Kolozsvár, 1998. március 20-21.

Körhenger héjszerkezetű szalaghidak méretezése költségminimumra

Liszkai Tamás

Abstract

In this paper the optimum design of belt bridges with ring stiffeners are reviewed. The objective function of the optimization is the cost of the structure and the constraints are taken from the API [1] (American Petroleum Institute) design rules. The solution of the problem is carried out by MathCad 7.plus software and presented also graphically which proves the necessity of optimum cost design.

Bevezetés

Szalaghidak, szállítószalagok vezetésénél a szintkülönbségek áthidalására, ill. létesítmények közötti alátámasztásra szolgálnak, ugyanakkor a kezelőszemélyzet közlekedését is biztosítják a szalag (szalagok) mellett. Zárt szalaghidakat külső behatásokra (szél, csapadék) érzékeny anyagok szállításánál alkalmazunk. A zárt szalaghidak egyik típusa a héjszerkezetű szalaghidak, melyek lehetnek gyűrű-,

1. ábra

hossz-, ill. mindkét bordával ellátottak. Héjszerkezetű szalaghidak esetén a szerkezeti megoldás miatt rendkívül sok hegesztés van (a héj kialakítása lemezekből történik hegesztéssel, a bordák beillesztése további hegesztéseket igényel), ezért az optimalálás során a költségfüggvény alkalmazása sokkal realisabb eredményt ad mint a tömegminimum. A terhelések között a hasznos terhelésen kívül figyelembe kell venni a szalagok, görgők, kezelőjárda terhelését, hőterhet stb. valamint az önsúlyt is, mely a terhelés jelentős részét képezheti. A cikkben tárgyalt héjszerkezetű szalaghíd sematikus felépítését az 1. ábra mutatja.

1. Méretezési feltételek

A méretezési feltétel rendszer kialakítása az API [1] (American Petroleum Institute) előírásai alapján történik. Az API gyűrűbordákkal ellátott körhéjakra három feltételt ír elő (helyi horpadási, általános stabilitási, borda horpadási feltételeket), ezenkívül egy lehajlás-korlátozási feltételt is figyelembe kell venni, mert a dinamikus hatások miatt a szerkezetnek kellő merevséget kell biztosítani.

Helyi horpadási feltétel hajlított körhéjra, ahol F_{exL} a helyi horpadás megengedhető feszültsége, R a körhéj sugara, t a körhéj vastagsága, E az acél rugalmassági modulusa, α_{xL} és C_x korrekciós tényezők.

$$F_{xel.} = \alpha_{xl} \sigma_{xel.} = \alpha_{xl} C_x \frac{Et}{R} \quad (1)$$

ahol,

$$C_x = \begin{cases} 0.630 & \text{ha } M_x \leq 1.5 \\ \frac{0.904}{M_x^2} + 0.1013 M_x^2 & \text{ha } 1.5 < M_x < 1.73 \\ 0.605 & \text{ha } M_x \geq 1.73 \end{cases} \quad M_x = \frac{L_r}{\sqrt{Rt}} \quad (2)$$

$$\alpha_{xl} = \begin{cases} 0.207 & R/t \geq 610 \\ \frac{169\bar{c}}{195 + R/t} < 0.9 & R/t < 610 \end{cases} \quad \bar{c} = \begin{cases} 2.64 & M_x \leq 1.5 \\ 3.13/M_x^{0.42} & 1.5 < M_x < 15 \\ 1.0 & M_x \geq 15 \end{cases} \quad (3)$$

Általános stabilitási feltétel, ahol F_{xeG} a stabilitási feltétel megengedhető feszültsége, A_r borda keresztmetszeti területe, L_r gyűrűborda osztástávolsága, α_{xG} korrekciós tényező.

$$F_{xeG} = \alpha_{xG} \sigma_{xeG} = \alpha_{xG} 0.605 \frac{Et}{R} (1 + \bar{A}_r)^{1/2}, \quad \bar{A}_r = \frac{A_r}{L_r t} \quad (4)$$

$$\alpha_{xL} = \begin{cases} 0.72 & \text{ha } \bar{A}_r \geq 0.2 \\ (3.6 - 5.0\alpha_{xL})\bar{A}_r + \alpha_{xL} & \text{ha } 0.06 < \bar{A}_r < 0.2 \\ \alpha_{xL} & \text{ha } \bar{A}_r \leq 0.06 \end{cases} \quad (5)$$

Borda horpadási feltétel, ahol h_s a gyűrűborda megassága, t_s a gyűrűborda vastagsága, F_y a borda folyáshatára.

$$F_{xeG}/1.2 \geq F_{xeL}, \quad \frac{h_s}{t_s} \leq 0.375 \sqrt{E/F_y} \quad (6)$$

Lehajlási feltétel [3], w_{max} a maximális lehajlás, w_{meg} a megengedett lehajlás, L a körhøj teljes hossza, p teljes megoszló terhelés.

$$w_{max} = \frac{5pL^4}{384EI_x} \leq w_{meg} = \frac{L}{300} \quad (7)$$

2. Költségfüggvény meghatározása

Egy szerkezet költségei (K) a gyártási- (K_f) és anyagköltségekből (K_m) tevődnek össze [2]. A rendkívül sokféle gyártási költségek közül jelen esetben az előkészítés, hegesztési és az ezzel járó egyéb költségeket (elektróda csere, salak eltávolítás, leélezés stb.) vesszük figyelembe. A gyártási költségek fő paramétereként az ezekkel kapcsolatos időket vesszük alapul, melyek nagyban függenek az adott ország fejlettségi szintjétől. Ezek alapján a költségfüggvény a következő, ahol T_1 az előkészítés, T_2 a hegesztés, T_3 a hegesztés járulékos ideje, k_f és k_m pedig a gyártási ill. anyag költségtényezők.

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum_i T_i, \quad \frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_1 + T_2 + T_3) \quad (8)$$

$$T_1 = C_1 \delta_d \sqrt{\kappa \rho V}, \quad T_2 = \sum_i C_{2i} a_{wi}^n L_{wi}, \quad T_3 = \sum_i C_{3i} a_{wi}^n L_{wi}, \quad T_2 + T_3 = 1.3 \sum_i C_{2i} a_{wi}^n L_{wi} \quad (9)$$

ahol C_1, C_2, C_3 és n konstansok [4] különböző hegesztési technológiákra, a_{wi} a varrat dolgozó mérete, L_{wi} a varrathossz, δ_d nehézségi tényező, κ az összeszerelendő elemek száma (lemezek és bordák száma). A hegesztéseket CO₂ védőgáz (GMAW-C) eljárással készítjük, a bordákat 1/2 V varratokkal illesztjük a lemezekhez, a lemezeket pedig V varratokkal hegesztjük egymáshoz.

3. Feszültség számítása az API alapján

A héjban ébredő maximális feszültség az API [1] alapján, ahol f_b a maximális feszültség, M a maximális hajlító nyomaték, K_b korrekciós tényező.

$$f_b = \frac{M}{\pi R^2 t} \bar{K}_b, \quad \bar{K}_b = \frac{1 + 0.5t/R}{1 + 0.25(t/r)^2} \quad (10)$$

$$M = \frac{pL^2}{8}, \quad p = p_h + p_{sz} + p_g + p_k + p_0 \quad (11)$$

ahol p_h a hasznos teher, p_{sz} a szalag teher, p_g görgők terhe, p_k kezelőjárda terhelése, p_0 önsúly.

4. Számpélda és eredmények

A példában egy 84 m hosszú körhéj szerkezetű szalaghidat vizsgáltunk, melyet 12 m-enként téglalap keresztmetszetű gyűrűbordákkal láttunk el. Az optimalizálás grafikus megjelenítését és az ehhez szükséges számításokat a MathCad 7.plus szoftver segítségével végeztük el. A grafikus módszer elve, hogy az optimum ott van, ahol a célfüggvény szintvonala érinti a megengedett tartományt.

Alapadatok: $E = 2.1 \cdot 10^5$ MPa, $\rho = 7800$ kg/m³, $F_y = 355$ MPa, $p_h = 3$ kN/m, $p_{sz} = 1.5$ kN/m,

$p_g = 1.5$ kN/m, $p_k = 1.5$ kN/m.

2. ábra A helyi horpadási és lehajlási feltételek ill. a költség függvény szintvonalának ábrázolása

3. ábra Költségek az átmérő négyzetének függvényében

A számítás során a k_f/k_m értékét 0-tól 2-ig változtattuk a 0 érték esetén a tömegminimumot kapjuk és ez az arány fejezi ki, hogy a gyártási költségeket milyen mértékben vesszük figyelembe a

költségfüggvényben. Az 2. ábrában a megengedhető tartományt és a költségfüggvény szintvonalát az optimum pontban a karcsúság ($\delta_c = D/t$) és az átmérő négyzetének függvényében ábrázoltuk $k_f/k_m = 2$ értékre. A 3. ábrában a lehajlási ill. a helyi horpadási feltétel által meghatározott költségfüggvényt ábrázoltuk az átmérő négyzetének függvényében, az optimum pont láthatóan a két függvény metszéspontjában alakul ki, mivel a metszésponttól balra a helyi horpadási feltétel, míg jobbra pedig a lehajlási feltétel az aktív.

5. Következtetések

Mivel a változók száma csak kettő (D, t vagy D^2, δ_c), ezért az optimalizálás grafikus úton is megoldható optimizáló algoritmus használata nélkül. Az optimum pontban a lehajlási és a helyi horpadási feltétel is aktív, így az optimum pont a két feltétel metszéspontjában található minden esetben. Az optimális megoldás ismerete alapján a borda méretei is meghatározhatók a bordahorpadási feltételből (6). Az első táblázat alapján az is megfigyelhető, hogy a k_f/k_m arány értéke jelentősen befolyásolja a költségfüggvény értékét az optimum pontban, ami azt bizonyítja, hogy a hegesztési költségek az ilyen szerkezeteknél nem elhanyagolhatók, ebből a táblázatból az optimális méretek szintén leolvashatók.

1. táblázat Optimális költségek és méretek

Hegesztési eljárás	k_f/k_m	Költség (K)	D_{opt} [mm]	t_{opt} [mm]	h_s [mm]	t_s [mm]
GMAW	0	58670	3858	6.705	264.7	29.02
	0.5	68860				
	1	79060				
	1.5	89260				
	2	99450				

Köszönetnyilvánítás: A kutatás az OTKA 19003 és 22846 támogatásával történt.

Irodalomjegyzék

- [1] American Petroleum Institute: Bulletin on Stability Design of Cylindrical Shells, 1220 L Street, Northwest Washington, DC 20005 First edition May 1. 1987
- [2] Jármái K., Farkas J.: Optimum design of welded steel structures. Tools and Methods for Concurrent Engineering Symposium, TMCE 96, Technical University of Budapest, Proceedings pp. 449-468
- [3] Farkas, J., Jármái, K.: Analysis and optimum design of metal structures. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 1997, 347 p. ISBN 90 5410 669 7.
- [4] Kupcsik Péter: Hegesztett acélszerkezetek költségelemzése, Diplomaterv Miskolci Egyetem Gépészmérnöki Kar, 1997.

Liszka Tamás, doktorandusz

Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék, H-3515 Miskolc, Hungary

tel./fax: +36-46-365111 / 20-26, +36-46-36611 / 20-26

e-mail: altliszk@gold.uni-miskolc.hu