

Problema # 1 (50 puntos).

Considere un cojinete completo de contacto deslizante que emplea de lubricante aceite SAE grado 50, que tiene un eje con un diámetro de 1.25 pulgadas con una tolerancia unilateral de  $\pm 0.001$  pulgadas, y un buje con un diámetro de 1.252 pulgadas con una tolerancia unilateral de  $+0.001$  pulgadas. Si el eje rota a 1250 revoluciones/min y la carga radial es de 850 lbf, haga lo siguiente:

- Determine el incremento de temperatura del lubricante  $\Delta T$  dentro del cojinete y el valor de la viscosidad dinámica  $\mu$ .
- Determine el número de Sommerfeld  $S$ .
- Determine la magnitud  $h_0$  y localización  $\phi$  del espesor mínimo de película.
- Determine la razón de transferencia de calor perdido  $H_{loss}$ .
- Determine el flujo axial de lubricante  $Q_s$ .
- Determine la presión máxima de la película del lubricante  $p_{max}$  y su localización angular  $\theta_{p_{max}}$ .
- Con las consideraciones de diseño de Trumpler evalúe si el espesor de película mínimo y la temperatura de salida del lubricante del cojinete, en condiciones de estado estable, presentan valores adecuados.
- Responda las siguientes preguntas:
  - ¿Se puede garantizar la existencia de lubricación hidrodinámica o de película gruesa para este caso en particular?
  - En función de lo anterior, ¿qué sucedería con la razón de transferencia de calor perdido y con la viscosidad dinámica si se elevará la temperatura a la salida del colector del lubricante?

Todo lo anterior para cuando se tiene un ensamblaje con holgura máxima  $c_{max}$ . Considere de igual forma que la temperatura de estado estable del lubricante al salir del colector es de 150°F, y que la longitud del cojinete  $l$  es el doble del radio del eje.

Se aconseja pruebe con los siguientes valores para  $\Delta T$ : 26.94°F, 37.06°F.

Problema # 1

Encontrar el valor de  $\Delta T$   $T=26.94^\circ\text{F}$  10 puntos, Determinar la viscosidad 6 puntos, Determinar  $S$  6 puntos

$$T_1 = 150$$

$$d_{eje} = 1.25$$

$$d_{ejemin} = d_{eje} - 0.001$$

$$d_{bujе} = 1.252$$

$$d_{bujemax} = d_{bujе} + 0.001$$

$$W = 850$$

$$l = d_{eje}$$

$$P = \frac{W}{d_{eje} \cdot l}$$

$$u_0 = 1.7 \times 10^{-8}$$

$$b = 1509.6$$

$$c_{\max} = \frac{d_{\text{bujemax}} - d_{\text{ejemin}}}{2}$$

$$N = \frac{1250}{60}$$

$$S = \frac{u \cdot N}{P} \cdot \left[ \frac{d_{\text{buje}}}{2 \cdot c_{\max}} \right]^2$$

$$T_{\text{prom}} = \frac{b}{\ln \left[ \frac{u}{u_0} \right]} - 95$$

$$2 \cdot [T_{\text{prom}} - T_1] = \frac{P}{9.71} \cdot [0.349109 + 6.0094 \cdot S + 0.047467 \cdot S^2]$$

*Parte c: 4 puntos*

$$\frac{h_0}{c_{\max}} = 0.11$$

$$\phi = 28 \text{ [}^\circ\text{]}$$

*Parte d: 4 puntos*

$$\frac{d_{\text{eje}} \cdot f}{2 \cdot c_{\max}} = 1.2$$

$$J = 9338.028$$

$$H_{\text{loss}} = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot \frac{f \cdot W \cdot d_{\text{eje}}}{2 \cdot J}$$

*Parte e: 4 puntos*

$$\frac{2 \cdot Q}{d_{\text{eje}} \cdot c_{\max} \cdot N \cdot l} = 4.7$$

$$\frac{Q_s}{Q} = 0.95$$

*Parte F: 4 puntos*

$$\frac{P}{p_{\max}} = 0.27$$

$$\theta_{\text{pmax}} = 61 \text{ [}^\circ\text{]}$$

*Parte g: 4 puntos*

$$T_{\text{max}} = 2 \cdot T_{\text{prom}} - T_1$$

$$h_{0\text{cr}} = 0.0002 + 0.00004 \cdot d_{\text{eje}}$$

*Parte h1: 4 puntos, parte h2: 4 puntos*

## SOLUTION

**Unit Settings: SI C kPa J mass deg**

b = 1510	$c_{\max} = 0.002$	$d_{\text{buje}} = 1.252$
$d_{\text{bujemax}} = 1.253$	$d_{\text{eje}} = 1.25$	$d_{\text{ejemin}} = 1.249$
f = 0.00384	$h_0 = 0.00022$	$h_{0\text{cr}} = 0.00025$
$H_{\text{loss}} = 0.0286$	J = 9338	l = 1.25
N = 20.83	P = 544	$\phi = 28$ [°]
$p_{\max} = 2015$	Q = 0.153	$Q_s = 0.1453$
S = 0.02194	$\theta_{p\max} = 61$ [°]	$T_1 = 150$
$T_{\max} = 176.9$	$T_{\text{prom}} = 163.47$	u = 0.00000585
$u_0 = 1.700\text{E-}08$	W = 850	

No unit problems were detected.

Problema # 2 (50 puntos).

Evalúe el diseño de la siguiente transmisión entre ejes paralelos por medio de engranes rectos externos, tome como criterio que los factores de seguridad tanto del piñón como de la rueda sean iguales o mayores a la unidad:

El piñón tiene 17 dientes y la rueda 50 dientes, ambos con una confiabilidad de 0.999, una calidad de 6, y un ángulo de presión de  $20^\circ$ . Ambos engranes son de acero, completamente endurecido, grado 1, sin embargo el piñón presenta una dureza de 350 Brinell y la rueda de 250 Brinell.

La vida deseada para el piñón es de  $2.5 \times 10^9$  revoluciones.

Adicionalmente se conoce que el paso diametral es de 4 dientes/pulgada, que el ancho de cara es de 3.5 pulgadas, que el factor de sobrecarga y el factor de distribución de carga son iguales a la unidad, que la temperatura de operación de los engranes está por debajo a los  $250^\circ\text{F}$ , y que la relación de apoyo es mayor a 1.2.

Tenga en cuenta que el piñón de esta transmisión entre ejes paralelos (engrane 5 en la siguiente figura) forma parte del tren de engranes que se observa en la figura # 1. Aquí el engrane impulsor 2 presenta un torque de entrada de 1800 lbf·in.

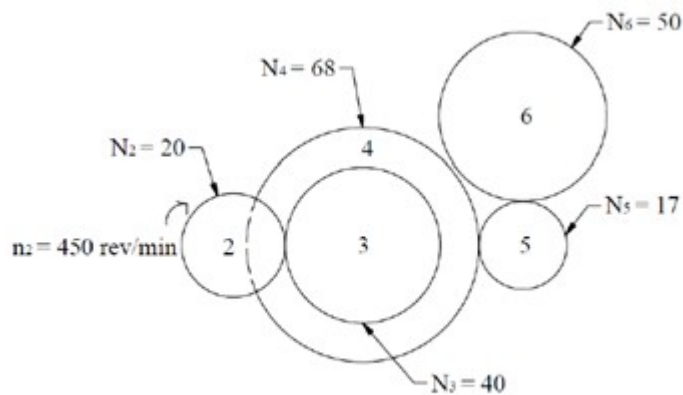


Figura # 1.

*Problema # 2*

*Calculo de la carga transmitida W*

$$N_p = 17$$

$$N_G = 50$$

$$N_2 = 20$$

$$N_3 = 40$$

$$N_4 = 68$$

$$n_{vel2} = 450$$

$$n_{pvel} = n_{vel2} \cdot \frac{N_2 \cdot N_4}{N_3 \cdot N_p} \quad 5 \text{ puntos}$$

$$P_d = 4$$

$$d_p = \frac{N_p}{P_d}$$

$$d_G = \frac{N_G}{P_d}$$

$$T = 1800$$

$$H = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{vel2}$$

$$V1 = \pi \cdot d_p \cdot n_{pvel}$$

$$H = W \cdot V1 \quad 5 \text{ puntos}$$

*Estimación de los factores de corrección*

*Factores geometricos: J, I (engranes rectos externos)*

*De la figura 14-6 para  $N_p=17$ ,  $N_G=50$*

$$J_p = 0.29 \quad 1 \text{ punto}$$

$$J_G = 0.42 \quad 1 \text{ punto}$$

$$\text{raz} = \frac{N_G}{N_p}$$

$$\phi = 20 \quad [^\circ]$$

$$m_N = 1$$

$$I = \cos [\phi] \cdot \frac{\sin [\phi]}{2 \cdot m_N} \cdot \left[ \frac{\text{raz}}{\text{raz} + 1} \right] \quad 1 \text{ punto}$$

*Coefficiente elástico,  $C_p$*

*De la tabla 14-8, ambos engranes de acero:*

$$E_p = 3 \times 10^7$$

$$E_G = E_p$$

$$v_p = 0.3$$

$$v_G = v_p$$

$$C_p = \left[ \frac{1}{\pi \cdot \left( \frac{1 - v_p^2}{E_p} + \frac{1 - v_G^2}{E_G} \right)} \right]^{0.5} \quad 1 \text{ punto}$$

*Factor dinámico,  $K_v$*

$$Q_v = 6$$

$$V = \frac{\pi \cdot d_p \cdot n_{pvel}}{12}$$

$$B = 0.25 \cdot [12 - Q_v]^{[2 / 3]}$$

$$A = 50 + 56 \cdot [1 - B]$$

$$K_v = \left[ \frac{A + V^{0.5}}{A} \right]^B \quad 1 \text{ punto}$$

Factor de sobrecarga  $K_0$ :

$$K_0 = 1 \quad 1 \text{ punto}$$

Factor de condición superficial,  $C_f$ :

$$C_f = 1 \quad 1 \text{ punto}$$

Factor de tamaño,  $K_s$ :

$$F = 3.5$$

$$Y_p = 0.303$$

$$Y_G = 0.409$$

$$K_{sp} = 1.192 \cdot \left[ \frac{F \cdot Y_p^{0.5}}{P_d} \right]^{0.0535} \quad 1 \text{ punto}$$

$$K_{sG} = 1.192 \cdot \left[ \frac{F \cdot Y_G^{0.5}}{P_d} \right]^{0.0535} \quad 1 \text{ punto}$$

Factor de distribución de carga,  $K_m$

$$K_m = 1 \quad 1 \text{ punto}$$

Factor de relación de durezas  $C_H$ : Piñon 350  $H_B$ , rueda 250  $H_B$

$$H_{Bp} = 350$$

$$H_{BG} = 250$$

$$A1 = 0.00898 \cdot \frac{H_{Bp}}{H_{BG}} - 0.00829$$

$$C_H = 1 + A1 \cdot [raz - 1] \quad 1 \text{ punto}$$

Factores de ciclos de esfuerzos  $Y_N$ ,  $Z_N$ : figura 14-14 y 14-15

$$N_{Ip} = 2.5 \times 10^9$$

$$N_{IG} = \frac{N_{Ip}}{raz}$$

$$Y_{Np} = 1.6831 \cdot N_{Ip}^{-0.0323} \quad 1 \text{ punto}$$

$$Y_{NG} = 1.6831 \cdot N_{IG}^{-0.0323} \quad 1 \text{ punto}$$

$$Z_{Np} = 2.466 \cdot N_{Ip}^{-0.056} \quad 1 \text{ punto}$$

$$Z_{NG} = 2.466 \cdot N_{IG}^{-0.056} \quad 1 \text{ punto}$$

Factor de confiabilidad  $K_R$ :

$$R = 0.999$$

$$K_R = 0.5 - 0.109 \cdot \ln [1 - R] \quad 1 \text{ punto}$$

Factor asociado a la temperatura  $K_t$ : temperatura por debajo a los 250°F

$$K_t = 1 \quad 1 \text{ punto}$$

Factor del espesor del aro  $K_B$ : relación de apoyo se supone es mayor a 1.2:

$$K_B = 1 \quad 1 \text{ punto}$$

Resistencias no corregidas: ambos engranes son de acero, completamente endurecido, grado 1, uno con una dureza superficial de 350 Brinell y el otro con una de 250 Brinell, ver figura 14-2 y 14-5:

$$S_{tp} = 77.3 \cdot H_{Bp} + 12800 \quad 1 \text{ punto}$$

$$S_{tG} = 77.3 \cdot H_{BG} + 12800 \quad 1 \text{ punto}$$

$$S_{cp} = 322 \cdot H_{Bp} + 29100 \quad 1 \text{ punto}$$

$$S_{cG} = 322 \cdot H_{BG} + 29100 \quad 1 \text{ punto}$$

Pinón:

$$\sigma_p = W \cdot K_0 \cdot K_v \cdot K_{sp} \cdot \frac{P_d}{F} \cdot \frac{K_m \cdot K_B}{J_p} \quad 2 \text{ punto}$$

$$S_{Fp} = S_{tp} \cdot \frac{Y_{Np}}{K_t \cdot K_R \cdot \sigma_p} \quad 2 \text{ punto}$$

$$\sigma_{cp} = C_p \cdot \left[ W \cdot K_0 \cdot K_v \cdot K_{sp} \cdot K_m \cdot \frac{C_f}{d_p \cdot F \cdot l} \right]^{0.5} \quad 2 \text{ punto}$$

$$S_{Hp} = S_{cp} \cdot \frac{Z_{Np}}{K_t \cdot K_R \cdot \sigma_{cp}} \quad 2 \text{ punto}$$

Rueda:

$$\sigma_G = W \cdot K_0 \cdot K_v \cdot K_{sG} \cdot \frac{P_d}{F} \cdot \frac{K_m \cdot K_B}{J_G} \quad 2 \text{ punto}$$

$$S_{FG} = S_{tG} \cdot \frac{Y_{NG}}{K_t \cdot K_R \cdot \sigma_G} \quad 2 \text{ punto}$$

$$\sigma_{cG} = C_p \cdot \left[ W \cdot K_0 \cdot K_v \cdot K_{sG} \cdot K_m \cdot \frac{C_f}{d_p \cdot F \cdot l} \right]^{0.5} \quad 2 \text{ punto}$$

$$S_{HG} = S_{cG} \cdot Z_{NG} \cdot \frac{C_H}{K_t \cdot K_R \cdot \sigma_{cG}} \quad 2 \text{ punto}$$

*Si se cumple con el criterio.*

*2 punto*

### SOLUTION

#### Unit Settings: SI C kPa J mass deg

A = 59.77

C<sub>f</sub> = 1

d<sub>G</sub> = 12.5

E<sub>p</sub> = 3.000E+07

H<sub>BG</sub> = 250

J<sub>G</sub> = 0.42

K<sub>B</sub> = 1

K<sub>sG</sub> = 1.156

K<sub>v</sub> = 1.42

N<sub>3</sub> = 40

N<sub>iG</sub> = 8.500E+08

n<sub>pvel</sub> = 900

P<sub>d</sub> = 4

raz = 2.941

σ<sub>G</sub> = 1891

S<sub>cp</sub> = 141800

S<sub>HG</sub> = 1.521

S<sub>tp</sub> = 39855

V<sub>1</sub> = 12017

W = 423.5

Y<sub>Np</sub> = 0.8367

Z<sub>Np</sub> = 0.734

A<sub>1</sub> = 0.004282

C<sub>H</sub> = 1.008

d<sub>p</sub> = 4.25

F = 3.5

H<sub>Bp</sub> = 350

J<sub>p</sub> = 0.29

K<sub>m</sub> = 1

K<sub>sp</sub> = 1.146

m<sub>N</sub> = 1

N<sub>4</sub> = 68

N<sub>ip</sub> = 2.500E+09

n<sub>vel2</sub> = 450

Q<sub>v</sub> = 6

σ<sub>cG</sub> = 45213

σ<sub>p</sub> = 2717

S<sub>FG</sub> = 11.75

S<sub>Hp</sub> = 1.845

T = 1800

V<sub>G</sub> = 0.3

Y<sub>G</sub> = 0.409

Y<sub>p</sub> = 0.303

B = 0.8255

C<sub>p</sub> = 2291

E<sub>G</sub> = 3.000E+07

H = 5.089E+06

l = 0.1199

K<sub>0</sub> = 1

K<sub>R</sub> = 1.253

K<sub>t</sub> = 1

N<sub>2</sub> = 20

N<sub>G</sub> = 50

N<sub>p</sub> = 17

φ = 20 [°]

R = 0.999

σ<sub>cp</sub> = 45032

S<sub>cG</sub> = 109600

S<sub>Fp</sub> = 9.795

S<sub>tG</sub> = 32125

V = 1001

v<sub>p</sub> = 0.3

Y<sub>NG</sub> = 0.8663

Z<sub>NG</sub> = 0.7797

No unit problems were detected.