

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

EJERCICIOS DE LAMINADO

- Una tira con un ancho de 300 mm y 25 mm de espesor se alimenta a través de un molino laminador con dos rodillos de 250 mm de radio cada uno. El espesor de material de trabajo se reduce a 22 mm en un paso, a una velocidad de rodillo de 50 rev/min. El material de trabajo tiene una curva de fluencia definida por $K = 275$ MPa y $n = 0.15$ y se supone que el coeficiente de fricción entre los rodillos y el trabajo es de 0.12. Determine si la fricción es suficiente para realizar la operación de laminado. Si es así, calcule la fuerza de laminado, el momento de torsión y la potencia en caballos de fuerza.

El draft que se intenta en esta operación de laminado es:

$$d = t_0 - t_f = 25 - 22 = 3 \text{ mm}$$

el draft máximo posible para el coeficiente de fricción dado es:

$$d_{max} = \mu^2 \cdot R; \mu = 0.12^2 \cdot 250 = 3,6 \text{ mm}$$

Como el draft permisible máximo excede la reducción que se pretende, es posible la operación de laminado. Para calcular la fuerza de laminado se necesita la longitud de contacto L y el esfuerzo de fluencia promedio \bar{Y}_f . La longitud de contacto está dada por la ecuación:

$$L = \sqrt{R(t_0 - t_f)} = \sqrt{250(25 - 22)} = 27,4 \text{ mm}$$

\bar{Y}_f se determina por la deformación real:

$$\epsilon = \ln\left(\frac{t_0}{t_f}\right) = \ln\left(\frac{25}{22}\right) \approx 0,128$$

La fuerza de laminado se determina por la ecuación:

$$F = \bar{Y}_f \cdot w \cdot L = 175,5 \cdot 300 \cdot 27,4 = 1444786 \text{ N}$$

El momento de torsión requerido para mover cada rodillo está dado por la ecuación:

$$T = 0,5 \cdot F \cdot L = 0,5 \cdot 1444786 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} = 19786 \text{ N} \cdot \text{m}$$

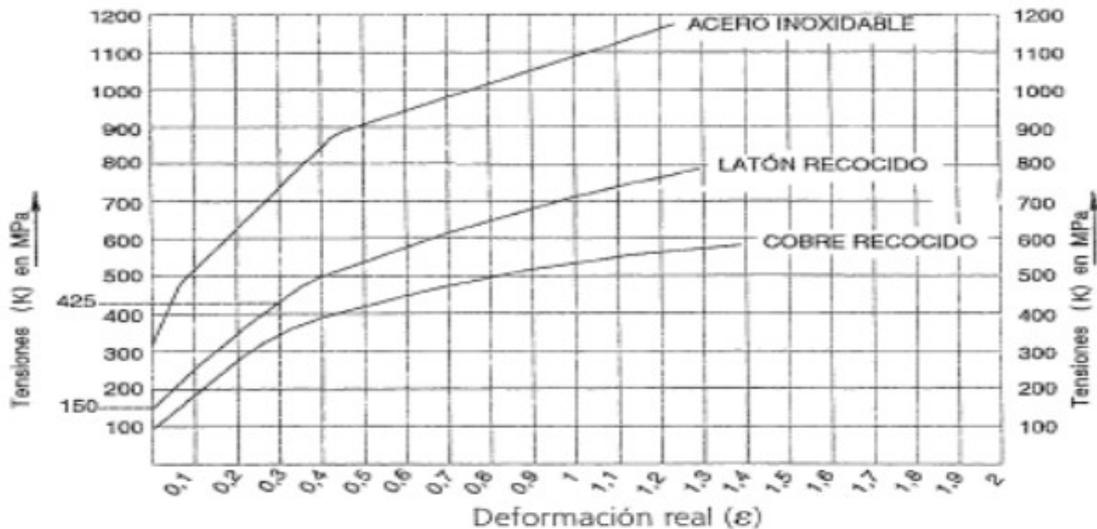
Y la potencia se obtiene de la ecuación:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot F \cdot L}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1444786 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3}}{60} = 207201 \text{ W}$$

Convirtiendo esto a caballos de fuerza (un caballo de fuerza 745.7 W):

$$HP = \frac{207201}{745,7} = 278\text{hp}$$

2. Calcular la potencia de laminado de una plancha de latón recocido de 200 mm de ancho y 20 mm de espesor, a la que se rebaja de una pasada, con un par de rodillos de 250 mm de radio, a 15 mm su espesor, girando a 150 rpm.



Primero calcularemos el alargamiento unitario:

$$\epsilon = \ln\left(\frac{t_0}{t_f}\right) = \ln\left(\frac{20}{15}\right) \approx 0,3$$

Utilizamos el alargamiento unitario en la gráfica para obtener el esfuerzo en un latón recocido sin forzar, y calculamos el esfuerzo de fluencia medio:

$$\bar{Y}_f = \frac{\text{EsfuerzoMinimo} + \text{EsfuerzoMaximo}}{2} = \frac{150 + 425}{2} = 287\text{Mpa}$$

Calculamos la fuerza de los rodillos:

$$F = \bar{Y}_f \cdot w \cdot L$$

Necesitamos primero la longitud de contacto entre el material y los rodillos:

$$L = \sqrt{R(t_0 - t_f)} = \sqrt{250(20 - 15)} = 35,36\text{ mm} = 0,035\text{ m}$$

Ahora la fuerza:

$$F = \bar{Y}_f \cdot w \cdot L = 287 \cdot 200 \cdot 35,36 = 2029664\text{N}$$

Y por fin la potencia necesaria para los dos rodillos:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot F \cdot L}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot 2029664 \cdot 0,035}{60} = 1127343\text{W} = 1127\text{KW}$$

3. Una placa de 42 mm de espesor fabricada de acero al bajo carbono se reduce a 34.0 mm en un paso de laminado. A medida que el espesor se reduce, la placa se engruesa 4%. El esfuerzo de fluencia de la placa de acero es de 174 MPa y la resistencia de tensión es de 290 MPa. La velocidad de entrada de la placa es de 15.0 m/min. El radio del carrete es de 215 mm y la velocidad de rotación es de 12.0 rev/min. Determine a) el coeficiente de fricción mínimo requerido que haría esta operación de laminado posible, b) la velocidad de salida de la placa y c) el deslizamiento hacia delante.

Primero calculamos el draft:

$$d = t_0 - t_f = 42 - 34 = 8 \text{ mm}$$

Calculamos el coeficiente mínimo requerido con la ecuación del draft máximo:

$$d_{max} = \mu^2 \cdot R; \mu = \sqrt{\frac{d_{max}}{R}} = \sqrt{\frac{8}{215}} = 0,1929$$

Con la fórmula de la conservación de la materia, obtenemos la velocidad de salida:

Con el porcentaje de variación del grosor de la lámina, sustituimos en la fórmula anterior, y conseguimos el valor de la velocidad de salida:

$$t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_f \cdot w_f \cdot v_f$$

$$w_f = 1,04 \cdot w_0$$

$$t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_f \cdot 1,04 \cdot w_f \cdot v_f$$

$$v_f = 17,81 \text{ m/min}$$

Para calcular el deslizamiento hacia delante utilizamos la fórmula:

$$s = \frac{v_f - v_R}{v_R}$$

Necesitamos calcular la velocidad del rodillo:

$$v_R = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot N = 2 \cdot \pi \cdot 215 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 16,21 \text{ m/min}$$

Y aplicandola a la ecuación del deslizamiento hacia delante tenemos:

$$s = \frac{v_f - v_R}{v_R} = \frac{17,81 - 16,21}{16,21} = 0,0952$$

4. Una plancha de 2.0 in de grueso tiene 10 in de ancho y 12.0 ft de longitud. El espesor se reduce en tres pasos de laminación en caliente. Cada paso reduce la plancha al 75% de su grueso anterior. Para este metal y esta reducción se espera un ensanchamiento de 3% en cada paso. Si la velocidad de entrada de la plancha en el primer paso es de 40 ft/min, y la velocidad de los rodillos es la misma para los tres pasos, determine a) la longitud y b) la velocidad de salida de la plancha después de la reducción final.

1r Paso de laminación:

Velocidad de salida:

$$\begin{aligned}
 t_0 &= 2 \text{ in} ; t_f = t_0 \cdot 0.75 = 1.5 \text{ in} \\
 w_0 &= 10 \text{ in} ; w_f = w_0 \cdot 1.03 = 10.3 \text{ in} \\
 v_0 &= 40 \text{ ft/min} \\
 t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 &= t_f \cdot w_f \cdot v_f \\
 v_f &= \frac{t_0 \cdot w_0 \cdot v_0}{t_f \cdot w_f} = 51.78 \text{ ft/min}
 \end{aligned}$$

Longitud de salida:

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 12 \text{ ft} \\
 t_0 \cdot w_0 \cdot L_0 &= t_f \cdot w_f \cdot L_f \\
 L_f &= \frac{t_0 \cdot w_0 \cdot L_0}{t_f \cdot w_f} = 15.534 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

2o Paso de laminación:

Velocidad de salida:

$$\begin{aligned}
 t_0 &= 1.5 \text{ in} ; t_f = t_0 \cdot 0.75 = 1.125 \text{ in} \\
 w_0 &= 10.3 \text{ in} ; w_f = w_0 \cdot 1.03 = 10.609 \text{ in} \\
 v_0 &= 51.78 \text{ ft/min} \\
 t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 &= t_f \cdot w_f \cdot v_f \\
 v_f &= \frac{t_0 \cdot w_0 \cdot v_0}{t_f \cdot w_f} = 67.03 \text{ ft/min}
 \end{aligned}$$

Longitud de salida:

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 15.534 \text{ ft} \\
 t_0 \cdot w_0 \cdot L_0 &= t_f \cdot w_f \cdot L_f \\
 L_f &= \frac{t_0 \cdot w_0 \cdot L_0}{t_f \cdot w_f} = 20.11 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

3r Paso de laminación:

Velocidad de salida:

$$\begin{aligned}
 t_0 &= 1.125 \text{ in} ; t_f = t_0 \cdot 0.75 = 0.844 \text{ in} \\
 w_0 &= 10.609 \text{ in} ; w_f = w_0 \cdot 1.03 = 10.93 \text{ in} \\
 v_0 &= 67.03 \text{ ft/min} \\
 t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 &= t_f \cdot w_f \cdot v_f \\
 v_f &= \frac{t_0 \cdot w_0 \cdot v_0}{t_f \cdot w_f} = 86.72 \text{ ft/min}
 \end{aligned}$$

Longitud de salida:

$$\begin{aligned}
 L_0 &= 20.11 \text{ ft} \\
 t_0 \cdot w_0 \cdot L_0 &= t_f \cdot w_f \cdot L_f \\
 L_f &= \frac{t_0 \cdot w_0 \cdot L_0}{t_f \cdot w_f} = 26.02 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

5. Se usa una serie de operaciones de laminado en frío para reducir el espesor de una placa de 50 a 25 mm en un molino reversible de 2 rodillos. El diámetro del rodillo es de 700 mm y el coeficiente de fricción entre los rodillos y el trabajo es de 0.15. La especificación es que el draft sea igual en cada paso. Determine a) el número mínimo de pases requerido y b) el draft para cada paso.

Calculamos el draft máximo:

$$d_{max} = \mu^2 \cdot R; d_{max} = 0.15^2 \cdot 350 = 7.875 \text{ mm}$$

Mínimo número de pases:

$$\text{MinimoNumeroPases} = \frac{(t_0 - t_f)}{d_{max}} = \frac{(50 - 25)}{7.875} = 3.17 \approx 4 \text{ pases}$$

Draft por pase:

$$d = \frac{(t_0 - t_f)}{4} = 6.25 \text{ mm}$$

6. En el problema anterior, suponga que está especificada una reducción porcentual igual en cada paso en lugar del draft: a) ¿cuál es el número mínimo de pases requerido? b) ¿cuál es el draft para cada paso?

Calculamos el draft máximo y la máxima reducción en tanto por uno:

$$d_{max} = \mu^2 \cdot R; \mu = 0.15^2 \cdot 350 = 7.875 \text{ mm}$$

$$\text{max. Reduccion, } x_{max} = \frac{7.875}{50} = 0.1575$$

Tenemos x que es la fracción de reducción por pase. Para reducir de 50 mm a 25 mm en n pases, se tiene que cumplir:

$$50 \cdot (1-x)^n = 25$$

$$(1-x)^n = 25/50 = 0.5$$

$$(1-x) = 0.5^{\frac{1}{n}}$$

$$x = 1 - \sqrt[n]{0.5}$$

Analizamos para diferentes valores de n :

$n=1 \rightarrow x=0.5$ que es mayor n_{max} , NO VALE.

$n=2 \rightarrow x=0.293$ que es mayor n_{max} , NO VALE.

$n=3 \rightarrow x=0.2062$ que es mayor n_{max} , NO VALE.

$n=4 \rightarrow x=0.1591$ que es mayor n_{max} , NO VALE.

$n=5 \rightarrow x=0.12945$ que es mayor n_{max} , SI VALE.

Calculamos los pases:

$$\text{paso1: } d = 50 \cdot 0.12945 = 6.47 \text{ mm}, t_f = 50 - 6.47 = 43.53 \text{ mm}$$

$$\text{paso2: } d = 43.53 \cdot 0.12945 = 5.63 \text{ mm}, t_f = 43.53 - 5.63 = 37.89 \text{ mm}$$

$$\text{paso3: } d = 37.89 \cdot 0.12945 = 4.91 \text{ mm}, t_f = 37.89 - 4.91 = 32.98 \text{ mm}$$

$$\text{paso4: } d = 32.98 \cdot 0.12945 = 4.27 \text{ mm}, t_f = 32.98 - 4.27 = 28.71 \text{ mm}$$

$$\text{paso5: } d = 28.71 \cdot 0.12945 = 3.71 \text{ mm}, t_f = 28.71 - 3.71 = 25 \text{ mm}$$

7. Un molino laminador continuo en caliente tiene dos bastidores. El grueso de la placa inicial es de 25 mm y el ancho es de 300 mm. El espesor final será de 13 mm y el radio de cada bastidor de 250 mm. La velocidad de rotación del primer bastidor es de 20 rev/min. En cada bastidor se producirán drafts iguales de 6 mm. La placa es lo suficientemente ancha en relación con su espesor para que no ocurra un incremento en la anchura. Bajo la suposición de que el deslizamiento hacia delante es igual en cada bastidor, si la velocidad de entrada al primer bastidor es de 26 m/min determine a) la velocidad v_r en cada bastidor y b) el deslizamiento hacia delante s , c) determine también la velocidad de salida en cada bastidor de rodillos.

$$t_0 = 25 \text{ mm} \rightarrow t_1 = 19 \text{ mm} \rightarrow t_2 = 13 \text{ mm}$$

$$v_0 = 26 \text{ m/min}$$

$$w_0 = w_1 = w_2 = 300 \text{ mm}$$

$$w_{r1} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot N = 2 \cdot \pi \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 31,42 \text{ m/min}$$

$$t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_1 \cdot w_1 \cdot v_1 \rightarrow v_1 = \frac{(t_0 \cdot v_0)}{t_1} = \frac{25 \cdot 26}{19} = 34,21 \text{ m/min}$$

$$t_1 \cdot w_1 \cdot v_1 = t_2 \cdot w_2 \cdot v_2 \rightarrow v_2 = \frac{(t_1 \cdot v_1)}{t_2} = \frac{19 \cdot 34,21}{13} = 50 \text{ m/min}$$

$$s_1 = \frac{v_1 - v_{r1}}{v_{r1}}$$

$$s_2 = \frac{v_2 - v_{r2}}{v_{r2}}$$

$$s_1 = s_2$$

$$\frac{v_1 - v_{r1}}{v_{r1}} = \frac{v_2 - v_{r2}}{v_{r2}} \rightarrow v_{r2} = 45,92 \text{ m/min}$$

$$s_1 = s_2 = \frac{v_1 - v_{r1}}{v_{r1}} = 8,88 \cdot 10^{-2}$$

8. Una placa de 38 mm de espesor fabricada de acero inoxidable se reduce un 35% en un paso de laminado. El ancho de la placa es de 50 mm, y a medida que el espesor se reduce, la placa se ensancha un 6%. El esfuerzo de fluencia promedio aplicado a la placa de acero es de 174 MPa. La velocidad de salida de la placa es de 600 mm/s. El radio del rodillo es de 0,325 m y la velocidad angular del rodillo es de 1,5 rad/s. Determine: a) El coeficiente de fricción mínimo requerido que haría esta operación de laminado posible, b) La velocidad de entrada de la placa, en m/min, c) El deslizamiento hacia delante y d) La fuerza de laminación necesaria, en kN.

$$t_0 = 38 \text{ mm} \rightarrow t_1 = 0'65 \cdot 38 = 24'7 \text{ mm}$$

$$w_0 = 50 \text{ mm} \rightarrow w_1 = 1'06 \cdot 50 = 53 \text{ mm}$$

$$\bar{Y}_f = 174 \text{ MPa}$$

$$v_1 = 600 \text{ mm/s}$$

$$R = 0'325 \text{ m}$$

$$v_R = 1'5 \text{ rad/s} \cdot R = 487'5 \text{ mm/s}$$

$$\text{a) } d_{max} = \mu^2 \cdot R \rightarrow \mu = \sqrt{\frac{d_{max}}{R}} = \sqrt{\frac{13'3}{325}} = 0'2023$$

$$\text{b) } t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_1 \cdot w_1 \cdot v_1 \rightarrow v_0 = \frac{t_1 \cdot w_1 \cdot v_1}{t_0 \cdot w_0} = \frac{24'7 \cdot 53 \cdot 600}{38 \cdot 50} = 413'4 \text{ mm/s}$$

$$\text{c) } s = \frac{v_1 - v_R}{v_R} = \frac{600 - 487'5}{487'5} = 0'2307$$

$$\text{d) } F = \bar{Y}_f \cdot w \cdot L$$

$$L = \sqrt{R(t_0 - t_f)} = \sqrt{325 \cdot (38 - 24'7)} = 65'75 \text{ mm}$$

$$F = 174 \cdot 50 \cdot 65'75 = 572 \text{ KN}$$

9. Un molino de laminación en caliente tiene ocho bastidores. Las dimensiones de la plancha inicial son: espesor de 3.0 in, ancho de 15.0 in y longitud de 10.0 ft. El espesor final será de 0.3 in, el diámetro del rodillo en cada bastidor de 36 in y la velocidad de rotación en el bastidor número 1 de 30 rev/min. Se ha observado que la velocidad de la plancha que entra al bastidor número 1 es de 240 ft/min. Suponga que no ocurre ensanchamiento de la plancha durante la secuencia de laminado. La reducción porcentual del espesor es igual en cada bastidor y se supone que el deslizamiento hacia delante será igual en cada bastidor. Determine a) la reducción porcentual en cada bastidor, b) la velocidad de rotación de los rodillos en los bastidores del dos al ocho, c) el deslizamiento hacia delante, d) ¿cuál es el draft en los bastidores uno y ocho y e) ¿cuál es la longitud y velocidad de salida de la tira final que sale del bastidor ocho?

8 Bastidores de laminación

$$t_0 = 3 \text{ in}$$

$$w_0 = w_1 = \dots = w_8 = 15 \text{ in}$$

$$L_0 = 10 \text{ ft}$$

$$t_8 = 0.3 \text{ in}$$

$$R = 26 \text{ in}$$

$$v_{R1} = 30 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \rightarrow$$

$$v_{R1} = 30 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot 2\pi \cdot R = 30 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot 2\pi \cdot 18 = 3392.92 \text{ in} \cdot \frac{0.083333}{1 \text{ in}} = 282.74 \text{ ft/min}$$

$$v_0 = 240 \text{ ft/min}$$

%reducción constante.

El deslizamiento hacia delante constante.

%reducción [x]:

$$t_0 \cdot (1-x)^8 = t_8 \rightarrow x = 1 - \sqrt[8]{\frac{t_8}{t_0}} = 1 - \sqrt[8]{\frac{0.3}{3}} = 0.25$$

$$0.75 \cdot t_0 = t_1$$

$$w_0 = w_1 = \dots = w_8 = 15 \text{ in}$$

$$t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_1 \cdot w_1 \cdot v_1 \rightarrow v_1 = \frac{v_0}{0.75}$$

$$\text{a) } v_1 = \frac{v_0}{0.75} = 320 \text{ ft/min} \rightarrow v_2 = \frac{v_1}{0.75} = 426.7 \text{ ft/min} \rightarrow$$

$$v_3 = \frac{v_2}{0.75} = 578.9 \text{ ft/min} \rightarrow v_4 = \frac{v_3}{0.75} = 771.9 \text{ ft/min} \rightarrow$$

$$v_5 = \frac{v_4}{0'75} = 1011'36 \text{ ft/min} \rightarrow v_6 = \frac{v_5}{0'75} = 1348'48 \text{ ft/min} \rightarrow$$

$$v_7 = \frac{v_6}{0'75} = 1797'97 \text{ ft/min} \rightarrow v_8 = \frac{v_7}{0'75} = 2397,3 \text{ ft/min}$$

$$\text{c) } s = \frac{v_1 - v_{R1}}{v_{R1}} = \frac{320 - 282'74}{282'74} = 0'1318$$

$$\text{b) } (1 + s) \cdot v_{R1} = v_1 \rightarrow v_{R1} = \frac{v_1}{(1 + s)}$$

$$v_{R1} = \frac{v_1}{(1 + s)} = 282'74 \text{ ft/min}$$

$$v_{R2} = \frac{v_2}{(1 + s)} = 377'01 \text{ ft/min}$$

$$v_{R3} = \frac{v_3}{(1 + s)} = 502'64 \text{ ft/min}$$

$$v_{R4} = \frac{v_4}{(1 + s)} = 670'19 \text{ ft/min}$$

$$v_{R5} = \frac{v_5}{(1 + s)} = 893'58 \text{ ft/min}$$

$$v_{R6} = \frac{v_6}{(1 + s)} = 1191'45 \text{ ft/min}$$

$$v_{R7} = \frac{v_7}{(1 + s)} = 1588'6 \text{ ft/min}$$

$$v_{R8} = \frac{v_8}{(1 + s)} = 2118'13 \text{ ft/min}$$

$$\text{d) } d_0 = t_0 - t_1 = 0'25 \cdot t_0 = 0'75 \text{ in}$$

$$d_8 = t_7 - t_8$$

$$t_7 = (1 - 0'25)^7 \cdot t_0 = 0'4 \text{ in} \rightarrow d_8 = 0'4 - 0'3 = 0'1 \text{ in}$$

10. Una placa de 28 mm de espesor fabricada de acero inoxidable se reduce un 30% en un paso de laminado. El ancho de la placa es de 40 mm, y a medida que el espesor se reduce, la placa se ensancha un 6%.
- El esfuerzo de fluencia promedio aplicado a la placa de acero es de 178 MPa. La velocidad de salida de la placa es de 600 mm/s. El radio del rodillo es de 0,325 m y la velocidad de rotación del rodillo es de 15 rpm. Determine:
- (0,75 p) El coeficiente de fricción mínimo requerido que haría esta operación de laminado posible.
 - (0,75 p) La velocidad de entrada de la placa, en m/min.
 - (1,0 p) El deslizamiento hacia delante.
 - (1,0 p) La fuerza de laminación necesaria, en kN.

$$\begin{aligned}
 t_0 &= 28 \text{ mm} \rightarrow t_1 = 0'7 \cdot 28 = 19'6 \text{ mm} \\
 w_0 &= 40 \text{ mm} \rightarrow w_1 = 1'06 \cdot 40 = 42'4 \text{ mm} \\
 \bar{Y}_f &= 174 \text{ MPa} \\
 v_1 &= 600 \text{ mm/s} \\
 R &= 0'325 \text{ m} \\
 v_R &= \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot N}{60} = 510 \text{ mm/s}
 \end{aligned}$$

$$\text{a) } d_{\max} = \mu^2 \cdot R \rightarrow \mu = \sqrt{\frac{d_{\max}}{R}} = \sqrt{\frac{28 - 19'6}{325}} = 0'1607$$

$$\text{b) } t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_1 \cdot w_1 \cdot v_1 \rightarrow v_0 = \frac{t_1 \cdot w_1 \cdot v_1}{t_0 \cdot w_0} = \frac{19'6 \cdot 42'4 \cdot 600}{40 \cdot 28} = 445 \text{ mm/s}$$

$$\text{c) } s = \frac{v_1 - v_R}{v_R} = \frac{600 - 510}{510} = 0'17647$$

$$\begin{aligned}
 \text{d) } F &= \bar{Y}_f \cdot w \cdot L \\
 L &= \sqrt{R(t_0 - t_f)} = \sqrt{325 \cdot (28 - 19'6)} = 52'24 \text{ mm} \\
 F &= 174 \cdot 40 \cdot 52'24 = 364 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

11. (2,5p) Sobre una placa de 29 mm de espesor fabricada en acero al bajo carbono se aplica un paso de laminado para reducir el espesor en un 15%. Para este metal y esta reducción, se espera un ensanchamiento del 10%. La velocidad de entrada de la placa es de 12.0 m/min. El diámetro del rodillo es de 230 mm y su velocidad de rotación es de 48 rpm, y además sabemos que el momento torsor sobre dicho rodillo es de 5500 N·m. Determine:
- (0,5p) La velocidad de salida de la placa, en m/min.
 - (1,25p) La potencia necesaria, en CV, para realizar esta operación.
 - (0,75p) Si la relación Potencia/momento torsor (P/T) fuese de 5, ¿cuál sería la velocidad angular que deberían llevar los rodillos (rad/s)?

$$t_0 = 29 \text{ mm} \rightarrow t_1 = 0'85 \cdot 29 = 24'65 \text{ mm}$$

$$w_1 = 1'1 \cdot w_0$$

$$v_0 = 12 \text{ m/min}$$

$$R = 230 \text{ mm}$$

$$N = 48 \text{ rpm}$$

$$T = 5500 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{a) } t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_1 \cdot w_1 \cdot v_1 \rightarrow t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_1 \cdot 1'1 \cdot w_0 \cdot v_1$$

$$v_1 = \frac{t_0 \cdot v_0}{t_1 \cdot 1'1} = \frac{29 \cdot 12}{24'65 \cdot 1'1} = 14'11 \text{ m/min}$$

$$\text{b) } T = 0'5 \cdot F \cdot L \rightarrow F = \frac{T}{0'5 \cdot L}$$

$$F = \frac{5500}{0'5 \cdot 22'367 \cdot 10^{-3}} = 491812 \text{ N}$$

$$L = \sqrt{R(t_0 - t_f)} = \sqrt{115 \cdot (29 - 24'65)} = 22'36 \text{ mm}$$

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot F \cdot L}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 48 \cdot 491812 \cdot 22'367 \cdot 10^{-3}}{60} = 55276'6 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ CV}}{736 \text{ W}} = 75 \text{ CV}$$

$$\text{c) } \frac{P}{T} = 5 \rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot F \cdot L}{0'5 \cdot F \cdot L} = 5 \rightarrow N = 0'3978 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \text{ rad}}{\text{rev}} = 2'5 \text{ rad/s}$$

12. Un molino de laminación en caliente tiene 4 bastidores. Las dimensiones de la plancha inicial son: espesor de 9 mm, ancho de 45 mm y longitud de 3 m. El espesor final será de 1 mm, el diámetro del rodillo en cada bastidor de 120 mm y la velocidad de rotación en el bastidor número 1 de 30 rev/min. Se ha observado que la velocidad de la plancha que entra al bastidor número 1 es de 19 m/min. Suponga que no ocurre ensanchamiento de la plancha durante la secuencia de laminado. La reducción porcentual del espesor es igual en cada bastidor y se supone que el deslizamiento hacia delante será igual en cada bastidor. Determine:
- La reducción porcentual en cada bastidor
 - La velocidad de rotación de los rodillos en los bastidores del dos al cuatro
 - El deslizamiento hacia delante
 - ¿Cuál es el draft en los bastidores uno y cuatro.
 - ¿Cuál es la longitud y velocidad de salida de la tira final que sale del bastidor cuatro?

4 Bastidores de laminación

$$t_0 = 9\text{mm}$$

$$w_0 = w_1 = \dots = w_4 = 45\text{mm}$$

$$L_0 = 3\text{m}$$

$$t_8 = 0'3\text{in}$$

$$R = 120\text{mm}$$

$$N_{R1} = 30 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \rightarrow$$

$$v_{R1} = 30 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot 2\pi \cdot R = 30 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot 2\pi \cdot 120 = 22619,46 \text{ mm/min} = 22'61\text{m/min}$$

$$v_0 = 19\text{m/min}$$

%reducción constante.

El deslizamiento hacia delante constante.

%reducción [x]:

$$t_0 \cdot (1-x)^4 = t_4 \rightarrow x = 1 - \sqrt[4]{\frac{t_4}{t_0}} = 1 - \sqrt[4]{\frac{1}{9}} = 0'4226$$

$$0'4226 \cdot t_0 = t_1$$

$$w_0 = w_1 = \dots = w_4 = 45\text{mm}$$

$$t_0 \cdot w_0 \cdot v_0 = t_1 \cdot w_1 \cdot v_1 \rightarrow v_1 = \frac{v_0}{0'4226}$$

$$\text{a) } v_1 = \frac{v_0}{0'4226} = 44,95 \text{ m/min} \rightarrow v_2 = \frac{v_1}{0'4226} = 106'37 \text{ m/min} \rightarrow$$

$$v_3 = \frac{v_2}{0'4226} = 251'71 \text{ m/min} \rightarrow v_4 = \frac{v_3}{0'4226} = 595'64 \text{ m/min}$$

$$\text{c) } s = \frac{v_1 - v_{R1}}{v_{R1}} = \frac{44'95 - 22'61}{22'61} = 0'988$$

$$\text{b) } (1 + s) \cdot v_{R1} = v_1 \rightarrow v_{R1} = \frac{v_1}{(1 + s)}$$

$$v_{R1} = \frac{v_1}{(1 + s)} = 22'61 \text{ m/min}$$

$$v_{R2} = \frac{v_2}{(1 + s)} = 53'50 \text{ m/min}$$

$$v_{R3} = \frac{v_3}{(1 + s)} = 126'61 \text{ m/min}$$

$$v_{R4} = \frac{v_4}{(1 + s)} = 299'62 \text{ m/min}$$

$$\text{d) } d_0 = t_0 - t_1 = 0'5774 \cdot t_0 = 5'196 \text{ mm}$$

$$d_4 = t_3 - t_4$$

$$t_3 = (1 - 0'4226)^3 \cdot t_0 = 1'7324 \text{ mm} \rightarrow d_4 = 1'7324 - 1 = 0'7324 \text{ mm}$$

13. Una placa de 250 mm de ancho y 25 mm de espesor se reduce en un solo paso en un molino de dos rodillos a un espesor de 20 mm. El rodillo tiene un radio de 50 mm y su velocidad es de 30 m/min. El material de trabajo tiene un coeficiente de resistencia de 240 MPa y un exponente de endurecimiento por deformación de 0.2. Determine a) la fuerza de laminación, b) el momento de torsión de laminación y c) la potencia requerida para realizar esta operación.



14. Resuelva el problema anterior utilizando un radio de rodillo de 250 mm.

15. Resuelva el problema 9 suponiendo un molino de rodillos en conjunto cuyos rodillos de trabajo tienen un radio de 50 mm. Compare los resultados con los dos problemas anteriores y note el importante efecto del radio de los rodillos sobre la fuerza, el momento de torsión y la potencia.



16. Una plancha de 4.50 in de grueso que tiene 9 in de ancho y 24 in de largo se reducirá en un solo paso en un molino de dos rodillos a un espesor de 3.87 in. El rodillo gira a una velocidad de 5.50 rev/min y tiene un radio de 17.0 in. El material de trabajo tiene un coeficiente de resistencia igual a 30 000 lb/in² y un exponente de endurecimiento por deformación de 0.15. Determine a) la fuerza del laminado, b) el momento de torsión del laminado y c) la potencia requerida para realizar esta operación.



17. Una operación de laminado de un solo paso reduce una placa de 20 mm de grueso a 18 mm. La placa inicial tiene un ancho de 200 mm. El radio del rodillo es de 250 mm y la velocidad de rotación es de 12 rev/min. El material de trabajo tiene un coeficiente de resistencia de 600 MPa y un exponente de endurecimiento por deformación de 0.22. Determine a) la fuerza de laminación, b) el momento de torsión de laminación y c) la potencia requerida para esta operación.

18. Un molino de laminación en caliente tiene rodillos cuyo diámetro es de 24 in. Puede ejercer una fuerza máxima de 40 000 libras. El molino tiene una potencia máxima de 100 hp. Se desea reducir una placa de 1.5 in de grueso al draft máximo posible en un paso. La placa inicial tiene 10 in de ancho. El material caliente tiene un coeficiente de resistencia de 20 000 lb/in² y un exponente de endurecimiento por deformación de 0. Determine a) el draft máximo posible, b) la deformación real asociada y c) la velocidad máxima de los rodillos para esta operación.

19. Resuelva el problema anterior, excepto porque la operación es laminado en caliente encima de la temperatura de cristalización y el exponente de endurecimiento por deformación es de 0.18. Suponga que el coeficiente de resistencia permanece en un valor de 20 000 lb/in².



--



--



FITXA ACTIVITATS	PUNTUACIÓ:
-------------------------	-------------------

□□□□□□□□				
NOTA TEORIA		NOTA PRÁCTICA		VISTO BUENO:
□□□□		TIEMPO EMPLEADO		
OBSERVACIONES:				