ΕΛΙΚΟΕΙΔΗ ΓΡΑΝΑΖΙΑ

Πόση ισχύς μπορεί νά μεταφερθεί μέ ασφάλεια από ένα ζεύγος ελικοειδών οδοντωτών τροχών, γωνίας εξειλιγμένης 20°, γωνίας έλικας 25°, μέ modul τής κανονικής οδόντωσης $m_n=5$, κατασκευασμένων καί τών δύο από SAE 1040 μέ πλάτος οδόντων 75 mm. Τό pinion περιστρέφεται στίς 2000 rpm καί έχει 20 δόντια, καί η σχέση μετάδοσης είναι 1:5. Προσδιορίστε τήν μέγιστη ιπποδύναμη πού μπορεί νά μεταφερθεί (α) χρησιμοποιώντας τίς τροποποιημένες εξισώσεις Lewis καί Buckingham, καί (β) τήν AGMA μέθοδο μόνο γιά αντοχή.

(α) Έλεγχος μόνο γιά μικρό γρανάζι (μικρότερος συντελεστής Lewis).

$$F_d = \frac{S_{en}\, b\, y\, P_n}{K_t} \quad \text{ή} \quad \frac{S_{en}\, b\, Y\, m_n}{K_t}$$

- $S_{en} = 1750\ kp/cm^2$ (πίνακας 6.2)
- $b = 7.5\ cm$

Γιά νά βρούμε τό y, χρειαζόμαστε τόν ισοδύναμο αριθμό δοντιών τού μετωπικού.

$$N_e = \frac{N}{(\cos\varphi)^3} = \frac{20}{(\cos 25^\circ)^3} = 27 \text{ δόντια.}$$

- $Y = 0,348$, $y = 0.111$ (πίνακας 6.1)
- $P_n = \pi m_n = 15.708\ mm = 1.5708\ cm$, $m_n = 5\ mm$
- $K_t = 0.18 + \left(\frac{t}{r}\right)^{0.15}\left(\frac{t}{L}\right)^{0.45}$, γιά $\varphi = 20^\circ$

$$\left.\begin{array}{l} t = \frac{\pi m_n}{2} = \frac{\pi 5}{2} = 7.854\ mm \\ r = 2\ mm \\ L = 2.2 \cdot m_n = 11\ mm \end{array}\right\} K_t = 1.235$$

Άρα :

$$F_d = \frac{(1750)(7.5)(0.111)(1.5708)}{1.235} = 1850\ kp$$

Έλεγχος επιφανειακής αντοχής (Buckingham).

$$F_w = \frac{d_1 b Q K}{\cos^2\psi} = d_{1n} b Q K$$

- $d_1 = N_1 m = N_1 m_n / \cos\psi = 20 \times 5 / \cos 25 = 110\ mm$
- $b = 75\ mm$
- $Q = \dfrac{2 N_2}{N_1 + N_2} = \dfrac{2 \times 100}{20 + 100} = 1.67$
- $BHN = 202$ (από πίν 6.2)

$K = 79\ psi = 5.56\ kp/cm^2$ (από πίν 6.3)

$$F_w = \frac{(11)(7.5)(1.67)(5.56)}{\cos^2 25} = 930\ kp$$

Σημ. Θεωρίας

$$F_d = \frac{3 + v_p}{3} F_t \quad , \text{γιά } 0 < v_p \leq 10\ m/sec \quad \left(F_d = \frac{600 + v_p}{600} F_t\right)$$

$$F_d = \frac{6 + v_p}{6} F_t \quad , \text{γιά } 10 < v_p \leq 20\ m/sec \quad \left(F_d = \frac{1200 + v_p}{1200} F_t\right)$$

(γιά ελικοειδή μόνο η τελευταία) $$F_d = \frac{5.58 + \sqrt{v_p}}{5.58} F_t \quad , \text{γιά } v_p > 20\ m/sec \quad \left(F_d = \frac{78 + \sqrt{v_p}}{78} F_t\right)$$

$$v_p = \omega \cdot r = \frac{\cancel{2}\pi}{60} n \cdot \frac{d_1}{\cancel{2}} = \frac{\pi n d_1}{60} = \frac{\pi(2000)(0.11)}{60} = 11.52\ m/sec$$

$$F_d = \frac{5.58 + \sqrt{11.52}}{5.58} F_t \Rightarrow F_t = \frac{(5.58)(930)}{5.58 + \sqrt{11.52}} \Rightarrow \boxed{F_t = 580\ kp}$$

Η ιπποδύναμη πού μέ ασφάλεια μπορεί νά μεταφερθεί είναι:

$$F_t \times \frac{d_1}{2} = M = 580\,kp\,\frac{11\,cm}{2} = 3190\ kp\cdot cm$$

$$M = 71620\,\frac{N}{n} \Rightarrow N = \frac{Mn}{71620} = \frac{(3190)(2000)}{71620}$$

$$\underline{N = 89\ HP}$$

ή $N = M\omega = F_t r\omega = F_t v_p = (580 \times 9.81)N \times (11.52)\,m/sec$

$$N = 65550\ W = \underline{65\ kW}$$

(β) AGMA μέθοδος

$S_{at} = 1900\ kp/cm^2$ (Πίν 6.6, παρεμβολή γιά BHN = 202 χάλυβα)

$K_L = 1$ (γιά άπειρη ζωή) Πίν 6.5

$K_T = 1$ (γιά $T \leq 120°C$)

$K_R = 1.5$ (γιά υψηλή αξιοπιστία) Πίν 6.7

$$\underline{S_{ad}} = \frac{S_{at}K_L}{K_T K_R} = \frac{(1900)(1)}{(1)(1.5)} = \underline{1270\ kp/cm^2}$$

Εξίσωση 6.28 :

$$F_t = \frac{S_{ad} K_v b m_n J}{K_o K_s K_m}\ ,\quad \sigma_t = S_{ad}$$

- $K_v = 0.79$ (σχ. 6.25 γιά $v_p = 11.52\ m/sec$)
- $K_o = 1.5$ (πίν 6.3 γιά μέτριες κρούσεις κινητήρα φορτίου)
- $K_s = 1$ (γιά ελικοειδή γρανάζια).
- $K_m = 1.3$ (Πίν 6.4, Ελικοειδή, b = 75 mm, ακριβή στήριξη).
- $b = 7.5\ cm$
- $m_n = m\cos\psi = 4.53\ mm = \cancel{0.453}\ 0.5\ cm$

- $J=0.45$ (σχ. 7.8, γιά $\psi=25°$ καί $N_1=20$)

$$F_t=\frac{(1270)(0.79)(7.5)(0.453)(0.45)}{(1.5)(1)(1.3)}=920\ kp$$

$$\boxed{(F_t)_{AGMA}=920\ kp}$$

Άρα μόνο μέ έλεγχο κάμψης κατά AGMA η ισχύς πού μπορεί νά μεταφερθεί είναι

$$N=F_t\,v_p=(920\times 9.81\ N)(11.52\ m/sec)=104\ kW$$

$$\boxed{(N)_{AGMA}=104\ kW}$$

Έλεγχος Επιφανειακής Αντοχής κατά AGMA. (ελικοειδή)

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{F_t C_o C_s C_m C_f}{C_v\, d\, b\, I}} \leq S_{ac} \frac{C_L C_H}{C_T C_R S_H}$$

όπου $C_p = 610 \sqrt{kp/cm^2}$ από διορθ. πίνακα 6.9 ή

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi\left[\frac{1-\mu_p^2}{E_p} + \frac{1-\mu_g^2}{E_g}\right]}} = 610 \sqrt{kp/cm^2}$$

F_t η προς προσδιορισμό δύναμη.

$C_o = K_o = 1$ συντελεστής κρουστικός.

$C_s = K_s = 1$ (συντελεστής διόρθωσης μεγέθους).

$C_m = K_m = 2{,}0$ (συντελεστής διανομής φορτίου)

$C_f = 1$ (συντ. επιφανειακής κατάστασης).

$C_v = 0{,}667$ (δυναμικός συντελεστής).

$d = 11$ cm

$b = 7{,}5$ cm

$S_{ac} = 7330\ kp/cm^2$ (για 200 BHN & Grade 2).

$$610 \sqrt{\frac{F_t \times 1 \times 1 \times 2{,}0 \times 1}{0{,}66 \times 11 \times 7{,}5 \times 0{,}184}} \leq 7330\ kp/cm^2 / 1{,}4$$

$$\boxed{F_t = 369\ kp}$$

Άρα $N = 369 \times 9{,}81 \times 11{,}55/1000 = \boxed{42\ kW = N}$

(ο υπολογισμός του $I = 0{,}184$ ακολουθεί) όπου:

$$I = \frac{\dfrac{\cos\varphi \sin\varphi}{2}\left[\dfrac{i}{i+1}\right]}{\dfrac{P_n}{0{,}95 z}}$$

$P_n = \pi m_n$ και z το μήκος της γραμμής επαφής στο μέτωπ.

$P_n = \pi \times 5 = 15.708$ mm

$Z = m_c \cdot P_{bn}$

$P_{bn} = P_n \cdot \cos\psi = 15{,}708 \times \cos 25 = 14{,}236$ mm.

$$m_c = \frac{1}{2\pi}\left[\sqrt{(N_2+2)^2 - N_2^2\cos^2\varphi} - N_2 \sin\varphi + \right.$$ λόγω επαφής

$$\left. + \sqrt{(N_1+2)^2 - N_1^2\cos^2\varphi} - N_1 \sin\varphi\right] =$$

$$= \frac{1}{2\pi}\left[\sqrt{(100+2)^2 - 100^2\cos^2 20} - 100 \sin 20 + \right.$$

$$\left. + \sqrt{(20+2)^2 - 20^2\cos^2 20} - 20 \sin 20\right] \Rightarrow \quad m_c = 1.6$$

$Z = m_c \cdot P_{bn} = 1{,}6 \times 14{,}236 = 22{,}78$ μήκος τόξου επαφής

$$I = \frac{\dfrac{\cos 20 \times \sin 20}{2}\left(\dfrac{5}{5+1}\right)}{\dfrac{15{,}708}{0{,}95 \times 22{,}78}} = 0.184$$