm}^2 \quad V = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 45^2}{4} \cdot 40 = 63617 \text{ mm}^2$$

Suponemos una deformación mínima $\rightarrow \epsilon = 0.002$

$$Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 0.002^{0.12} = 284.63 \text{ MPa} \quad Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 0.002^{0.12} = 284.63 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{V}{h} = \frac{63617}{40} = 1590.428 \text{ mm}^2 \quad A = \frac{V}{h} = \frac{63617}{40} = 1590.428 \text{ mm}^2$$

$$K_f = 1 + \frac{0.4 \cdot \mu \cdot D}{h} = 1 + \frac{0.4 \cdot 0.2 \cdot 45}{40} = 1.09 \quad K_f = 1 + \frac{0.4 \cdot \mu \cdot D}{h} = 1 + \frac{0.4 \cdot 0.2 \cdot 45}{40} = 1.09$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1.09 \cdot 284.63 \cdot 1590.425 = 496.4 \text{ KN}$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1.09 \cdot 284.63 \cdot 1590.425 = 496.4 \text{ KN}$$

$$b) h = 35 \text{ mm} \rightarrow \epsilon = \ln \frac{h_0}{h} = \ln \frac{40}{35} = 0.1335 \quad \epsilon = \ln \frac{h_0}{h} = \ln \frac{40}{35} = 0.1335$$

$$Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 0.1335^{0.12} = 471.21 \text{ MPa}$$

$$Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 0.1335^{0.12} = 471.21 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{V}{h} = \frac{63617}{35} = 1817 \text{ mm}^2 \quad A = \frac{V}{h} = \frac{63617}{35} = 1817 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 48.1 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 48.1 \text{ mm}$$

$$K_f = 1 + \frac{0'4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0'4 \cdot 0'2 \cdot 48'1}{35} = 1'11$$

$$K_f = 1 + \frac{0'4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0'4 \cdot 0'2 \cdot 48'1}{35} = 1'11$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1'11 \cdot 471'21 \cdot 1817'62 = 950 \text{ KN}$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1'11 \cdot 471'21 \cdot 1817'62 = 950 \text{ KN}$$

$$\text{b) } h = 25 \text{ mm} \rightarrow \epsilon = \ln \frac{h_0}{h_f} = \ln \frac{40}{25} = 0'47 \quad \epsilon = \ln \frac{h_0}{h_f} = \ln \frac{40}{25} = 0'47$$

$$Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 0'47^{0'12} = 548 \text{ MPa} \quad Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 0'47^{0'12} = 548 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{V}{h} = \frac{63617}{25} = 2544'7 \text{ mm}^2 \quad A = \frac{V}{h} = \frac{63617}{25} = 2544'7 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 56'92 \text{ mm}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 56'92 \text{ mm}$$

$$K_f = 1 + \frac{0'4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0'4 \cdot 0'2 \cdot 56'92}{25} = 1'182144$$

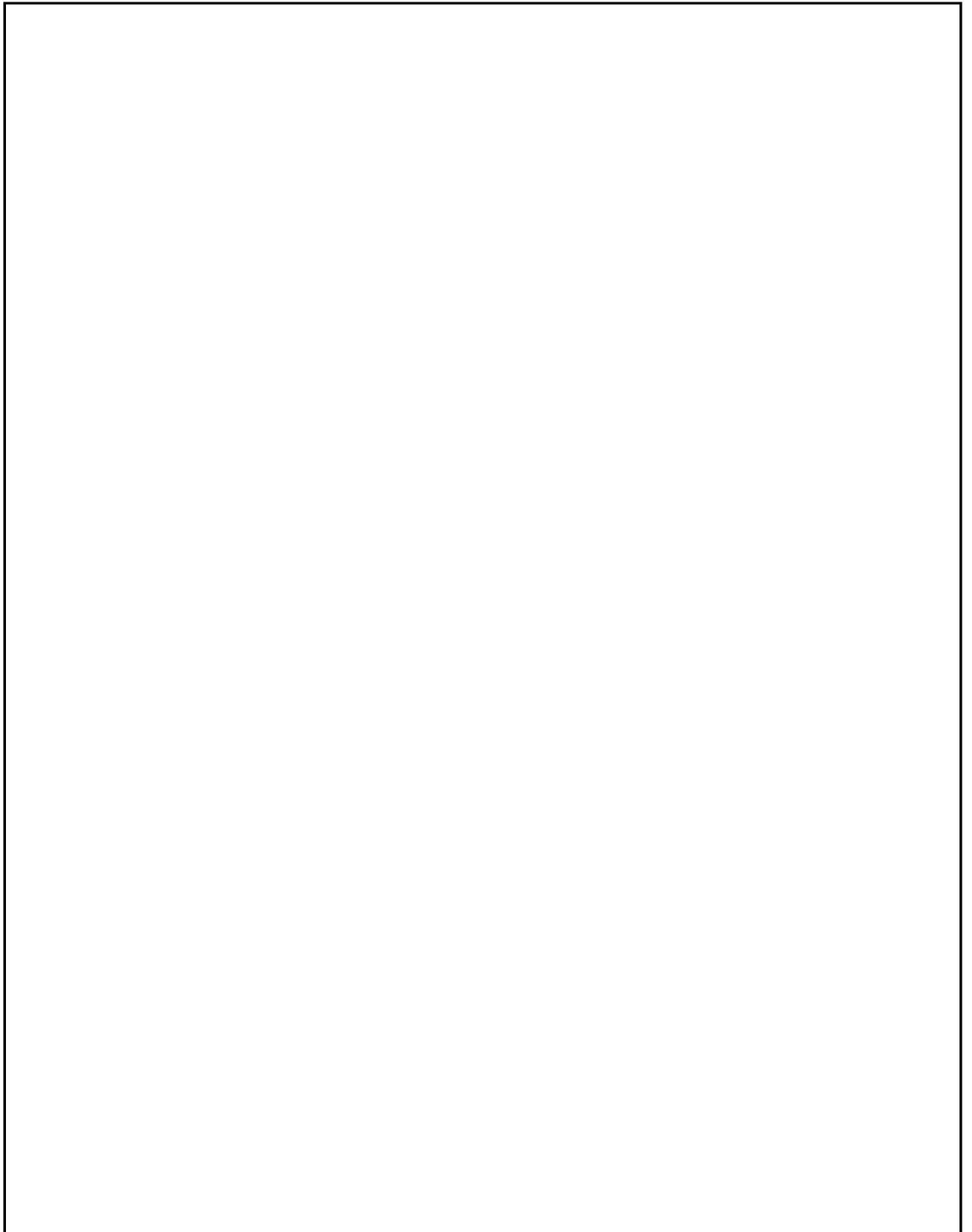
$$K_f = 1 + \frac{0'4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0'4 \cdot 0'2 \cdot 56'92}{25} = 1'182144$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1'18 \cdot 548 \cdot 2544'7 = 1649 \text{ KN}$$

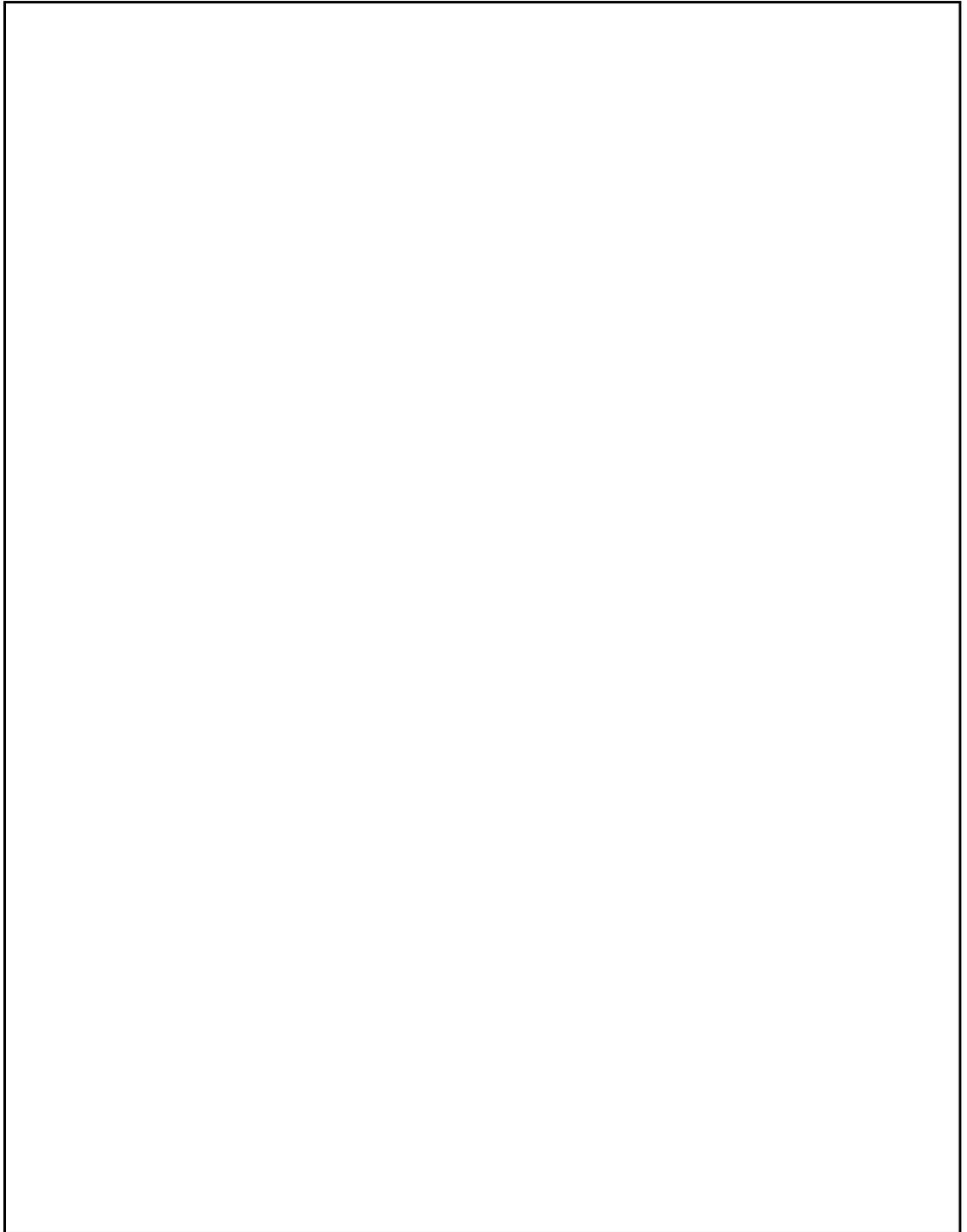
$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1'18 \cdot 548 \cdot 2544'7 = 1649 \text{ KN}$$



2. Una pieza cilíndrica se recalca en frío en un troquel abierto con $D = 2.5$ in y $h = 2.5$ in y una altura final de 1.5 in. El coeficiente de fricción en la interfaz troquel-trabajo es de 0.10. El material de trabajo tiene una curva de fluencia definida por $K = 40000$ lb/in² y $n = 0.15$. Determine la fuerza instantánea en la operación: a) cuando se alcanza el punto de fluencia (fluencia a la deformación de 0.002), b) $h = 2.3$ in, c) $h = 1.9$ in y d) $h = 1.5$ in.



3. Una pieza de trabajo tiene un diámetro de 2.5 in y una altura de 4.0 in. Se recalca a una altura de 2.75 in. El coeficiente de fricción en la interfaz troquel-trabajo = 0.10. El material de trabajo tiene una curva de fluencia con un coeficiente de resistencia es de 25000 lb/in² y un exponente de endurecimiento por deformación de 0.22. Construya una gráfica de fuerza contra altura del trabajo.



4. Se ejecuta una operación de encabezamiento en frío para producir la cabeza de un clavo de acero. El coeficiente de resistencia del acero es 600 MPa y el exponente de endurecimiento por deformación es de 0.22. El coeficiente de fricción en la interfaz troquel-trabajo = 0.14. El alambre del cual se hace el clavo es de 5.00 mm de diámetro. La cabeza tiene un diámetro de 9.5 mm y un espesor de 1.6 mm. La longitud final del clavo es de 120 mm. a) ¿qué longitud de alambre se debe proyectar fuera del troquel para proveer el volumen suficiente de material para esta operación de recalado?, b) calcule la fuerza mínima que debe aplicar el punzón para formar la cabeza en esta operación de troquel abierto.

$$D_0 = 5 \text{ mm} \rightarrow D_f = 9.5 \text{ mm}$$

$$h_f = 1.6 \text{ mm}$$

$$K = 600 \text{ MPa}$$

$$n = 0.22$$

$$\mu = 0.14$$

$$a) V_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{\pi \cdot 5^2}{4} \cdot 1.6 = 113.41 \text{ mm}^3$$

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{\pi \cdot 9.5^2}{4} \cdot 1.6 = 113.41 \text{ mm}^3$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5^2}{4} = 19.63 \text{ mm}^2 \quad A_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5^2}{4} = 19.63 \text{ mm}^2$$

$$h_0 = \frac{V}{A_0} = \frac{113.41}{19.63} = 5.776 \text{ mm} \quad h_0 = \frac{V}{A_0} = \frac{113.41}{19.63} = 5.776 \text{ mm}$$

$$b) \epsilon = \ln \frac{h_0}{h_f} = \ln \frac{5.776}{1.6} = 1.2837 \quad \epsilon = \ln \frac{h_0}{h_f} = \ln \frac{5.776}{1.6} = 1.2837$$

$$Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 1.2837^{0.22} = 633.89 \text{ MPa}$$

$$Y_f = K \cdot \epsilon^n = 600 \cdot 1.2837^{0.22} = 633.89 \text{ MPa}$$

$$K_f = 1 + \frac{0.4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0.4 \cdot 0.14 \cdot 9.5}{1.6} = 1.3325$$

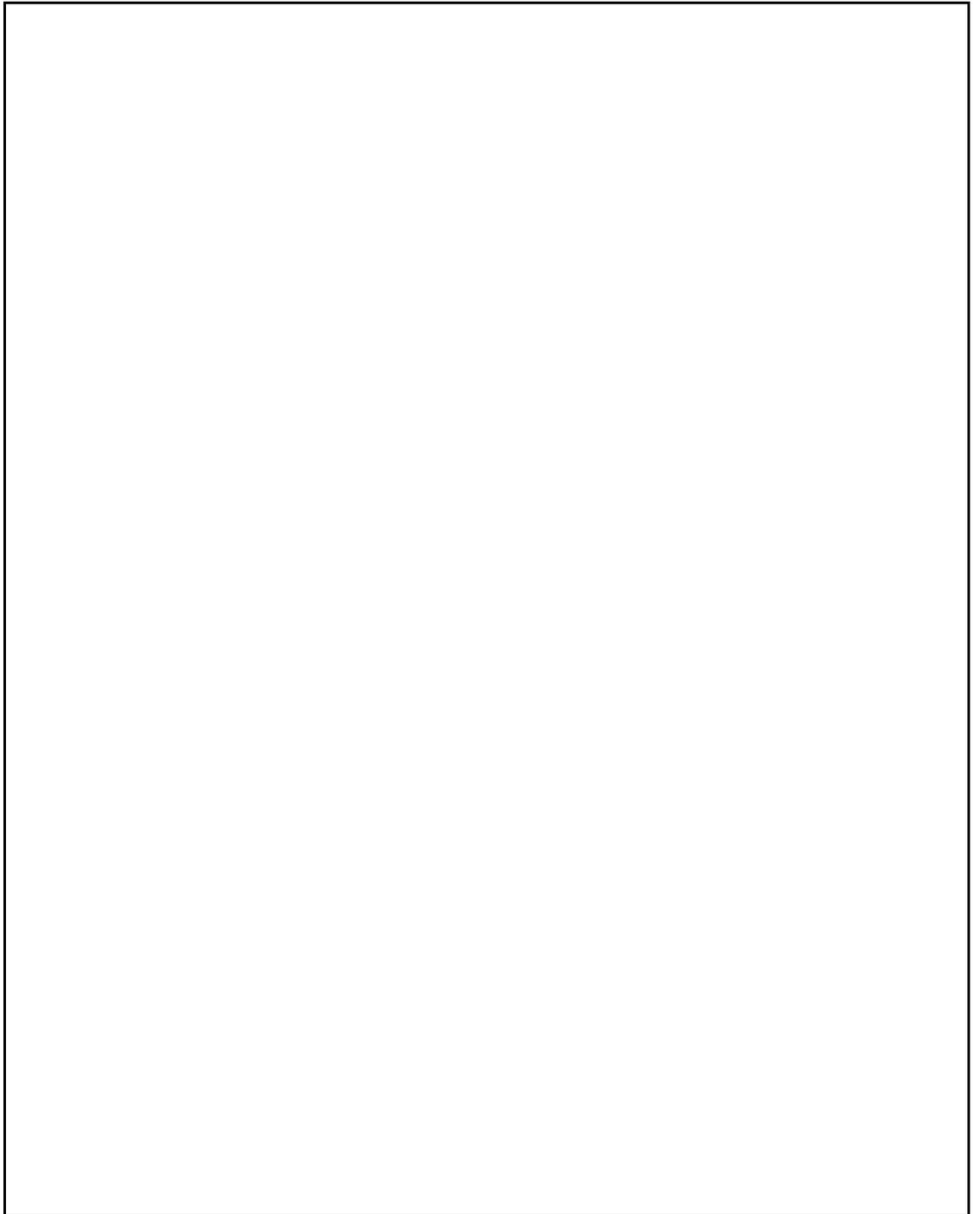
$$K_f = 1 + \frac{0.4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0.4 \cdot 0.14 \cdot 9.5}{1.6} = 1.3325$$

$$A_f = \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} = \frac{\pi \cdot 9.5^2}{4} = 70.88 \text{ mm}^2 \quad A_f = \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} = \frac{\pi \cdot 9.5^2}{4} = 70.88 \text{ mm}^2$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1.3325 \cdot 633.89 \cdot 70.88 = 59871 \text{ N}$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1.3325 \cdot 633.89 \cdot 70.88 = 59871 \text{ N}$$

5. Consiga un clavo común grande de cabeza (cabeza plana). Mida el diámetro de la cabeza y su espesor así como el diámetro del rabo del clavo, a) ¿qué longitud de material debe proyectarse fuera del troquel para proveer el suficiente material para producir el clavo?, b) usando los valores apropiados para el coeficiente de resistencia y el exponente de endurecimiento por deformación del metal con el que se produce el clavo (tabla 3.4), calcule la fuerza máxima en la operación de encabezado para formar la cabeza.



6. Una operación de recalado en caliente se ejecuta en un troquel abierto. El tamaño inicial de la pieza es $D_0 = 25 \text{ mm}$ y $h_0 = 50 \text{ mm}$. La pieza se recalca a un diámetro = 50 mm . A esta elevada temperatura, el metal de trabajo fluye a 85 MPa ($n = 0$). El coeficiente de fricción en la interfaz trabajotroquel es de 0.40 . Determine a) la altura final de la pieza, b) la fuerza máxima en la operación.

$D_0 = 25 \text{ mm} \rightarrow D_f = 50 \text{ mm}$
 $h_0 = 50 \text{ mm}$
 $Y_f = 85 \text{ Mpa}$
 $\mu = 0.40$

$$a) V_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \cdot 50 = 24543'7 \text{ mm}^2$$

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \cdot 50 = 24543'7 \text{ mm}^2$$

$$A_f = \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963'5 \text{ mm}^2 \quad A_f = \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963'5 \text{ mm}^2$$

$$h_f = \frac{V}{A_f} = \frac{24543'7}{1963'5} = 12'5 \text{ mm} \quad h_f = \frac{V}{A_f} = \frac{24543'7}{1963'5} = 12'5 \text{ mm}$$

$$b) \epsilon = \ln \frac{h_0}{h_f} = \ln \frac{50}{12'5} = 1'3863 \quad \epsilon = \ln \frac{h_0}{h_f} = \ln \frac{50}{12'5} = 1'3863$$

$$Y_f = 85 \text{ MPa} \quad Y_f = 85 \text{ MPa}$$

La fuerza será máxima cuando $h=h_f \rightarrow A_f=1963'5 \text{ mm}^2$ y $D_f=50 \text{ mm}$.

$$K_f = 1 + \frac{0'4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0'4 \cdot 0'4 \cdot 50}{12'5} = 1'64 \quad K_f = 1 + \frac{0'4 \cdot \mu \cdot D_f}{h_f} = 1 + \frac{0'4 \cdot 0'4 \cdot 50}{12'5} = 1'64$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1'64 \cdot 85 \cdot 1963'5 = 273711'9 \text{ N}$$

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A_f = 1'64 \cdot 85 \cdot 1963'5 = 273711'9 \text{ N}$$

7. Una prensa hidráulica de forja es capaz de ejercer una fuerza máxima de 1000000 N. Una pieza cilíndrica se recalca en frío. La pieza inicial tiene un diámetro de 30 mm y una altura de 30 mm. La curva de fluencia del metal se define por $K = 400 \text{ MPa}$ y $n = 0.2$. Determine la reducción máxima en altura a la que puede ser comprimida la pieza con la prensa, si el coeficiente de fricción es de 0.1.

Solution: Volume of work $V = \pi D_o^2 h_o / 4 = \pi(30)^2(30)/4 = 21,206 \text{ mm}^3$.

Final area $A_f = 21,206/h_f$

$\epsilon = \ln(30/h_f)$

$Y_f = 400\epsilon^{0.2} = 400(\ln 30/h_f)^{0.2}$

$K_f = 1 + 0.4\mu(D_f/h_f) = 1 + 0.4(0.1)(D_f/h_f)$

Forging force $F = K_f Y_f A_f = (1 + 0.04D_f/h_f)(400(\ln 30/h_f)^{0.2})(21,206/h_f)$

Requires trial and error solution to find the value of h_f that will match the force of **1,000,000 N**.

(1) Try $h_f = 20 \text{ mm}$

$A_f = 21,206/20 = 1060.3 \text{ mm}^2$

$\epsilon = \ln(30/20) = \ln 1.5 = 0.405$

$Y_f = 400(0.405)^{0.2} = 333.9 \text{ MPa}$

$D_f = (4 \times 1060.3/\pi)^{0.5} = 36.7 \text{ mm}$

$K_f = 1 + 0.04(36.7/20) = 1.073$

$F = 1.073(333.9)(1060.3) = \mathbf{380,050 \text{ N}}$

Too low. Try a smaller value of h_f to increase F .

(2) Try $h_f = 10 \text{ mm}$.

$A_f = 21,206/10 = 2120.6 \text{ mm}^2$

$\epsilon = \ln(30/10) = \ln 3.0 = 1.099$

$Y_f = 400(1.099)^{0.2} = 407.6 \text{ MPa}$

$D_f = (4 \times 2120.6/\pi)^{0.5} = 51.96 \text{ mm}$

$K_f = 1 + 0.04(51.96/10) = 1.208$

$F = 1.208(407.6)(2120.6) = \mathbf{1,043,998 \text{ N}}$

Slightly high. Need to try a value of h_f between 10 and 20, closer to 10.

(3) Try $h_f = 11 \text{ mm}$

$A_f = 21,206/11 = 1927.8 \text{ mm}^2$

$\epsilon = \ln(30/11) = \ln 2.7273 = 1.003$

$Y_f = 400(1.003)^{0.2} = 400.3 \text{ MPa}$

$D_f = (4 \times 1927.8/\pi)^{0.5} = 49.54 \text{ mm}$

$K_f = 1 + 0.04(49.54/11) = 1.18$

$F = 1.18(400.3)(1927.8) = \mathbf{910,653 \text{ N}}$

(4) By linear interpolation, try $h_f = 10 + (44/133) = 10.33 \text{ mm}$

$A_f = 21,206/10.33 = 2052.8 \text{ mm}^2$

$\epsilon = \ln(30/10.33) = \ln 2.9042 = 1.066$

$Y_f = 400(1.066)^{0.2} = 405.16 \text{ MPa}$

$D_f = (4 \times 2052.8/\pi)^{0.5} = 51.12 \text{ mm}$

$K_f = 1 + 0.04(51.12/10.33) = 1.198$

$F = 1.198(405.16)(2052.8) = \mathbf{996,364 \text{ N}}$

(5) By further linear interpolation, try $h_f = 10 + (44/48)(0.33) = 10.30$

$A_f = 21,206/10.30 = 2058.8 \text{ mm}^2$

$\epsilon = \ln(30/10.30) = \ln 2.913 = 1.069$

$Y_f = 400(1.069)^{0.2} = 405.38 \text{ MPa}$

$D_f = (4 \times 2058.8/\pi)^{0.5} = 51.2 \text{ mm}$

$K_f = 1 + 0.04(51.2/10.3) = 1.199$

$F = 1.199(405.38)(2058.8) = \mathbf{1,000,553 \text{ N}}$

Close enough! Maximum height reduction = $30.0 - 10.3 = \mathbf{19.7 \text{ mm}}$

8. Se diseña una pieza para forjarse en caliente en un troquel impresor. El área proyectada de la pieza, incluida la rebaba, es de 16 in². Después del cortado, la pieza tendrá un área proyectada de 10 in². La configuración geométrica de la pieza es compleja. El material fluye a 10000 lb/in² al calentarse y no tiende a endurecerse por deformación. A temperatura ambiente, el material fluye a 25000 lb/in². Determine la fuerza máxima requerida para ejecutar la operación de forjado.

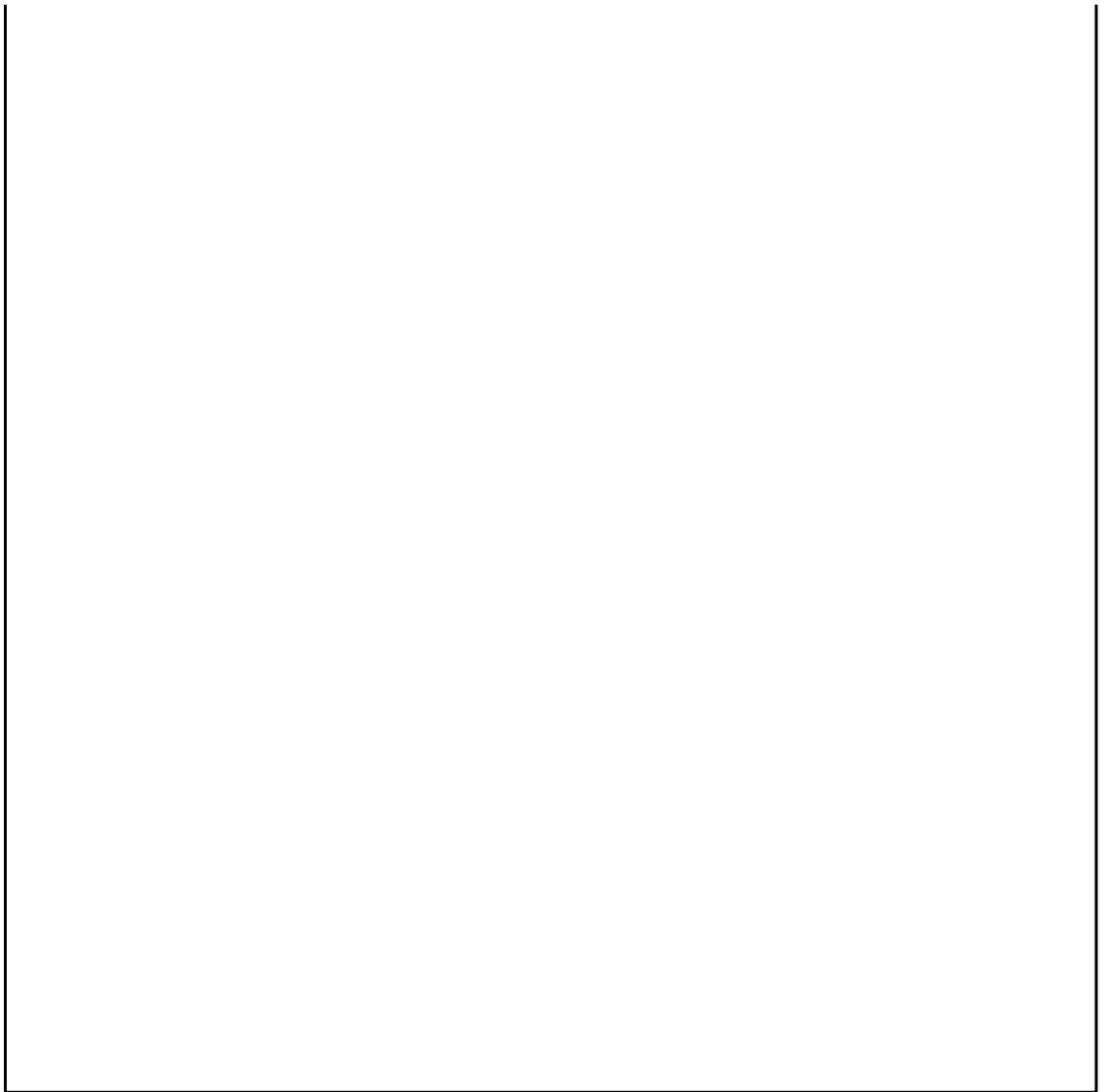
Como el material se trabaja en caliente $\rightarrow n=0$

Buscamos en tabla operación en un troquel impresor con geometría compleja:

$\rightarrow K_f = 8 \text{ Mpa}$

Utilizamos la fórmula de la fuerza de recalado:

$F = K_f \cdot Y_f \cdot A = 8 \cdot 10000 \cdot 16 = 1280000 \text{ lb}$ $F = K_f \cdot Y_f \cdot A = 8 \cdot 10000 \cdot 16 = 1280000 \text{ lb}$



9. Una biela se diseña para forjado en caliente en un troquel impresor. El área proyectada de la pieza es de 6 500 mm². El diseño del troquel ocasionará la formación de rebaba durante el forjado, así que el área, incluida la rebaba, será de 9 000 mm². La forma de la pieza es compleja. Al calentarse el material de trabajo fluye a 75 MPa y no tiende a endurecerse por deformación. Determine la fuerza máxima requerida para ejecutar la operación.

Como el material se trabaja en caliente $\rightarrow n=0$

Buscamos en tabla operación en un troquel impresor con geometría compleja:
 $\rightarrow K_f = 8 \text{ Mpa}$

Utilizamos la fórmula de la fuerza de recalado:

$$F = K_f \cdot Y_f \cdot A = 8 \cdot 75 \cdot 9000 = 5400000 \text{ N} \quad F = K_f \cdot Y_f \cdot A = 8 \cdot 75 \cdot 9000 = 5400000 \text{ N}$$



EVALUACION				
NOTA TEORIA		NOTA PRÁCTICA		VISTO BUENO:
FECHA		TIEMPLO EMPLEADO		
OBSERVACIONES:				



CODI: MS3-M3-UF2-NF1-A2

Pàgina 1 de
12

Aquest document podria esdevenir obsolet un cop imprès.