

פתרון לבחינה 97002, מועד א קיץ 2025 - עורך ראשי

שאלה 1

א. מאמצים בתפר

$$\rho_s = \frac{F}{\sum L} = \frac{30000}{4 \cdot 140 - 2 \cdot 6 + 2 \cdot 133} = 37 \frac{N}{mm}$$

$$\rho_b = \frac{M_b}{Z_b} = \frac{F \cdot L_b}{Z_b} = \frac{30000 \cdot 400}{43136} = 278 \frac{N}{mm}$$

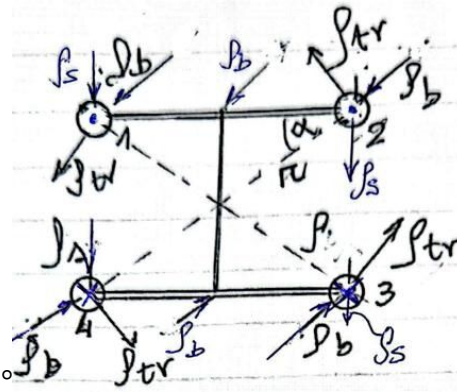
$$Z_b = 2bh + \frac{h^2}{3} = 2 \cdot 140 \cdot 133 + \frac{133^2}{3} = 43136 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{tr} = \frac{M_t \cdot r}{I_0} = \frac{30000 \cdot 70 \cdot 96.5}{3.783 \cdot 10^6} = 53.6 \frac{N}{mm}$$

$$r = \sqrt{70^2 + 66.5^2} = 96.5 \text{ mm}$$

$$I_0 = \frac{2b^3 + 6bh^2 + h^3}{6} = \frac{2 \cdot 140^3 + 6 \cdot 140 \cdot 133^2 + 133^3}{6} = 3.783 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

ב. תרשים מאמצים



$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{h}{b} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{133}{140} \right) = 43.5^\circ$$

ג. המאמץ המרבי

$$\rho_e = \sqrt{\rho_b^2 + \rho_s^2 + \rho_{tr}^2 + 2\rho_s\rho_{tr}\cos\alpha} = \sqrt{278^2 + 37^2 + 53.6^2 + 2 \cdot 37 \cdot 53.6 \cdot \cos(43.5^\circ)} = 291 \frac{N}{mm}$$

הנקודות העמוסות ביותר – נקודות 1, 4

$$K = \frac{1.4 \cdot \rho_e}{[\sigma]} = \frac{1.4 \cdot 291}{90} = 4.5 \text{ mm}$$

עובי התפר

P=F ד הוספת כוח

$$\rho_{s2} = \frac{F + P}{\sum L} = \frac{30000 \cdot 2}{\sum L} = 2 \cdot \rho_s = 2 \cdot 37 = 74 \frac{N}{mm}$$

עמוד 1 מתוך 10

$$\rho_{b2} = 2 \cdot \rho_b = 2 \cdot 278 = 556 \frac{N}{mm}$$

$$\rho_{e2max} = \sqrt{\rho_{b2}^2 + \rho_{s2}^2} = \sqrt{556^2 + 74^2} = 561 \frac{N}{mm}$$

המאמץ המרבי קיים לכל אורך קווי התפר העליון והתחתון

$$, n_1 = 1500 \quad b = 50 \quad Z_1 = 20 \quad m = 5 \text{ mm} \quad [\sigma_b] = 90 \text{ MPa} \quad P = 15 \text{ KW} \quad i = 2.5$$

$$v = \frac{\pi D_1 n}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 1500}{60 \cdot 1000} = 7.85 \frac{m}{sec}$$

$$K_v = \frac{50}{50 + (200v)^{1/2}} = \frac{50}{50 + (200 \cdot 7.85)^{1/2}} = 0.56 \quad Z_2 = 2.5 \cdot 20 = 50$$

$$K_\varepsilon = 0.9 \left[1.88 - 3.2 \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) \right] = 0.9 \left[1.88 - 3.2 \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{50} \right) \right] = 1.494$$

$$Z_1 = 20 \rightarrow Y = 0.322$$

$$\sigma_{b1} = \left(\frac{265}{m} \right)^3 \cdot \frac{P \cdot K_0}{n_1 \cdot \lambda \cdot Z_1 \cdot Y \cdot K_v \cdot K_\varepsilon} = \left(\frac{265}{5} \right)^3 \cdot \frac{15 \cdot 2}{1500 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 0.322 \cdot 0.56 \cdot 1.494} = 55.5 \text{ MPa} < [\sigma_b] \quad \text{החוזק}$$

התמסורת עומדת בדרישות

ב. מאמצים בג"גש השני

מאמץ הכפיפה שחושב יהיה ב- Z_1 . ב- Z_2 המאמץ יהיה קטן יותר מאחר שהמקדם Y גדל. המכפלה $n_2 \cdot Z_2$ לא משתנה. שאר המקדמים ללא שינוי. רק שינוי ב Y משפיע על שינוי במאמץ. Y ל- 50 שיניים הוא 0.409

$$\sigma_{b1} = \sigma_{b1} \cdot \frac{Y_1}{Y_2} = 55.5 \cdot \frac{0.322}{0.409} = 43.7 \text{ MPa} \quad \text{לפיכך ב- } Z_2 \text{ יקטן המאמץ ל-}$$

ג. מיסב לסמך A ($n_a = 600 \text{ rpm}$)

$$L = \frac{1}{10^6} (L_h n \cdot 60) = \frac{1}{10^6} 20,000 \cdot 600 \cdot 60 = 720 \text{ סיבובים מיליון}$$

$$f_w = 1.6 \quad F_r = 1700 \text{ N} \quad F_a = 500 \text{ N}$$

$$X = 0.56, \quad Y = 1.8 \rightarrow P = XF_r + YF_a = 0.56 \cdot 1700 + 1.8 \cdot 500 = 1852 \text{ N}$$

$$C = P \cdot \sqrt[3]{L} \cdot f_w \cdot f_T = 2200 \cdot \sqrt[3]{600} \cdot 1.6 = 29689 \text{ N}$$

נבדוק מיסב 6208

$$6208 \rightarrow C = 30700 \text{ N} \quad C_0 = 19000 \text{ N}$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{500}{19000} = 0.026 \rightarrow e = 0.22$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{500}{1700} = 0.3 > e \rightarrow X = 0.56, \quad Y = 1.9$$

$$P = XF_r + YF_a = 0.56 \cdot 1700 + 1.9 \cdot 500 = 1902 \text{ N}$$

$$C = 1902 \cdot \sqrt[3]{600} \cdot 1.8 = 28876 < 30700 \text{ N} \quad \text{מיסב 6208 מתאים}$$

א. מומנטים מועברים לצרכן.

$$v = \frac{\pi D_3 n_3}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 150 \cdot 750}{60 \cdot 10^3} = 5.89 \frac{m}{s} \rightarrow \sigma_c = 0 \quad n_3 = \frac{1500}{2} = 750 \text{ rpm}$$

תמסורת רצועה שטוחה

$$\sigma_t = [\sigma] - \frac{Eh}{D} = 6 - \frac{60 \cdot 5}{150} = 4 \text{ MPa}$$

$$S_1 = \sigma_t \cdot b \cdot h = 4 \cdot 60 \cdot 5 = 1200 \text{ N}$$

$$F_t = S_1 \cdot \frac{e^{\mu' \alpha} - 1}{e^{\mu' \alpha}} = 1200 \cdot \frac{e^{0.30 \cdot 2.79} - 1}{e^{0.30 \cdot 2.79}} = 680 \text{ N} \quad \alpha = \frac{160 \cdot \pi}{180} = 2.79 \text{ rad}$$

$$M_{\text{טוחה}} = \frac{F_t \cdot D_4}{2} = \frac{680 \cdot 300}{2} = 102000 \text{ Nmm} = 102 \text{ Nm} \quad D_4 = 2 \cdot D_3 = 300 \text{ mm}$$

תמסורת הרצועות הטריזיות A

$$\sigma_t = [\sigma] - \frac{Eh}{D} = 6 - \frac{60 \cdot 10}{150} = 2 \text{ MPa}$$

$$S_1 = \sigma_t \cdot A \cdot N = 2 \cdot 100 \cdot 4 = 800 \text{ N} \quad N = 4$$

$$F_t = S_1 \cdot \frac{e^{\mu' \alpha} - 1}{e^{\mu' \alpha}} = 800 \cdot \frac{e^{0.97 \cdot 2.79} - 1}{e^{0.97 \cdot 2.79}} = 747 \text{ N}$$

$$\mu' = \frac{\mu}{\sin 18^\circ} = \frac{0.30}{\sin 18^\circ} = 0.97$$

$$M_{\text{טריזית}} = \frac{F_t \cdot D_4}{2} = \frac{747 \cdot 300}{2} = 112000 \text{ Nmm} = 112 \text{ Nm}$$

תמסורת הרצועה הטריזית הנתונה מתאימה יותר כי היא מעבירה מומנט גבוה יותר לצרכן

ב. רוחב רצועה שטוחה

$$b = \frac{S_1}{h \cdot ([\sigma] - \sigma_b)} = \frac{1412}{5 \cdot (6 - 2)} = 70.6 \text{ mm}$$

$$S_1 = S_{1-102Nm} \cdot \frac{M_{t-120}}{M_{t-102}} = 1200 \cdot \frac{120}{102} = 1412 \text{ N}$$

ג. מאמצים בגל

למרות שתמסורת הרצועה השטוחה מעבירה מומנט פיתול קטן יותר ב-10%, יוצרו בגל מאמצי

פיתול ובעיקר מאמצי כפיפה גבוהים יותר בתמסורת הרצועה השטוחה כמפורט להלן:

מאמצי הפיתול יהיו גדולים יותר בשטוחה בכ-10% בהתאם ליחסי מומנט הפיתול שהתקבלו בחישוב.

מאמצי הכפיפה יהיו גדולים יותר משמעותית בשטוחה בשל המתיחות הגבוהה יותר הקיימת בענפי

השטוחה. רק בענף הפעיל המתיחות בשטוחה גדולה יותר מזו שבטריזיות ב-50%. בענף הסביל המתיחות

בשטוחה תהיה גדולה פי 10 לערך מאשר בשטוחה.

א כוח הידוק מרבי נדרש

$$F_X = F_Y = F \cdot \sin 45^\circ = 10 \cdot \sin 45^\circ = 7071 \text{ N}$$

$$Q_{FX} = \frac{f_k \cdot F_X}{\mu_0 \cdot i} = \frac{1.2 \cdot 7071}{6 \cdot 0.3} = 4714 \text{ kN}$$

$$Q_{FY} = \frac{F_Y}{i} = \frac{7071}{6} = 1179 \text{ N}$$

$$Q_M = \frac{F_X \cdot l \cdot a_{max}}{\sum a_i^2 \cdot i_i} = \frac{7071 \cdot 125 \cdot 135}{2 \cdot 25^2 + 2 \cdot 80^2 + 2 \cdot 135^2} = 2363 \text{ N}$$

$$Q_{max} = Q_{FX} + Q_{FY} + Q_M = 4714 + 1179 + 2363 = 8255 \text{ N}$$

כוח זה קיים ב-2 הברגים הימניים (הרחוקים מציר הסיבוב)

ב. בחירת בורג

$$\text{5.8 דרגת חוזק} \quad \sigma_y = 420 \text{ MPa} \rightarrow [\sigma] = \frac{\sigma_y}{S} = \frac{420}{3} = 140 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{1.25 \cdot Q}{[\sigma]} = \frac{1.25 \cdot 10000}{140} = 89.3 \text{ mm}^2$$

$$A = 104 \text{ mm}^2 \quad d_1 = 11.546 \text{ mm} \quad d_2 = 12.7 \text{ mm} \quad p=2 \quad \text{M14X2 בורג}$$

$$\gamma = \text{tg}^{-1} \left(\frac{p}{\pi d_2} \right) = \frac{2}{\pi \cdot 12.7} = 2.87^\circ$$

$$\varphi = \frac{\mu}{\cos 30^\circ} = 7.89^\circ$$

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \frac{Q}{A} \cdot \sqrt{1 + 3 \left[2 \frac{d_2}{d_1} \tan(\gamma + \varphi) \right]^2} \\ &= \frac{10000}{104} \cdot \sqrt{1 + 3 \left[2 \cdot \frac{12.7}{11.546} \tan(2.87 + 7.89) \right]^2} = 119 \text{ MPa} < [\sigma] \end{aligned}$$

ג. מקדם ביטחון

$$S = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} = \frac{420}{119} = 3.53$$

שאלה 5

א. תהליך עיבוד :

$$a_{מק} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mm} \quad (\text{i} = 2) \text{ עיבוד מוקדם: 2 שלבים בהיגש מרבי}$$

$$a_{גמר} = 0.5 \text{ mm} \quad (\text{i} = 1) \text{ עיבוד גמר: שלב אחד}$$

שלושה חריצים - $k = 3$

ב. זמן עיבוד :

$$L_{מק} = L_{גמר} = L_o + D + \Delta L_1 + \Delta L_2 = 150 + 20 + 2 + 2 = 174 \text{ mm}$$

זמן עיבוד מוקדם :

$$V_c = 100 \frac{m}{min} \text{ מהנספח} \rightarrow n_{מק} = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 20} = 1591 \text{ rpm} \rightarrow n = 1500 \text{ rpm}$$

$$f_z = 0.07 \frac{mm}{tooth} \text{ מהנספח} \rightarrow V_f = f_z \times Z \times n = 0.07 \times 4 \times 1500 = 106.96 = 420 \text{ m/min}$$

$$t_{מק} = \frac{L_{מק} \cdot i \cdot k}{V_f} = \frac{174 \cdot 2 \cdot 3}{420} = 2.5 \text{ min}$$

זמן עיבוד גמר :

$$V_c = 140 \frac{m}{min} \text{ מהנספח} \rightarrow n_{גמר} = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 140}{\pi \times 20} = 2227 \text{ rpm} \rightarrow n = 2100 \text{ rpm}$$

$$f_z = 0.03 \frac{mm}{tooth} \text{ מהנספח} \rightarrow V_f = f_z \times Z \times n = 0.03 \times 4 \times 2100 = 106.96 = 252 \text{ m/min}$$

$$t_{גמר} = \frac{L_{גמר} \cdot i \cdot k}{V_f} = \frac{174 \cdot 1 \cdot 3}{252} = 2.1 \text{ min}$$

$$t_{כולל} = t_{מק} + t_{גמר} = 2.5 + 2.1 = 4.6 \text{ min}$$

זמן העיבוד :

ג. הספק מנוע :

$$P_z = \frac{K_s \times B \times a \times V_f}{\pi \times D \times n} = \frac{3500 \times 20 \times 4 \times 420}{\pi \times 20 \times 1500} = 1248 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 1500}{1000} = 94.2 \frac{m}{min}$$

$$N = \frac{V_c \cdot P_z}{1000 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{94.2 \times 1248}{1000 \times 60 \times 0.80} = 2.45 \text{ kW}$$

ד. אם החלק יהיה בקשיות גבוהה יותר :

- מהירות העיבוד V_f תקטן ← זמן העיבוד t יגדל

- מהירות החיתוך V_c תקטן ← ההספק הנדרש יקטן

א. מידה מתקבלת - $X^{\pm\Delta X}$

$$X_{max} = 83_{max} - 40_{min} - 25_{min}$$

$$X_{max} = 83 - 39.8 - 24.8 = 18.4 \text{ mm}$$

$$X_{min} = 83_{min} - 40_{max} - 25_{max}$$

$$X_{min} = 82.8 - 40.2 - 25.2 = 17.4 \text{ mm}$$

$$T = 18.4 - 17.4 = 1.0 \text{ mm} \quad \frac{T}{2} = 0.50 \text{ mm}$$

$$X = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} = \frac{18.4 + 17.4}{2} = 17.9$$

$$X^{\pm\Delta X} = 17.9^{\pm 0.5}$$

ב. מידה טכנולוגית - $Y^{\pm\Delta Y}$

$$Y_{max} = 25_{max} - 7_{max} - 4_{max}$$

$$Y_{max} = 25.2 - 7.1 - 4 = 14.1 \text{ mm}$$

$$Y_{min} = 25_{min} - 7_{min} - 4_{min}$$

$$Y_{min} = 24.8 - 6.9 - 3.9 = 14$$

$$T = 14.1 - 14 = 0.1 \quad \frac{T}{2} = 0.05 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{Y_{max} + Y_{min}}{2} = \frac{14.1 + 14}{2} = 14.05$$

$$Y^{\pm\Delta Y} = 14.05^{\pm 0.05}$$

ג. אפיצות המדחק בשיטת הקדח האחיד המתאימה היא $\varnothing 6 \frac{H7}{r6}$

הסבולות: $\varnothing 6 H7 \begin{smallmatrix} +0.012 \\ 0 \end{smallmatrix}$ $\varnothing 6 r6 \begin{smallmatrix} +0.023 \\ +0.015 \end{smallmatrix}$

ג.2. מדחק מינימלי: $\Delta_{min} = 0.015 - 0.013 = 0.003 \text{ mm}$

מדחק מקסימלי: $\Delta_{max} = 0.023 - 0. = 0.023 \text{ mm}$

א. שיקולים לבחירת צורה גיאומטרית

- הצורה הגיאומטרית של החלק –
- כמות נדרשת לייצור (ייצור המוני? כמויות קטנות) מכתיבה את שיטת הייצור
- דרישות דיוק קיימות וטיב שטח

מידות חומר הגלם יהיו מוט עגול במידות $\emptyset 48 \times 84$

ב. סדר פעולות:

פעולות חריטה:

1. חריטת מצח שמאל
2. חריטה מוקדמת $\emptyset 45$
3. חריטה פנימית $\emptyset 24$ תוך הקפדה על דרישת הניצבות
4. חריטת חריץ $\emptyset 34$
5. קדיחת $\emptyset 10$
6. חריטת תבריג M22 ושחרור לתבריג – פרט D
7. חריטה גמר $\emptyset 44$ תוך הקפדה על דרישת הגלילות
8. חריטת מצח ימין לאורך סופי + פאזה

פעולות כרסום בכרסומת אנכית:

1. דפינה בראש חלוקה
2. כירסום 4 משטחים קדמיים למידת ריבוע 38
3. קידוח $\emptyset 8$ במרחק 12 משטח B
3. כירסום 2 משטחים (חתך A-A) למידה 36
4. קידוח $\emptyset 8$ (חתך A-A)
5. חיטוט חריץ לשגם ברוחב 8

ג1. $\left[\begin{array}{c} \perp \\ 0.01 \text{ (M)} \\ B \end{array} \right]$ זו דרישת ניצבות. משמעות הדרישה היא שציר הקדח $\emptyset 24$ צריך להיות בתחום של גליל תיאורטי

שקוטרו 0.01 mm, והוא בניצב לשטח הייחוס B.

מבטיחים ביצוע דרישה זו בתהליך הייצור, על ידי חריטת המצח B והקדח $\emptyset 24$ בדפינה אחת.

ג2. $\left[\begin{array}{c} \text{R} \\ 0.03 \end{array} \right]$ זו דרישת גלילות. משמעות הדרישה היא שמשטח הגליל במידה $\emptyset 44$ יהיה בתחום של "צינור" בעל עובי

דופן של 0.03 mm

מבטיחים את ביצוע הדרישה בייצור על ידי דפינה נכונה באופן שלא תהיה "זריקה" של החלק בזמן העיבוד.

בודקים דרישה זאת באמצעות חוגן, תוך סיבוב החלק על גבי פריזמה מדויקת.

שאלה 8

הוצאות חד"פ: עיבוד שבבי - $B_1=10,000$ S יציקה מדוייקת $B_2=110,000$ S חישול $B_3=60000$

א. עלות ייצור ל- 2000 יחידות

עלות ייצור ליחידה:

עיבוד שבבי A_1 :

$$A_1 = \left[\frac{240 \cdot 50}{60} + 0.8 \cdot 13 \right] \cdot \frac{100}{100 - 5} = 221.47 \text{ ש"ח}$$

יציקה מדוייקת A_2

$$A_2 = \left[\frac{140 \cdot 15}{60} + 0.65 \cdot 11 \right] \cdot \frac{100}{100 - 4} = 43.91 \text{ ש"ח}$$

יציקת חול A_3

$$A_3 = \left[\frac{130 \cdot 40}{60} + 0.55 \cdot 10 \right] \cdot \frac{100}{100 - 3} = 95 \text{ ש"ח}$$

עיבוד שבבי

$$c_1 = B_1 + A_1 \cdot 2000 = 10000 + 221.47 \cdot 2000 = 452940 \text{ ש"ח}$$

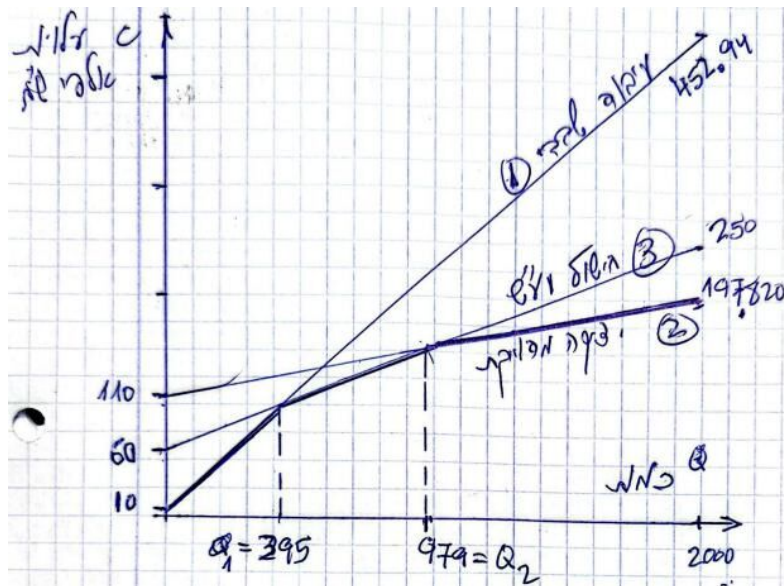
יציקה מדוייקת

$$c_2 = B_2 + A_2 \cdot 2000 = 110000 + 43.91 \cdot 2000 = 197820 \text{ ש"ח}$$

חישול ועיבוד שבבי

$$c_3 = B_3 + A_3 \cdot 2000 = 60000 + 95 \cdot 2000 = 250000 \text{ ש"ח}$$

ב. תאור גראפי



ג. נקודות האיזון Q-

$$Q_1 = \frac{B_3 - B_1}{A_1 - A_3} = \frac{60000 - 10000}{221.47 - 95} = 395$$

$$Q_2 = \frac{B_2 - B_3}{A_3 - A_2} = \frac{110000 - 60000}{95 - 43.91} = 979$$

עד 395 יחידות עדיף ייצור בעיבוד שבבי.

בין 396 ל- 979 יחידות עדיף ייצור בחישול ועיבוד שבבי

מעל 979 יחידות עדיף ייצור ביציקה מדוייקת

חלק ב': שאלות רב ברירה (20 נקודות)

שאלה	תשובה נכונה
9	ב
10	א
11	ב
12	ד
13	ג
14	ב
15	ג
16	ד
17	ד
18	א