



GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET

VIII. HEGESZTÉSI SZEMINÁRIUM

SOPRON

1990. Október 16...18.

F1 HELP	F2 HOL TARTOK?	F3 KAPCSOLATOK	F4 HÁTER	F5 INFORMÁCIÓ
Az SI mértékegységek alap- és kiegészítő nemmértékei további nemmértékeket is képezhetnek. Ezeket az új nemmértékeket (mint anélkül a terület, a teljesítmény, a nyomás stb.) származtatott nemmértékeknek hívjuk.				
A "HÁTER" táblázat ezeket a származtatott nemmértékeket, valamint a nemmértékek törtézelmeinek és többszöröseinek szabványos elnevezéseit, a prefixumokat is tartalmazza.				
ESC VISSZA				SPACE TÖMBB

a)

F1 HELP	F2 HOL TARTOK?	F3 KAPCSOLATOK	F4 HÁTER	F5 INFORMÁCIÓ
Az SI mértékegységek alap- és kiegészítő nemmértékei további nemmértékeket is képezhetnek. Ezeket az új nemmértékeket (mint anélkül a terület, a teljesítmény, a nyomás stb.) származtatott nemmértékeknek hívjuk.				
A "HÁTER" táblázat ezeket a származtatott nemmértékeket, valamint a nemmértékek törtézelmeinek és többszöröseinek szabványos elnevezéseit, a prefixumokat is tartalmazza.				
ESC VISSZA				SPACE TÖMBB

b)

F1 HELP	F2 HOL TARTOK?	F3 KAPCSOLATOK	F4 HÁTER	F5 INFORMÁCIÓ	
P R E F I X U M O K					
tera	T	billió	deci	d	tized
giga	G	milliárd	centi	c	század
mega	M	millió	milli	m	ezred
kilo	k	ezer	mikro	μ	milliomod
hecto	h	száz	nano	n	ezermilliomod
deka	da	tíz	piko	p	billiomod
ESC VISSZA				SPACE TÖMBB	

c)

4. ábra További ismeretek elérési módja: a/ alapismeret,

b/ további adatok kérése, c/ további ismeret

BORDÁZOTT CELLASZERKEZETŰ LEMEZEK OPTIMÁLIS MÉRTEKEZÉSE A HEGESZTÉSI KÖLTSÉGEK FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

Dr. Farkas József
Dr. Jármai Károly

1. Bevezetés

A bordázott lemezek két alapvető típusa az egyoldalt bordázott és a cellaszerkezetű lemez. Az egyoldalt bordázott lemezek gyártása egyszerűbb, viszont a cellalemezek csavarási merevsége lényegesen nagyobb [3, 4]. E tanulmányban a cellalemezek költségminimumra történő méretezésével foglalkozunk.

A cellalemezek nagy merevségük miatt széles körben alkalmazhatók, pl. hajók kettős fenékszerkezete, repülőgép-szárnyszerkezetek, tartály-uszótetők, bányászati furópajzsok, hidpályalemezek, földmunkagépek vázszerkezete, gépészeti szerelőpódiumpok, nagy téráthaladó fódém- és tetőszerkezetek esetében.

Többek között pl. Evans és Shanmugam foglalkozott cellalemezek analízisével hajószerkezeti alkalmazás szempontjából [1, 13]. A [2] tanulmány is foglalkozott már cellalemezek költségminimumra történő méretezésével, a jelen tanulmányban azonban részletesebb költségfüggvényt alkalmazunk Pahl és Beelich [11] módszerével, melyet már többféle szerkezet költségminimumálására használtunk, pl. csőszerkezetű rácsos tartók [6, 7, 8] ill. hegesztett szekrényszelvényű hajlított tartók [9] esetében.

A gyártási költségek részletesebb számításán kívül fontos szempont, hogy az optimális szerkezeti megoldások paramétereit a költségátmenet szűkös értéktartományában vizsgáljuk, mert az anyag- és gyártási költségek az időben és a gyártó országtól ill. vállalatától függően is erősen változnak.

2. Költségfüggvény

A költségfüggvényt, melynek minimumát keressük a méretezési feltételek teljesítése mellett, itt négyzet-szimmetrikus cellalemezre írjuk fel.

Feltételezzük, hogy a cellalemez gyártása a következőképpen történik. Előbb hidegen hajlított U-szelvényekből vagy -nagyobb szerkezeti méretek esetén - hegesztett I-szelvényekből álló, kétirányú borderács készül a csomópontok pontos összehesztésével, majd erre kétoldalt axa méretű négyzet-lemeztáblák kerülnek felhegesztésre kívülről, körbemenő sarokvarratokkal (1. ábra).

A borderács egyik irányban végigmenő, másik irányban a csomópontoknál megszakított szelvényekből áll az 1. ábra szerint. A szélső bordánál a csomópontok kialakítása más mint a közbülső keresztmetszetekben.

Egy borda keresztmetszeti területe - állandó t_r vastagságot és $h/2$ övlemezszélességet véve - $2ht_r$. Bevezetjük a $q = b/a$ borderács-távolságot, mely csak egész-számú lehet.

$(q+1)^2 - (q-1)^2 = 4q$. Feltételezzük, hogy van olyan hidegen hajlított U-szelvény, amelynek h és t_r méretei az optimális során kiadódnak. Amennyiben ilyen szelvény az MSZ 4346-81 szerint nincs, akkor a gyártó vállalat saját gépén hajlíthat ilyen szelvényt vagy helyettesítheti hegesztett I-szelvényt. A hegesztett I-szelvények nyakvarrat-hegesztési költségével itt nem számolunk.

Az összes hegesztési idő a (6) és (7) összegezésével

$$T_2[\text{min}] = 4b\varphi a_{wf}^{1.5} + 1.6h(q^2+1) \left[2a_{wr}^{1.5} + (1000t_r)^{1.5} \right] \quad (8)$$

itt a_{wf} és a_{wr} [mm]-ben, b , h és t_r [mm]-ben helyettesítendő.

Előbb folytonos változókkal optimálunk $a_{wf} = 700t_r$ és $a_{wr} = 700t_r$ helyettesítéssel, az ezt követő diszkretizálás során a_{wf} és a_{wr} értékeit kerekítjük.

c/ Az elektróda-cserék és varrat-letisztítás ideje:

$$T_3 = C_3 \sqrt{\delta} \sum_i a_{wi}^{1.5} L_{wi} ; C_3 = 1.2 \text{ min}/(\text{mm}^{1.5} \text{xm}) \quad (9)$$

A (8)-nak megfelelően, $\delta = 3$ értékkel számolva

$$T_3[\text{min}] = 2.07846 \left\{ 8b\varphi a_{wf}^{1.5} + 2h(q^2+1) \left[2a_{wr}^{1.5} + (1000t_r)^{1.5} \right] \right\} \quad (10)$$

A teljes célfüggvényt a (2) alapján az alábbi alakban írjuk fel:

$$\frac{K}{k_a} [\text{kg}] = \varphi V + \frac{k}{k_a} (T_1 + T_2 + T_3) \quad (11)$$

Megjegyezzük, hogy a Pahl-Beelich-féle módszer [11] az elektróda-anyag-költségre is ad képletet, ez viszont a jelen esetben elhanyagolható. Festési, korrózióvédelmi, szerelési és szállítási költségekkel itt nem számolunk.

Mivel az acéllemez-költségtényező $k_a = 0.5 - 1.5 \text{ \$}/\text{kg}$, a gyártási költségtényező $k_g = 0.25 - 0.50 \text{ \$}/\text{min}$ között változónak vehető, így az optimálást a $k_g/k_a = 0 - 1.0$ értéktartományban végezzük, a gyártási költség hatásának érzékeltetésére $k_g/k_a = 0; 0.25; 0.50; 0.75$ és 1.0 értékeket felvéve - 0 érték a térfogatminimumra való méretezésnek felel meg.

2. Méretezési feltételek

2.1 Feszültségi feltétel

Körben csuklós kerületű, egyenletesen megoszló terhű négyzetes cellalemezt vizsgálva a lemez középső felső fedőlemez-mezejében keletkező legnagyobb normálfeszültség két részből áll: a teljes lemez hajlításából és a fedőlemez-mező helyi hajlításából létrejövő feszültségből.

A teljes cellalemez hajlításából keletkező max. feszültség

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{4.79 \times 10^{-2} p b^2}{B_1} E_1 e_1 ; E_1 = \frac{E}{1-\nu^2} ; e_1 = \frac{h}{1+\nu}$$

$$B_1 = E_1 h^2 t_f \frac{\nu}{1+\nu}$$

E_1 a Poisson-számmal módosított rugalmassági modulus, e_1 szál távolság, B_1 hajlítási merevség. Tehát

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{4.79 \times 10^{-2} p b^2}{h t_f \nu}$$

itt p az egyenletesen megoszló teherintenzitás, a külső t p_0 értékét a saját tömeg közelítő figyelembevételével $1,1$ szorozva számítjuk: $p = 1.1 p_0$.

$\nu = a_e/a$ a nyomott lemez együttdolgozó lemezszélesség-vi száma. A módosított Faulkner-képleteket alkalmazva, a rug szakasszon, ha

$$\lambda_p \geq \lambda_{p0} = 1.9014 \sqrt{\sigma_{\text{max}}/R_e} ; R_e = 0.6 R_y$$

(R_y a folyáshatár)

$$\psi = \frac{2}{\lambda_p} - \frac{1}{\lambda_p^2} - \frac{2\eta}{\delta - 2\eta} ; \lambda_p = \delta \sqrt{\frac{\sigma_{\text{max}}}{E}} ; \delta = \frac{a}{t_f} ; \eta = 3$$

a képlékeny zónában, ha $\lambda_p \leq \lambda_{p0}$

$$\psi = 1 - (1 - \psi_0) \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_{p0}} \right)^2 ; \psi_0 = \frac{2}{\lambda_{p0}} - \frac{1}{\lambda_{p0}^2} - \frac{2\eta}{\delta_0 - 2\eta} ; \delta_0 = 1.9$$

ψ képletében a harmadik tag a hegesztésből visszamaradt feszültségek hatását fejezi ki. Mivel σ_{max} és ψ kölcsönösen függnek egymástól, az iteráció elkerülése céljából, ruga zónát feltételezve, a ψ képletéből σ_{max} -t kiküszöböljük, foku egyenlet megoldásával

$$\psi = Y_0 + \sqrt{Y_0^2 - Z_0} ; Z_0 = \frac{Z_2^2 Z_3}{(1 + Z_2^2)^2} ; Z_1 = \frac{4.79 \times 10^{-2} p b^2}{h t_f}$$

$$Z_2 = \frac{b}{\varphi t_f} \sqrt{\frac{Z_1}{E}} ; Z_3 = \frac{6}{\frac{b}{\varphi t_f} - 6}$$

A fedőlemez-mező közvetlen hajlításából származó max. normálfeszültség, a lemezmezőt négy szélén befogott izotrop lemez számolva $\sigma_{\text{fmax}} = \frac{5.13 \times 10^{-2} p_0 a}{t_f^2/6} = 0.3078 p_0 \left(\frac{b}{\varphi t_f} \right)^2$

A teljes feszültség tehát a (12) és (14) alapján

$$\sigma_{\max} + \sigma_{f\max} \leq R_{adm} \quad (15)$$

ahol R_{adm} a megengedett vagy határfeszültség.

3.2 Nyírási horpadási feltétel a bordákra

Ez azt fejezi ki, hogy a bordaszelvény gerinclemezében, a kerület-támasznál keletkező nyírófeszültség legyen kisebb mint a nyírási horpadásra megengedett feszültség:

$$\tau_{\max} = \frac{0.42 p b a}{h t_r} \leq \frac{5.34 \pi^2 E_1}{12 \gamma_b} \left(\frac{t_r}{h} \right)^2 \quad (16)$$

Átalakítva, $\gamma_b = 1.35$ biztonsági tényezővel, $\gamma = 0.3$ értékkel

$$\frac{0.12923 p b^2 h}{E \varphi t_r^3} \leq 1 \quad (17)$$

3.3 Lehejlési feltétel

$$w_{\max} = \frac{4.06 \times 10^{-3} p_0 b^4 (1+\nu)}{E_1 h^2 t_r \gamma} \leq w^* = c^* b \quad (18)$$

ahol c^* értéke attól függ, hogy milyen merevségi követelményt támasztunk a lemezzel szemben. Megsápitási szerkezeteknél $c^* = 1/300$, míg gépszerkezeteknél $c^* = 1/10000$ előírása is indokolt lehet.

3.4 Lemezvastagság-korlátozási feltétel

A vetemedésmentes gyártás érdekében szükséges megszabni a t_0 legkisebb lemezvastagságot:

$$\begin{aligned} t_f &\geq t_0 \\ t_r &\geq t_0 \end{aligned} \quad (19)$$

4. Számpélda optimális méretezésre

A numerikus számítógépes optimalizálást az alábbi adatokra végezzük:

$b = 8$ m; $p_0 = 5$ kN/m²; $R_{adm} = 120$ MPa = 1.2×10^5 kN/m²;

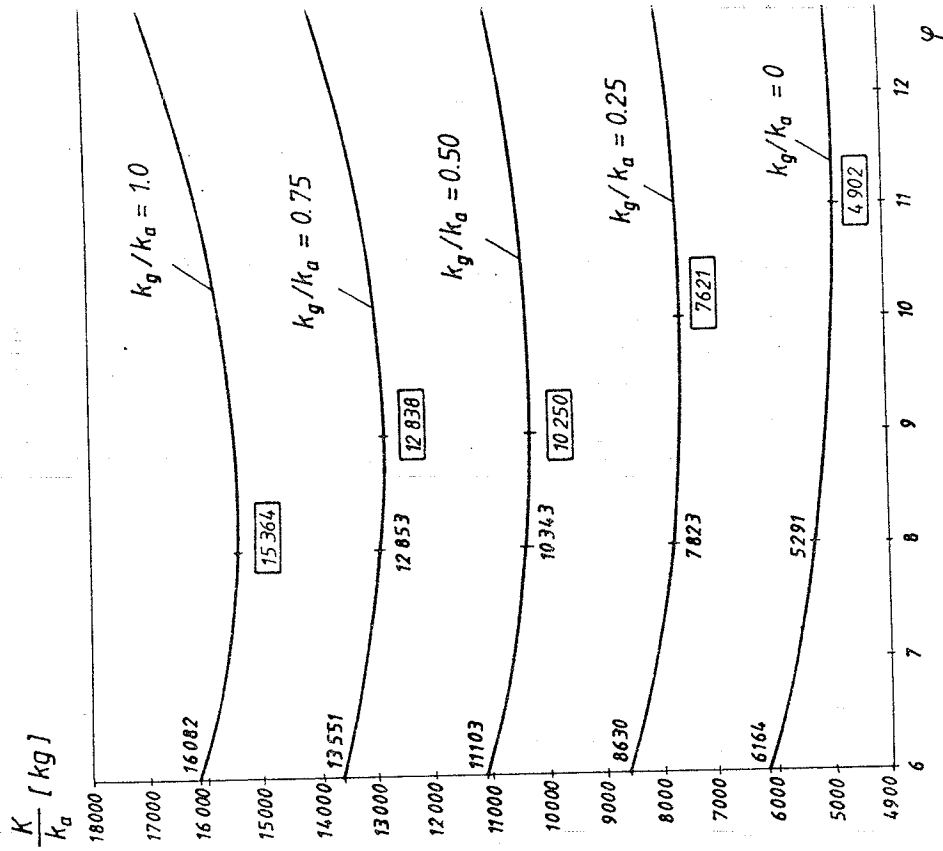
$c^* = 1/2000$; $E = 2.06 \times 10^8$ kN/m²; $t_0 = 2$ mm.

Mivel a φ csak kerek értékeket vehet fel, az optimalizálást

$\varphi = 6 - 13$ értékek között felvett minden kerek értékre külön végezzük el, $k_g/k_a = 0$; 0.25; 0.50; 0.75 és 1.0 értékekre.

Az optimalizálást a Rosenbrock-féle hillclimb-algoritmusra kidolgozott számítógépi programmal végeztük [10, 12].

A kerekítetlen értékekkel számított eredményeket a 2. ábra mutatja.



2. ábra. Kerekítetlen optimális méretekkel számított $K_{\min}/k_a$ értékek a bordaszélesség függvényében különböző k_g/k_a viszonyszámokra

A 2. ábrán feltüntetett eredmények alapján a különböző k_g/k_a - viszonyszámokra meghatározható az optimális osztátszám. A minimális K/k_a -értékeket bekeretezéssel jelöltük meg. Összehasonlító számítások számára realisabb a kerekítettlen optimális értékeket elepül venni.

A Rosenbrock-féle módszert kiegészítettük egy diszkretizálási programmal, amely az optimális méretekhez közeli kerekített értékekből választja ki a legkisebb K/k_a -értéket adó méretkombinációt.

Az alábbi kerek értékekkel számoltunk:

h (m): 0.1 - 0.6, 0.01-es lépcsőkkel
 t_f, t_r (mm): 2 2.5 3 3.5 4 5 6 ... 10
 a_{wf}, a_{wr} (mm): 1.5 2 2.5 2.5 3 3.5 ...

A kerekített t_f, t_r értékekhez tartozó a_{wf}, a_{wr} varratméretek egy számítottuk ki, hogy a $0.7t_f, 0.7t_r$ értékeket felfelé kerekítettük.

Az 1. táblázat a kerekített méretű optimális megoldások adatait tünteti fel.

1. táblázat. A különböző k_g/k_a viszony-
számokhoz kapott optimális kerekített
méretek és jellemzők

k_g/k_a	φ_{opt}	h	t_f	t_r	a_{wf}	a_{wr}	K/k_a (kg)
1	9	250	4	2	3.0	1.5	17 177
0.75	9	260	4	2	3.0	1.5	14 287
0.50	10	280	4	2	3.0	1.5	12 331
0.25	12	300	3	2	2.5	1.5	8 441
0	12	300	3	2	2.5	1.5	4 974

2. Következtetések

- Az optimális bordaosztátszám függ a gyártási költségektől, az ábrán láthatóan $k_g/k_a = 1$ -hez 8-9, $k_g/k_a = 0$ -hoz 11-12 osztátszám az optimális.
- Kerekítettlen optimális méretekkel számolva, $k_g/k_a = 1$ esetben, a 8-osztású, költségre optimális lemez költsége és a 11-osztású, térfogatra optimális lemez költsége közötti különbség 100 (16099-15364)/15364 = 5%, tehát ilyen mértékű a költségmegtakarítás, ha térfogatminimum helyett költségminimumra méretezünk.

- A gyártási költség aránya a teljes költséghez $k_g/k_a =$ és 8 osztás esetében 100(10040/15364) = 65%, tehát a lemezeknél a gyártási költség aránya igen magas. Pl. rácsoszerkezeteknél vagy hegesztett szekrényszelvényűt: ez az arány csak kb. 25-30%.
- A felvett számpélda esetében a méretezési feltételek a normálvesztési feltétel és a lemeztárolási feltétel közötti viszonyult aktív.
- Minél nagyobb a k_g/k_a viszonyszám, a 2. ábra szerint leposabb a költségfüggvény a bordaosztátszám függvény. A költségfüggvény érzékenysége az osztátszám változása az alábbi adatokkal jellemezhető: ha az osztátszám 8 között változik, azaz 27%-kal, akkor a célfüggvény $k_g/k_a = 1$ esetében 100 (16001-15364)/15364 = 4%, k_g/k_a esetében pedig 100 (5291-4902)/4902 = 8%.

Irodalom

- Evans, H.R., Shanmugam, N.E.: Simplified analysis for cellular structures. J. Struct. Eng. ASCE 110(1984)No.3. p.531-5
- Farkas, J.: Minimum cost design of welded square cellular structures. Publ. Techn. Univ. Miskolc Ser. C. Machinery 37(1982) p.
- Farkas, J.: Fém szerkezetek. Egyetemi tankönyv. 2. kiadás Budapest, Tankönyvkiadó, 1983.
- Farkas, J.: Optimum design of metal structures. Bp. Akadémiai Kiadó - Chichester, Ellis Horwood, 1984.
- Farkas, J.: Discussion to "Simplified analysis for cellular structures" by Evans, H.R. and Shanmugam, N.E. J. Struct. Eng. ASCE 110(1984) p.531-543. J. Struct. Eng. ASCE 111(1985)N p.2269-2271.
- Farkas, J.: Consideration of fabrication costs in the optimum design of welded tubular trusses. IIW-Doc. XV-677-88. 1988.
- Farkas, J.: Négyzetcsövekből hegesztett rácsos tartók optimális méretezése költségminimumra fűzött feltételekkel. Géptervező VII. Országos Szeminárium. Előadások. Miskolc, 1989. p.63-68.
- Farkas, J.: Minimum cost design of tubular trusses considering buckling and fatigue constraints. Internat. Symposium on Structures. Lappeenranta University of Technology, Finland 1989. Preprints. p.7.08.1 - 9.
- Farkas, J.: Fabrication aspects in the optimum design of structures. IIW-Doc. XV-725-90. Montreal, 1990.
- Jármái, K.: Single- and multicriteria optimization as a decision support system. Computers in Industry 11(1988) p.249-266.

- [11] Pahl, G., Beelich, K.H.: Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Schweissverbindungen. VDI-Berichte Nr. 457. Düsseldorf, 1982. p.129-141.
- [12] Rosenbrock, H.H.: An automatic method for finding the greatest or least value of a function. Computer J. 3 (1960) No.3. p.175-184.
- [13] Shanmugem, N.E., Evans, H.R.: A grillage analysis of the non-linear and ultimate load behavior of cellular structures under bending loads. Proceedings of the Institution of Civil Engineers 71 (1981) Part 2. p.705-719.

A szerzők címe:

Dr. Farkas József egyetemi tanár, a műsz. tud. doktora
Dr. Jármsi Károly tudományos főmunkatársa, a műsz. tud. kandidátusa

Miskolci Egyetem Szállítóbereendezések Tanszéke
3515 Miskolc Egyetemváros

SIMULTANEOUS ENGINEERING

Brenner András
VOEST-Alpine GD

A műszaki tervezés két klasszikus funkciója a
- gyártmánytervezés és
- gyártástervezés

mellett ez utóbbi évtizedben teret követel magának egy harmadik tevékenység a

- minőségtervezés.

A fejlett piacgazdaságú országokban már régen felismerték hogy a termék-minőség a piaci siker egyik alapvető tényezője és ezért a gyártó szempontjából elsőrendű jelentősége van. Így a fejlett országok gyakorlata: a három funkció egyidejű végzése, a gyártmány-, a gyártás- és a minőségtervezés integrációja az u.n. "simultaneous engineering".

A következőkben ezt a kérdést a minőségtervezés irántól kiindulva vizsgálom, a GANZ Danubius részvénytársaság nál folyó hegesztésszerkezet gyártási munkák esetében.

1. A GYÁRTÁS MODELLEJE

A gyártási folyamat bonyolultsága miatt szükségessé vált egy a - vizsgálat szempontjából - lényeges részeket emelő modell megalkotása.

1.1. Az elvi modell

A hegesztett szerkezetek gyártása: az anyag (félgyármany) átalakítása hegesztéssel szerkezetté, ahol a tévedélehetősége miatt a tevékenység a technológia és az ellenőrzés bonyolult kölcsönhatásában valósul meg. A folyamat