Pompe
hydraulique

مسألة

تعمل الرافعة المبيّنة في الشكل على مبدأ الملفاف الدوّار، ويمتلك المحرّك المستخدم المواصفات التالية: الاستطاعة 3HP والدوران الناتج على محور الملفاف N=36 rpm والمطلوب:

١. حساب سرعة ارتفاع الحمل بواحدة m/s ؟

٢. حساب قيمة الحمل الممكن رفعه؟

٣. حساب قطر محور الملفاف؟ $f.s = 2.5$ $k_b = 2.5,\ k_t = 2.5$ $\sigma_y = 24\,\text{kg/mm}^2$

٤. تصميم المدحرجات الكروية اللازمة للمحور؟ $L_h = 15000\ \text{hr}$

الحل:

1- تُحسب سرعة رفع الحمل على أنّها نفس قيمة السرعة المحيطية للملفاف كما في الشكل.

$$V = \omega \cdot R = \frac{2\pi N}{60} \cdot R = \frac{2\pi 36}{60} \times 0.04 = 0.15\ \text{m/s}$$

2- يُحسب الحمل في حالة الدوران المنتظم من توازن عزم الفتل لمحور الدوران:

العزم الدوراني للمحرك = عزم مقاومة الحمل

$$M_t = W \times R$$

$$M_T = \frac{71620 \times P}{N} = \frac{71620 \times 2}{36} = 3978.9 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 39789 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

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

$$39789 = W \times 40 \quad \Rightarrow W = 994 \text{ kg}$$

3- يُحسب قطر المحور وفق معادلة الجمعيّة الأمريكيّة للمهندسين على اعتبار أنّه محور دوّار ومن أجل محور دوّار خاضع لفتل وانحناء تكون معادلة الجمعية الأمريكية بالشكل التالي:

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(k_b M_b)^2 + (k_t M_t)^2} = \tau_{all}$$

نوجد الفتل والانحناء على لمقطع الخطر من المحور بدراسة الحمولات على المحور فينتج على المقطع الخطر:

عزم انحناء: $M_b = 49700 \text{ kg.mm}$

عزم فتل: $M_t = 39789 \text{ kg.mm}$

نعوّض في معادلة الجمعية الأمريكيّة:

$$\frac{12}{2.5}=\frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(2.5\times 49700)^2+(2\times 39789)^2}\Rightarrow d=53.9\text{mm}\Rightarrow d=55\text{mm}$$

4- تصميم المدحرج على اليمين

– قطر الحلقة الداخلية: d=55 mm.

– السعة الديناميكية:

$$C=P\cdot L^{1/m}$$

$$\left.\begin{array}{l} m=3 \\ L=60N\cdot L_h\cdot 10^{-6}=60\times 36\times 25000\times 10^{-6}=54\text{ million rev} \\ P=497\ kg \end{array}\right\}\Rightarrow C=497\cdot 54^{1/3}=1878\text{ kg}$$

المدحرج على اليسار نفس المدحرج على اليمين لخضوعه لنفس القوة. (من جداول المدحرجات نختار المدحرج)

مسألة يبين الشكل علبة سرعة ذات مسننات مستقيمة تستعمل لتشغيل رافعة بملفاف دوار

المسننات المستقيمة: $b = 10m$ $\alpha = 20^\circ$ $m = 3\text{mm}$ $d_2 = 150\text{mm}$ $d_1 = 60\text{mm}$

١. حساب سرعة ارتفاع الحمل بواحدة m/s ؟

٢. حساب قيمة الحمل الممكن رفعه؟

٣. وضع القوى على المسننات وحساب قيمها؟

٤. حساب القيم المميزة لمادة صنع المسننات

$F_d = F_t \quad Y = 0.36 \quad K_S = 1.25$

٥. حساب قطر كل من المحورين II, I

$K_b = K_t = 2$ St42 $f.s = 2$ ؟

٦. تصميم المدحرجات الكروية اللازمة للمحور II $L_h = 15000\text{ hr}$

الحل

1- تحسب سرعة رفع الحمل على أنّها نفس قيمة السرعة المحيطية للملفاف كما في الشكل.

$$v = \omega \cdot R = \frac{2\pi N}{60} \cdot \frac{D}{2} = \frac{\pi D \cdot N}{60}$$

حيث D قطر الملفاف و N عدد الدورات في الدقيقة للملفاف.

$$N = N_2$$

$$N_1 \cdot d_1 = N_2 \cdot d_2 \Rightarrow 300 \times 60 = N_2 \times 150 \Rightarrow N_2 = 120 \text{ rpm}$$

$$v = \frac{\pi (0.12) 120}{60} = 0.754 \text{ m/s}$$

2- يُحسب الحمل في حالة الدوران المنتظم من توازن عزم الفتل على محور الملفاف:

$$M_t = W \times R$$

$$M_t = \frac{71620 \times P}{N} = \frac{71620 \times 4}{120} = 2387.3 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 23873 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$R = 60\text{mm}$$

$$23873 = W \times 60 \quad \Rightarrow W = 398 \text{ kg}$$

يمكن حساب الحمل بطريقة أخرى وفق:

$$\overset{\text{hp}}{P} = \frac{\overset{\text{kg}}{W} \cdot \overset{\text{m/s}}{v}}{75} \quad \Rightarrow \quad 4 = \frac{W \times 0.754}{75} \quad \Rightarrow \quad W = 398 \text{ kg}$$

3- لتمثيل القوى على المسننات يجب معرفة (القائد والمقود) و(جهة الدوران)

– المسنن (1) قائد والمسنن (2) مقود.

– جهة الدوران يتم تحديدها لحالة الرفع بملاحظة أن الكبل الحامل معلق من خلف الملفاف حسب الشكل في المسألة.

$$F_{t1} = \frac{2M_{t1}}{d_1} \rightarrow \begin{cases} d_1 = 60 \text{ mm} \\ M_{t1} = \dfrac{71620 \times P}{N_1} = \dfrac{71620 \times 4}{300} = 954.9 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 9549 \text{ kg} \cdot \text{mm} \end{cases}$$

$$F_{t1} = \frac{2 \times 9549}{60} = 318 \text{ kg} = F_{t2}$$

$$F_{r1} = F_{t1} \tan(\alpha) = 318 \tan(20) = 116 \text{ kg} = F_{r2}$$

مادة المسننات:

a- معادلة الاهتراء: لحساب عامل الاهتراء K بمعرفته يتم تحديد القساوة لسطوح الأسنان:

$$F_t + F_d = K \cdot b \cdot d_P \frac{2i}{1+i}$$

القوة المماسية بين المسننين..... $F_t = F_{t1} = F_{t2} = 318\ \text{kg}$

القوة الديناميكية تعطى كنسبة من المماسية..... $F_d = F_t = 1.2 \times 158 = 318\ \text{kg}$

عرض المسننات (نسبة من المودول)..... $b = 10m = 10 \times 3 = 30\ \text{mm}$

القطر الخطوي للمسنن الصغير من الزوج..... $d_P = d_1 = 60\ \text{mm}$

نسبة السرعة ..... $i = \frac{d\ (big)}{d\ (small)} = \frac{Z\ (big)}{Z\ (small)} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{150}{60} = 2.5$

$$318 + 318 = K \times 30 \times 60 \frac{2 \times 2.5}{1+2.5} \quad \Rightarrow \quad K = 0.247\,\text{kg/mm}^2$$

b- معادلة المقاومة لحساب حد التعب S_{nr} لمادة المسننات:

$$F_t + F_d = S_{nr} \cdot \frac{b \cdot Y \cdot m}{K_S}$$

القوة المماسية بين المسننين..... $F_t = F_{t1} = F_{t2} = 318\ \text{kg}$

القوة الديناميكية تعطى كنسبة من المماسية..... $F_d = F_t = 1.2 \times 158 = 318\ \text{kg}$

عرض المسننات (نسبة من المودول)..... $b = 10m = 10 \times 3 = 30\ \text{mm}$

عامل شكل السن قيمة جدولية)..... $Y = 0.36$

عامل الخدمة (قيمة جدولية) ..... $K_S = 1.25$

$$318 + 318 = S_{nr}\frac{30 \times 0.36 \times 3}{1.25} \quad \Rightarrow \quad S_{nr} = 24.5\ \text{kg/mm}^2$$

4- محاور دوارة يُحسب قطر كل منها وفق معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\tau_{all} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(k_b M_b)^2 + (k_t M_t)^2}$$

المحور (I)

نوجد الفتل والانحناء على مقطعه الخطر بدراسة الحمولات على المحور حيث يخضع للقوى المتولدة على المسنن (1) والتي ينتقل تأثيرها إلى المحور كما يبين الشكل.

يخضع المقطع الخطر لـ:

$$\begin{cases} M_b = \sqrt{2900^2 + 7950^2} = 8462\ \text{kg}\cdot\text{mm} \\ M_t = 9549\ \text{kg}\cdot\text{mm} \end{cases}$$

نعوض في معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\frac{21}{2 \times 2} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(2 \times 8462)^2 + (2 \times 9549)^2} \Rightarrow d = 29.1\ \text{mm}$$

نختار قطر المحور (I) d=30 mm

المحور (II)

نوجد الفتل والانحناء على مقطعه الخطر بدراسة الحمولات على المحور حيث يخضع للقوى المتولدة على المسنن (2) إضافة إلى الحمل المعلق كقوة شاقولية على محيط الملفاف من الخلف والتي ينتقل تأثيرها إلى المحور كما يبين الشكل.

يخضع المقطع الخطر لـ:

$$\begin{cases} M_b = \sqrt{23880^2 + 0} = 23880\ \text{kg}\cdot\text{mm} \\ M_t = 23873\ \text{kg}\cdot\text{mm} \end{cases}$$

نعوض في معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\frac{21}{2\times 2} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(2\times 23880)^2 + (2\times 23873)^2} \Rightarrow d = 40.3\ \text{mm}$$

نختار قطر المحور (II) d=45 mm توافقاً مع القيم القياسية لأقطار المدحرجات

5- المدحرج على اليمين:

– قطر الحلقة الداخلية d=45 mm

– السعة الديناميكية:

$$C = P \cdot L^{1/m}$$

$$\left.\begin{aligned} & m = 3 \\ & L = 60N \cdot L_h \cdot 10^{-6} = 60 \times 120 \times 15000 \times 10^{-6} = 108 \text{ million rev} \\ & P = \sqrt{(R_2)^2 + (R_4)^2} = \sqrt{694.8^2 + 159^2} = 712.7 \text{ kg} \end{aligned}\right\} \Rightarrow C = 712.7 \times (108)^{1/3} = 3394 \text{ kg}$$

المدحرج على اليسار:

– قطر الحلقة الداخلية d=45 mm

– السعة الديناميكية:

$$C = P \cdot L^{1/m}$$

$$\left.\begin{aligned} & m = 3 \\ & L = 108 \text{ million rev} \\ & P = \sqrt{(R_1)^2 + (R_3)^2} = \sqrt{180.8^2 + 159^2} = 240.7 \text{ kg} \end{aligned}\right\} \Rightarrow C = 240.7 \times (108)^{1/3} = 1146 \text{ kg}$$

مسألة

يبين الشكل رافعة يتم تشغيلها عبر علبة سرعة ذات مسننات مستقيمة

الحمل المقرر: 400kg ، سرعة الرفع المقررة: v=0.5m/s

قطر الملفاف: D=140mm

المسننات المستقيمة:

$$Z_1 = 20\,, \quad Z_2 = 70\,, \quad Z_3 = 20$$

$$m = 4\text{mm}\,, \quad \alpha = 20^\circ\,, \quad b = 10m$$

1- حساب Z4 ؟

2- اختيار المحرك المناسب من المحركات التالية:

	A	B	C	D
P [hp]	1.5	2	3	3
N [rpm]	2850	940	940	1400

3- تمثيل القوى على المسننات وحساب قيمها لحالة الرفع؟

4- تصميم مادة المسنن الأخطر ؟ $K_S = 1.8$ $F_d = 1.5F_t$

Z	20	22	25	70
Y	0.32	0.35	0.38	0.52

5- حساب قطر المحور (II) والمدحرجات اللازمة له؟

$$L_h = 25000\text{ hr} \quad \text{St42} \quad f.s = 2 \quad K_b = K_t = 2$$

1- بمعرفة المسافة بين المحورين II و III نكتب:

$$C_{34} = \frac{d_3}{2} + \frac{d_4}{2} = \frac{m \times Z_3}{2} + \frac{m \times Z_4}{2} = \frac{m}{2}(Z_3 + Z_4)$$

$$190 = \frac{4}{2}(20 + Z_4) \quad \Rightarrow \quad Z_4 = 75$$

2- نحسب الدوران المطلوب في موقع المحرك لانتاج سرعة الرفع المطلوبة ثم نحسب الاستطاعة اللازمة للرفع.

بمعرفة سرعة الرفع نحسب الدوران للملفاف:

$$v = \omega \cdot R = \frac{2\pi N_D}{60} \cdot \frac{D}{2} = \frac{\pi D \cdot N_D}{60}$$

$$0.5 = \frac{\pi (0.14) \cdot N_D}{60} \Rightarrow N_D = 68.2 \text{ rpm}$$

وهو نفسه دوران المسنن (4) حيث لهما نفس المحور:

$$N_4 = N_D = 68.2 \text{ rpm}$$

بتطبيق قانون نقل الحركة في المسننات: (المسننين 2, 3 لهما نفس الدوران لأنهما على محور واحد)

$$N_3 \cdot Z_3 = N_4 \cdot Z_4 \Rightarrow N_3 \times 20 = 68.2 \times 75 \Rightarrow N_3 = 255.8 \text{ rpm} = N_2$$

$$N_2 = N_3 = 255.8 \text{ rpm}$$

$$N_1 \cdot Z_1 = N_2 \cdot Z_2 \Rightarrow N_1 \times 20 = 255.8 \times 70 \Rightarrow N_1 = 895.1 \text{ rpm}$$

يمكن دمج علاقات نقل الحركة بين أزواج المسننات والحصول على قانون نقل الحركة في علبة السرعة بين الدخل والخرج بنسبة المسننات القائدة إلى المسننات المقودة وفق:

$$N_{output} = N_{input} = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$\Rightarrow 68.2 = N_{input} \frac{20}{70} \times \frac{20}{75} \Rightarrow N_{input} = 895.1 \text{ rpm} = N_1$$

من الجدول نختار الدوران للمحرك $N_{motor} = 940 \text{ rpm}$

نحسب الدورانات في علبة السرعة وسرعة الرفع بالاعتماد على القيمة المختارة للمحرك

$$N_1 = N_{motor} = 940 \text{ rpm}$$

$$N_2 = N_3 = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} = 940 \frac{20}{70} = 268.6 \text{ rpm}$$

$$N_4 = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \frac{Z_3}{Z_4} = 940 \frac{20}{70} \cdot \frac{20}{75} = 71.6 \text{ rpm}$$

$$N_D = N_4 = 71.6 \text{ rpm}$$

$$v = \frac{\pi D \cdot N_D}{60} = \frac{\pi (0.14)(71.6)}{60} = 0.525 \text{ m/s}$$

الاستطاعة اللازمة للرفع في الخرج تحسب من:

$$\overbrace{P}^{\text{hp}} = \frac{\overbrace{W}^{\text{kg}} \cdot \overbrace{v}^{\text{m/s}}}{75} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{400 \times 0.525}{75} \quad \Rightarrow \quad P = 2.8 \text{ hp}$$

وهي نفسها استطاعة المحرك على اعتبار لا يوجد ضياعات عند نقل القدرة بالمسننات المستقيمة.

من الجدول نختار المحرك ذو المواصفات الأقرب من حيث الدوران والأعلى من حيث الاستطاعة (في حال لم يتوفر نفس القيمة). **المحرك المطلوب: P=3hp, n=940rpm**

الحسابات التالية ستتم بالاعتماد على مواصفات المحرك من حيث الاستطاعة والدوران:

3- تمثيل القوى على المسننات: نحدد المسننات القائدة والمقودة ونحدد جهة الدوران للرفع بالنظر إلى أن الكبل الحامل معلق من خلف الملفاف فيكون تمثيل القوى على المسننات كما هو مبين على الشكل.

$$F_{t1} = \frac{2M_{t1}}{d_1} \rightarrow \begin{cases} d_1 = m \times Z_1 = 4 \times 20 = 80\ \text{mm} = 8\ \text{cm} \\ M_{t1} = \dfrac{71620 \times P}{N_1} = \dfrac{71620 \times 3}{940} = 228.6\ \text{kg} \cdot \text{cm} \end{cases}$$

$$F_{t1} = \frac{2 \times 228.6}{8} = 57\ \text{kg} = F_{t2}$$

$$F_{r1} = F_{t1} \times \tan(\alpha) = 57 \times \tan 20 = 21\ \text{kg} = F_{r2}$$

$$F_{t3} = \frac{2M_{t3}}{d_3} \rightarrow \begin{cases} d_3 = m \times Z_3 = 4 \times 20 = 80\ \text{mm} = 8\ \text{cm} \\ M_{t3} = \dfrac{71620 \times P}{N_3} = \dfrac{71620 \times 3}{268.6} = 800\ \text{kg} \cdot \text{cm} \end{cases}$$

$$F_{t3} = \frac{2 \times 800}{8} = 200\ \text{kg} = F_{t4}$$

$$F_{r3} = F_{t3} \times \tan(\alpha) = 200 \times \tan 20 = 73\ \text{kg} = F_{r4}$$

4- المسنن الأخطر هو الذي إذا طبقت عليه معادلتي الاهتراء والمتانة ينتج له أكبر قيمة لـ K و S_{nr} ويمكن تحديد هذا المسنن بشكل مباشر وفق ما يلي:

- من أجل علبة سرعة بزوج مسننات واحد يكون المسنن الخطر هو المسنن الصغير من الزوج.
- من أجل علبة سرعة فيها عدة أزواج من المسننات يكون المسنن الخطر هو الأبطأ من المسننات الصغيرة.

وفق ما سبق يكون المسنن الخطر هو (3) .

معادلة الاهتراء لتحديد قساوة أسطح الأسنان:

$$F_t + F_d = K \cdot b \cdot d_p \frac{2i}{1+i} \rightarrow \begin{cases} F_t = F_{t3} = 200\ \text{kg}, \quad F_d = 1.5F_t = 300\ \text{kg} \\ b = 10m = 10 \times 4 = 40\ \text{mm}, \ d_p = d_3 = 80\ \text{mm} \\ i = \dfrac{Z_4}{Z_3} = \dfrac{75}{20} = 3.75 \end{cases}$$

$$200 + 300 = K \times 40 \times 60 \frac{2 \times (3.75)}{1 + (3.75)} \quad \Rightarrow \quad K = 0.132\ \text{kg/mm}^2$$

معادلة المقاومة لتحديد حد التعب لمادة المسننات:

$$F_t + F_d = S_{nr} \cdot \frac{b \cdot Y \cdot m}{K_S} \rightarrow \left\{ 200 + 300 = S_{nr} \frac{40 \times 0.32 \times 4}{1.8} \right. \quad \Rightarrow \quad S_{nr} = 17.6\ \text{kg/mm}^2$$

حيث تم إيجاد عامل الشكل Y من الجدول في المسألة حسب قيمة عدد الأسنان للمسنن (3).

$$Z_3 = 20 \Rightarrow Y = 0.32$$

5- يخضع المحور II للقوى من المسنين 2, 3 وهو محور دوّار يخضع للفتل والانحناء

يُحسب قطره وفق معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\tau_{all} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(k_b M_b)^2 + (k_t M_t)^2}$$

نوجد الفتل والانحناء بدراسة الحمولات على المحور كما يبين الشكل.

من الدراسة نجد أن المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_t = 8000 \text{ kg}\cdot\text{mm}$$

$$M_b = \sqrt{7920^2 + 16000^2} = 17853 \text{ kg}\cdot\text{mm}$$

نعوض القيم على المقطع الخطر في معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\frac{21}{2\times 2} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(2\times 17853)^2 + (2\times 8000)^2} \Rightarrow d = 33.6\ mm$$

نختار قطر المحور d=35 mm

ندرس المدحرج الأخطر (عليه محصلة ردود أفعال أكبر) (المدحرج الوسطي)

قطر الحلقة الداخلية d=35 mm

السعة الديناميكية: $C = P\cdot L^{1/m}$

$$\begin{cases} m = 3 \\ L = 60\cdot N\cdot L_h\cdot 10^{-6} = 60\times 268.6\times 25000\times 10^{-6} = 403 \text{ million rev} \\ P = \sqrt{R_2^2 + R_4^2} = \sqrt{(99)^2 + (328.5)^2} = 343 \text{ kg} \end{cases}$$

$$C = 343\cdot(403)^{1/3} = 2533.5 \text{ kg}$$

مسألة

في تعشيقة المسننات المبينة احسب دوران كل محاور الخرج

$$Z_1 = 24 \quad Z_2 = 40 \quad Z_3 = 38$$
$$Z_4 = 20 \quad Z_5 = 30 \quad Z_6 = 35$$

الحل

$$N_I = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_2}{Z_3} = 500 \frac{24}{40} \times \frac{40}{38} = 315.8 \text{ rpm}$$

$$N_{II} = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} = 500 \frac{24}{40} = 300 \text{ rpm}$$

$$N_{III} = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_4}{Z_5} = 500 \frac{24}{40} \times \frac{20}{30} = 200 \text{ rpm}$$

$$N_{IV} = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_4}{Z_5} \times \frac{Z_5}{Z_6} = 500 \frac{24}{40} \times \frac{20}{30} \times \frac{30}{35} = 171.4 \text{ rpm}$$

مسألة

يبين الشكل علبة سرعة فيها جميع المسننات مستقيمة القيم لعدد الأسنان والمودول مبينة على الشكل

1- حساب Z4 ؟

2- حساب عدد دورات محور الخرج وعزم الفتل على محور الخرج؟

3- تمثيل القوى على المسننات وحساب قيمها $\alpha = 20^o$

4- حساب قطر المحور (III)

$\tau_{all} = 5\ \text{kg/mm}^2 \quad K_b = K_t = 2$

الحل

1- المسننات المستقيمة تنقل الحركة بين محاور متوازية وبالتالي فالمحورين (II), (III) متوازيين والمسافة بينهما ثابتة على طولهما وبالتالي نكتب:

$$C_{12} = C_{34} \quad \Rightarrow \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = \frac{d_3}{2} + \frac{d_4}{2} \Rightarrow \frac{m \times Z_1}{2} + \frac{m \times Z_2}{2} = \frac{m \times Z_3}{2} + \frac{m \times Z_4}{2}$$

جميع المسننات لها نفس المودول وبالتالي تختصر هذه القيمة وينتج:

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

$$20 + 80 = 20 + Z_4 \Rightarrow Z_4 = 80$$

-2

$$N_{III} = N_2 = N_4 = N_{II}\frac{Z_1}{Z_2} = N_{II}\frac{Z_3}{Z_4} = 1000\frac{20}{80} = 250 \text{ rpm}$$

تتوزع الاستطاعة داخل علبة السرعة وتجتمع على محور الخرج كما يبين الشكل.

وبالتالي يحسب عزم الفتل على الخرج من استطاعة كاملة وفقاً لدورانه مع ملاحظة أنه يجب تحويل الاستطاعة من واحدة الـ Kw إلى واحدة hp وفق:

1Kw=1.36hp

$$M_t = \frac{71620 \times P}{N} = \frac{71620 \times (4 \times 1.36)}{250} = 1558.5 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 15585 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

3- تمثيل القوى على المسننات مع ملاحظة أن المسننات (1), (3) قائدة والمسننات (3), (4) مقودة مبين في الشكل السابق، نحسب هذه القوى.

القوى بين (1), (2) ناتجة عن نقل نصف الاستطاعة 2Kw

$$F_{t1} = \frac{2M_{t1}}{d_1} \rightarrow \begin{cases} d_1 = m \times Z_1 = 3 \times 20 = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm} \\ M_{t1} = \dfrac{71620 \times P}{N_1} = \dfrac{71620 \times (2 \times 1.36)}{1000} = 194.8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{cases}$$

$$F_{t1} = \frac{2 \times 194.8}{6} = 65 \text{ kg} = F_{t2}$$

$$F_{r1} = F_{t1} \times \tan(\alpha) = 65 \times \tan 20 = 24 \text{ kg} = F_{r2}$$

القوى بين (3), (4) ناتجة عن نقل نصف الاستطاعة 2Kw وبالتالي نفس القيم بالتناظر

4- يخضع المحور II للقوى من المسننين 3 ,4 وهو محور دوّار يخضع للفتل والانحناء يُحسب قطره وفق معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\tau_{all} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(k_b M_b)^2 + (k_t M_t)^2}$$

نوجد الفتل والانحناء بدراسة الحمولات على المحور كما يبين الشكل.

من الدراسة نجد أن المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_t = 15584 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$M_b = \sqrt{1440^2 + 3900^2} = 4158 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

نعوض القيم على المقطع الخطر في معادلة الجمعية الأمريكية:

$$5 = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(2 \times 4158)^2 + (2 \times 15584)^2} \Rightarrow d = 32\ mm$$

نختار قطر المحور d=35 mm

مسألة

يبين الشكل علبة سرعة ذات مسننات مستقيمة

$$Z_1 = 30\,, \quad Z_2 = 56\,,$$

$$m = 4\text{mm}\,, \quad \alpha = 20^\circ\,, \quad b = 10m$$

مواصفات الحركة في الدخل والخرج مبينة على الشكل.

المطلوب:

1- حساب عدد الأسنان $Z_3 \quad Z_4$

2- تمثيل القوى على المسنن (4) وحساب قيمها؟

3- حساب K, S_{nr} للمسنن (4) $K_S = 1.8 \quad Y = 0.4 \quad F_d = F_t$

4- حساب قطر محور الخرج $K_b = K_t = 1.5 \quad \tau_{all} = 6\,\text{kg/mm}^2$

تركيبة المسنن (1) تبين أنه لا يوجد اتصال بين محور المسنن (1) ومحور الخرج ومحور الخرج فقط يرتكز ضمن فجوة في مركز المسنن (1) عن طريق مدحرج ولا يوجد نقل دوران من المسنن (1) إلى محور الخرج.

الدوران يصل للمسنن (4) وبالتالي لمحور الخرج عبر التعاشق (3+4) ,(1+2).

1- لحساب عدد الأسنان Z_4 Z_3 نحتاج معادلتين:

من علاقة نقل الدوران بين الدخل والخرج:

$$N_{output} = N_{input} = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$300 = 1400 \frac{30}{56} \times \frac{Z_3}{Z_4} \quad \Rightarrow \quad \boxed{Z_4 = 2.5 Z_3} \quad (a)$$

من علاقة التوازي بين المحاور:

$$C_{12} = C_{34} \quad \Rightarrow \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = \frac{d_3}{2} + \frac{d_4}{2} \Rightarrow \frac{m \times Z_1}{2} + \frac{m \times Z_2}{2} = \frac{m \times Z_3}{2} + \frac{m \times Z_4}{2}$$

جميع المسننات لها نفس المودول وبالتالي تختصر هذه القيمة وينتج:

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \quad \Rightarrow \quad \boxed{30 + 56 = Z_3 + Z_4} \quad (b)$$

تعويض (a) في (b) يعطي:

$$30 + 56 = Z_3 + 2.5Z_3 \quad \Rightarrow \quad Z_3 = 24.6$$

حكماً نختار رقم صحيح الأقرب ونعتمد $\boxed{Z_3 = 25}$

لحساب Z_4 نعوض حكماً في معادلة التوازي بين المحاور لإبقائها صحيحة:

$$30 + 56 = 25 + Z_4 \quad \Rightarrow \quad \boxed{Z_4 = 61}$$

2- الاستطاعة والدوران للمسنن (4)

$$P = 10 \text{ hp}$$

$$N_4 = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = 1400 \frac{30}{56} \times \frac{25}{61} = 307.4 \text{ rpm}$$

القوى على المسنن (4) كما في الشكل وبالقيمة:

$$F_{t4} = \frac{2M_{t4}}{d_1} \rightarrow \begin{cases} d_4 = m \times Z_4 = 4 \times 30 = 120 \text{ mm} = 12 \text{ cm} \\ M_{t4} = \dfrac{71620 \times P}{N_4} = \dfrac{71620 \times 10}{307.4} = 2329.8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{cases}$$

$$F_{t4} = \frac{2 \times 2329.8}{12} = 388 \text{ kg}$$

$$F_{r4} = F_{t4} \times \tan(\alpha) = 388 \times \tan 20 = 141 \text{ kg}$$

3- معادلة الاهتراء لتحديد قساوة أسطح الأسنان:

$$F_t + F_d = K \cdot b \cdot d_p \frac{2i}{1+i} \rightarrow \begin{cases} F_t = F_{t4} = 388 \text{ kg}, \quad F_d = F_t = 388 \text{ kg} \\ b = 10m = 10 \times 4 = 40 \text{ mm}, d_p = d_3 = mZ_3 = 4 \times 25 = 100 \text{ mm} \\ i = \dfrac{Z_4}{Z_3} = \dfrac{61}{25} = 2.44 \end{cases}$$

$$388 + 388 = K \times 40 \times 100 \frac{2 \times (2.44)}{1 + (2.44)} \quad \Rightarrow \quad K = 0.137 \text{kg/mm}^2$$

حيث عوضنا d_p القطر الخطوي للمسنن الصغير (3)

معادلة المقاومة لتحديد حد التعب لمادة المسننات:

$$F_t + F_d = S_{nr} \cdot \frac{b \cdot Y \cdot m}{K_S} \rightarrow \left\{ 388 + 388 = S_{nr} \frac{40 \times 0.4 \times 4}{1.8} \right. \quad \Rightarrow \quad S_{nr} = 21.8 \text{ kg/mm}^2$$

4- يخضع محور الخرج للقوى من المسنن (4) فقط وهو محور دوّار يخضع للفتل والانحناء يُحسب قطره وفق معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\tau_{all} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{(k_b M_b)^2 + (k_t M_t)^2}$$

نوجد الفتل والانحناء بدراسة الحمولات على المحور كما يبين الشكل.

من الدراسة نجد أن المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_t = 232980 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$M_b = \sqrt{3384^2 + 9312^2} = 9908 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

نعوض القيم على المقطع الخطر في معادلة الجمعية الأمريكية:

$$6 = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{(1.5 \times 9908)^2 + (1.5 \times 232980)^2} \Rightarrow d = 66.7 \ mm$$

نختار قطر المحور d=70 mm.

مسألة

يبين الشكل علبة سرعة بمسننات مستقيمة ذات مخرجين تقوم بتشغيل درافيل مطحنة حيث الاستطاعة والدوران لكل درفيل مبينة على الشكل ومواصفات المحرك مبينة على الشكل

المسننات المستقيمة $b = 10m$ $\alpha = 20^o$ $m = 4\ mm,$ $Z_1 = 20$ المطلوب:

1- حساب عدد الأسنان Z_4 Z_3 Z_2

2- تمثيل القوى على المسننات وحساب قيمها

3- حساب قطر المحور (II) $K_t = 1.5$ $K_b = 2$ $\tau_{all} = 5\ \mathrm{kg/mm^2}$

1- حساب Z_2 : بمعرفة الدوران المقرر للدرفيل العلوي وأنه يساوي دوران المسنن (2) نكتب:

$$n_U = N_2 = N_1 \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$255 = 940 \frac{20}{Z_2} \quad \Rightarrow \quad Z_2 = 73.7 \quad \Rightarrow \quad \boxed{Z_2 = 74}$$

حساب Z_4 Z_3 نحتاج معادلتين:

معادلة نقل الدوران إلى الدرفيل السفلي:

$$n_D = N_4 = N_1 \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4}$$

$$150 = 940 \frac{20}{74} \times \frac{Z_3}{Z_4} \quad \Rightarrow \quad Z_4 = 1.69 Z_3 \quad (a)$$

من توازي المحاور حيث محور المسنن (1) على نفس امتداد محور المسنن (4) ويوازيان المحور (II) والمسافة بينهما ثابتة على طولهما نكتب:

$$C_{12} = C_{34} \quad \Rightarrow \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = \frac{d_3}{2} + \frac{d_4}{2} \Rightarrow \frac{m \times Z_1}{2} + \frac{m \times Z_2}{2} = \frac{m \times Z_3}{2} + \frac{m \times Z_4}{2}$$

جميع المسننات لها نفس المودول وبالتالي تختصر هذه القيمة وينتج:

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4 \quad \Rightarrow \quad \boxed{20 + 74 = Z_3 + Z_4} \quad (b)$$

تعويض (a) في (b) يعطي:

$$20+74=Z_3+1.69Z_3 \quad \Rightarrow \quad Z_3=34.9$$

حكماً نختار رقم صحيح الأقرب ونعتمد $\boxed{Z_3=35}$

لحساب Z_4 نعوض حكماً في معادلة التوازي بين المحاور لإبقائها صحيحة:

$$20+74=35+Z_4 \quad \Rightarrow \quad \boxed{Z_4=59}$$

2- يبين الشكل توزع الاستطاعة داخل علبة السرعة وتمثيل القوى على المسننات.

قيم الدوران الجديدة للدرافيل بعد اختيار أرقام صحيحة لأسنان المسننات

$$n_U=N_2=N_3=N_1\frac{Z_1}{Z_2}=940\frac{20}{74}=254\text{ rpm}$$

$$n_D=N_4=N_1\frac{Z_1}{Z_2}\times\frac{Z_3}{Z_4}=940\frac{20}{74}\times\frac{35}{59}=150.7\text{ rpm}$$

المسننات كما هو مبين على الشكل.

$$F_{t1} = \frac{2M_{t1}}{d_1} \rightarrow \begin{cases} d_1 = m \times Z_1 = 4 \times 20 = 80 \text{ mm} = 8 \text{ cm} \\ M_{t1} = \dfrac{71620 \times P}{N_1} = \dfrac{71620 \times 4}{940} = 304.8 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{cases}$$

$$F_{t1} = \frac{2 \times 304.8}{8} = 76 \text{ kg} = F_{t2}$$

$$F_{r1} = F_{t1} \times \tan(\alpha) = 76 \times \tan 20 = 28 \text{ kg} = F_{r2}$$

$$F_{t4} = \frac{2M_{t4}}{d_4} \rightarrow \begin{cases} d_4 = m \times Z_4 = 4 \times 59 = 236 \text{ mm} = 23.6 \text{ cm} \\ M_{t4} = \dfrac{71620 \times P}{N_4} = \dfrac{71620 \times 2.4}{150.7} = 1140.6 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{cases}$$

$$F_{t4} = \frac{2 \times 1140.6}{23.6} = 97 \text{ kg} = F_{t3}$$

$$F_{r4} = F_{t4} \times \tan(\alpha) = 97 \times \tan 20 = 35 \text{ kg} = F_{r3}$$

4 يخضع المحور (II) للقوى من المسننات (2) , (3) وهو محور دوّار يخضع للفتل والانحناء يُحسب قطره وفق معادلة الجمعية الأمريكية:

$$\tau_{all} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{(k_b M_b)^2 + (k_t M_t)^2}$$

عزوم الفتل الخارجية على المحور بالقيم التالية:

$$M_{t2} = F_{t2}\frac{d_2}{2} = F_{t2}\frac{mZ_2}{2} = 76\frac{4\times 74}{2} = 11248\ \text{kg}\cdot\text{mm}$$

$$M_{t3} = F_{t3}\frac{d_3}{2} = F_{t3}\frac{mZ_3}{2} = 97\frac{4\times 35}{2} = 6790\ \text{kg}\cdot\text{mm}$$

نوجد الفتل والانحناء بدراسة الحمولات على المحور كما يبين الشكل.

من الدراسة نجد أن المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_t = 11248\ \text{kg}\cdot\text{mm}$$

$$M_b = \sqrt{1974^2 + 5442^2} = 5789\ \text{kg}\cdot\text{mm}$$

نعوض القيم على المقطع الخطر في معادلة الجمعية الأمريكية:

$$5 = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(2\times 5789)^2 + (1.5\times 11248)^2} \Rightarrow d = 27.5\ mm$$

نختار قطر المحور d=30 mm.

المراجع

AARON.D(Machine Design theory and practice) Macmillan publishing CO New- York

M.F SPOTTS (Design of Machine Elements) prentice Hall India Pvt Limeted

Winkler,J.:Festkoerperbeanspruchung.Fachbuchverlag Leipzig1985

Scheuermann,G.: Verbindungselemente Fachbuchverlag Leipzig1966

Rothbart.H.A.:Mechanical Design and Systems.Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY New York 1964

Moisseif,L.S.,E.F. Hartmannand R.L. Moor: Riveted and Pin-connected Joints of Steel and Aluminum Alloys>ASCE vol.109 1944.

Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.

المراجع

- Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.
- Belyaev, N. M: Strength of Materials,., Moscow1979.
- Shigley, J. E., Theory of Machines McGraw-Hill Book Company, 1990.
- G James H. Earle Graphics for Engineers, , 5 th ed., Prentice-Hall, UK, 1998
- ديناميك الالات الدكتور محمد نجيب عبد الواحد منشورات جامعة حلب ١٩٩٠٩
- تصميم الالات (1) الدكتورعلاء سيد باكير والمشرف على الأعمال محمد البكار جامعة حلب ٢٠١١
- د.زهير طحان تصميم الالات منشورات جامعة حلب
- دوبروفسكي و اخرون تصميم أجزاء الماكينات دار مير للنشر و الطباعة ١٩٧٩
- ستوبين مقاومة المواد دار مير للنشر والطباعة ١٩٨٧
- تصميم الالات الدكتور نوفل الأحمد منشورات جامعة تشرين ١٩٩٩
- تصميم الالات (١) الدكتور مفيد موقع منشورات جامعة حلب ١٩٩٧