

HEGESZTÉS TECHNIKA

XXVII. ÉVFOLYAM
2016. 2. SZÁM



A MAGYAR HEGESZTÉSTECHNIKAI ÉS ANYAGVIZSGÁLATI EGYESÜLÉS FOLYÓIRATA



TISZAKÉCSKE
Ahol rekordok születnek

ANDRITZ
Hydro

[f /andritzmagyarország](#)
www.andritz.hu

Dr. Farkas József*, Dr. Jármay Károly**

Hegesztett cellahéj – új szerkezetváltozat egy oszlop részére

Három változat összehasonlítása

Bevezetés

Előző tanulmányaink azt mutatták, hogy a cellalemezek sok esetben előnyösebbek, mint az egyoldalt bordázottak. Nagy hajlító- és csavaró merevség hozható létre velük kis szerkezeti magasságokkal. Előnyök korrózióvédelem és esztétika szempontjából is [1–5].

A cellahéjak két koncentrikus körhengerhéjből és a közéjük hegesztett hosszbordákból állnak (4. ábra). Hosszboardakként előnyösen alkalmazhatók a kettévágott körcső-szelvények (circular hollow section – CHS), mert a külső héjrészek könnyen hozzájuk hegeszthetők.

Tanulmányunk célja bemutatni a cellahéj előnyeit az egyoldalt bordázással szemben. Nagy merevsége és kis szerkezeti magassága miatt előnyös hajlított és nyomott oszlopokhoz abban az esetben, ha az oszlop felső pontjának vízszintes elmozdulása erősen korlátozott és a körcső-szelvényű oszlop külső átmérője is korlátozott.

Három szerkezetváltozatot hasonlítunk össze: (a) bordázatlan körhengerhéj, (b) félbevágott hengerelt UC szelvényű hosszbordák, (c) cellahéjas merevítés.

Az optimalizálható ismeretlenek: a belső és külső héj vastagsága, a CHS bordák méretei és száma valamint a merevítés felső pontjának távolsága.

A tanulmány bemutatja azt a reális esetet, amikor a cellahéj kisebb vastagságokkal és kisebb költséggel alkalmazható, mint az egyoldalt bordázott héj.

Az elmozdulás-korlátozás olyan szigorú, hogy a feszültségi, héjhorpadási és oszlop-kihajlási feltétel passzív. Megjegyezzük, hogy ilyen szigorú elmozdulás-korlátozás gyakran fordul elő szerkezetek földrengésre való méretezésekor.

Az összehasonlítás alapja a térfogat- és költség számítás. A költség anyag-, hegesztési és festési költségből áll.

Az oszlop alul befogott, az alapozás méretezését és költségeit nem tárgyaljuk.

Adottak: oszlopmagasság $L = 15$ m, biztonsági tényezővel szorzott nyomó erő $N_F = 2 \times 10^7$ [N], vízszintes erő $H_F = 0.1 N_F$, acél-folyáshatár $f_y = 355$ MPa, rugalmassági modulus $E = 2.1 \times 10^5$ MPa. Az elmozdulás-számításnál a vízszintes erőt $\gamma_M = 1.5$ tényezővel osztjuk.

Feltételek: az oszlop felső pontja vízszintes elmozdulásának korlátozása $w_{\max} = L/\varnothing = 1000$ és a héjátérő korlátozása $D = 2R = 3000$ mm.

1. Merevítetlen héj

(1. ábra bordák nélkül)

A vízszintes elmozdulás-korlátozás feltétele

$$w_{\max} = \frac{H_F}{EI \gamma_M} \left[\frac{(L-L_2)^3}{3} + \mu \left(L - \frac{L_2}{2} \right) (L-L_2)L_2 + \mu \frac{L_2^2}{2} \left(L - \frac{L_2}{3} \right) \right] \leq \frac{L}{1000} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{I_1}{I_2}, \gamma_M = 1.5 \quad \text{ahol}$$

$$I_i = \pi R^3 t_i, i = 1, 2 \quad (2)$$

I_1 és I_2 a felső és alsó oszloprész másodrendű nyomatékai, γ_M biztonsági tényező.

Az 1. táblázat mutatja a MathCAD programmal végrehajtott szisztematikus keresés eredményeit.

t_1	t_2	L_2	w	$V \times 10^{-9}$
36	45	12000	15.00	6.107
35	46	9000	14.94	5.881
24	48	9000	14.93	5.429
18	50	9000	14.88	5.316
15	52	9000	15.00	5.254

1. táblázat. Az optimalizálás néhány eredménye. Méretek mm-ben, a térfogat mm³-ben. A minimális térfogatot dőlt betűvel jelöltük

Látható, hogy mindegyik megoldás héjvastagsága alkalmatlan a gyártásra. Az oszlop-kihajlási feltétel passzív. Ezt a feltételt a 3.4 pontban tárgyaljuk részletesen.

2. Félbevágott hengerelt UC szelvényű bordákkal kívülről merevített héj

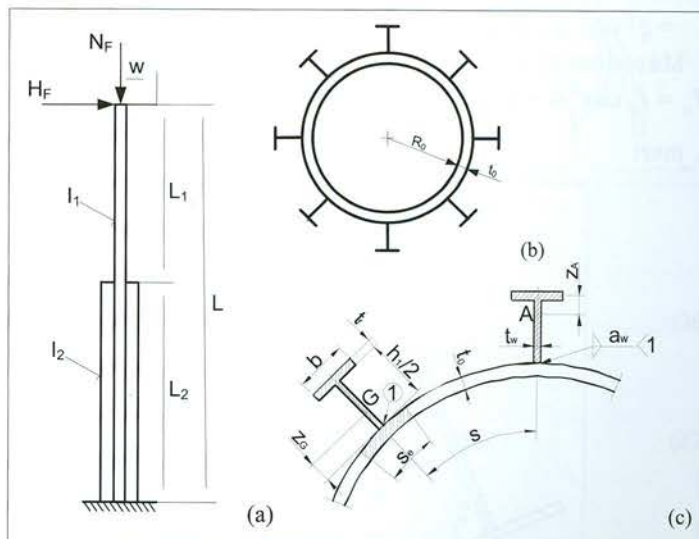
2.1 Geometriai jellemzők

A gerinclemez magassága

$$h_1 = h - 2t_f \quad (3)$$

a keresztmetszet-terület

$$A_s = h_1 \frac{t_w}{2} + bt_f \quad (4)$$



1. ábra. (a) Konzolos oszlop nyomóerővel és vízszintes erővel terhelve. A w vízszintes elmozdulást és a héjátérőt korlátozzuk; (b) oszlop-keresztmetszet; (c) a hosszbordák méretei

A félbevágott hengerelt UC-szelvény súlyponti távolsága

$$z_A = \frac{h_1 t_w / 2 (h_1 / 4 + t_f / 2)}{h_1 t_w / 2 + b t_f} \quad (5)$$

A félbevágott hengerektől UC szelvény másodrendű nyomatéka

$$I_x = b t_f z_A^2 + \frac{t_w}{12} \left(\frac{h_1}{2} \right)^3 + \frac{h_1 t_w}{2} \left(\frac{h_1}{4} - z_A \right)^2 \quad (6)$$

A héjsugár (az ábrán bejelölt t_0 vastagság helyett t -t használunk)

$$R_0 = R - \frac{h_1 - t_f - t}{2} \quad (7)$$

2.1.1 Másodrendű nyomaték számítása ferdeszögű tengelyre

Számítjuk a másodrendű nyomatékokat az x tengelyre, amely α szöveget zár be a ξ tengellyel, valamint az x' tengelyre, amely y_0 távolságra van az x tengelytől (2. ábra).

A sugár mindkét koordináta-rendszerben

$$r^2 = x^2 + y^2 = \xi^2 + \eta^2 \quad (8)$$

A GPC és PAC háromszögekéből

$$\cos \alpha = \frac{x}{\xi + u}, \quad \tan \alpha = \frac{u}{\eta} \quad (9)$$

A (8,9) képletekkel

$$x = (\xi + \eta \tan \alpha) \cos \alpha = \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha \quad (10)$$

A (10) -el

$$x^2 = \xi^2 \cos^2 \alpha + \eta^2 \sin^2 \alpha + 2\xi\eta \sin \alpha \cos \alpha \quad (11)$$

Alkalmazzuk az ismert

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad (12)$$

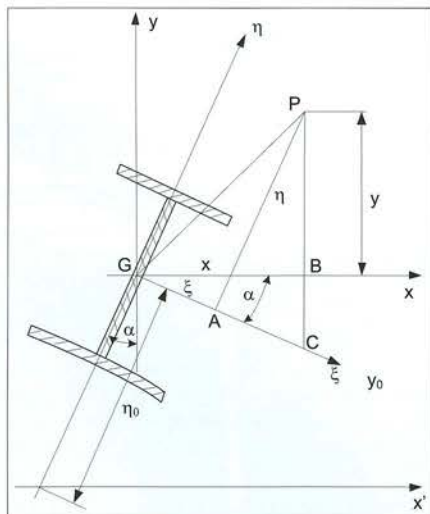
összefüggést a (8, 11, 12) képletekkel

$$y^2 = \xi^2 + \eta^2 - \xi^2 \cos^2 \alpha - \eta^2 \sin^2 \alpha - 2\xi\eta \sin \alpha \cos \alpha = \xi^2 \sin^2 \alpha + \eta^2 \cos^2 \alpha - 2\xi\eta \sin 2\alpha \quad (13)$$

Másodrendű nyomaték az x tengelyre

$$I_x = I_\xi \cos^2 \alpha + I_\eta \sin^2 \alpha - \sin 2\alpha \int \xi \eta dA \quad (14)$$

mert



2. ábra. Másodrendű nyomaték számítása az x és x' tengelyre

$$I_\xi = \int \eta^2 dA, I_\eta = \int \xi^2 dA \quad (14)$$

és

$$I_y = I_\xi \cos^2 \alpha + I_\eta \sin^2 \alpha + \sin 2\alpha \int \xi \eta dA \quad (15)$$

Szimmetrikus keresztmetszetekre a harmadik tag zérus, tehát

$$I_x = I_\xi \cos^2 \alpha + I_\eta \sin^2 \alpha \quad (16)$$

és

$$I_{x'} = \int (y + y_0)^2 dA = \int y^2 dA + 2y_0 \int y dA + y_0^2 \int dA = I_x + y_0^2 A \quad (17)$$

mert $\int y dA = 0$

Ismert η_0 távolság esetén a (17)

$$I_{x'} = I_x + y_0^2 A = I_x + \eta_0^2 \sin^2 \alpha A \quad (18)$$

A fent levezetett képletekkel a teljes bordázott héjkeresztmetszet másodrendű nyomatéka

$$I_{x0} = \pi R_0^3 t + I_x \sum_{i=1}^{n_s} \cos^2 \left(\frac{2\pi i}{n_s} \right) + \left(\frac{h_1 t_w}{2} + b t_f \right) \left(R_0 + \frac{h_1 + t_f}{2} - z_A \right)^2 \sum_{i=1}^{n_s} \cos^2 \left(\frac{2\pi i}{n_s} \right) + I_{x01} \quad (19)$$

$$I_{x01} = \left(\frac{b^3 t_f}{12} \right) \sum_{i=1}^{n_s} \sin^2 \left(\frac{2\pi i}{n_s} \right), \quad q = R_0 + \frac{h_1 + t_f}{2} - z_A \quad (20)$$

Megjegyezzük, hogy igen erős elmozdulás-korlátozás esetén az együttdolgozó héjszélesség $s_e = s$.

2.2 Az oszlop felső pontjának vízszintes elmozdulására vonatkozó korlátozás

A feltétel ugyanaz, mint a bordázatlan héj esetén [(1) képlet]. A (2) változik

$$I_1 = \pi R_0^3 t, I_2 = I_{x0} \quad (21)$$

2.3 Gyártási feltétel

$$n_{s,max} = \frac{2R_0\pi}{b + 300} \quad (22)$$

300 mm távolság szükséges a bordák között a bordák behégesztésének lehetővé tétele szempontjából.

2.4 Költségfüggvény

A hegesztési költséget a gyártási sorrendnek megfelelően fogalmazzuk meg.

A hegesztési költség általános képlete

$$K_w = k_w \left(C_1 \Theta \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 \sum_i C_{wi} a_{wi}^n C_{pi} L_{wi} \right) \quad (23)$$

ahol k_w [\$/min] a hegesztési költségtényező, C_1 az összeállítási tényező, rendszerint $C_1 = 1 \text{ min/kg}^{0.5}$, Θ az összeállítás nehézségét kifejező tényező. Az első tag az összeállítás idejét fejezi ki, κ az összeállítandó szerkezeti egységek száma, ρV az összeállított szerkezet tömege. A második

tag a hegesztési időt számítja, C_w és n a hegesztési módszertől és a varrat típusától függő állandók, C_p a hegesztési helyzettől függő állandó (vályúhelyzetre 1, függőlegesre 2, fejeleltre 3).

L_w a varrathossz. az 1.3-as szorzó a járulékos hegesztési időket veszi figyelembe (salakeltávolítás, fűző varratok, elektródcseré).

- (1) 5 darab 3 m hosszú bordázatlan héjelem gyártása. Egy héjelemhez 2 tengelyirányú GMAW-C (CO_2 védőgázos hegesztés) tompavarrat szükséges (K_{F1}). A héjelem hengeres alakúra alakításának költségét is számítjuk (K_{F0}).
- (2) A teljes bordázatlan héj hegesztése 5 elemből 4 gyűrűvarrattal (K_{F2}).
- (3) n_s számú hosszborða felhegesztése kettős GMAW-C sarokvarratokkal L_2 hosszban. A sarokvarratok száma $2n_s$ (K_{F3}).

Az anyagköltség

$$K_M = k_{M1} 5 \rho V_1 + k_{M2} \rho n_s A_s L / 2 \quad (24)$$

$$V_1 = 3000 \times 2 R \pi t; \rho = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3. k_F = 1.0 \text{ \$/min}, k_{M1} = 1.0 \text{ \$/kg} \quad (25)$$

A 3 m széles héjelem alakítási költsége [4]

$$K_{F0} = k_F \Theta e^\mu; \mu = 6.8582513 - 4.527217 t^{-0.5} + 0.009541996 (2R)^{0.5} \quad (26)$$

$$K_{F1} = k_F \left[\Theta \sqrt{\kappa \rho V_1} + 1.3 \times 0.1520 \times 10^{-3} t^{1.9358} (2 \times 3000) \right] \quad (27)$$

$$\kappa = 4, V_1 = 2 R_0 \pi \times 3000, \Theta = 2 \quad (28)$$

$$K_{F2} = k_F \left(\Theta \sqrt{25 \rho V_1} + 1.3 \times 0.1520 \times 10^{-3} t^{1.9358} \times 4 \times 2 R \pi \right) \quad (29)$$

$$K_{F3} = k_F \left(\Theta \sqrt{(n_s + 1) \rho V_2} + 1.3 \times 0.3394 \times 10^{-3} a_w^2 L_2 n_s \right) \quad (30)$$

A sarokvarrat mérete $a_w = 0.3 t_w$, $a_{wmin} = 3 \text{ mm}$.

$$V_2 = 5 V_1 + n_s A_s L / 2 \quad (31)$$

A festési költség

$$K_P = k_P (4 R \pi L + n_s L_2 S), S = h_1 + 2b, k_P = 14.4 \times 10^{-6} \text{ \$/mm}^2 \quad (32)$$

A teljes költség

$$K = K_M + 5 K_{F1} + 5 K_{F0} + K_{F2} + K_{F3} + K_P \quad (33)$$

2.5 Az optimális méretezés eredményei

A 2. táblázat mutatja az eredményeket.

h	222.2	222.2	161.8	152.4
b	209.1	208.1	154.4	152.2
t	12.7	12.7	8	5.8
t_w	20.5	20.5	11.5	6.8
t'	45	46	42	42
n_s	18	18	20	20
L_s	12000	9000	9500	9000
w	14.99	14.99	14.84	14.96
$10^{-9} V$	7.0130	6.847	6.666	6.545
K	96480	94850	88500	88010

2. táblázat. A szisztematikus optimum-keresés eredményei. Méretek mm-ben, térfogat mm^3 -ben, költségek $\text{\$}$ -ban. Az optimumokat dőlt betűvel jelöltük

A héjhorpadási és oszlop-kihajlási feltételek passzívák.

Látható, hogy az L_2 és a bordaméretek csökkentése csökkenti a térfogatot és a költséget. A fő probléma a nagy héjvastagságok (40 mm fölött), amelyek alkalmatlanok a gyártásra.

3. Cellahéjjal merevített oszlop (3. és 4. ábrák)

Félbevágott körécs-szelvényű (CHS) [7] bordákat alkalmazunk. Ezek megkönnyítik a külső héjelemek felhegesztését.

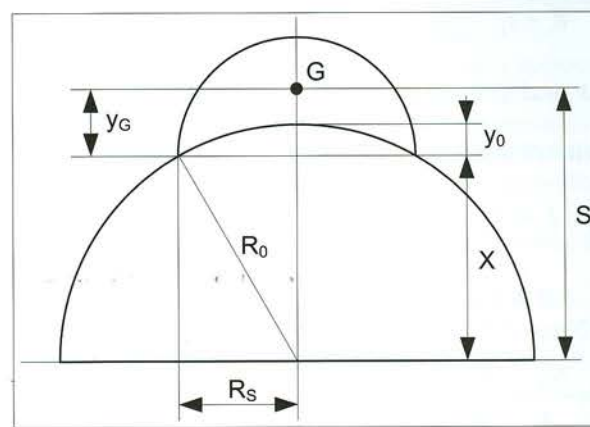
3.1 Geometriai jellemzők

Egy félbevágott CHS keresztmetszeti területe (3. ábra)

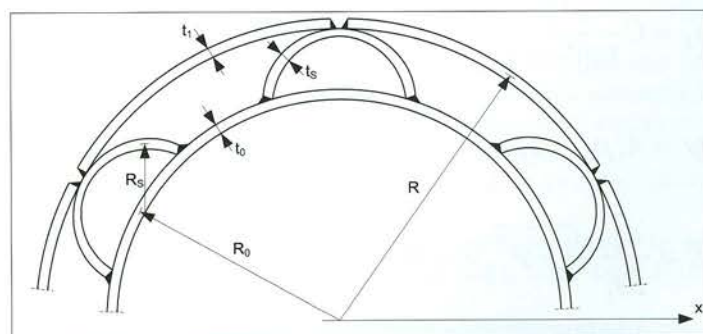
$$A_s = \pi R_s t_s, R_s = \frac{D_s - t_s}{2} \quad (34)$$

súlyponti távolsága

$$y_G = \frac{2 R_s}{\pi} \quad (35)$$



3. ábra. A cellahéj geometriája



4. ábra. A cellahéj méretei

és másodrendű nyomatéka

$$I_s = \frac{R_s^3 \pi}{2} \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \right) \quad (36)$$

Az X távolság

$$X = \sqrt{\left(R_0 + \frac{t_0}{2} \right)^2 - R_s^2} \quad (37)$$

A belső héj sugara

$$R = X + R_s + \frac{t_1 + t_s}{2} \quad (38)$$

(t_1 a külső héj vastagsága)

$$R_0 = \sqrt{\left(R - R_s - \frac{t_1 + t_s}{2} \right)^2 + R_s^2} - \frac{t_0}{2} \quad (39)$$

n_s számú borda másodrendű nyomatóka a héj közepére a (16) és (18) képletekkel

$$I_{xs} = (I_s + A_s s^2) \sum_{i=1}^{n_s} \cos^2 \left(\frac{2\pi i}{n_s} \right) + \left(\frac{\pi R_s^3 t_s}{2} \right) \sum_{i=1}^{n_s} \sin^2 \left(\frac{2\pi i}{n_s} \right) \quad (40)$$

A teljes héj másodrendű nyomatóka (4. ábra)

$$I_x = \pi R_0^3 t_0 + \pi R^3 t_1 + I_{xs} \quad (41)$$

Gyártási feltétel a félbevágott CHS belső héjhoz való hegesztésének lehetővé tételére

$$\frac{2R_0\pi}{n_s} - 2R_s \geq 2t_s \quad (42)$$

összefüggésből a bordák maximális száma

$$n_{s,max} = \frac{\pi R_0}{R_s + t_s} \quad (43)$$

3.2 Az oszlop felső pontjának vízszintes elmozdulására vonatkozó feltétel

Ez a feltétel megegyezik a (1)-el, de a (2) megváltozik

$$I_1 = \pi R_0^3 t_1, I_2 = I_x \quad (44)$$

3.3 A külső héjpanelek horpadási feltétele

A Det Norske Veritas [8] képleteit alkalmazzuk

$$\sigma_{max} = \frac{N_F}{A} + \frac{H_F L}{W_x} \leq f_{ks} = \frac{f_y}{\sqrt{1 + \bar{\lambda}^4}}, \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y}{f_E}} \quad (45)$$

$$f_E = C \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_1}{s_0} \right)^2, C = \psi \sqrt{1 + \left(\frac{\rho_0 \xi}{\psi} \right)^2} \quad (46)$$

$$\psi = 4, \rho_0 = 0.5 \left(1 + \frac{R}{150 t_1} \right)^{-0.5}, \xi = 0.702 Z \quad (47)$$

$$Z = \frac{s_0^2}{R t_1} \sqrt{1 - \nu^2}, \nu = 0.3 \quad (48)$$

Az alkalmazott erős elmozdulás-feltétel esetén a panelhorpadási feltétel passzív. A normál feszültség olyan kicsi, hogy az együttdolgozó héjszélesség megegyezik s_0 -al.

3.4 Oszlop-kihajlási feltétel

Az Euler-féle kritikus feszültség számítására kétrészes oszlop esetén a Timoshenko és Gere [9] képletet használjuk, a hajlított és nyomott oszlop stabilitás-számítását az Eurocode 3 Part 1-1 [10] szerint végezzük

$$\frac{N_F}{\chi_1 A f_y} + k_{yy1} \frac{H_F L}{W_x f_y} \leq 1 \quad (49)$$

$$\chi_1 = \frac{\phi_1 - \sqrt{\phi_1^2 - \lambda^2}}{2\lambda^2}, \quad \phi_1 = 1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2, \quad (50)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_E}}, \quad \sigma_E = \frac{\pi^2 E I_2}{4 L^2 A C}$$

$$C = \frac{L_2}{L} + \frac{L_1 I_2}{L I_1} - \frac{1}{\pi} \left(\frac{I_2}{I_1} - 1 \right) \sin \frac{\pi L_2}{L} \quad (51)$$

$$\alpha = 0.34,$$

$$k_{yy1} = C_{my} \left(1 + 0.6 \lambda \frac{F}{\chi_1 A f_y} \right) \quad \text{for } \lambda < 1 \quad (52)$$

$$k_{yy1} = C_{my} \left(1 + 0.6 \frac{F}{\chi_1 A f_y} \right) \quad \text{for } \lambda \geq 1 \quad (53)$$

$$C_{my} = 0.6$$

3.5 Költségfüggvény

A bordázatlan körhengerhéj gyártása megegyezik a 2.4 pontban leírtakkal, de R és t helyett R_0 és t_0 jelöléseket alkalmazunk.

$$V_1 = 3000 \times 2 R_0 \pi t_0, \rho = 7.86 \times 10^{-6} \text{ kgmm}^{-3}, \quad (54)$$

$$k_F = 1.0 \text{ \$/min}, k_{MI} = 1.0 \text{ \$/kg}.$$

$$K_{F0} = k_F \Theta e^{\mu}, \mu = 6.8582513 - 4.527217 t_0^{-0.5} + 0.009541996 (2R_0)^{0.5} \quad (55)$$

$$K_{F1} = k_F \left[\Theta \sqrt{\kappa \rho V_1} + 1.3 \times 0.152 \times 10^{-3} t_0^{1.9358} (6000 + 2\pi R_0) \right] \quad (56)$$

$$\kappa = 4, V_1 = 2 R_0 \pi t_0 \times 3000, \Theta = 2 \quad (57)$$

$$K_{F2} = k_F \left(\Theta \sqrt{25 \rho V_1} + 1.3 \times 0.152 \times 10^{-3} t_0^{1.9358} \times 4 \times 2 R_0 \pi \right) \quad (58)$$

A félbevágott CHS bordák hegesztése a belső héjhoz SAW sarokvarratokkal (a SAW hegesztés gazdaságosan alkalmazható hosszvarratokhoz)

$$K_{F3} = k_F \left[\Theta \sqrt{(n_s + 1) \rho V_2} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_w^2 2 L_2 n_s \right] \quad (59)$$

$$V_2 = 5 V_1 + n_s A_s L_2, \quad a_w = 0.3 t_s \quad (a_{min} = 3 \text{ mm}) \quad (60)$$

A külső 2 m hosszú héjpanelek alakítása

$$K_{F4} = k_F \Theta e^{\mu_1}, \mu_1 = 6.8582513 - 4.527217 t_1^{-0.5} + 0.009541996 (2R)^{0.5} \quad (61)$$

Egy külső héjpanel hegesztése L_2 hosszban 3 m hosszú κ_3 számú elemből ($\kappa_3 - 1$) számú GMAW-C tompavarattal

$$K_{F5} = k_F \left[\Theta \sqrt{\kappa_3 \rho V_3} + 1.3 \times 0.152 \times 10^{-3} t_1^{1.9358} \frac{2 R \pi}{n_s} (\kappa_3 - 1) \right] \quad (62)$$

$$V_3 = \frac{2 R \pi L_2}{n_s} \quad (63)$$

$$\kappa_3 = \frac{L_2}{3000}$$

κ_{30} -ra kerekítve

A külső héjpanelek hegesztése a bordázott héjhoz SAW (fedőporos hegesztés) sarokvarratokkal ($a_{w1} = 0.3t_s$ mérettel)

$$K_{F6} = k_F \left(\Theta \sqrt{(n_s + 1) \rho V_4} + 1.3 \times 0.2349 \times 10^{-3} a_{w1}^2 2n_s L_2 \right) \quad (64)$$

$$V_4 = V_2 + n_s V_3 \quad (65)$$

Festési költség

$$K_p = k_p S, S = 2\pi R_0 (2L - L_2) + 2R\pi L_2 \quad (66)$$

Anyagköltség

$$K_M = k_M \rho V_4 \quad (67)$$

Teljes költség

$$K = K_M + 5(K_{F0} + K_{F1}) + K_{F2} + K_{F3} + \kappa_{30} K_{F4} + n_s K_{F5} + K_{F6} + K_P \quad (68)$$

3.6 Az optimalálás eredményei

Az optimumokat egy MathCAD algoritlussal, szisztematikus kereséssel határoztuk meg. Az eredményeket a 3. táblázat adja meg. A gyártási szempontoknak megfelelően az alábbi határértékeket tartottuk be: $t_{0max} = 30$, $t_{1max} = 30$, $t_{smin} = 10$ mm.

t_0	t_1	L_2	$V_4 \times 10^{-9}$	K (\$)
25	29	8200	5.641	80260
24	30	8300	5.613	79220
23	30	8700	5.596	78530
22	30	9100	5.578	77570
21	30	9600	5.589	76900
20	30	10200	5.629	76510
19	30	10800	5.688	76140
18	30	11600	5.766	76320

4. táblázat. Az optimalálás eredményei. A legnagyobb elmozdulás minden esetben a 15 mm határérték alatt van. Méretek mm-ben, térfogat V mm³-ben. Az optimumokat dőlt betűkkel jelöltük

A számértékek az alábbiakat mutatják.

(a) A minimális térfogat és költség a minimális bordaszám ($n_s = 4$) esetén adódnak,

(b) az optimumok minimális D_s , maximális R_0 és t_s értékekhez tartoznak, ezért választottuk a 101.6x10 CHS profilt. A minél nagyobb másodrendű nyomaték elérése céljából a maximális $t_1 = 30$ mm-t választottuk,

(c) a minimális térfogatot illetve költséget különböző méretek adják, mert a gyártási költségek jelentősek.

4. Következtetések

Háromféle szerkezetváltozatot optimaltunk.

(1) A merevítetlen körhengerhéj minimális térfogata $V = 5.316 \times 10^9$ mm³, de a héjvastagság 50 mm, ami gyártásra alkalmatlan,

(2) a félbevágott hengerelt UC szelvényű hosszbordákkal merevített héj térfogata $V = 6.545 \times 10^9$ mm³ és költsége $K = 88010$ \$, de a 42 mm héjvastagság itt sem alkalmas gyártásra,

(3) a cellahéjjal erősített oszlopnál $V = 5.578 \times 10^9$ mm³ és $K = 76150$ \$, héjvastagság 30 mm.

A vizsgált esetben a cellahéjjal merevített oszlop minden feltételt kielégít.

Köszönetnyilvánítás

A kutató munka az OTKA T 109860 projekt támogatásával valósult meg, a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovatív Járműipari, Gépészeti és Energetikai Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében.

Hivatkozások

- [1] Farkas, J., Structural synthesis of welded cell-type plates. Acta Techn. Hung. 1976, 83, No. 1-2, 117-131.
- [2] Farkas, J., Optimum design of metal structures, Akadémiai Kiadó, Budapest, Ellis Horwood, Chichester, UK, 1984.
- [3] Farkas, J., Jármái, K., Analysis and optimum design of metal structures. Balkema, Rotterdam-Brookfield, 1997.
- [4] Farkas, J., Jármái, K., Design and optimization of metal structures, Horwood, Chichester, UK, 2008.
- [5] Farkas, J., Jármái, K., Optimum design of steel structures, Springer, Heidelberg etc., 2013.
- [6] Jármái, K., Farkas, J. Cost calculation and optimization of welded steel structures. J Constr Steel Res, 1999, 50, 115-135.
- [7] EN 10219-2. Cold formed circular hollow section profiles. CEN 2006.
- [8] DNV Det Norske Veritas, Buckling strength of shells. Recommended practice RP-C202. Høvik, Norway, 2002.
- [9] Timoshenko, S.P., Gere, J.M. Theory of elastic stability. McGraw Hill. New York-Toronto-London, 1961.
- [10] MSZ EN 1993-1-1. Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-1. rész (2009): Általános és az épületekre vonatkozó szabályok.

Összefoglalás

A konzolos oszlop hajlításra és nyomásra van igénybe véve, valamint az oszlop tetőpontjának vízszintes elmozdulása és hengerhéjas keresztmetszetének átmérője korlátozva van. Az oszlop alsó részét cellahéjjal erősítjük.

Háromféle szerkezetváltozatot optimaltunk és hasonlítottuk össze.

- Elsőként a merevítetlen körhengerhéjat optimaltunk és azt kapjuk, hogy a héjvastagság olyan nagy, hogy nem alkalmas alakításra és hegesztésre.
- Másodikként a hosszbordákkal merevített oszlopot méretezzük. Félbevágott hengerelt UC (Universal Column) bordákat alkalmazunk az oszlop alsó részére, amelynek magasságát is optimaltunk. Itt is azt kapjuk, hogy a szükséges héjvastagság nem alkalmas a gyártásra.
- A harmadikként vizsgált cellahéj két koncentrált körhengerhéjből és a közéjük hegesztett hosszbordákból áll. A cellahéj a cellalemezhez hasonló előnyökkel rendelkezik, vagyis nagy merevséget biztosít kis szerkezeti magassággal. Sima felületük kedvező korrózióvédelem szempontjából. Esztétikai szempontból is előnyösebbek a hosszbor-dás változatnál.

Kulcsszavak: hegesztett héjszerkezetek, szerkezetoptimalálás, költségszámítás, cellaszerkezetek, oszlopok kihajlása

*Dr. Farkas József, emeritusz professzor,

**Dr. Jármái Károly, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem