

# GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA

**VA TECH**

**VA TECH VOEST MCE Hungary**

2000



Hidak a jövő évezredéig • Bridges to the next thousand years

**VA TECH VOEST MCE Hungary GmbH**  
Tünde u. 10/a, Pf. 212, H-4400 Nyíregyháza, Tel.: (+36/42) 460077, Fax: (+36/42) 460031  
E-mail: vamceung@matavnet.hu

**VOEST  
MCE**

VA TECH MCE DVS KÖZÖS NEMZETKÖZI HEGESZTESI KONFERENCIA

2000/7



124 OLDAL  
LI. ÉVFOLYAM

## TARTALOM

Böhme, D.	Minőségbiztosítás a termikus szórásnál – Új QM szabványok és irányelvek a személyzet minősítéséhez	3
Domanovszky S.	Hegesztéstechnológia és minőségbiztosítás sínjárművek forgóvázainak gyártásánál	12
Cerjak, H. - Letofsky, E.	Korszerű erőművi ferrites krómacélok hegeszthetőségének szövetszerkezeti vonatkozásai	16
Pupp, W.	Acélepítészet – a szabályozások acélepítmények előállítására ma és holnap	24
Steinborn, F.J.	Nyomástartó berendezések gyártása a nyomástartó berendezések irányelvei szerint, a harmonizált európai szabványok tükrében	29
Wackerbauer, G. - Volmer, R.	Építőipari termékek jelölése	32
Bauer, C.O.	Hegesztési munkák jogi követelményei az európai polgári- és büntetőjogban. A harmonizált szabványok és vizsgálatok szerepe	36
Borhy I.	A vasúti járműszerkezetgyártás minőségügyi kérdései az európai csatlakozás tükrében	38
Cramer, K.	Minőségbiztosítás a hegesztésben Az értékelési kategóriák megállapítása a hegesztési varratra	41
Érsek L.	Füstgáz kéntelenítő tornyok szerelése - néhány kivitelezői észrevétel	43
Farkas, L. - Csapó P.	Hegesztett kötések vizsgálatainak tapasztalatai a változó szabványelőírások tükrében	46
Ladányi P.	A Mátrai Erőmű kéntelenítő berendezése építésének egyes gyártási, hegesztési tapasztalatai	48
Pelcz J.	TQM elemek alkalmazása a hegesztőüzemben	49
Péter L. - Kiss L.	A hőcsereelők csöveit csőköteggelba kötő sarokvarratok minősége	52
Rehfeldt, D.	Számítógéppel segített minőségbiztosítás (CAQ) az ívhegesztésnél	55
Schuster, J.	Hegesztett kötések káreseteinak értékelési tapasztalatai hegesztésmetallurgiai szempontból	61
Takács J. - Buza G. - Kálazi Z.- Gál P.- Markovits T.	Hegesztés minőségjavítása lézeres eljárásokkal	68
Hrivnak, I.	Cseppfolyósított szénhidrogén-tároló gömbtartályok javítása	71
Jármay K. - Farkas J. -	Új eredmények a hegesztett szerkezetek tervezése területén	79
Kálna, K.	Acélszerkezetek tervezése ridegtörésre a különböző európai szabványokban	82
Lukács J. - Demeter A. - Harmati I.	Szénhidrogénszállító csőtávvezetékek körvarratainak integritása	87
Rittinger J. - Gémes Gy.	Erőművi hegesztett szerkezetek állapotának értékelése	90
Scsaurszki T.	Nagynyomású csőtávvezeték hegesztésének nemzetközi és hazai gyakorlata napjainkban	94
von Dobeneck, D. F.	Elektronsugár 2000 - Innovatív megoldások és elképzelések	100
Kucsera J.	Légszennyező anyagok védőgáz hegesztésnél	105
Komócsin M.	A magyar hegesztőszakemberek EWF tematikák alapján folytatott képzésének hazai tapasztalatai	111
Varga T.	Új lehetőségek a hegesztő bizonyítvány IIW és EWF nemzetközi minősítésénél	115
Visontay I.	A magyar Hegesztési Biztonsági Szabályzat a nemzetközi tevékenység tükrében	117

# ÚJ EREDMÉNYEK A HEGESZTETT SZERKEZETEK TERVEZÉSE TERÜLETÉN

K. Jármái & J. Farkas\*

## 1. Bevezetés

Kutatásaink során célunk az volt, hogy bemutassuk egyrészt az optimális méretezés hasznosságát a gyakorlatban, másrészt a költségcsökkentés lehetőségeit hegesztett szerkezetek tervezése során matematikai optimálós módszerek alkalmazásával. Jelen tanulmány célja, hogy bemutasson néhány eredményt ezen a területen. Először ismertetjük a hegesztett acélszerkezetek számítására kifejlesztett költségfüggvényt. A továbbiakban két alkalmazást mutatunk be a költségmegtakarításra: (a) vizsgáljuk hegesztési utókezelések esetén, melyek a szerkezet fáradási határát növelik; (b) hosszmevítővel ellátott hajlított szekrénytartóknál, melyek horpadás szempontjából kedvezőbbek.

## 2. A költségfüggvény

A szerkezet költségét az anyag-, a gyártási-, a szállítási-, a szerelési- és a karbantartási költségek adják. A gyártási költségelemek a hegesztési, a vágási, az előkészítési, az összefűzési, festési, stb. Ha az időt vesszük alapadatnak, mely egy adott technológia esetén kevésbé függ a gyártási helytől, akkor a gyártási költségek jól számíthatók a világ bármely részén. Habár az egyes gyártási idők erősen függenek sok paramétertől egy viszonylag egyszerű költségfüggvény hatékony lehet mind a tervezőnek, mind a gyártónak összehasonlításokat tenni az egyes variációk között [1,2,3]. A költségfüggvény megalkotása során nem foglalkozunk az amortizáció, a szállítási-, az összeszerelési- és a karbantartási költségekkel, valamint a valuták keresztárfolyamainak változásával.

A költségfüggvény általános alakja a következő:

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

Ahol:

$K_m$  és  $K_f$  az anyag- és gyártási költségek,  $k_m$  és  $k_f$  a fajlagos költségek,  $\rho$  a sűrűség,  $V$  a térfogat,  $T_i$  a gyártási idők. Feltételezzük, hogy  $k_f$  értéke állandó egy gyártónál.

Az (1) egyenlet átírható a következő alakra

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

Az egyes időelemek különállóan számíthatók:

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

az előkészítési idő, a szerelés, valamint az összefűzés ideje.  $\Theta_d$  a nehézségi tényező, mely a szerkezet komplexitására utal.  $\kappa$  az összeszerelt szerkezeti elemek

száma.  $\Theta_d$  értéke 1 és 4 között van a szerkezettől, a varrat pozíciójától és alakjától függően.

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

a hegesztés ideje,  $a_{wi}$  a hegesztés mérete,  $L_{wi}$  a varrat hossza,  $C_{2i}$  a hegesztési technológia paramétere. Kézi ívhegesztés esetén  $C_2 = 0.8 \cdot 10^{-3}$ ,  $\text{CO}_2$ -hegesztés esetén  $C_2 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ min/mm}^{2.5}$ .

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

további gyártási elemek időigénye, mint elektródacsere, salakolás, stb.  $C_3 = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ min/mm}^{2.5}$ . A (3,4,5) egyenleteket Pahl és Beelich javasolta [1].

Ott & Hubka javaslata a következő volt

$$C_3 = (0.2-0.4) C_2, \text{ általában } C_3 = 0.3 C_2$$

Így a módosított egyenlet  $T_2 + T_3$ -ra, elhanyagolva  $\sqrt{\Theta_d}$ -t a következő:

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

A COSTCOMP software [3] megadja a hegesztési időket a különböző eljárásokra elméleti és gyakorlati vizsgálatok eredményei alapján.

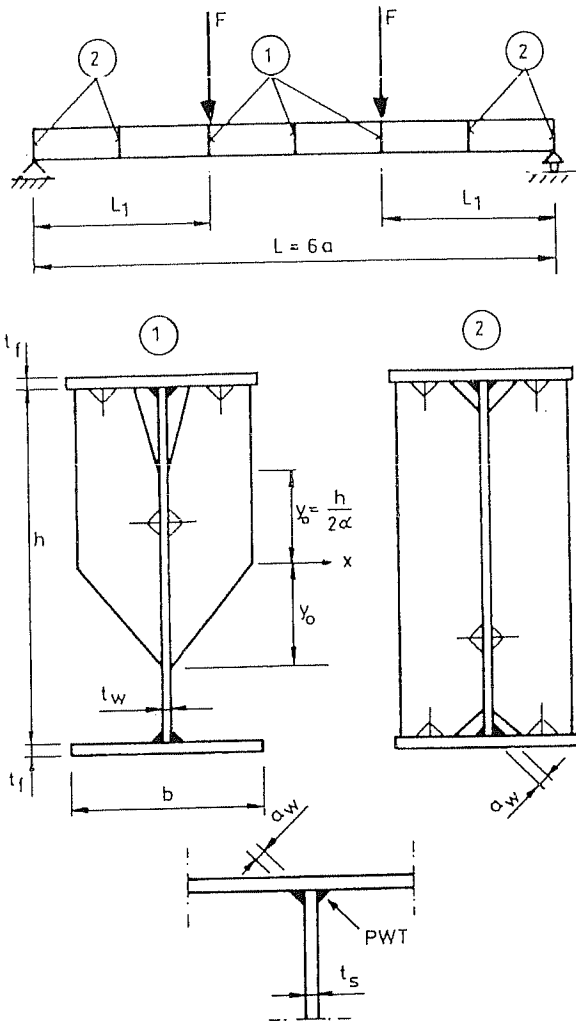
Az egyes hegesztési technológiák a következők: SMAW (fogyóelektródás kézi ívhegesztés), GMAW-C ( $\text{CO}_2$  védőgáz ivhegesztés) és SAW (fedőporos hegesztés). Hasonló képletek írhatók fel a lemezegyengetés ( $T_4$ ), a felületelőkészítés ( $T_5$ ), a festés ( $T_6$ ), a vágás, leélezés ( $T_7$ ) időigényére.

Az összköltségnél a fajlagos költségek  $k_m = 0.5-1$  \$/kg,  $k_f = 0-1$  \$/min. A  $k_f/k_m$  arány 0-2 kg/min között változik. A  $k_f/k_m = 0$  adja a tömegminimumot. Ha  $k_f/k_m = 2.0$  ez nagyon magas munkaköltségű országot jelöl (Japán, USA),  $k_f/k_m = 1.5$  és 1.0 nyugat-európai munkaköltséget jelent,  $k_f/k_m = 0.5$  pedig fejlődő országokra jellemző.

## 3. Hegesztett I-szelvények optimális méretezése fáradásra a hegesztési utókezelések figyelembevételével

Dinamikusan igénybevett hegesztett szerkezeteknél az egyik legveszélyesebb jelenség a fáradás. A hegesztési maradó feszültségek és a feszültségkoncentráció felelősek a fáradási szilárdság csökkenéséért. A részlegesen átvadott T-kötések, sarokvarratoknál a varratszegély- és gyök az a hely, ahol a repedések kialakulnak és terjednek.

\*egyetemi tanárok, Miskolci Egyetem



1. ábra Hegesztett I-tartó függőleges merevítővel.

Kétoldali sarokvarrat utókezeléssel (1) és anélkül (2).

Ennek a veszélynek a csökkentése és megszüntetése a célja a hegesztési utókezelések (PWT) alkalmazásának. Ezen kezelések többletköltséget jelentenek a szerkezetnél. A vizsgálat célja bemutatni, hogy ezen utókezelésekkel tehető-e olcsóbbá a szerkezet. Számos utókezelési módszert megvizsgáltak, mint például a varratszegély köszőrülése, AWI-kezelés, kalapácsolás, ultrahangos ütés

2. táblázat Az I-szelvény optimális méretei mm-ben  $K/k_m$  (kg) különböző  $k_f/k_m$  arányok esetén és különböző PWT-módszerek mellett.  $k_f/k_m = 0$  jelenti a tömegminimumot

PWT	$k_f/k_m$ (kg/min)	$h$	$t_w$	$B$	$t_f$	$K/k_m$ (kg)
as welded	0	1300	10	320	14	2191
	1	1230	10	310	16	3802
	2	1230	10	310	16	5399
Köszőrülés	1	940	9	340	15	3343
	2	890	8	300	19	4704
AWI kezelés	1	1000	9	330	14	3235
	2	1110	10	310	12	4770
Kalapácsolás	1	820	9	310	13	2762
	2	820	9	310	13	3999
UIT	1	970	10	300	12	3021
	2	810	8	300	17	4202

(UIT). A módszerek hatékonyságát és megbízhatóságát számos kísérleti mérésorozattal vizsgálták [4,5,6]. Az 1. táblázat mutatja a módszerek hatékonyságát. A módszerek gazdaságosságát egy számpéldával illusztráltuk: egy kéttámaszú, hajlított I-tartó optimális méretezésével, ahol két lüktető terhelés hat. A függőleges sarokvarratjai, melyek okai a fáradási határ jelentős csökkenésének. Ez javítható utókezeléssel. A kísérleti eredmények felhasználásával mind a fáradási határ növekedésének mértéke, mind a megmunkáláshoz szükséges idő meghatározható [6,7].

1. táblázat A különféle utókezelések fáradási határnövelő értéke és a hozzá szükséges idő publikált adatok alapján.

Eljárás	Hivatkozás	$T_0$ (min/m)	Javulás %
Köszőrülés	[4]	60	40
AWI kezelés	[7]	18	40
Kalapácsolás	[5]	4	100
Ultrahangos ütés	[6]	15	70

A vizsgált tartónál csak a tartó közepén voltak a merevítőbordák varratai kezelve ott, ahol a merevítő a felső övlemezhez került rögzítésre (1. ábra).

A lüktető erő  $0 - F_{max}$  között változik. Az összköltség az anyag-, a hegesztési- és az utókezelési költség [2]:

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} \left( \Theta_d \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 \sum C_{2i} a_{wi}'' L_{wi} + T_0 L_i \right) \quad (7)$$

$$A \text{ hegesztési utókezelés időigénye } T_4 = T_0 L_i \quad (8)$$

$T_0$  a fajlagos időszükséglet (min/mm),  $L_i$  a kezelt varrat hossza (mm).

A tervezési feltételek a fáradási feszültségre, a gerinclemezzel, valamint a nyomott övlemez helyi horpadására vonatkoznak az Eurocode 3 (EC3) alapján. A vizsgált számpélda adatai a következők:

$F_{max} = 138$  kN,  $L = 12$  m,  $L_1 = 4$  m,  $\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf} = 80 / 1.25 = 64$  MPa,  $\Theta_d = 3$ ; a merevítők száma  $2 \times 7 = 14$ , így  $\kappa = 3 + 14 = 17$ .

Változó méretek a  $h$ ,  $t_w$ ,  $b$  és  $t_f$ . Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

Az egyes hegesztési utókezelésekkel a következő megtakarítás érhető el: a köszörüléssel 14-15 %, az AWI kezeléssel 13-17 %, kalapácsolással 35-38 %, UIT 26-28 %. A költségmegtakarítás a legnagyobb a kalapácsolással. Hasonlóan  $k_f/k_m$  értékének hatása szintén jelentős, vagyis az, hol gyártják le a szerkezetet.

#### 4. Hosszirányban merevített szekrénytartó költség-minimalása

A korábbi példákhoz hasonlóan itt is anyag- és hegesztési költségekkel számolunk. A kéttámaszú tartó  $L = 20$  m fesztávú, egyenletesen megoszló  $p = 73.5$  N/mm terheléssel. A tartó 11 diafragmával van megerősítve  $a = 2$  m távolságokon a horpadási veszély csökkentése és a vetemedés csökkentése érdekében. A költségfüggvénynél fedőporos hegesztési (SAW), fogyóelektrodás kézi ívhegesztési (SMAW) és  $CO_2$  védőgázos hegesztési technológiákat vettünk figyelembe.

*Tervezési feltételek* a hajlításból származó normálfeszültségi, a gerinclemez és a nyomott övlemez helyi horpadási feltételei voltak, valamint a merevítők horpadása. A tervezési változók a szekrényoszlop méretei,  $h$ ,  $b$ ,  $t_w$ ,  $t_f$ ,  $t_s$ .

Az optimalás során a továbbfejlesztett backtrack módszert használtuk. A backtrack módszer kombinatorikus optimaló módszer. Diszkrét értékekkel dolgozik. Nemlineáris feltételeknél használható [2]. Az eredeti algoritmus továbbfejlesztésre került úgy, hogy költségfüggvény optimalására alkalmas legyen, mivel csak tömegminimalásra volt alkalmas.

#### Köszönetnyilvánítás

A kutatási munkát az OTKA 22846, 29326 és az FKFP 8/2000 projektek támogatták.

#### Hivatkozások

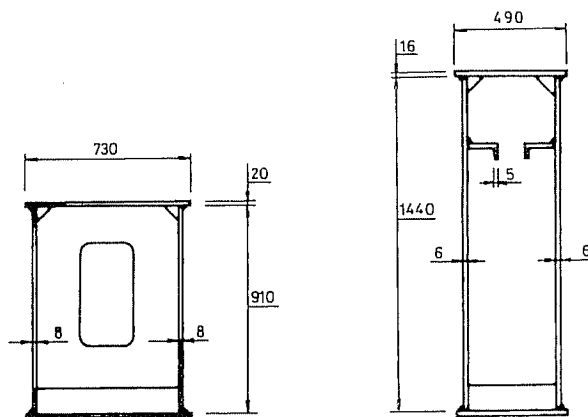
- [1] Pahl, G. and Beelich, K.H., Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Schweißverbindungen. *VDI-Bericht*, Nr. 457, 1982, pp. 129-141, Düsseldorf.
- [2] Farkas, J. and Jármay, K., *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 1997, 347 p.
- [3] COSTCOMP, Programm zur Berechnung der Schweisskosten. 1990, Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf.

A merevített tartó optimalásának eredményei a 3. táblázatban láthatók.

3. táblázat Merevített tartó optimális méretei mm-ben.

$k_f/k_m$	$h$	$t_w$	$b$	$t_f$	$t_s$	$K/k_m$ (kg)
0	1450	6	490	16	5	5591
1	1440	6	470	17	5	7608
2	1440	6	490	16	5	9585

Az optimális szekrényoszlop méretei, merevítővel és merevítők nélkül, mutatják, hogy a gerinc 1/5-ében elhelyezett merevítő jelentős megtakarítást eredményez. A költségmegtakarítás 18-21% közötti, tehát a hosszmerítő használata gazdaságos. A 2. ábra mutatja az optimális szelvényeket. A merevített szelvény jóval magasabb és keskenyebb.



2. ábra Szekrénytartó optimális méretei hosszmerítővel és anélkül,  $k_f/k_m = 2$  esetén

- [4] Woodley, C.C.: Practical applications of weld toe grinding. In "Improving the Fatigue Strength of Welded Joints. The Welding Institute, Abington, Cambridge, UK, 1983". 19-22.
- [5] Braid, J.E.M., Bell, R., Militaru, D.V.: Fatigue life of as-welded, repaired, and hammer-peened joints in high-strength structural steel. *Welding in the World* 1997, 39(5), 248-261.
- [6] Janosch, J.J., Koneczny, H. et al. Improvement of fatigue strength in welded joints (in HSS and aluminium alloys) by ultrasonic hammer peening. *Welding in the World* 1996, 37(2), 72-83.
- [7] Horn, A.A., Huther, I., Lieurade, H.P. Fatigue behaviour of T-joints improved by TIG dressing. *Welding in the World* 1998, 41(4), 273-280.