

1. תהליך האופטימיזציה:

- 1.1 יש לבדוד את הפרמטרים שמשתנים בתוך הפונקציה הנתונה-מציאת היחס.
- 1.2 בניית טבלא עפ"י היחס שנמצא.
- 1.3 מציאת החומר המקיים את היחס בעל הערך הגבוה/נמוך ביותר שנמצא (עפ"י הדרישה) ונתינת הערך 1 לחומר זה.
- 1.4 נתינת ערך $0 \leq a \leq 1$ עבור כל חומר אחר עפ"י היחס: $\frac{\text{ערך היחס}}{\text{ערך היחס המקסימלי}}$
- 1.5 במקרה שבו האופטימיזציה צריכה להיעשות על בסיס מספר גורמים, יש לבנות פונקציית כדאיות על פי המשקלים הנדרשים, לדוגמא:
$$F = A_1 \cdot W + A_2 \cdot \$ + A_3 \cdot S \quad 1.5.1$$
 - A_i - המשקל הנדרש
 - $\$$ - הערך הכספי שחושב עבור החומר הספציפי.
 - W - המשקל שחושב עבור הערך הספציפי.
 - S - החוזק שחושב עבור החומר הספציפי.
- 1.6 החומר שייבחר יהיה החומר שעבורות הפונקציה מקבלת את הערך הקרוב ביותר ל-1.

2. התעייפות:

מאמץ ההתעייפות המשוקלל:

$$S_e = C_{load} \cdot C_{size} \cdot C_{surf} \cdot C_{temp} \cdot C_{reliab} \cdot S'_e \quad 2.1$$

2.2 פקטורים:

2.2.1 עמיסה:

עבור עומס כפיפה $- C_{load} = 1$

עבור עומס צירי $- C_{load} = 0.7$

2.2.2 גודל:

חתכים עגולים:

$$8_{mm} \leq d \leq 250_{mm} \Rightarrow C_{size} = 1.189 \cdot d^{-0.097} \quad 2.2.2.1$$

חתכים לא עגולים:

$$d_{eq} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}} \quad 2.2.2.2$$

A_{95} – נלקח מטבלא 6-25.

2.2.3. טיב פני השטח:

$$C_{surf} = A \cdot (S_{ut})^b \quad .2.2.3.1$$

A, b נתונים בטבלא 6-3.

2.2.4. טמפרטורה:

עבור אלומיניום:

$$C_{temp} = \begin{cases} 1 & T \leq 450^\circ C \\ 1 - 0.0058 \cdot (T - 450) & 450^\circ C \leq T \leq 550^\circ C \end{cases}$$

2.2.5. אמינות:

$$C_{reliab} \Rightarrow \text{נלקח מטבלא 6-4}$$

2.2.6. גבול ההתעייפות:

S'_e - גבול ההתעייפות התיאורטי של החומר, המקום בו נוצרת הברך בעקום ההתעייפות. זוהי תכונה של החומר ואינה ניתנת לחישוב. ערכים מקורבים:

$$S'_{e(AI)} = 0.4 S_{ut} \quad .2.2.6.1$$

$$S'_{e(St)} = 0.5 S_{ut}$$

מעשית:

חוזק ההתעייפות עבור מספר מחזורים ספציפי יהיה:

$$\begin{cases} S_f(N) = a \cdot N^b \\ b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{S_m}{S_e}\right) \\ \log(a) = \log(S_m) - 3b \\ S_m = 0.75 S_{ut} \end{cases} \quad .2.2.6.2$$

2.3. מאמצים אקויוולנטיים:

2.3.1. וון מיזס:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad .2.3.1.1$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

לגזירה:

$$S_{sy} = 0.577 \cdot S_y \quad .2.3.1.2$$

2.4. גבול הסבילות:
קריטריונים:

$$\text{Soderberg: } \sigma_a = S_e \cdot \left(1 - \frac{\sigma_m}{S_y}\right)$$

$$\text{Goodman: } \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N_f} \quad 2.4.1$$

$$\text{Gerber: } \sigma_a = S_e \cdot \left(1 - \frac{\sigma_m^2}{S_{ut}^2}\right)$$

σ_a - המאמץ המחזורי המותר
 N_f - מקדם הביטחון
 S_{ut} - חוזק מוחלט

2.5. גלים:

2.5.1. הספק:

$$P = T \cdot \omega \quad 2.5.1.1$$

P-הספק הגל
T-מומנט הפיתול הפועל על הגל
 ω - מהירות זוויתית

2.5.2. מאמצים:

אמפליטודת המאמץ הנוצר:

$$\sigma_a = k_f \cdot \frac{M_a y}{I} = k_f \cdot \frac{32 \cdot M_a}{\pi d^3} \quad 2.5.2.1$$

ממוצע המאמץ הנוצר:

$$\sigma_m = k_f \cdot \frac{M_m y}{I} = k_f \cdot \frac{32 \cdot M_m}{\pi d^3} \quad 2.5.2.2$$

גזירה:

$$\tau_m = k_{fs} \cdot \frac{T_m r}{J}; \tau_a = k_{fs} \cdot \frac{T_a r}{J} \quad 2.5.2.3$$

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

2.5.3. מקדם ריכוז מאמצים:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad 2.5.3.1$$

q - רגישות לחריץ, נלקח מדיאגרמה 6-36
 k_t - מקדם ריכוז מאמצים גיאומטרי, מוצאים בטבלאות 6-3

2.5.4. נוסחאת Westinghouse (הכללית):

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(K_f M_a)^2 + \frac{3}{4}(K_{fs} T_a)^2}}{S_f \text{ or } S_e} + \frac{\sqrt{(K_f M_m)^2 + \frac{3}{4}(K_{fs} T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{1/3} \quad 2.5.4.1$$

3. מיסבי גלילה והחלקה:

3.1. מיסבי גלילה:

עומס משוקלל:

$$P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad 3.1.1$$

P - עומס משוקלל

X, Y - מקדמים הנלקחים מטבלא 10-24.

F_r - כוח רדיאלי על המיסב

F_a - כוח צירי על המיסב

V - מקדם סיבוב: V=1 אם הטבעת הפנימית מסתובבת

V=1.2 אם הטבעת החיצונית מסתובבת

סד"פ בחירת מיסב גלילה:

(א) מחשבים ריאקציות רדיאליות וציריות על המיסב

(ב) בוחרים מיסב כלשהו מטבלא 10-23 (ניחוש ראשוני) ולוקחים את ערכו של C₀.

(ג) מחשבים את ערך $\frac{F_a}{V \cdot F_r}$ ואת ערך $\frac{F_a}{C_0}$.

(ד) מתוך טבלא 10-24 בעזרת הערכים מסעיף 3 (לא לשכוח להשוות לערכי e ועל פי זה לבחור עמודה מתאימה), מוצאים אם ערכי Y, X.

(ה) מחשבים את ערכו של P על פי נוסחא 3.1.1 ומשווים לערך C (עומס דינאמי) של המיסב שנבחר מטבלא 10-23.

(ו) אם C < P בוחרים מיסב חזק יותר וחוזרים על התהליך מסעיף ג תוך הסתמכות על הערכים החדשים.

אם P > C אזי המיסב שנבחר מתאים לעומס.

אורך החיים הכללי של מיסב: (באמינות של 90%)

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^n \quad 3.1.2$$

L - אורך החיים במליוני סיבובים
C - עומס דינאמי (פקטור הניתן ע"י היצרן)

P - עומס, מחושב על פי נוסחא 3.1.1.

n - פקטור המציין את סוג המיסב:

עבור מיסב כדורי $n=3$

עבור מיסב גלילי $n=10/3$

אורך החיים של מיסב עבור אמינות ספציפית:

$$L_{10} = \frac{L}{0.02 + 4.439 \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{R}\right) \right]^{1/1.483}} \quad 3.1.3$$

R - האמינות הנדרשת

3.2. מיסבי החלקה:

כללי:

פיתול לגזירה של נוזל (ניסוי פטרוף):

$$T = \frac{4\pi^2 r^3 \cdot l \cdot \mu \cdot N}{C} \quad 3.2.1$$

l, C, r - מידות גיאומטריות של הגליל

μ - צמיגות אבסולוטית של הנוזל, נלקח מגרפים 12-13 ו-12-12

N - מספר הסיבובים לשניה

מקדם החיכוך הפועל על המוט:

$$f = 2\pi^2 \left(\frac{\mu N}{P}\right) \left(\frac{r}{C}\right) \quad 3.2.2$$

P - העומס על המיסב

מספר סומרפלד:

$$S = \left(\frac{r}{C}\right)^2 \cdot \left(\frac{\mu N}{P}\right) \quad 3.2.3$$

הפסדי הספק:

$$H = T\omega = (2\pi r)^2 l \cdot P \cdot f \cdot N \quad 3.2.4$$

שינוי הטמפרטורה:

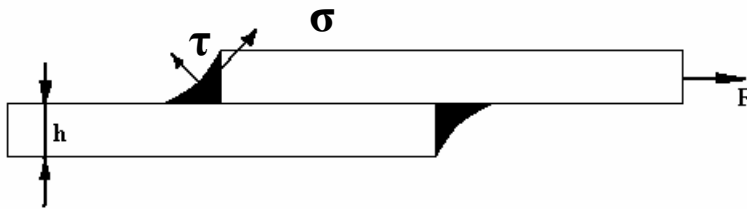
$$\Delta T = \frac{8.3P}{\left(1 - \frac{1}{2} \frac{Q_s}{Q}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{r}{C} \cdot f\right)}{\left(\frac{Q}{rCNI}\right)} \quad .3.2.5$$

- זוהי נוסחא איטרטיבית, שינויי הטמפרטורה אמורים להתכנס לאפס.
- הערך של $\frac{Q_s}{Q}$ נקבע בגרף 12-19
- הערך של $\frac{Q}{rCNI}$ נקבע בגרף 12-18
- הערך של $\frac{r}{C} \cdot f$ נקבע בגרף 12-17

4. מחברים מרותכים והלחמה קשה

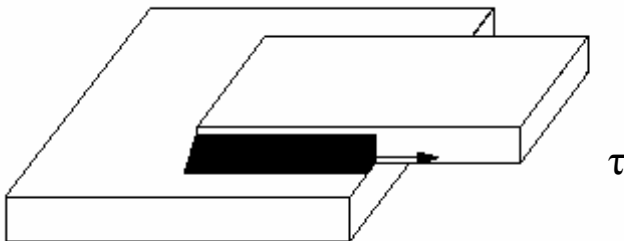
4.1 ריתוך מילוי – מאמצים:

4.1.1

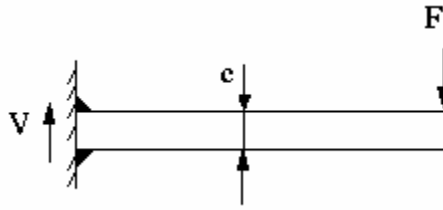


$$\begin{cases} \sigma = 1.618 \frac{F}{h \cdot l} \\ \tau = 1.414 \frac{F}{h \cdot l} \end{cases}$$

-F הכוח המופעל
-h עובי הפח
-l אורך התפר



$$\tau = \frac{F}{1.414h \cdot l} \quad .4.1.2$$



$$\begin{cases} \tau = \frac{V}{A} \\ \sigma = \frac{Mc}{I} \end{cases} .4.1.3$$

5. מסמרות:

5.1. מרכז הכובד עבור פיזור כלשהו של מסמרות:

$$\begin{cases} \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i x_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \\ \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i y_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \end{cases} .5.1.1$$

5.2. מאמץ גזירה ישיר:

$$\tau' = \frac{F}{N} .5.2.1$$

-F הכוח המופעל
-N מספר המסמרות

5.3. המומנט שנוצר כתוצאה מהפעלת הכוח:
(בהנחה שהכוח מופעל בראשית הצירים)

$$M = F \cdot \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} .5.3.1$$

5.4. מאמץ גזירה כתוצאה מפיתול:

$$\tau_i'' = \frac{M \cdot r_i}{A_i \sum_{j=1}^N r_j^2} \quad .5.4.1$$

5.5 מאמץ גזירה כולל:

$$\tau_{total} = \sqrt{\tau''^2 + \tau'^2} \quad .5.5.1$$

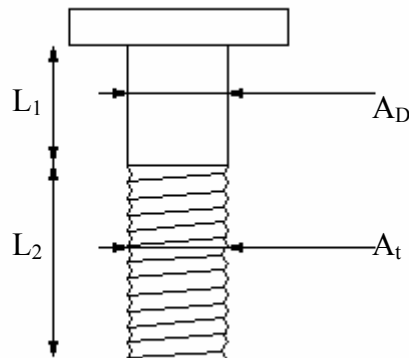
6. ברגים:

6.1 קבוע הבורג:

$$k_b = \frac{EA}{l} \quad .6.1.1$$

6.2 עבור בורג משולב:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_1}{A_D E} + \frac{l_2}{A_t E} \quad .6.2.1$$



6.3 מקדם קשיחות של מחבר:

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} \quad .6.3.1$$

6.4 התארכות בבורג:

$$\delta = \frac{F_i}{k_b} = \frac{F_i l}{AE} \quad .6.4.1$$

6.5 כח בבורג:

$$F_b = P_b + F_i = C \cdot P + F_i \quad .6.5.1$$

6.6. כח בפח:

$$F_m = \frac{k_m}{k_m + k_b} \cdot P - F_i \quad .6.6.1$$

6.7. המומנט בו יש לסגור את האום:

$$T \approx 0.21 \cdot F_i d \quad .6.7.1$$

6.8. מפעיל הידראולי

$$P = -\frac{F_m}{A_g/N} \leq \frac{N}{A_g} [F_i - P(1-C)] \quad .6.8.1 \quad \text{לחץ על האטם:}$$

A_g -שטח החתך של האטם
N-מספר הברגים
 F_m -לחץ על המכסה

$$n = \frac{F_i}{P(1-C)} \quad .6.8.2 \quad \text{מקדם בטחון נגד הפרדות}$$

$$\begin{cases} \sigma_a = \frac{C \cdot P_{\max}}{2A_t} \\ \sigma_m = \sigma_a + \frac{F_i}{A_t} \end{cases} \quad .6.8.3 \quad \text{התעייפות במפעיל הידראולי:}$$

7. אמינות:

7.1. ההסתברות לכשל עד זמן t:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad .7.1.1$$

7.2. ההסתברות שלא תהיה תקלה עד זמן t:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad .7.2.1$$

7.3. קצב תקלות:

$$\lambda(t) = \frac{R(t_1) - R(t_2)}{(t_2 - t_1) R(t_1)} \quad .7.3.1$$

7.4. קצב הסיכון:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad .7.4.1$$

7.5. אם מניחים שקצב התקלות הרגעי קבוע:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad .7.5.1$$

7.6. זמן ממוצע בין תקלות MTBF:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad .7.6.1$$

7.7 זמינות:

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad 7.7.1$$

MTTR - זמן ממוצע לתיקון

7.8 פילוג נורמלי (תקלות שחיקה):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad 7.8.1$$

σ-סטטיית התקן

M-ממוצע האוכלוסייה

7.9 פילוג לוג-נורמלי (תקלות התעייפות):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right)^2} \quad 7.9.1$$

7.10 חיבור רכיבים בטור:

$$R_s(t) = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad 7.10.1$$

7.11 חיבור רכיבים במקביל (יתירות)

$$Q_s(t) = Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad 7.11.1$$

$$R(t) = 1 - Q(t)$$

7.12 תצורה של K מתוך N:

$$(R + Q)^n = R^n + nR^{n-1}Q + \frac{n(n-1)}{2!} R^{n-2}Q^2 + \dots + Q^n \quad 7.12.1$$

כל איבר שנוסף מהשמאלי ביותר והלאה יוסיף את ההסתברות שכל המערכות מינוס אחת יעבדו.

7.13 מודל חפיפה-אמינות של חלק:

$$R = 1 - \exp\left[-\frac{1}{2}(2\mu\theta - \sigma^2\theta^2)\right] \quad 7.13.1$$

$$\theta = \frac{1}{y}$$

μ-ממוצע החוזק של חלק מסויים

σ-סטטיית התקן של החוזק

y-ערך ממוצע של המאמץ

8. עיבוד פלסטי של מתכות:

8.1. עיבור הנדסי- עד לנקודת הכניעה:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad 8.1.1$$

8.2. עיבור אמיתי- מעבר לנקודת הכניעה (נוסחאת לודוויג):

$$\sigma = k \cdot \varepsilon^n \quad 8.2.1$$

k, n- קבועי החומר, מוציאים מטבלא 2.3

8.3. כח הגזירה הדרוש לעיבוד פלסטי של פח:

$$P_{shear} = 0.7 S_{ut} \cdot t \cdot L \quad 8.3.1$$

L-אורך ההיקף (πD עבור פח עגול)

8.4. כיפוף פח:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_i = \frac{1}{\frac{2R}{t} + 1} \quad 8.4.1 \quad \text{עיבור פנימי/חיצוני:}$$

$$P = K \frac{S_{ut} L \cdot t^2}{W} \quad 8.4.2 \quad \text{כוח נדרש לכיפוף:}$$

W- פתיחת הטבע

K-קבוע הטבע-נתון

8.5. משיכה עמוקה:

$$\bar{R} = \frac{R_0 + R_{90} + 2R_{45}}{4} \quad 8.5.1 \quad \text{אן-איזוטרופיה ממוצעת:}$$

$$\Delta R = \frac{R_0 - 2R_{45} + R_{90}}{2} \quad 8.5.2 \quad \text{אן-איזוטרופיה משטחית:}$$

$$LDR = \frac{D_0}{D_p} \quad 8.5.3 \quad \text{יחס משיכה מקסימלי (טבלא 7.61):}$$

$$P = \pi D_p T_0 S_{ut} \left(\frac{D_0}{D_p} - 0.7 \right) \quad 8.5.4 \quad \text{הכח הנדרש למשיכה עמוקה:}$$

D_p - קוטר הכוסית

D_0 - קוטר התחלתי של הפרוסה

T_0 - עובי התחלתי של הפרוסה