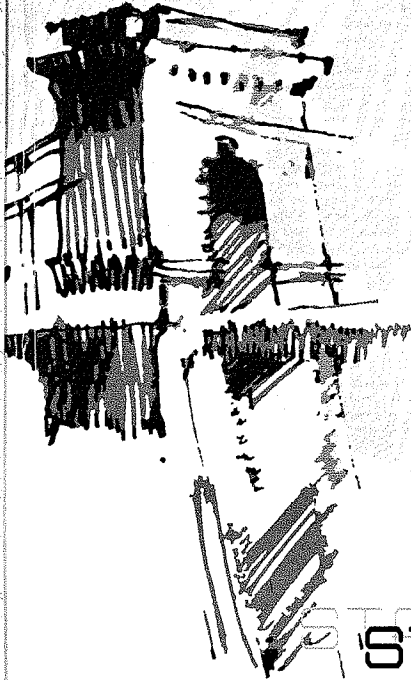
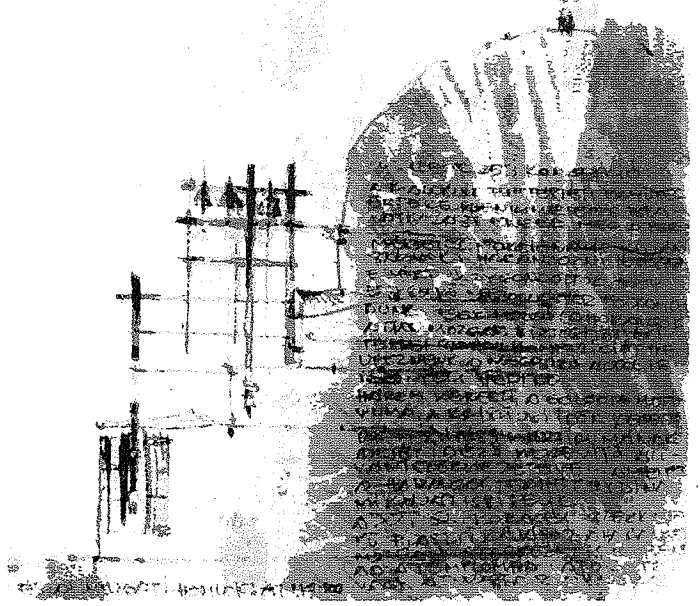


TARTÓSZERKEZETI KUTATÁSOK
ÉVFORDULÓS KÖTET LENKEI PÉTER TISZTELETÉRE



STRUCTURAL RESEARCH
ANNIVERSARY VOLUME HONOURING PETER LENKEI



HEGESZTETT SZERKEZETEK KÖLTSÉGOPTIMÁLÁSA

Dr. Habil. Jármái Károly

a műszaki tudomány doktora, Miskolci Egyetem

A költségszámítás a szerkezettervezés fontos eleme. A hegesztés az utóbbi évtizedekben domináló kötéstehnológiává vált. A hegesztési költségek nagysága folyamatosan növekszik a munkabér növekedésével. A hegesztés költsége és ideje eltérő az egyes technológiáknál. Tapasztalati adatok és számítógépi programok segítségével megbecsülhető a hegesztés időigénye. Ilyen program a COSTCOMP, mely a technológia, a varratalak, varratméret, elektróda ismeretében megadja a hegesztés időigényét. Más gyártási elemeket figyelembevéve mint lemezgyengetés, felület-előkészítés, lemezvágás, elektródacsere, salakolás, festés, stb. egy komplex célfüggvényt kapunk. Számos szerkezet optimalására jelentek meg tanulmányok (Aichele 1985, Farkas & Jármái 1993, 1994, 1996, Jármái, K. et al. 2001, Fern & Yeo 1990, Papp et al. 2001, Tímár 2002, Orbán 2003).

Az anyag- és gyártási költségen kívül még fontos lehet a szállítási, szerelési, karbantartási költség (Horikawa & Watanabe 1996). A költségelemek közül csak azokat célszerű figyelembevenni, melyek függenek a szelvényméretektől, melyeket optimalunk. A gyártási idő általában elég általános és megbízható jellemzője az adott technológiának. A költségek viszont függenek az ország fejlettségétől, a munkaerő árától. Fajlagos anyag- és gyártási költségeket bevezetve könnyen adaptálható a számítás az egyes országokra. Az anyagköltségre $k_m = 0.5-1$ \$/kg, a gyártási költségre $k_f = 0-1$ \$/min. (0-60 \$/óra) tartományokat veszünk fel. A k_f/k_m arány 0 - 2 kg/min. között változik. A $k_f/k_m = 0$ adja a tömegminimumot. A $k_f/k_m = 2.0$ a magas munkaerő-költségű országokat jelenti (Japán, USA), a $k_f/k_m = 1.5$ és 1.0 nyugat-európai munkaerő-költséget takar, a $k_f/k_m = 0.5$ a fejlődő országokat jelenti. Azonos technológiai adottságok, azonos gyártási idő mellett is a különböző országokban a költségek jelentősen eltérnek (Farkas & Jármái 1997).

Számításainkban eltekintünk az amortizáció, a szállítás, a szerelés, a karbantartás költségeitől, mert ezek nem függenek jelentősen a szerkezeti elemek méreteitől.

1 GYÁRTÁSI KÖLTSÉGEK

A költségek a következők

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum_i T_i, \quad (1)$$

ahol K_m és K_f az anyag- és gyártási költségek, k_m és k_f a fajlagos költségtényezők, ρ a sűrűség, V a szerkezet térfogata, T_i a gyártási idő. Feltételezzük, hogy k_f értéke állandó egy gyártónál.

1.1 HEGESZTÉSI KÖLTSÉGEK

Az (1) egyenlet felírható a következő alakban

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7). \quad (2)$$

Az egyes időelemek egymástól függetlenül számíthatók a következő módon:

$$T_1 = C_1 \Theta_d \sqrt{\kappa \rho V}, \quad (3)$$

az előkészítés, az összeállítás, összefűzés ideje, Θ_d a bonyolultsági tényező, κ az összeszerelendő szerkezeti elemek száma.

A (3) képlet közelítően felírható Lihtarnikov (1968) szerint. κ elemet tartalmazó lemezszerkezet esetén a gyártás időigénye arányos a P kerülettel. Az i -edik elemre $T_i = c_1 P_i$. Az elem tömege arányos a kerület négyzetével $G_i = c_2 P_i^2$, így $P_i = c_3 \sqrt{G_i}$ és $T_i = c_4 \sqrt{G_i}$. Feltételezzük, hogy a szerkezeti elemek tömegei nem térnek el jelentősen egymástól. A teljes szerkezetre az átlag $G = \kappa G_i$ és

$$T_1 = \kappa T_i = c_5 \kappa \sqrt{G/\kappa} = c_6 \sqrt{G\kappa}.$$

1. táblázat: Javasolt bonyolultsági tényező értékek Θ_d . Ferde szögű kapcsolatoknál hozzáadandó még 1, vagy 2.

Szerkezet	Hegesztés	60°-os V-varrat	90°-os sarokvarrat
Síkbeli	hosszú varrat, síkbeli pozíció	1.0	2.0
Térbeli	rövid varrat, lemez, laposacél	1.5	2.5
Térbeli	U-, L-profilok, csövek	2.0	3.0
Térbeli	I-, T-profilok	2.5	4.0

A bonyolultsági tényező a szerkezet komplexitására utal. Néhány javasolt értékét összefoglalva az 1. táblázat mutatja.

$$T_2 = \sum_i C_{2i} a_{wi}^{1.5} L_{wi}, \quad (4)$$

a tényleges hegesztési idő, a_{wi} a varrat mérete, L_{wi} a varrat hossza, C_{2i} az adott hegesztési technológiára vonatkozó konstans. Kézi ívhegesztésre $C_2 = 0.8 \cdot 10^{-3}$, CO₂-es hegesztésre $C_2 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ min/mm}^{2.5}$.

$$T_3 = \sqrt{\Theta_d} \sum_i C_{3i} a_{wi}^{1.5} L_{wi}, \quad (5)$$

a pótlólagos gyártási tevékenységekhez szükséges idő, mint elektródacsere, salakolás, sorjázás. $C_3 = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ min/mm}^{2.5}$. A (3, 4, 5) formulákat Pahl és Beelich (1982) javasolta és használta.

Ott & Hubka (1985) javasolta a paraméterekre $C_3 = (0.2-0.4)C_2$ átlagban $C_3 = 0.3C_2$. Így az összevont $T_2 + T_3$, elhanyagolva $\sqrt{\Theta_d}$ a következő

$$T_2 + T_3 = 1.3 \sum_i C_{2i} a_{wi}^{1.5} L_{wi}, \quad (6)$$

$\sqrt{\Theta_d}$ elhanyagolása azt jelenti, hogy a bonyolultsági tényező csak T_1 -re vonatkozik.

A COSTCOMP (1990) programot a Holland Hegesztési Intézetben fejlesztették ki. Különböző hegesztési technológiák, varratalakok és méretek esetén megadja a hegesztési idő becsült értékét elméleti és kísérleti vizsgálatokra alapozva. A (2) képlet felhasználásával a T_1 és más idők meghatározása egy általánosított képlettel történik, ahol a varratméret a_w 1.5, 2, vagy n -dik hatványa szerepel.

$$T_2 + T_3 = 1.3 \sum_i C_{2i} a_{wi}^n L_{wi}. \quad (7)$$

Az egyes hegesztési technológiákat a 2. táblázat mutatja.

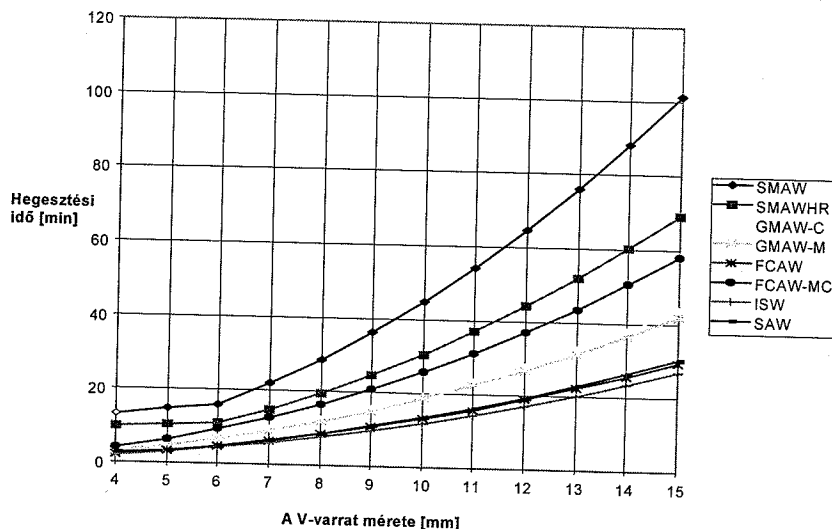
2. táblázat Alkalmazott hegesztési technológiák.

SMAW	Bevontelektrodás kézi ívhegesztés
SMAW HR	Bevontelektrodás mélybeolvadású kézi ívhegesztés
GMAW-C	CO ₂ védőgáz ívhegesztés
GMAW-M	Kevert védőgáz ívhegesztés
FCAW	Porbeles elektrodás ívhegesztés
FCAW-MC	Fémbeles elektrodás ívhegesztés
SSFCAW (ISW)	Önvédő porbeles elektrodás ívhegesztés
SAW	Fedőporos ívhegesztés
GTAW	Wolfram elektrodás ívhegesztés

Számos varratalakra végeztük el a számítást: sarokvarrat, V-, K-, Y-, U-, I-, 1/2 V-varrat, valamint kétoldali Y-, U-, I- varratokra különböző pozíció esetén. A varrat dolgozó méret kétoldali tompavaratra $a_w = t$, egyoldali tompavaratra $a_w = 0.7 t$.

A COSTCOMP programmal meghatároztuk a hegesztési időket T_2 (min), mint a varratméret a_w (mm) függvényét a különböző alakú és pozíciójú varratokra. A hatványkitevők értékei n a (7) képletben függvényközelítésekből adódnak.

Az 1. ábra azt mutatja, hogy a hosszirányú V-varratnál a hegesztési idő csökkenő sorrendben a következő: SMAW, SMAW-HR, GMAW-C, GMAW-M, FCAW, FCAW-MC, ISW a legkevesebb a SAW alkalmazása esetén. Más varratokra is hasonló sorrend adódott.



1. ábra Hegesztési idők T_2 (min/mm) a varratméret a_w (mm) függvényében hosszirányú V-varratra.

1.2 A LEMEZEGYENGETÉS IDŐIGÉNYE

A lemezegyengetés időigénye (T_4 [min]) elsődlegesen a lemezvastagságtól (t [mm]) és a lemezfelülettől (A_p [mm²]) függ. Vállalatok adatai alapján függvényközelítéssel meghatározható az időigény matematikai alakja.

$$T_4 = \Theta_{de} \left(a_e + b_e t^3 + \frac{1}{a_e t^4} \right) A_p, \quad (8)$$

ahol $a_e = 9.2 \cdot 10^{-4}$ [min/mm²], $b_e = 4.15 \cdot 10^{-7}$ [min/mm⁵], Θ_{de} a bonyolultsági tényező ($\Theta_{de} = 1,2$ vagy 3). A tényező értéke a lemez alakjától függ.

1.3 FELÜLET-ELŐKÉSZÍTÉSI IDŐIGÉNYE

A felület-előkészítés jelenti a felület tisztítását, rozsdátlanítását, homokszórását, stb. A felület-tisztítási idő értéke a felület nagysága alapján A_s [mm²] meghatározható a következő alakban:

$$T_5 = \Theta_{ds} a_{sp} A_s, \quad (9)$$

ahol $a_{sp} = 3 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], Θ_{ds} a bonyolultsági tényező. Itt is a bonyolultsági tényező értékének megválasztása teszi lehetővé a tervezőnek, hogy belátása szerint igazítsa a számítást a valósághoz.

1.4 FESTÉSI IDŐ

A festés legalább két részből áll, alapozás és fedőfestés. A festési idő arányos a felülettel (A_s [mm²]), annak pozíciójával.

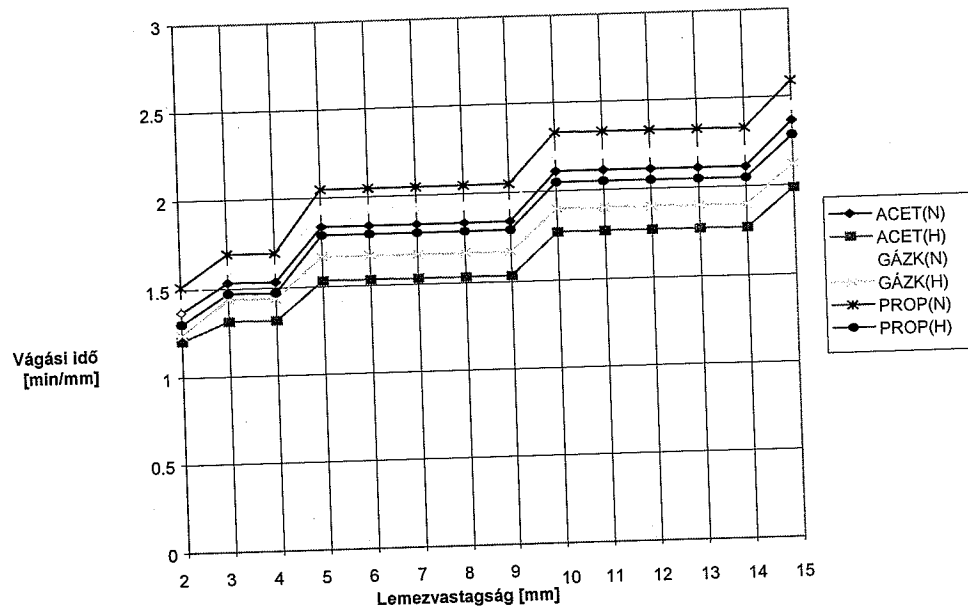
$$T_6 = \Theta_{dp} (a_{gc} + a_{ic}) A_s, \quad (10)$$

ahol $a_{gc} = 3 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], $a_{ic} = 4.15 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], Θ_{dp} a bonyolultsági tényező, $\Theta_{dp} = 1,2$ vagy 3 vízszintes, függőleges és fejeletti festésre.

1.5 VÁGÁSI ÉS ÉLKÖSZÖRÜLÉSI IDŐIGÉNY

A vágás és élköszörülés elvégezhető különböző technológiákkal, mint acetilén, stabilizált gázkeverék és propángáz, normál- és nagysebesség mellett.

A vágási idő szintén számítható a COSTCOMP programmal. A normál sebességű acetilénnek van a nagyobb időigénye és a propángázos vágásnak a legkisebb időigénye (2. ábra).



2. ábra Vágási idők 1 mm hosszú lemezre, (T_7 (min/mm)) a lemezvastagság függvényében.

$$T_7 = \sum_i C_{7i} t_i^n L_{ci} \quad (11)$$

ahol t_i a lemezvastagság [mm]-ben, L_{ci} a vágási hossz [mm]-ben. A hatványkitevő értékei függvényközelítési számításokból adódnak.

1.6 ÖSSZKÖLTSÉG

Az összköltség az előzőekben ismertetett költségelemek összegeként adódik.

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7) \quad (12)$$

2 SZÁMPÉLDA BORDÁZOTT LEMEZRE

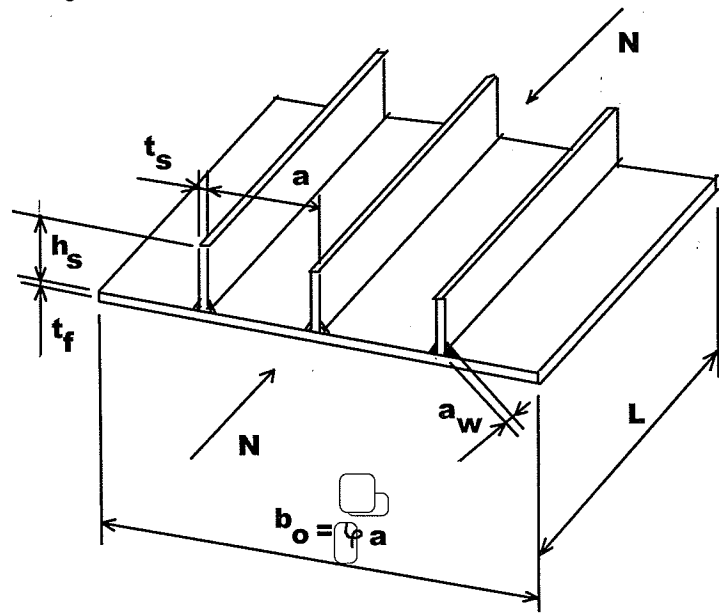
A költség számítását az alábbi szerkezet számításánál mutatjuk be (3. ábra). A feladat bordázott lemez költségminimumának megkeresése feszültségi, kihajlási és helyi horpadási feltételek mellett, különböző hegesztési technológiák esetén.

A bordázott lemezeket széleskörűen alkalmazzák híd- és hajószerkezeteknél. Mivel a hegesztési költség az összköltség nagy részét teszi ki, ezért fontos a költségminimumálás.

A költségfüggvény (12) szerint írható fel, ahol

$$A = b_0 t + \varphi h_s t_s, \quad \theta_d = 3, \quad \kappa = \varphi + 1, \quad L_w = 2L\varphi \quad \text{és} \quad \varphi \text{ a merevítők száma.}$$

A merevítők a fedőlemezhez kétoldali sarokvarrattal vannak odahegesztve. A hegesztési költség különböző technológiák esetén számíthatók.



3. ábra Hegesztett bordázott lemez.

A szerkezet fő jellemzői a következők:

Az acél Young modulusza $E = 2.1 \cdot 10^5$ MPa, sűrűség $\rho = 7.85 \cdot 10^{-6}$ kg/mm³, Poisson-szám $\nu = 0.3$, folyáshatár $f_y = 235$ MPa, lemezszelesség $b_0 = 4200$ mm, lemez hosszúság $L = 4000$ mm.

A nyomóerő a következő

$$N = f_y b_0 t_f \max = 235 \cdot 4200 \cdot 20 = 1.974 \cdot 10^7 \text{ (N)}. \quad (13)$$

A bordázott lemez optimalálás során változó méreteit a 3. ábra mutatja.

Ezek: a fedőlemez vastagság (t_f), a merevítők magassága és vastagsága (h_s , t_s) és a merevítők száma ($\varphi = b_0/a$).

Tervezési feltételek

a) A kihajlási feltételt az API (1987) szerint fogalmazzuk meg az egyenlő távolságra bordázott, nyomott lemezre (3. ábra).

$$N \leq \chi f_y A, \quad (14)$$

ahol, χ horpadási tényező, mely a redukált karcsúság függvénye:

$$\chi = 1 \quad \text{ahol } \bar{\lambda} \leq 0.5,$$

$$\chi = 1.5 - \bar{\lambda} \quad \text{ahol } 0.5 \leq \bar{\lambda} \leq 1,$$

$$\chi = \frac{0.5}{\bar{\lambda}} \quad \text{ahol } \bar{\lambda} \geq 1, \quad (15)$$

és

$$\bar{\lambda} = \frac{b_0}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_y}{E\pi^2 k}}, \quad (16)$$

$$k_{\min} = \min(k_F, k_R), \quad (17)$$

$$k_R = 4\varphi^2. \quad (18)$$

$$k_F = \frac{(1+\alpha^2)^2 + \varphi\gamma}{\alpha^2(1+\varphi\delta_p)} \text{ ahol } \alpha = \frac{L}{b_0} \leq 4\sqrt{1+\varphi\gamma}, \quad (19)$$

és

$$k_F = \frac{2(1+\sqrt{1+\varphi\gamma})}{1+\varphi\gamma} \text{ ahol } \alpha \geq 4\sqrt{1+\varphi\gamma}, \quad (20)$$

ahol

$$\delta_p = \frac{h_s t_s}{b_0 t_f}, \quad (21)$$

$$\gamma = \frac{EI_s}{b_0 D}, \quad (22)$$

$$I_s = \frac{h_s^3 t_s}{3}, \quad (23)$$

3. táblázat A hegesztett bordázott lemez optimális méretei mm-ben, sarokvarrat esetén, különböző hegesztési technológia alkalmazásával, $k_f/k_m=2.0$

Hegesztési technológia	k_f/k_m	h_s	t_f	φ	t_s	$\square V$ (kg)	K/k_m (kg)
SMAW	0.0	210	17	13	11	2737	2737
	0.5	230	17	6	19	3242	6313
	1.0	235	17	6	19	3258	9409
	1.5	235	17	6	19	3258	12484
	2.0	235	17	6	19	3258	15559
SMAW HR	0.0	210	17	13	11	2737	2737
	0.5	230	17	6	19	3242	5749
	1.0	230	17	6	19	3242	8257
	1.5	230	17	6	19	3242	10764
	2.0	235	17	6	19	3258	13306
FCAW-MC	0.0	210	17	13	11	2737	2737
	0.5	230	17	6	19	3242	5553
	1.0	230	17	6	19	3242	7864
	1.5	230	17	6	19	3242	10175
	2.0	235	17	6	19	3258	12521
GMAW-C GMAW-M	0.0	210	17	13	11	2737	2737
	0.5	230	17	6	19	3242	5299
	1.0	230	17	6	19	3242	7357
	1.5	235	17	6	19	3258	9444
	2.0	230	17	6	19	3242	11471
SAW ISW FCAW	0.0	210	17	13	11	2737	2737
	0.5	230	17	6	19	3242	5064
	1.0	230	17	6	19	3242	6886
	1.5	230	17	6	19	3242	8707
	2.0	235	17	6	19	3258	10564

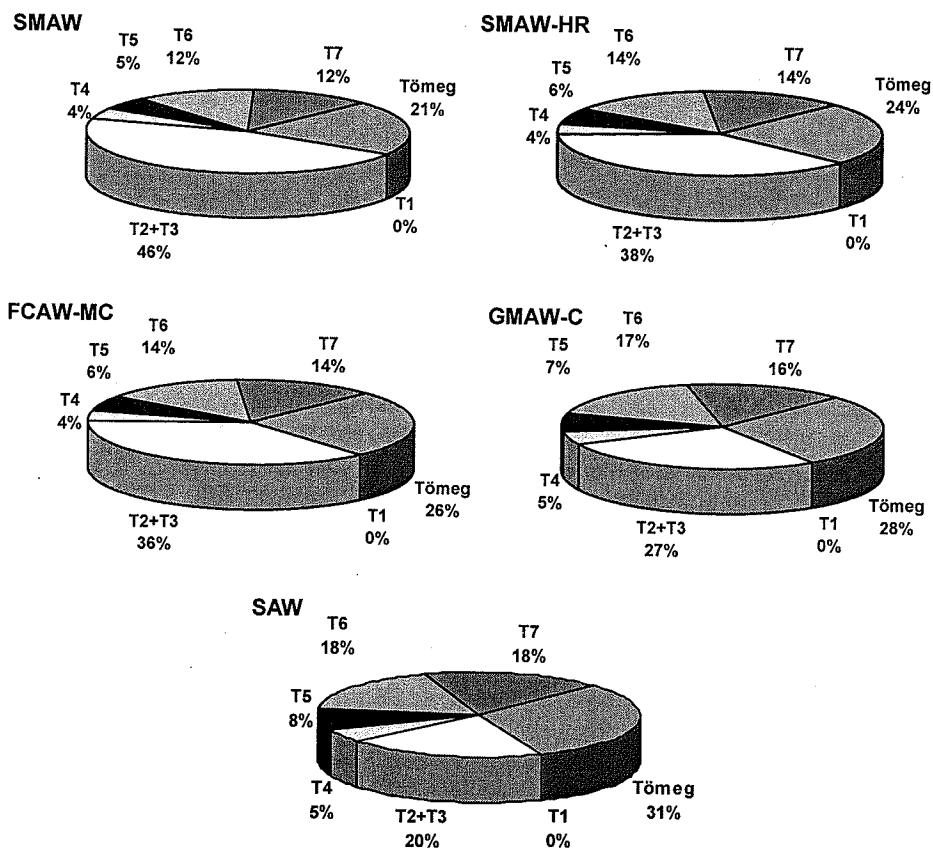
$$D = \frac{Et_f^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (24)$$

(22) átírható a következő alakra

$$\gamma = 4(1-\nu^2) \frac{h_s^3 t_s}{b_0 t_f^3} = 3.64 \frac{h_s^3 t_s}{b_0 t_f^3}, \quad (25)$$

ahol I_s egy merevítő inercianyomatéka a fedőlemezrel párhuzamos tengelyre, D a fedőlemez csavarási merevsége.

b) A merevítők horpadása:



4. ábra Az összköltség eloszlása a hegesztett bordázott lemeznél, különböző hegesztési technológia mellett, $k_f/k_m=2.0$.

$$\frac{h_s}{t_s} \leq \frac{1}{\beta_s} = 14 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (26)$$

A mérettartományok a következők:

- $t_f = 6 - 20$ mm,
- $h_s = 84 - 280$ mm,
- $t_s = 6 - 25$ mm,
- $\varphi = 4 - 15$ mm.

A bordázott lemez költségfüggvénye a következő elemekből áll:

A varratméret

$$a_w = t_s,$$

Keresztszmetzet-terület

$$A = b_0 t_f + \varphi h_s t_s,$$

Anyagköltség

$$\rho V = \rho LA,$$

Gyártási költség

$$k_f/k_m \sum_i T_i,$$

$$T_1 = C_1 \Theta_d \sqrt{\kappa \rho V},$$

ahol $\rho = 7.85 \cdot 10^{-6}$, $C_1 = 1$, $\kappa = \varphi + 1$, $\Theta_d = 2$
(az 1. táblázatnak megfelelően),

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

ahol $C_{2i} = 0.7889$, SMAW esetén, $L_{wi} = 2 L \varphi$,

$$T_4 = \Theta_{de} \left(a_e + b_e t^3 + \frac{1}{a_e t^4} \right) A_p$$

ahol $a_e = 9.2 \cdot 10^{-4}$, $b_e = 4.15 \cdot 10^{-7}$, $t = t_s$, vagy t_f

$$T_5 = \Theta_{ds} a_{sp} A_s = 5 \cdot 10^{-7}$$

ahol $A_p = \varphi h_s L$ vagy $b_0 L$,
 $a_{sp} = 3 \cdot 10^{-6}$, $A_s = 2 \varphi h_s L + 2 b_0 L$,

$$T_6 = \Theta_{dp} (a_{gc} + a_{tc}) A_s$$

ahol $a_{gc} = 3 \cdot 10^{-6}$, $a_{tc} = 4.15 \cdot 10^{-6}$, $A_s = 2 \varphi h_s L$

+

$$2 b_0 L,$$

$$T_7 = \sum_i C_{7i} t_i^n L_{ci}$$

ahol $C_7 = 1.1388$, $t = t_s$ vagy t_f , $n = 0.25$,

$$L_{ci} = 2 (h_s + L) \quad \text{vagy} \quad 2 (b_0 + L).$$

A 3. táblázat mutatja a bordázott lemez diszkrét optimális méreteit különböző hegesztési technológia esetén.

3 KIÉRTÉKELÉS

A 4. ábra mutatja az összköltség eloszlását. Látható, mennyire függ a költségeloszlás a hegesztési technológiától, a varrat típusától, a fajlagos anyag- és gyártási költség aránytól, valamint a szerkezet típusától. Nagy a köztük lévő különbség. A legnagyobb a hegesztési idő és költség a bevontelektrodás kézi ívhegesztésre, a SMAW-ra, a legkisebb a SAW, FCAW és ISW csopontra. A bordázott lemeznél a hegesztési költség SMAW technológiánál az összköltség 46%-a, a SAW technológiánál ugyanerre csak a 20%-a.

A bordázott lemeznél a tömeg $\rho LA = 3258$ kg (2. táblázat), a gyártási költség 100 (15559-3258)/15559 = 79 %-a az összköltségnek.

Költségcsökkenés olcsóbb hegesztési technológiával érhető el mint a SAW, ha lehetséges az alkalmazása. A 4. táblázat mutatja a költségmegtakarításokat az öt csoportba sorolt hegesztési technológiára. A bordázott lemeznél 32 %-a lehet az összköltségnek. Minden összehasonlított eredmény optimum.

4. táblázat Költségmegtakarítás az egyes hegesztési technológiák esetén.

Hegesztési technológia	Összköltség	Költség-megtakarítás %-ban
SMAW	15559	0
SMAW-HR	13305	14
FCAW-MC	12521	20
GMAW-C	11471	27
SAW	10560	32

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Országos Tudományos Kutatási Alap OTKA T38058 projektjének és az FKFP 8/2000 projekt támogatásával történt.

Irodalomjegyzék

- Aichele, G.** (1985): *Kalkulation und Wirtschaftlichkeit in der Schweisstechnik* (Calculation and economy in welding technology). Deutscher Verlag für Schweisstechnik, Düsseldorf.
- American Petroleum Institute** (1987): *API Bulletin on Design of flat plate structures*. Bul. 2V, 1st edn.
- Bodt, H.J.M.** (1990): *The global approach to welding costs*. The Netherlands Institute of Welding, The Hague.
- COSTCOMP** (1990): *Programm zur Berechnung der Schweisskosten* (Program for the calculation of welding costs) Deutscher Verlag für Schweisstechnik, Düsseldorf.
- Eurocode 3** (1992): Design of steel structures, Part 1.1, CEN. European Committee for Standardization, Brussels.
- Farkas, J. & Jármai, K.** (1993): Minimum cost design of laterally loaded welded rectangular cellular plates. In Structural Optimization '93 World Congress, Rio de Janeiro. Proc. Vol. 1, pp. 205-212.
- Farkas, J. & Jármai, K.** (1994): *The effect of low cost technologies in the design of welded structures*, Welding in the World, Pergamon Press, Vol. 34, 1994. pp. 123-130.
- Farkas, J. & Jármai, K.** (1996): Fabrication cost calculation and optimum design of welded steel silos. Welding in the World, Pergamon Press, Vol. 37, No. 5, pp. 225-232.
- Farkas, J. & Jármai, K.** (1997): *Analysis and optimum design of metal structures*, Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 1997, 347 p. ISBN 90 5410 669 7.
- Fern, D.T. & Yeo, R.B.G.** (1990): *Designing cost effective weldments*. In "Welded Structures '90. Int. Conference, London, Welding Institute, Abington Publ." pp. 149-158.
- Horikawa, K. & Watanabe, N.** (1996): *Computer-aided fabrication of welded structures*. 49th Annual Assembly of International Institute of Welding, International Conference on Welded Structures in Particular Welded Bridges, September 2-3, 1996. Budapest, GTE, Scientific Society of Mechanical Engineering, Proceedings pp. 77-91.
- Jármai, K., Farkas, J., Major L.** (2001) Minimum cost design of a welded punch press for light industry, Welding in the World, Pergamon Press, Vol. 45, 2001, No.1-2. pp. 40-45.
- Jármai, K. & Iványi, M.** (2001): *Gazdaságos fémszerkezetek analízise és tervezése*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 226 p. ISBN 963 420 674 3
- Likhtarnikov, Y.M.** (1968): *Stalnie konstrukcii*, Stroyizdat, Moszkva
- Orbán, F.** (2003): *Minimum cost design of horizontal vessels on saddles*, International Conference on Metal Structures, ICMS 2003, April 3-5. Miskolc, Hungary, Proceedings pp. 223-228. Millpress Science Publisher, Rotterdam.
- Ott, H.H. & Hubka, V.** (1985): *Vorausberechnung der Herstellkosten von Schweisskonstruktionen*. In "Proc. Int. Conference on Engineering Design ICED Hamburg. Edition Heurista, Zürich," pp. 478-487.
- Pahl, G. & Beelich, K.H.** (1982): *Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Schweissverbindungen*. VDI-Bericht Nr.457. Düsseldorf, pp. 129-141.
- Papp, F., Iványi, M. & Jármai, K.** (2001): *Unified object-oriented definition of thin-walled steel beam-column cross-section*, Journal of Computers & Structures, Elsevier Science, Vol. 79, pp. 839-852.
- Tímár, I. & Nour, C.** (2002): Gömbtartály hőszigetelésének optimalítása. GÉP, Vol. LIII. No. 11-12. 36-40. old.