

BORDÁZOTT LEMEZEK FÁRADÁS VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ BORDATÍPUSOKRA

FATIGUE DESIGN OF STIFFENED PLATES FOR DIFFERENT SHAPES OF RIBS

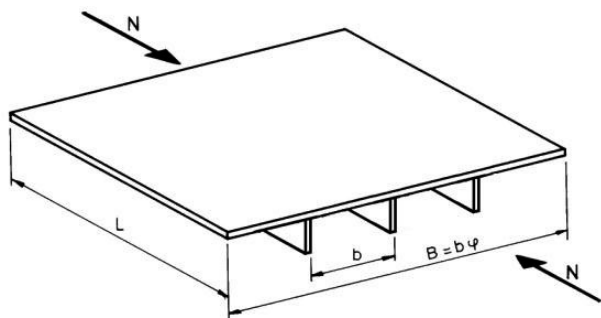
Dr. Virág Zoltán*, Dr. Jármai Károly**

ABSTRACT

In this overview of compressed stiffened plates with various shapes of ribs a special cost analysis has been investigated. Recommendations on fatigue of welded components of the IIW are investigated for the compressed plate. The unknown is the number of stiffeners in the optimization. The trapezoidal stiffeners had the best performance.

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben több olyan dolog megváltozott, mely a hegesztett szerkezetek kialakítására nagy hatással van. Új anyagok és új hegesztési technológiák jelennek meg, illetve terjednek el. Ezért fontos a szerkezetek költség optimalizálása a különböző lehetőségekre [1,2,3,4,5]. A tervezési előírások jelentősen finomodtak. Különösen igaz ez a dinamikus igénybevételre, a fáradásra. A különféle kutató intézetekben, egyetemeken, ipari laboratóriumokban nagyszámú fázasztó kísérletet végezve pontosabban megközelítették a szerkezet viselkedését. Javultak a fázasztó berendezések is, nagyobb ciklusszámú vizsgálatot téve lehetővé. Az új vizsgálati szempontok összekapcsolhatóak az általunk már régóta alkalmazott optimalizálással [6].



1. ábra. A hosszirányban terhelt bordás lemez

* egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem Geotechnikai Berendezések Intézeti Tanszék

** egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék

2. HEGESZTETT KÖTÉSEK FÁRADÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

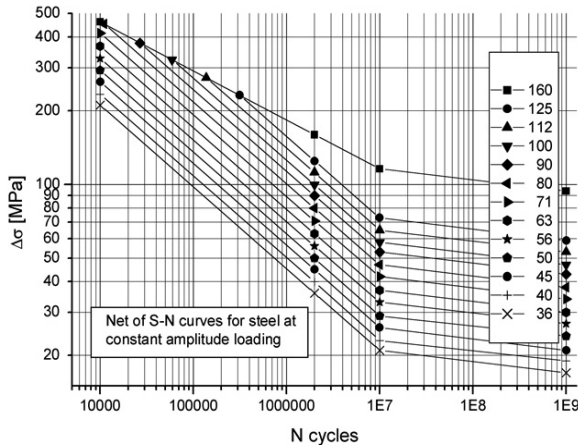
A varratméretezésnél több tényezőt fontos figyelembe venni. Az alkalmazott alapanyag leggyakrabban acél; a legelterjedtebb hegesztési technológia az aktív védőgázos fúvóelektródás hegesztés, de a bevontelektródás kézi ívhegesztés, illetve a fedettívű (és több más) hegesztés is használatos. A hegesztési maradó feszültségek, melyek a bevitt hőtől, a szerkezet és a varrat méreteitől függenek; a kötés típusa, amely a méretezésnél a fáradási kategóriát megadja; a varrat geometria, amely még javítható hegesztési utókezeléssel; a hegesztési hibák, ezen tényezőket célszerű figyelembe venni. A feszültség-tartomány a fáradási élettartamot legjobban befolyásoló tényező; a ciklusszám szintén domináló tényező. A jelenlegi fáradási viselkedési leírások szerint csak $N = 10^8$, vagy 10^9 ciklusszám után lehet a $\Delta\sigma - N$ görbénél a fáradási értéket változatlanul tekinteni; a feszültség-állapot, az esetek nagy részében nemcsak normál feszültség, de nyírófeszültség is adódik.

A fáradási viselkedés jelentősen változik, illetve változhat ezen tényezők változásával.

3. FÁRADÁSI TERVEZÉSI ELŐÍRÁSOK A NEMZETKÖZI HEGESZTÉSI INTÉZET AJÁNLÁSA ALAPJÁN

A széles körben elterjedt Eurocode 3 [7] szabvány mellett a Nemzetközi Hegesztési Intézet (International Institute of Welding) is dolgozott ki ajánlást hegesztett kapcsolatok fáradásának meghatározására [8]. Az ajánlás előnye, hogy felhasználja újabb kutatási eredményeket. 960 MPa folyáshatárig érvényes az Eurocode 690 MPa folyáshatárához képest. A fáradási határokat nemcsak acélra, hanem alumíniumra is

megadja. A fáradási határ 10^9 ciklusszám fölött válik állandóvá (2. ábra).



2. ábra. IIW ajánlás fáradási görbék normál feszültségre [8]

Ha $N \leq 10^7$, akkor

$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{m} \log \frac{2 \cdot 10^6}{N} + \log \Delta \sigma_C$$

ahol m a görbe meredeksége állandó, $m = 3$, $\Delta \sigma_C$ a fáradási feszültség-tartomány $N=2 \cdot 10^6$ ciklusszám esetén, ez megegyezik a kötés csoportba sorolási számával (36-160 MPa közötti). Ez a vizsgált esetben (GMAW) 100 MPa.

Ha $10^7 \leq N$, akkor

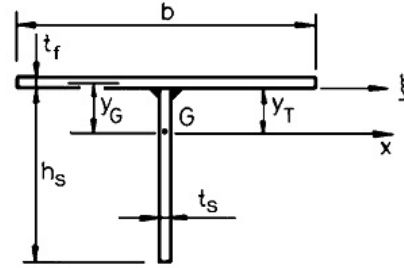
$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{m} \log \frac{10^7}{N} + \log \Delta \sigma_D$$

ahol a görbe meredeksége kisebb, $m = 5$, $\Delta \sigma_D$ a fáradási feszültség-tartomány $N=10^7$ ciklusszám esetén (meghatározható $\Delta \sigma_C$ értékéből).

4. PÉLDÁK BORDÁZOTT LEMEZEK FÁRADÁSI VIZSGÁLATÁRÁRA

Megadott adatok: az egyoldalt bordázott lemez méretei $B = 5000$ mm, $L = 4000$ mm, a nyomóterhelés $N = 1.2 \cdot 10^7$ [N], a folyáshatár $f_y = 235$ MPa, a rugalmassági modulusok $E = 2.1 \cdot 10^5$ MPa, $G = E/2.6$, a sűrűség $\rho = 7.85 \cdot 10^{-6}$ kg/mm³, a bonyolultsági tényező $\Theta_d = 3$. A számított fáradási ciklusszámok: 10^6 , 10^7 , 10^8 . A vastagságokra konkrét értékeket adtunk meg, a fedőlemez vastagságra (t_f) 40 mm, a borda vastagságra (t_s) 20 mm. A bordaközök száma (φ) 4 és 40 között változhat. A változó: φ .

A vizsgálatok CO₂ védőgázos hegesztésre (GMAW) lettek elvégezve.



3. ábra. A lemezborda geometriája

A lemezborda geometriai jellemzőit (3. ábra) a következőképpen írhatjuk le

$$A_s = h_s t_s$$

ahol a borda helyi horpadását figyelembe véve

$$h_s = 14 t_s \varepsilon, \text{ ahol } \varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$$

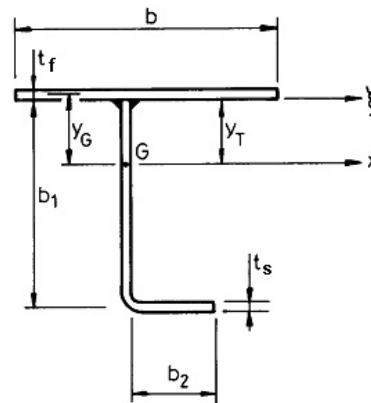
$$y_G = \frac{h_s + t_f}{2} \frac{\delta_s}{1 + \delta_s}, \text{ ahol } \delta_s = \frac{A_s}{b t_f}$$

Az ezekből kapott másodrendű nyomatékok

$$I_x = \frac{b t_f^3}{12} + b t_f y_G^2 + \frac{h_s^3 t_s}{12} + h_s t_s \left(\frac{h_s}{2} - y_G \right)^2$$

$$I_s = h_s^3 \frac{t_s}{3}$$

$$I_T = \frac{h_s t_s^3}{3}$$



4. ábra L bordás lemez geometriája

Az L borda geometriai jellemzőit (4. ábra) a következőképpen írhatjuk le

$$A_s = (b_1 + b_2) t_s$$

ahol a borda helyi horpadását figyelembe véve

$$b_1 = 30 t_s \varepsilon$$

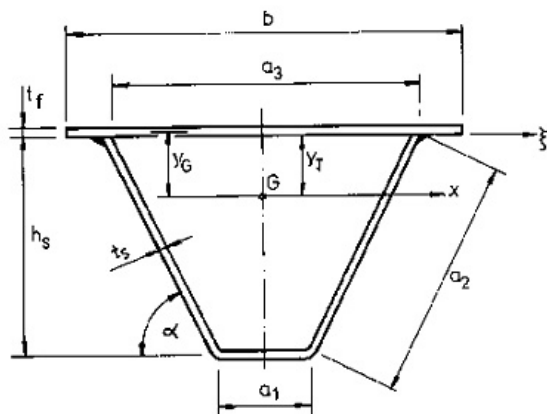
$$b_2 = 12.5 t_s \varepsilon$$

$$y_G = \frac{b_1 t_s \frac{b_1 + t_f}{2} + b_2 t_s \left(b_1 + \frac{t_f}{2} \right)}{b t_f + A_s}$$

$$I_x = \frac{b t_f^3}{12} + b t_f y_G^2 + \frac{b_1^3 t_s}{12} + b_1 t_s \left(\frac{b_1}{2} - y_G \right)^2 + b_2 t_s (b_1 - y_G)^2$$

$$I_s = \frac{b_1^3 t_s}{3} + b_1^2 b_2 t_s$$

$$I_T = \frac{b_1 t_s^3}{3} + \frac{b_2 t_s^3}{3}$$



5. ábra Trapéz bordás lemez geometriája

A trapézborða geometriai jellemzőit (5. ábra) a következőképpen írhatjuk le

$$A_s = (a_1 + 2a_2)t_s$$

Továbbá az $a_1 = 90 \text{ mm}$, $a_3 = 300 \text{ mm}$, így

$$h_s = \sqrt{a_2^2 - 105^2}$$

$$\sin^2 \alpha = 1 - \left(\frac{105}{a_2} \right)^2$$

$$y_G = \frac{a_1 t_s (h_s + t_f / 2) + 2a_2 t_s (h_s + t_f) / 2}{b t_f + A_s}$$

$$I_x = \frac{b t_f^3}{12} + b t_f y_G^2 + a_1 t_s \left(h_s + \frac{t_f}{2} - y_G \right)^2 + \frac{1}{6} a_2^3 t_s \sin^2 \alpha + 2a_2 t_s \left(\frac{h_s + t_f}{2} - y_G \right)^2$$

$$I_s = a_1 h_s^2 t_s + \frac{2}{3} a_2^3 t_s \sin^2 \alpha$$

$$I_T = \frac{4A_p^2}{\sum b_i / t_i}, \text{ ahol } A_p = h_s \frac{a_1 + a_3}{2}$$

A fáradási feltétel az IIW ajánlás alapján lett számítva. A méretezés további feltételei a teljes bordázott lemez horpadása, a fedőlemez horpadása és a bordák elcsavarodó kihajlása Mikami módszerével [9] korábbi tanulmányokban már részletezve lettek [10].

Ez a célfüggvény az anyagfüggvény és az előállítási költség összegeként számolható

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum T_i$$

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_1 + T_2 + T_3) \quad [\text{kg}]$$

ahol ρ az alapanyag sűrűség, V a szerkezet térfogata, K_m és K_f valamint k_m és k_f anyag és előállítási költségek és tényezők, T_i előállítási idők a következők szerint:

- összeszerelési és összefűzési idő

$$T_1 = \Theta_d \sqrt{\kappa \rho V}$$

ahol Θ_d a hegesztett szerkezet bonyolultsági tényezője, κ a szerkezet összeszerelendő részeinek száma;

- T_2 hegesztési idő, és T_3 a járulékos idők, mint például elektróda csere. $T_3 \approx 0.3T_2$

$$T_2 + T_3 = 1.3 \sum C_{2i} a_{wi}^n L_{wi}$$

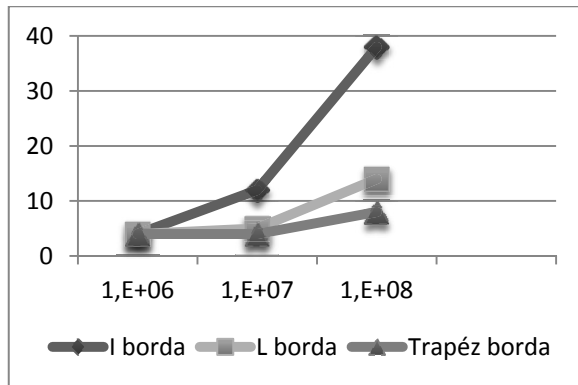
ahol L_{wi} a varrathossz, $C_{2i} a_{wi}^n$ értéke a COSTCOMP [11] software által rajzolt függvényből kapható meg hegesztési eljárásokra, a_w a varratméret (1. táblázat).

Hegesztési módszer	a_w [mm]	$10^3 C_{2i} a_w^n$
GMAW-CO ₂	0-15	$0.3258 a_w^2$

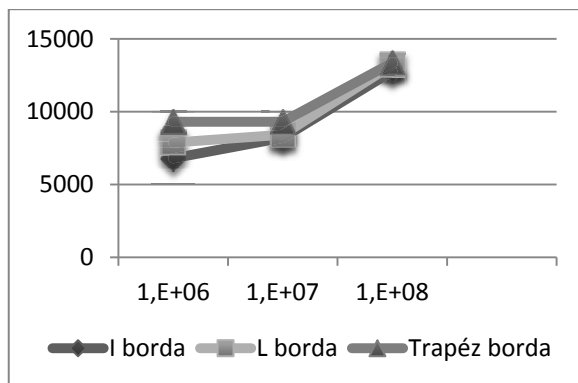
1. táblázat. Hegesztési idő a varrat méret a_w [mm] függvényében hosszirányú sarokvarratra

5. EREDMÉNYEK

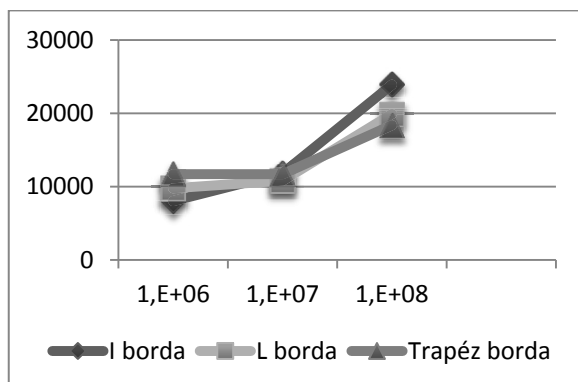
Az eredmények három bordatípusra kerültek meghatározásra, lemez vagy I bordára, L bordára és trapéz bordára. A diagramok a 10^6 - 10^8 fáradási ciklusszám esetén az IIW ajánlása alapján számított értékek alapján mutatják a bordák számának alakulását, illetve az anyagköltség és a gyártási költséggel növelt összköltség változását (6-8. ábra).



6. ábra Bordaszámok változása



7. ábra Anyagköltség változása



8. ábra Összköltség változása 1.5-ös gyártási költség szorzóval

Az eredmények megmutatják, hogy a fáradási ciklusszám nagy hatással van a bordák számára és ezáltal a különböző költségekre. Az eltérő bordatípusok alkalmazásával jelentős megtakarítás érhető el, ha a megfelelő számításokat elvégezzük. Megfigyelhető, hogy a gyengébb lemezborda csak a bordaszám jelentős növelésével tudja a megnövekedett fáradási ciklusszámot elviselni, ami a gyártási költségeket számottevően növeli. Ezért a kisebb a bordaszámú trapéz bordás lemez lesz a legolcsóbb összköltség

tekintetében a nagy ciklusszámmal, míg az alapanyag költség közel azonosnak mondható a három bordatípus esetén. Az így elért költségmegtakarítás teljes költség esetén lemez bordáról áttérve L bordára 16,7%, míg trapézbordára áttérve 23,1%.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatást az OTKA támogatta a T 75678 számú projekt keretében.

7. IRODALOM

- [1] JÁRMAI, K., IVÁNYI, M: Gazdaságos fém szerkezetek analízise és tervezése, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 226 o., ISBN 963 420 674 3, 2001.
- [2] Farkas,J., Jármái,K. (2003) *Economic design of metal structures*. Millpress, Rotterdam
- [3] Farkas,J., Jármái,K. (1997) *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema, Rotterdam-Brookfield
- [4] Farkas,J., Jármái,K. (2008) *Design and optimization of metal structures*. Horwood, Chichester, UK
- [5] VIRÁG, Z.: Optimum design of stiffened plates, *Pollack Periodica*, Vol. 1, No. 1, pp. 77-92, HU ISSN 1748-1994, 2006.
- [6] VIRÁG, Z., JÁRMAI, K.: Lemez bordás lemez fáradás vizsgálata és optimalása, *GÉP, LXII. évfolyam*, 2011/9-10. II. kötet 51-54. o., ISSN 0016-8572, 2011.
- [7] EUROCODE 3: MSZ ENV 1993-1-1:1992/A2:2002 *Acélszerkezetek tervezése*, 347 old. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2006.
- [8] Recommendations on fatigue of welded components of the IIW, Doc. IIW-1823-07, ex. XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07, 2008.
- [9] MIKAMI, I., NIWA, K. Ultimate compressive strength of orthogonally stiffened steel plates. *J. Structural Engineering ASCE* 122, No.6. 674-682, 1996.
- [10] VIRÁG, Z.: Optimum design of stiffened plates for different loads and shapes of ribs, *Journal of Computational and Applied Mechanics*, Volume 5, Number 1, pp. 165-179, HU ISSN 1586-2070, 2004.
- [11] COSTCOMP Programm zur Berechnung der Schweisskosten. Deutscher Verlag für Schweisstechnik, Düsseldorf, 1990.